I.S.P.E.S.L.

ISTITUTO SUPERIORE PER LA PREVENZIONE E LA SICUREZZA DEL LAVORO

RACCOLTA VSR

REVISIONE 1995

SPECIFICAZIONI TECNICHE APPLICATIVE DEL DECRETO MINISTERIALE 21 NOVEMBRE 1972 PER LA VERIFICA DELLA STABILITÀ DEI RECIPIENTI IN PRESSIONE

EDIZIONE 1999

DIPARTIMENTO DOCUMENTAZIONE, INFORMAZIONE E FORMAZIONE

INDICE

PARTE I
Leggi e documenti di riferimento

PARTE II:
Regole tecniche

PREFAZIONE

La presente pubblicazione contiene le Specificazioni tecniche applicative del D.M. 21 novembre 1972 che detta norme per la costruzione degli apparecchi a pressione.

La prima edizione della Raccolta VSR (Verifica di Stabilità dei Recipienti), emanata dall'ex ANCC, è stata pubblicata nel 1973 e da allora è stata aggiornata con cadenza semestrale fino al 1982.

Nell'ambito dei compiti di proposta di normativa conferiti all'ISPESL dal D.L. 30 giugno 1982, n. 390, e dei disposti del Decreto Istitutivo dell'ISPESL medesimo, in considerazione dell'evoluzione tecnologica avuta dal 1982 ad oggi – senza che peraltro alcuna «addenda» alla Raccolta VSR sia stata emanata nel frattempo – questo istituto ha ritenuto doveroso e necessario effettuare la revisione della Raccolta VSR edizione 1982.

L'ISPESL, pertanto, acquisito il parere favorevole del proprio Comitato Tecnico «Specifiche Tecniche per l'Omologazione degli Apparecchi a Pressione» nelle sedute dell'8 e 9 luglio 1993, e recependo le indicazioni specifiche fornite dal SC.3 «Generatori di calore e impianti a pressione» del Comitato Termotecnico Italiano, ha predisposto la revisione della Raccolta VSR aggiornata al 1995.

La presente edizione «Raccolta VSR - revisione 1995» contiene i seguenti aggiornamenti e modifiche di carattere generale:

– allineamento della normativa italiana agli indirizzi della nuova normativa europea (EN) in corso di elaborazione;

– modifica di alcuni parametri di costruzione che nella pratica corrente si sono rivelati eccessivamente conservativi senza peraltro alcuna giustificazione ai fini della sicurezza;

– integrazione delle norme laddove la carenza di specifiche prescrizioni impone prove sperimentali che l'esperienza ha dimostrato non necessarie ai fini della stabilità della membratura;

– introduzione del calcolo di verifica di progetti riguardanti apparecchi destinati a funzionare fino a 200.000 ore;

– riconduzione del coefficiente di sicurezza al valore indicato nel D.M. 21 novembre 1972 (da 2,4 a 2 sul carico di rottura degli acciai) nel caso che si prevedano controlli più severi in fase di progettazione e omologazione;

– adeguamento delle unità di misura al Sistema Internazionale SI.

Tali aggiornamenti hanno comportato modifiche ed integrazioni in quasi tutti i capitoli della Raccolta. Ne è derivata comunque l'opportunità di rielaborare completamente i capitoli riguardanti le seguenti membrature:

– Fondi curvi;
– Aperture e tronchetti su fasciami e fondi;
– Fondi piani e pareti piane;
– Piastre tubiere;
– Flange rovesce;
– Compensatori di dilatazione.

Si ritiene utile, infine, far precedere la Raccolta VSR dalle disposizioni di legge che hanno assegnato le competenze già svolte dai soppressi Enti ANCC ed ENPI all'ISPESL, e dal D.M. 21 novembre 1972 che detta le Norme per la costruzione degli apparecchi a pressione.

La presente «Raccolta VSR - revisione 1995», emanata con D.M. 15 gennaio 1998, n. 190, sostituisce a tutti gli effetti la precedente «Raccolta VSR - edizione 1993» dell'ISPESL la quale è soltanto una riedizione della «Raccolta VSR - edizione 1978» dell'ex ANCC comprensiva degli «Aggiornamenti al 31 gennaio 1982».

La presente edizione della Raccolta VSR è stata curata dal sig. Mario Puddu del Dipartimento Documentazione, Informazione e Formazione dell'ISPESL con la fattiva collaborazione dell'ing. Matteo Cannerozzi de Grazia del Dipartimento Tecnologie di Sicurezza, che ha permesso di poter includere nella pubblicazione tutte le errata-corrige sopravvenute fino a dicembre 1998.

Le presenti Specifiche Tecniche «Raccolta VSR - revisione 1995» sono state approvate dal Comitato Tecnico «Specifiche Tecniche di omologazione per gli apparecchi a pressione» dell'ISPESL su proposte elaborate da:

- **Comitato Tecnico ISPESL «Specifiche Tecniche di omologazione per gli apparecchi a pressione»; Presidente delegato: ing. Alfredo ADDABBO**

- **Gruppo di lavoro ISPESL «Recipienti a pressione»; Coordinatore: ing. Matteo CANNEROZZI de GRAZIA**

- **Gruppo di lavoro «Calcolo» del SC.3 del Comitato Termotecnico Italiano federato UNI; Coordinatore: ing. Alfredo ADDABBO.**

Redazione tecnica curata dal Segretario del Comitato Tecnico ISPESL: ing. Matteo CANNEROZZI de GRAZIA – ISPESL - D.T.S./III U.F.

Decreto ministeriale 15 gennaio 1998, n. 190 (1)

Regolamento recante norme sulle specifiche tecniche applicative del decreto ministeriale 21 novembre 1972 per la costruzione e la riparazione degli apparecchi a pressione

IL MINISTRO DELL'INDUSTRIA
DEL COMMERCIO E DELL'ARTIGIANATO

DI CONCERTO CON

IL MINISTRO DELLA SANITÀ

E

IL MINISTRO DEL LAVORO
E DELLA PREVIDENZA SOCIALE

Visto il decreto-legge 30 giugno 1982, n. 390, convertito nella legge 12 agosto 1982, n. 597 e, in particolare, l'articolo 2, comma 4, il quale prevede che le procedure e le modalità amministrative e tecniche, le forme di attestazione e le tariffe dell'omologazione sono determinate con decreti interministeriali dei Ministri dell'industria, del commercio e dell'artigianato, della sanità, del lavoro e della previdenza sociale, previo parere dell'Istituto superiore per la prevenzione e la sicurezza del lavoro;

Visto l'articolo 17, commi 3 e 4, della legge 23 agosto 1988, n. 400;

Visto il decreto ministeriale 21 novembre 1972, recante norme per la costruzione degli apparecchi a pressione e, in particolare, le specificazioni tecniche applicative emanate dall'Associazione nazionale per il controllo della combustione ai sensi dell'articolo 20 dello stesso decreto;

Visto il parere favorevole dei comitati tecnici del l'Istituto superiore per la prevenzione e la sicurezza del lavoro (ISPESL) denominati «Specifiche tecniche per l'omologazione degli apparecchi a pressione» e «Materiali e collegamenti», i quali hanno ravvisato la necessità di aggiornare le citate specificazioni tecniche applicative emanate dall'Associazione nazionale per il controllo della combustione;

Udito il parere del Consiglio di Stato, espresso nell'adunanza generale del 17 aprile 1997;

Vista la comunicazione al Presidente del Consiglio dei Ministri, a norma dell'articolo 17, comma 3, della citata legge n. 400 del 1988, effettuata con nota n. 18070-R3c/4 del 4 novembre 1997;

ADOTTANO

il seguente regolamento:

Art. 1.

1. Per la costruzione degli apparecchi a pressione assoggettati alla disciplina in materia di prevenzione contro gli infortuni ai sensi del regio decreto 12 agosto 1927, n. 824, e sue successive modifiche ed integrazioni, le specificazioni tecniche applicative del decreto ministeriale 21 novembre 1972 denominate «Raccolta VSR, Raccolta VSG, Raccolta M, Raccolta S» vengono sostituite dalle allegate specificazioni tecniche:

a) «Raccolta VSR-revisione 1995» per la verifica della stabilità dei recipienti a pressione;

b) «Raccolta VSG-revisione 1995» per la verifica della stabilità dei generatori di vapor d'acqua;

c) «Raccolta M-revisione 1995» per l'impiego dei materiali nella costruzione e riparazione degli apparecchi e sistemi in pressione;

d) Raccolta S-revisione 1995» per l'impiego della saldatura nella costruzione e riparazione degli apparecchi e sistemi in pressione;

2. Le suddette specificazioni tecniche sono pubblicate a cura dell'Istituto superiore per la prevenzione e la sicurezza del lavoro (ISPESL).

3. Le schede riportanti le caratteristiche tecniche dei materiali impiegati per la costruzione degli apparecchi a pressione, ed i relativi procedimenti di saldatura, sono pubblicate a cura dell'ISPESL, previo parere favorevole dell'ispettorato tecnico del Ministero dell'industria, del commercio e dell'artigianato.

Art. 2.

1. Le specificazioni tecniche del decreto ministeriale 21 novembre 1972 di cui all'articolo 1 non si applicano a recipienti semplici a pressione di cui alla direttiva 87/404/CEE recepita con decreto legislativo 27 settembre 1991, n. 311.

Art. 3

1. I prodotti disciplinati dalle specificazioni tecniche indicate all'articolo 1, fabbricati in uno Stato membro della Unione europea, possono essere immessi sul mercato italiano a condizione che la regolamentazione del paese di origine garantisca al prodotto stesso un livello di sicurezza equivalente a quello stabilito dalla regolamentazione italiana.

Art. 4.

1. Agli apparecchi a pressione, già verificati sulla base delle specificazioni tecniche vigenti prima dell'entrata in vigore del presente decreto, possono applicarsi le medesime specificazioni, in caso di modifiche e riparazioni denunciate successivamente alla data di entrata in vigore del presente decreto.

(1) Supplemento ordinario alla *G. U.* n. 141 del 19 giugno 1998.

Art. 5.

1. Il presente decreto entra in vigore il centottantesimo giorno successivo alla sua pubblicazione nella *Gazzetta Ufficiale.*

2. Entro tale periodo le allegate specificazioni tecniche — revisione 95 — possono comunque essere utilizzate in sostituzione delle specificazioni tecniche in vigore, purché il costruttore degli apparecchi a pressione e/o il progettista ne faccia esplicita richiesta all'atto della denuncia di costruzione a norma dell'articolo 45 del regio decreto 12 maggio 1927, n. 824.

Il presente decreto, munito del sigillo dello Stato, sarà inserito nella Raccolta ufficiale degli atti normativi della Repubblica italiana. È fatto obbligo a chiunque spetti di osservarlo e di farlo osservare.

Roma, 15 gennaio 1998

Il Ministro dell'industria del commercio e dell'artigianato
BERSANI

Il Ministro della sanità
BINDI

Il Ministro del lavoro e della previdenza sociale
TREU

Visto, il *Guardasigilli:* Flick
Registrato alla Corte dei conti il 9 giugno 1998
Registro n. 1 Industria, foglio 168

NOTE

AVVERTENZA:

Il testo delle note qui pubblicato è stato redatto ai sensi dell'art. 10, comma 3, del testo unico delle disposizioni sulla promulgazione delle leggi, sull'emanazione dei decreti del Presidente della Repubblica e sulle pubblicazioni ufficiali della Repubblica italiana, approvato con D.P.R. 28 dicembre 1985, n. 1092, al solo fine di facilitare la lettura delle disposizioni di legge alle quali è operato il rinvio. Restano invariati il valore e l'efficacia degli atti legislativi qui trascritti.

Note alle premesse:

— Il decreto-legge 30 giugno 1982, n. 390, convertito, con modificazioni, dalla legge 12 agosto 1982, n. 597, recante: «Disciplina delle funzioni prevenzionali e omologative delle unità sanitarie locali e dell'Istituto superiore per la prevenzione e la sicurezza del lavoro», è pubblicato nella *Gazzetta Ufficiale* del 25 agosto 1982, n. 233. Il testo dell'art. 2, comma 4, è il seguente:

«le procedure e le modalità amministrative e tecniche, le specifiche tecniche, le forme di attestazione e le tariffe dell'omologazione sono determinate con decreti interministeriali dei Ministeri dell'industria, del commercio e dell'artigianato, della sanità e del lavoro e della previdenza sociale, previo parere dell'ISPESL».

— La legge 23 agosto 1988, n. 400, recante: «Disciplina dell'attività di Governo e ordinamento della Presidenza del Consiglio dei Ministri», è pubblicata nel supplemento ordinario 12 settembre 1988, n. 214. Il testo dell'art. 17, commi 3 e 4, è il seguente:

«3. Con decreto ministeriale possono essere adottati regolamenti nelle materie di competenza del Ministro o di autorità sottordinate al Ministro, quando la legge espressamente conferisca tale potere. Tali regolamenti, per materie di competenza di più Ministri, possono essere adottati con decreti interministeriali, ferma restando la necessità di apposita autorizzazione da parte della legge. I regolamenti ministeriali ed interministeriali non possono dettare norme contrarie a quelle dei regolamenti emanati dal Governo. Essi debbono essere comunicati al Presidente del Consiglio dei Ministri prima della loro emanazione.

4. I regolamenti di cui al comma 1 ed i regolamenti ministeriali ed interministeriali che devono recare la denominazione di «regolamento», sono adottati previo parere del Consiglio di Stato, sottoposti al visto ed alla registrazione della Corte dei conti e pubblicati nella *Gazzetta Ufficiale*».

— Il decreto ministeriale 21 novembre 1972, recante: «Norme per la costruzione degli apparecchi a pressione», è pubblicato nella *Gazzetta Ufficiale* del 2 gennaio 1973, n. 1. Il testo dell'art. 20 è il seguente:

«Art. 20. — L'Associazione nazionale per il controllo della combustione, su conforme parere del consiglio tecnico, emana le spefiche tecniche applicative del presente decreto».

Nota all'art. 1:

— Il regio decreto 12 maggio 1927, n. 824, recante: «Approvazione del regolamento per l'esecuzione del regio decreto-legge 9 luglio 1926, n. 1331, che costituisce l'Associazione nazionale per il controllo della combustione», è pubblicato nella *Gazzetta Ufficiale* 4 luglio 1927, n. 152.

Note all'art. 2:

— La direttiva 87/404/CEE del Consiglio del 25 giugno 1987 relativa al ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri in materia di recipienti semplici a pressione, è pubblicata nella *Gazzetta Ufficiale* della Comunità europea 8 agosto 1987, n. L 220.

— Il decreto legislativo 27 settembre 1991, n 311, recante: «Attuazione delle direttive 87/404/CEE e 90/488/CEE in materia di recipienti a pressione, a norma dell'art. 56 della legge 29 dicembre 1990, n. 428», è pubblicato nella *Gazzetta Ufficiale* 4 ottobre 1991, n. 233.

Nota all'art. 5:

— Il testo dell'art. 45 del regio decreto 12 maggio 1927, n. 824, è il seguente:

«Art. 45. — Entro dieci giorni della data in cui viene iniziata la costruzione o la riparazione di un apparecchio a pressione, il costruttore o il riparatore ne deve dare denuncia all'Associazione nazionale per il controllo sulla combustione.

Colui che abbia introdotto nello Stato un apparecchio a pressione deve darne denuncia all'Associazione entro dieci giorni dall'avvenuta introduzione».

Legge 23 dicembre 1978, n. 833 (1)

Istituzione del Servizio Sanitario Nazionale
(artt. 6, 7, 14, 20, 23, 24 e 72)

Art. 6
Competenze dello Stato

Sono di competenza dello Stato le funzioni amministrative concernenti:

a) i rapporti internazionali e la profilassi internazionale, marittima, aerea e di frontiera, anche in materia veterinaria; l'assistenza sanitaria ai cittadini italiani all'estero e l'assistenza in Italia agli stranieri ed agli apolidi, nei limiti ed alle condizioni previste da impegni internazionali, avvalendosi dei presidi sanitari esistenti;

b) la profilassi delle malattie infettive e diffusive, per le quali siano imposte la vaccinazione obbligatoria o misure quarantenarie, nonché gli interventi contro le epidemie e le epizoozie;

c) la produzione, la registrazione, la ricerca, la sperimentazione, il commercio e l'informazione concernenti i prodotti chimici usati in medicina, i preparati farmaceutici, i preparati galenici, le specialità medicinali, i vaccini, gli immunomodulatori cellulari e virali, i sieri, le anatossine e i prodotti assimilati, gli emoderivati, i presidi sanitari e medico-chirurgici ed i prodotti assimilati anche per uso veterinario;

d) la coltivazione, la produzione, la fabbricazione, l'impiego, il commercio all'ingrosso, l'esportazione, l'importazione, il transito, l'acquisto, la vendita e la detenzione di sostanze stupefacenti o psicotrope, salvo che per le attribuzioni già conferite alle regioni dalla legge 22 dicembre 1975, n. 685;

e) la produzione, la registrazione e il commercio dei prodotti dietetici, degli alimenti per la prima infanzia e la cosmesi;

f) l'elencazione e la determinazione delle modalità di impiego degli additivi e dei coloranti permessi nella lavorazione degli alimenti e delle bevande e nella produzione degli oggetti d'uso personale e domestico; la determinazione delle caratteristiche igienico-sanitarie dei materiali e dei recipienti destinati a contenere e conservare sostanze alimentari e bevande, nonché degli oggetti destinati comunque a venire a contatto con sostanze alimentari;

g) gli standards dei prodotti industriali;

h) la determinazione di indici di qualità e di salubrità degli alimenti e delle bevande alimentari;

i) la produzione, la registrazione, il commercio e l'impiego delle sostanze chimiche e delle forme di energia capaci di alterare l'equilibrio biologico ed ecologico;

k) i controlli sanitari sulla produzione dell'energia termoelettrica e nucleare e sulla produzione, il commercio e l'impiego delle sostanze radioattive;

l) il prelievo di parti di cadavere, la loro utilizzazione e il trapianto di organi limitatamente alle funzioni di cui alla legge 2 dicembre 1975, n. 644;

m) la disciplina generale del lavoro e della produzione ai fini della prevenzione degli infortuni sul lavoro e delle malattie professionali;

n) l'omologazione di macchine, di impianti e di mezzi personali di protezione;

o) l'Istituto superiore di sanità, secondo le norme di cui alla legge 7 agosto 1973, n. 519, ed alla presente legge;

p) l'Istituto superiore per la prevenzione e la sicurezza del lavoro secondo le norme previste dalla presente legge;

q) la fissazione dei requisiti per la determinazione dei profili professionali degli operatori sanitari; le disposizioni generali per la durata e la conclusione dei corsi; la determinazione dei requisiti necessari per l'ammissione alle scuole, nonché dei requisiti per l'esercizio delle professioni mediche e sanitarie ausiliarie;

r) il riconoscimento e la equiparazione dei servizi sanitari prestati in Italia e all'estero dagli operatori sanitari ai fini dell'ammissione ai concorsi e come titolo nei concorsi stessi;

s) gli ordini e i collegi professionali;

t) il riconoscimento delle proprietà terapeutiche delle acque minerali e termali e la pubblicità relativa alla loro utilizzazione a scopo sanitario;

u) la individuazione delle malattie infettive e diffusive del bestiame per le quali, in tutto il territorio nazionale, sono disposti l'obbligo di abbattimento e, se del caso, la distruzione degli animali infetti o sospetti di infezione o di contaminazione; la determinazione degli interventi obbligatori in materia di zooprofilassi; le prescrizioni inerenti all'impiego dei principi attivi, degli additivi e delle sostanze minerali e chimico-industriali nei prodotti destinati all'alimentazione zootecnica, nonché quelle relative alla produzione e la commercializzazione di questi ultimi prodotti;

v) l'organizzazione sanitaria militare;

z) i servizi sanitari istituiti per le Forze armate ed i Corpi di polizia, per il Corpo degli agenti di custodia e per il Corpo nazionale dei vigili del fuoco, nonché i servizi dell'Azienda autonoma delle ferrovie dello Stato relativi all'accertamento tecnico-sanitario delle condizioni del personale dipendente.

* * *

(1) Supplemento ordinario alla *G. U.* n. 360 del 23 dicembre 1978.

Art. 7
Funzioni delegate alle regioni

È delegato alle regioni l'esercizio delle funzioni amministrative concernenti:

a) la profilassi delle malattie infettive e diffusive, di cui al precedente articolo 6 lettera b);

b) l'attuazione degli adempimenti disposti dall'autorità sanitaria statale ai sensi della lettera u) del precedente articolo 6;

c) i controlli della produzione, detenzione, commercio e impiego dei gas tossici e delle altre sostanze pericolose;

d) il controllo dell'idoneità dei locali ed attrezzature per il commercio e il deposito delle sostanze radioattive naturali ed artificiali e di apparecchi generatori di radiazioni ionizzanti; il controllo sulla radioattività ambientale;

e) i controlli sulla produzione e sul commercio dei prodotti dietetici, degli alimenti per la prima infanzia e la cosmesi.

Le regioni provvedono all'approvvigionamento di sieri e vaccini necessari per le vaccinazioni obbligatorie in base ad un programma concordato con il Ministero della Sanità.

Il Ministero della Sanità provvede, se necessario, alla costituzione ed alla conservazione di scorte di sieri, di vaccini, di presidi profilattici e di medicinali di uso non ricorrente, da destinare alle regioni per esigenze particolari di profilassi e cura delle malattie infettive, diffusive e parassitarie.

Le regioni esercitano le funzioni delegate di cui al presente articolo mediante sub-delega ai comuni.

In relazione alle funzioni esercitate dagli uffici di sanità marittima, aerea e di frontiera e dagli uffici veterinari di confine, di porto e di aeroporto, il Governo è delegato ad emanare, entro un anno dall'entrata in vigore della presente legge, uno o più decreti per ristrutturare e potenziare i relativi uffici nel rispetto dei seguenti criteri:

a) si procederà ad una nuova distribuzione degli uffici nel territorio, anche attraverso la costituzione di nuovi uffici, in modo da attuare il più efficiente ed ampio decentramento delle funzioni;

b) in conseguenza, saranno rideterminate le dotazioni organiche dei posti previsti dalla Tabella XIX, quadri B, C e D, allegata al D.P.R. 30 giugno 1972, n. 748, nonché le dotazioni organiche dei ruoli delle carriere direttive, di concetto, esecutive, ausiliarie e degli operatori, prevedendo, per la copertura dei posti vacanti, concorsi a base regionale.

L'esercizio della delega alle regioni, per le funzioni indicate nel quarto comma, in deroga all'articolo 34 del D.P.R. 24 luglio 1977, n. 616, si attua a partire dal 1° gennaio 1981.

* * *

Art. 14
Unità sanitarie locali

L'ambito territoriale di attività di ciascuna unità sanitaria locale è delimitato in base a gruppi di popolazione di regola compresi tra 50.000 e 200.000 abitanti, tenuto conto delle caratteristiche geomorfologiche e socioeconomiche della zona.

Nel caso di aree a popolazione particolarmente concentrata o sparsa e anche al fine di consentire la coincidenza con un territorio comunale adeguato, sono consentiti limiti più elevati o, in casi particolari, più ristretti.

Nell'ambito delle proprie competenze, l'unità sanitaria locale provvede in particolare:

a) all'educazione sanitaria;

b) all'igiene dell'ambiente;

c) alla prevenzione individuale e collettiva delle malattie fisiche e psichiche;

d) alla protezione sanitaria materno-infantile, all'assistenza pediatrica e alla tutela del diritto alla procreazione cosciente e responsabile;

e) all'igiene e medicina scolastica negli istituti di istruzione pubblica e privata di ogni ordine e grado;

f) all'igiene e medicina del lavoro, nonché alla prevenzione degli infortuni sul lavoro e delle malattie professionali;

g) alla medicina dello sport e alla tutela sanitaria delle attività sportive;

h) all'assistenza medico-generica e infermieristica, domiciliare e ambulatoriale;

i) all'assistenza medico-specialistica e infermieristica, ambulatoriale e domiciliare, per le malattie fisiche e psichiche;

l) all'assistenza ospedaliera per le malattie fisiche e psichiche;

m) alla riabilitazione;

n) all'assistenza farmaceutica e alla vigilanza sulle farmacie;

o) all'igiene della produzione, lavorazione, distribuzione e commercio degli alimenti e delle bevande;

p) alla profilassi e alla polizia veterinaria; alla ispezione e alla vigilanza veterinaria sugli animali destinati ad alimentazione umana, sugli impianti di macellazione e di trasformazione, sugli alimenti di origine animale, sull'alimentazione zootecnica e sulle malattie trasmissibili dagli animali all'uomo, sulla riproduzione, allevamento e sanità animale, sui farmaci di uso veterinario;

q) agli accertamenti, alle certificazioni ed a ogni altra prestazione medico-legale spettanti al servizio sanitario nazionale, con esclusione di quelle relative ai servizi di cui alla lettera *z)* dell'articolo 6.

* * *

Art. 20
Attività di prevenzione

Le attività di prevenzione comprendono:

a) la individuazione, l'accertamento ed il controllo dei fattori di nocività, di pericolosità e di deterioramento negli ambienti di vita e di lavoro, in applicazione delle norme di legge vigenti in materia e al fine di garantire il rispetto dei limiti massimi inderogabili di cui all'ultimo comma dell'articolo 4, nonché al fine della tenuta dei registri di cui al penultimo comma dell'articolo 27; i predetti compiti sono realizzati anche mediante collaudi e verifiche di macchine, impianti e mezzi di protezione prodotti, instal-

lati o utilizzati nel territorio dell'unità sanitaria locale in attuazione delle funzioni definite dall'articolo 14;

b) la comunicazione dei dati accertati e la diffusione della loro conoscenza, anche a livello di luogo di lavoro e di ambiente di residenza, sia direttamente che tramite gli organi del decentramento comunale, ai fini anche di una corretta gestione degli strumenti informativi di cui al successivo articolo 27, e le rappresentanze sindacali;

c) l'indicazione delle misure idonee all'eliminazione dei fattori di rischio ed al risanamento di ambienti di vita e di lavoro, in applicazione delle norme di legge vigenti in materia, e l'esercizio delle attività delegate ai sensi del primo comma, lettere *a), b), c), d)* ed *e)* dell'articolo 7;

d) la formulazione di mappe di rischio con l'obbligo per le aziende di comunicare le sostanze presenti nel ciclo produttivo e le loro caratteristiche tossicologiche ed i possibili effetti sull'uomo e sull'ambiente;

e) la profilassi degli eventi morbosi, attraverso l'adozione delle misure idonee a prevenirne l'insorgenza;

f) la verifica, secondo le modalità previste dalle leggi e dai regolamenti, della compatibilità dei piani urbanistici e dei progetti di insediamenti industriali e di attività produttive in genere con le esigenze di tutela dell'ambiente sotto il profilo igienico-sanitario e di difesa della salute della popolazione e dei lavoratori interessati.

Nell'esercizio delle funzioni ad esse attribuite per l'attività di prevenzione le unità sanitarie locali, garantendo per quanto alla lettera *d)* del precedente comma la tutela del segreto industriale, si avvalgono degli operatori sia dei propri servizi di igiene sia dei presidi specialistici multizonali di cui al successivo articolo 22, sia degli operatori che, nell'ambito delle loro competenze tecniche e funzionali, erogano le prestazioni di diagnosi, cura e riabilitazione.

Gli interventi di prevenzione all'interno degli ambienti di lavoro, concernenti la ricerca, l'elaborazione e l'attuazione di misure necessarie ed idonee a tutelare la salute e l'integrità fisica dei lavoratori, connesse alla particolarità del lavoro e non previste da specifiche norme di legge, sono effettuati sulla base di esigenze verificate congiuntamente con le rappresentanze sindacali ed il datore di lavoro, secondo le modalità previste dai contratti o accordi collettivi applicati nell'unità produttiva.

* * *

Art. 23

Delega per la istituzione dell'Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro

Il Governo è delegato ad emanare, entro il 31 dicembre 1979, su proposta del Ministero della sanità, di concerto con i Ministri del lavoro e della previdenza sociale, dell'industria, commercio e artigianato e dell'agricoltura e foreste, un decreto avente valore di legge ordinaria per la istituzione dell'Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del lavoro, da porre alle dipendenze del Ministro della sanità. Nel suo organo di amministrazione, sono rappresentati i Ministeri del lavoro e della previdenza sociale, dell'industria, commercio e artigianato e dell'agricoltura e foreste ed i suoi programmi di attività sono approvati dal CIPE, su proposta del Ministro della sanità, sentito il Consiglio Sanitario Nazionale.

L'esercizio della delega deve uniformarsi ai seguenti principi e criteri direttivi:

a) assicurare la collocazione dell'Istituto nel servizio sanitario nazionale per tutte le attività tecnico-scientifiche e tutte le funzioni consultive che riguardano la prevenzione delle malattie professionali e degli infortuni sul lavoro;

b) prevedere le attività di consulenza tecnico-scientifica che competono all'Istituto nei confronti degli organi centrali dello Stato preposti ai settori del lavoro e della produzione.

All'istituto sono affidati compiti di ricerca, di studio, di sperimentazione e di elaborazione delle tecniche per la prevenzione e la sicurezza del lavoro in stretta connessione con l'evoluzione tecnologica degli impianti, dei materiali, delle attrezzature e dei processi produttivi, nonché di determinazione dei criteri di sicurezza e dei relativi metodi di rilevazione ai fini della omologazione di macchine, di impianti, di apparecchi, di strumenti e di mezzi personali di protezione e dei prototipi.

L'Istituto svolge, nell'ambito delle proprie attribuzioni istituzionali, attività di consulenza nelle materie di competenza dello Stato di cui all'art. 6, lettere *g), i), k), m), n),* della presente legge, e in tutte le materie di competenza dello Stato e collabora con le unità sanitarie locali tramite le regioni e con le regioni stesse, su richieste di queste ultime, fornendo le informazioni e le consulenze necessarie per l'attività dei servizi di cui agli articoli 21 e 22.

Le modalità della collaborazione delle regioni con l'Istituto sono disciplinate nell'ambito dell'attività governativa di indirizzo e di coordinamento di cui all'articolo 5.

L'Istituto ha facoltà di accedere nei luoghi di lavoro per compiervi rilevamenti e sperimentazioni per l'assolvimento dei propri compiti istituzionali. L'accesso nei luoghi di lavoro, è inoltre consentito, su richiesta delle regioni, per l'espletamento dei compiti previsti dal precedente comma.

L'Istituto organizza la propria attività secondo criteri di programmazione. I programmi di ricerca dell'Istituto relativi alla prevenzione delle malattie e degli infortuni sul lavoro sono predisposti tenendo conto degli obiettivi della programmazione sanitaria nazionale e delle proposte delle regioni.

L'Istituto, anche ai fini dei programmi di ricerca e di sperimentazione, opera in stretto collegamento con l'Istituto Superiore di Sanità e coordina le sue attività con il Consiglio nazionale delle ricerche e con il Comitato nazionale per l'energia nucleare. Esso si avvale inoltre della collaborazione degli istituti di ricerca delle università e di altre istituzioni pubbliche. Possono essere chiamati a collaborare all'attuazione dei suddetti programmi istituti privati di riconosciuto valore scientifico. L'Istituto cura altresì i collegamenti con istituzioni estere che operano nel medesimo settore.

Le qualifiche professionali del corpo dei tecnici e ricercatori dell'Istituto e la sua organizzazione interna, devono mirare a realizzare l'obiettivo della unitarietà della azione di prevenzione nei suoi aspetti interdisciplinari. L'Istituto collabora alla formazione ed all'aggiornamento degli operatori dei servizi di prevenzione delle unità sanitarie locali.

L'Istituto provvede altresì ad elaborare i criteri per le norme di prevenzione degli incendi interessanti le macchine, gli impianti e le attrezzature soggette ad omologazione, di concerto con i servizi di protezione civile del Ministero dell'interno.

Nulla è innovato per quanto concerne le disposizioni riguardanti le attività connesse con l'impiego pacifico dell'energia nucleare.

* * *

Art. 24

Norme in materia di igiene e sicurezza negli ambienti di lavoro e di vita e di omologazioni

Il Governo è delegato ad emanare, entro il 31 dicembre 1979, su proposta del Ministro della sanità con il concerto dei Ministri competenti, un testo unico in materia di sicurezza del lavoro, che riordini la disciplina generale del lavoro e della produzione al fine della prevenzione degli infortuni sul lavoro e delle malattie professionali, nonché in materia di omologazioni, unificando e innovando la legislazione vigente tenendo conto delle caratteristiche della produzione al fine di garantire la salute e l'integrità fisica dei lavoratori, secondo i principi generali indicati nella presente legge.

L'esercizio della delega deve uniformarsi ai seguenti criteri direttivi:

1) assicurare l'unitarietà degli obiettivi della sicurezza negli ambienti di lavoro e di vita, tenendo conto anche delle indicazioni della CEE e degli altri organismi internazionali riconosciuti;

2) prevedere l'emanazione di norme per assicurare il tempestivo e costante aggiornamento della normativa ai progressi tecnologici e alle conoscenze derivanti dalla esperienza diretta dei lavoratori;

3) prevedere l'istituzione di specifici corsi, anche obbligatori, di formazione antinfortunistica e prevenzionale;

4) prevedere la determinazione dei requisiti fisici e di età per attività e lavorazioni che presentino particolare rischio, nonché le cautele alle quali occorre attenersi e le relative misure di controllo;

5) definire le procedure per il controllo delle condizioni ambientali, per gli accertamenti preventivi e periodici sullo stato di sicurezza nonché di salute dei lavoratori esposti a rischio e per l'acquisizione delle informazioni epidemiologiche al fine di seguire sistematicamente l'evoluzione del rapporto salute-ambiente di lavoro;

6) stabilire:

a) gli obblighi e le responsabilità per la progettazione, la realizzazione, la vendita, il noleggio, la concessione in uso e l'impiego di macchine, componenti e parti di macchine utensili, apparecchiature varie, attrezzature di lavoro e di sicurezza, dispositivi di sicurezza, mezzi personali di protezione, apparecchiature, prodotti e mezzi protettivi per uso lavorativo ed extra lavorativo, anche domestico;

b) i criteri e le modalità per i collaudi e per le verifiche periodiche dei prodotti di cui alla precedente lettera *a)*;

7) stabilire i requisiti ai quali devono corrispondere gli ambienti di lavoro al fine di consentirne l'agibilità, nonché l'obbligo di notifica all'autorità competente dei progetti di costruzione, di ampliamento, di trasformazione e di modifica di destinazione di impianti e di edifici destinati ad attività lavorative, per controllarne la rispondenza alle condizioni di sicurezza;

8) prevedere l'obbligo del datore di lavoro di programmare il processo produttivo in modo che esso risulti rispondente alle esigenze della sicurezza del lavoro, in particolare per quanto riguarda la dislocazione degli impianti e la determinazione dei rischi e dei mezzi per diminuirli;

9) stabilire le procedure di vigilanza allo scopo di garantire la osservanza delle disposizioni in materia di sicurezza del lavoro;

10) stabilire le precauzioni e le cautele da adottare per evitare l'inquinamento, sia interno che esterno, derivante da fattori di nocività chimici, fisici e biologici;

11) indicare i criteri e le modalità per procedere, in presenza di rischio grave ed imminente, alla sospensione dell'attività in stabilimenti, cantieri o reparti o al divieto d'uso di impianti, macchine, utensili, apparecchiature varie, attrezzature e prodotti, sino alla eliminazione delle condizioni di nocività o di rischio accertate;

12) determinare le modalità per la produzione, l'immissione sul mercato e l'impiego di sostanze e di prodotti pericolosi;

13) prevedere disposizioni particolari per settori lavorativi o per singole lavorazioni che comportino rischi specifici;

14) stabilire le modalità per la determinazione e per l'aggiornamento dei valori-limite dei fattori di nocività di origine chimica, fisica e biologica di cui all'ultimo comma dell'art. 4, anche in relazione alla localizzazione degli impianti;

15) prevedere le norme transitorie per conseguire condizioni di sicurezza negli ambienti di lavoro esistenti e le provvidenze da adottare nei confronti delle piccole e medie aziende per facilitare l'adeguamento degli impianti ai requisiti di sicurezza e di igiene previsti dal testo unico;

16) prevedere il riordinamento degli uffici e servizi della pubblica amministrazione preposti all'esercizio delle funzioni riservate allo Stato in materia di sicurezza del lavoro;

17) garantire il necessario coordinamento fra le funzioni esercitate dallo Stato e quelle esercitate nella materia dalle regioni e dai comuni al fine di assicurare unità di indirizzi ed omogeneità di comportamenti in tutto il territorio nazionale nell'applicazione delle disposizioni in materia di sicurezza del lavoro;

18) definire per quanto concerne le omologazioni:

a) i criteri direttivi, le modalità e le forme per l'omologazione dei prototipi di serie e degli esemplari unici non di serie dei prodotti di cui al precedente numero 6), lettera *a)*, sulla base di specifiche tecniche predeterminate, al fine di garantire le necessarie caratteristiche di sicurezza;

b) i requisiti costruttivi dei prodotti da omologare;

c) le procedure e le metodologie per i controlli di conformità dei prodotti al tipo omologato.

Le norme delegate determinano le sanzioni per i casi di inosservanza delle disposizioni contenute nel testo unico, da graduare in relazione alla gravità delle violazioni e comportanti comunque, nei casi più gravi, l'arresto fino a sei mesi e l'ammenda fino a lire 10 milioni.

Sono escluse dalla delega le norme in materia di prevenzione contro gli infortuni relative: all'esercizio di servizi ed impianti gestiti dalle ferrovie dello Stato, all'esercizio di servizi ed impianti gestiti dal Ministero delle Poste e delle Telecomunicazioni, all'esercizio dei trasporti terrestri pubblici e all'esercizio della navigazione marittima, aerea ed interna; nonché le norme in materia di igiene del lavoro relative al lavoro a bordo delle navi mercantili e degli aeromobili

* * *

Art. 72

Soppressione dell'Ente Nazionale per la Prevenzione degli Infortuni - ENPI - e dell'Associazione Nazionale per il Controllo della Combustione - ANCC -

Con decreto del Presidente della Repubblica, previa delibera del Consiglio dei ministri, su proposta dei Ministri del lavoro e della previdenza sociale, della sanità, dell'industria, il commercio e l'artigianato e del tesoro, da emanarsi entro sessanta giorni dall'entrata in vigore della presente legge, è dichiarata l'estinzione dell'Ente Nazionale per la prevenzione degli infortuni (ENPI) e dell'Associazione Nazionale per il Controllo della Combustione (ANCC) e ne sono nominati i commissari liquidatori.

Ai predetti commissari liquidatori sono attribuiti, sino al 31 dicembre 1979, i compiti e le funzioni che la legge 29 giugno 1977, n. 349, attribuisce ai commissari liquidatori degli enti mutualistici. La liquidazione dell'ENPI e dell'ANCC è disciplinata ai sensi dell'articolo 77.

A decorrere dal 1° gennaio 1980 i compiti e le funzioni svolti dall'ENPI e dalla ANCC sono attribuiti rispettivamente ai comuni, alle regioni e agli organi centrali dello Stato, con riferimento all'attribuzione di funzioni che nella stessa materia è disposta dal D.P.R. 24 luglio 1977, n. 616, e dalla presente legge. Nella legge istitutiva dell'Istituto Superiore per la Prevenzione e per la Sicurezza del lavoro sono individuate le attività e le funzioni già esercitate dall'ENPI e dall'ANCC attribuite al nuovo Istituto e al CNEN.

A decorrere dalla data di cui al precedente comma, al personale, centrale e periferico, dell'ENPI e dell'ANCC si applicano le procedure dell'articolo 67 al fine di individuare il personale da trasferire all'Istituto Superiore per la Sicurezza e la Prevenzione del Lavoro e da iscrivere nei ruoli regionali per essere destinato ai servizi delle unità sanitarie locali e in particolare ai servizi di cui all'articolo 22.

Si applicano per il trasferimento dei beni dell'ENPI e dell'ANCC le norme di cui all'articolo 65 ad eccezione delle strutture scientifiche e dei laboratori centrali da destinare all'Istituto Superiore per la Sicurezza e la Prevenzione del Lavoro (45).

D.P.R. 31 luglio 1980, n. 619 (1)

Istituzione dell'Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro (art. 23 della legge n. 833 del 1978)

IL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA

Visti gli articoli 76 e 87 della Costituzione;

Visto l'art. 23 della legge 23 dicembre 1978, n. 833, concernente delega per la istituzione dell'Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro, rinnovata con l'art. 2 della legge 29 febbraio 1980, n. 33;

Viste le osservazioni delle regioni;

Udito il parere della commissione parlamentare di cui all'art. 79 della citata legge 23 dicembre 1978, n. 833;

Sentito, in via preliminare, il Consiglio dei Ministri;

Visto il parere emesso in via definitiva dalla suddetta commissione parlamentare;

Vista la deliberazione del Consiglio dei Ministri del 31 luglio 1980;

Sulla proposta del Presidente del Consiglio dei Ministri e del Ministro della sanità, di concerto con i Ministri del lavoro e della previdenza sociale, dell'interno, del bilancio e della programmazione economica, del tesoro, dell'industria, del commercio e dell'artigianato e dell'agricoltura e delle foreste;

EMANA

il seguente decreto:

Tittolo I

Art. 1
Costituzione

È istituito, con sede in Roma, l'Istituto superiore per la prevenzione e la sicurezza del lavoro, che si colloca nel Servizio Sanitario Nazionale quale organo tecnico-scientifico alle dipendenze del Ministro della sanità.

L'Istituto è dotato di strutture e di ordinamenti particolari e di autonomia amministrativa, funzionale e tecnico-scientifica.

Art. 2
Attribuzioni del Ministro della sanità

Salvo quant'altro previsto dagli articoli seguenti, il Ministro della sanità può sollecitare la formulazione di pareri e proposte ed emanare direttive concernenti i compiti affidati all'Istituto.

Art. 3
Compiti e modalità di svolgimento

Spettano all'Istituto:

a) la ricerca, lo studio, la sperimentazione e l'elaborazione dei criteri e delle metodologie per la prevenzione degli infortuni e delle malattie professionali con particolare riguardo all'evoluzione tecnologica degli impianti, dei materiali, delle attrezzature e dei processi produttivi;

b) la individuazione, in via esclusiva, dei criteri di sicurezza e dei relativi metodi di rilevazione ai fini della omologazione di macchine, di componenti di impianti, di apparecchi, di strumenti e di mezzi personali di protezione, nonché ai fini delle specifiche tecniche applicative, agli effetti di quanto disposto dal testo unico previsto dall'art. 24 della legge 23 dicembre 1978, n. 833 (3).

A tal fine l'Istituto:

1) effettua le conseguenti attività di ricerca, anche promuovendo o collaborando agli interventi effettuati, nelle materie di propria competenza, da organismi pubblici e privati;

2) partecipa alla definizione, in campo comunitario ed internazionale, delle materie concernenti gli ambiti di cui alle lettere *a)* e *b)* del presente articolo;

3) formula, con l'apporto degli organismi e delle strutture previste all'ottavo comma dell'art. 23 della legge 23 dicembre 1978, n. 833 con particolare riferimento agli istituti universitari di medicina del lavoro, pareri e proposte concernenti le norme relative alla prevenzione negli ambienti di lavoro ed a macchine, apparecchi, impianti ed attrezzature;

4) elabora e propone al Ministro anche in collaborazione con l'Istituto Superiore di Sanità:

- le metodiche standardizzate per il prelievo, la rilevazione e l'analisi dei fattori chimici, fisici e biologici di nocività negli ambienti di lavoro e definisce i limiti di esposizione;
- le metodiche cliniche e di laboratorio normalizzate per l'accertamento dello stato di salute dei lavoratori in relazione a specifiche condizioni di rischio (indicatori di dose e di effetto);
- le determinazioni di cui al precedente punto *b);*

5) provvede alla raccolta, classificazione, elaborazione e divulgazione delle informazioni e dei risultati acquisiti;

6) svolge funzioni di consulenza nei confronti dello Stato, delle regioni e delle unità sanitarie locali, ivi compresa l'assistenza per la formulazione dei pareri tecnici nei casi di insediamenti produttivi per la valutazione degli aspetti di impatto ambientale.

(1) Supplemento ordinario alla *G. U.* n. 275 del 7 ottobre 1980.

Nulla è innovato per quanto concerne le attribuzioni del Ministero dell'interno in materia di sicurezza antincendi e di servizi tecnici per la tutela e l'incolumità ai sensi delle leggi di pubblica sicurezza.

Art. 4
Cooperazione con studiosi ed enti di ricerca

Nello svolgimento della sua attività, l'Istituto può cooperare con organizzazioni estere ed internazionali ed enti pubblici italiani aventi analoghi fini.

Titolo II

Ordinamento

Art 5
Organi dell'Istituto

Sono organi dell'Istituto:
- il comitato amministrativo;
- il comitato esecutivo;
- il comitato tecnico-scientifico;
- il direttore dell'Istituto.

Art. 6
Composizione e funzionamento del comitato amministrativo

Il comitato amministrativo è nominato dal Ministro della sanità che lo presiede ed è costituito:

a) da un membro designato dal Ministro della sanità, con funzione di vicepresidente;

b) da un membro designato da ciascuno dei seguenti Ministri:
- lavoro e previdenza sociale;
- agricoltura e foreste;
- industria, commercio e artigianato;
- sanità;
- ricerca scientifica e tecnologia;
- interno;

c) da dodici componenti dal Consiglio Sanitario Nazionale di cui:
- tre in rappresentanza delle regioni, scelti tra i propri membri;
- sei in rappresentanza delle organizzazioni sindacali dei lavoratori dipendenti presenti nel CNEL;
- tre in rappresentanza delle associazioni imprenditoriali e dei lavoratori autonomi presenti nel CNEL;

d) da tre componenti designati dall'Associazione Nazionale dei Comuni Italiani;

e) dal direttore dell'Istituto.

Il Ministro procede alle nomine quando siano stati designati i due terzi dei componenti e sia trascorso il termine di trenta giorni dalla data di scadenza del comitato.

Il comitato amministrativo dura in carica tre anni e si riunisce ogni tre mesi in sessione ordinaria o, in via straordinaria, su convocazione del presidente o su richiesta di almeno un terzo dei componenti del comitato stesso.

Le deliberazioni del comitato amministrativo sono assunte a maggioranza e sono pubbliche.

Art. 7
Funzioni del comitato amministrativo

Il comitato amministrativo esercita le seguenti funzioni:

a) predispone il piano di attività da approvarsi secondo le modalità di cui all'art. 23, primo comma, della legge 23 dicembre 1978, n. 833, ed il relativo bilancio preventivo da sottoporre all'approvazione del Ministro;

b) disciplina, su proposta del direttore dell'Istituto, l'organizzazione ed il funzionamento dell'Istituto e, per quanto non disposto dal presente decreto, dei suoi organi;

c) delibera, su proposta del direttore dell'Istituto, la ripartizione fra i dipartimenti dei fondi assegnati all'Istituto;

d) approva il conto consuntivo e delle attività svolte;

e) adotta i provvedimenti in materia di personale e formula proposte per il relativo regolamento organico;

f) delibera l'attribuzione di incarichi di ricerca ad istituti di riconosciuto valore scientifico per l'attuazione dei programmi di ricerca previsti dai piani sanitari nazionali;

g) conferisce, su proposta del direttore dell'Istituto, gli incarichi di direttore di dipartimento;

h) esprime pareri e formula proposte sulle altre materie stabilite dalle leggi e dai regolamenti e in tutti i casi in cui il Ministro della sanità o il direttore dell'Istituto lo richiedano.

Le deliberazioni di cui alle lettere *a), b), c), f), g)* e *h)* sono adottate sentito il parere del comitato tecnico-scientifico.

Art. 8
Composizione e funzionamento del comitato esecutivo

Il comitato esecutivo è composto:

a) dal Ministro della sanità che lo presiede;

b) dal vicepresidente;

c) dai seguenti membri del comitato amministrativo dallo stesso designati:
- un rappresentante del Ministero del Lavoro e della Previdenza Sociale;
- un rappresentante del Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato;
- tre rappresentanti delle regioni;
- tre rappresentanti delle organizzazioni sindacali dei lavoratori dipendenti;
- un rappresentante delle associazioni imprenditoriali e dei lavoratori autonomi;

d) dal direttore dell'Istituto.

In caso di impedimento o di assenza del presidente, la presidenza del comitato esecutivo è assunta dal vicepresidente.

Il comitato esecutivo si riunisce in via ordinaria ogni mese e in via straordinaria su convocazione del presidente o su richiesta di almeno un terzo dei suoi componenti.

Il comitato esecutivo:
- delibera sulle materie che gli sono delegate dal comitato amministrativo;

– esercita, in caso di urgenza, tutti i poteri del comitato amministrativo, salvo ratifica di quest'ultimo alla prima successiva riunione;

– sovraintende alla gestione e decide sulle istanze e sui ricorsi del personale;

– adempie a tutte le attribuzioni previste da leggi o regolamenti.

Art. 9
Comitato tecnico-scientifico

Il comitato tecnico-scientifico è nominato con decreto del Ministro della sanità ed è costituito:

a) dal direttore dell'Istituto, che lo presiede;

b) da dodici esperti designati dal Consiglio Sanitario Nazionale, di cui:

- sei tra quelli operanti nel settore della medicina e igiene del lavoro e della prevenzione degli infortuni e delle malattie professionali, scelti nell'ambito delle università o di istituti pubblici di ricerca;
- sei scelti tra il personale operante nei servizi e presidi multizonali di prevenzione delle unità sanitarie locali, appartenenti ai ruoli sanitario o professionale;

c) dal direttore dell'Istituto Superiore di Sanità;

d) da un esperto nominato dal Ministro dell'agricoltura e delle foreste e da un esperto nominato dal Ministro dell'industria, del commercio e dell'artigianato;

e) da due esperti nominati dal Ministro del lavoro e della previdenza sociale rispettivamente per i campi dell'organizzazione del lavoro e della tutela del lavoro delle donne e minorile;

f) da due esperti designati uno dal CNR e uno dal CNEN;

g) da un esperto designato dal Ministro per la ricerca scientifica e tecnologica;

h) da un esperto designato dall'INAIL;

i) dai direttori dei dipartimenti dell'Istituto;

l) da un esperto designato dal Ministro dell'interno in materia di prevenzione incendi (4/a).

Il comitato tecnico-scientifico dura in carica tre anni, si riunisce due volte l'anno e può lavorare per commissioni.

I pareri vengono assunti a maggioranza.

Art. 10
Compiti del comitato tecnico-scientifico

Il comitato tecnico-scientifico esercita la consulenza scientifica in ordine alla individuazione dei programmi di attività e formula i pareri previsti dall'ultimo comma dell'art. 7.

Art. 11
Attribuzioni del direttore dell'Istituto

Il direttore dell'Istituto è responsabile dell'attuazione dei piani di attività e delle deliberazioni assunte dal comitato amministrativo.

In particolare, il direttore dell'Istituto:

– sovraintende al funzionamento ed alle attività dell'Istituto;

– emette e firma i mandati;

– presenta al Ministro della sanità, entro il primo semestre di ogni anno, una relazione scritta sull'attività svolta dall'Istituto nell'anno precedente e propone lo schema di relazione sui programmi dell'Istituto;

– esercita tutte le altre funzioni attribuitegli dalle leggi e dal regolamento adottato dal comitato amministrativo.

Art. 12
Commissione permanente del comitato amministrativo

Ferme restando le modalità di collaborazione con le regioni, previste dal quinto comma dell'art. 23 della legge 23 dicembre 1978, n. 833, ogni determinazione concernente l'accesso del personale dell'Istituto nei luoghi di lavoro è assunta dall'Istituto secondo le indicazioni di una commissione permanente del comitato amministrativo composta:

– dal presidente del comitato amministrativo o, in caso di assenza, dal vicepresidente;

– da cinque rappresentanti delle organizzazioni dei lavoratori;

– da tre rappresentanti delle associazioni imprenditoriali;

– da tre rappresentanti delle regioni.

Art. 13
Nomina del direttore dell'Istituto

L'ufficio del direttore dell'Istituto è conferito con decreto del Presidente della Repubblica, su deliberazione del Consiglio dei Ministri previa proposta del Ministro della sanità, ad una personalità scientifica anche estranea all'Istituto.

L'Ufficio ha la durata di cinque anni e può essere confermato con la stessa procedura prevista per il conferimento.

L'incarico di direttore dell'Istituto non è compatibile con il mantenimento di responsabilità di direzione di dipartimento o di unità funzionale.

Al conferimento deve essere provveduto entro sei mesi dalla vacanza.

Titolo III

Organizzazione interna dell'Istituto

Art. 14
Organizzazione dipartimentale

L'Istituto è organizzato in dipartimenti operativi, tra loro coordinati, che devono svolgere le attività integrate di:

– ricerca;

– proposta normativa;

– documentazione;

– consulenza per gli impianti a rischio di incidente rilevante.

Titolo IV

Gestione finanziaria

Art. 15
Gestione finanziaria

Per la gestione finanziaria dell'Istituto si applicano le norme vigenti sulla contabilità di Stato, salvo quanto in deroga previsto dalla legge 7 agosto 1973, n. 519. Il finanziamento è assicurato mediante dotazione di capitoli iscritti in apposita rubrica dello stato di previsione della spesa del Ministero della sanità.

L'ufficio centrale di ragioneria presso l'Istituto Superiore di Sanità svolge anche il controllo amministrativo-contabile sui provvedimenti di impegno e gli ordinativi di pagamento emessi dall'Istituto superiore per la prevenzione e la sicurezza del lavoro.

Titolo V

Trattamento del personale

Art. 16
Trattamento del personale dell'Istituto

Il trattamento del personale dell'Istituto è regolato in conformità della disciplina concernente il personale dell'Istituto Superiore di Sanità con le seguenti integrazioni e modifiche:

a) viene assicurata l'autonomia funzionale ed amministrativa dei dipartimenti e delle unità funzionali, nell'ambito dei programmi di attività dell'Istituto;

b) viene consentita, nell'ambito delle vacanze di organico, la mobilità del personale da e verso l'Istituto Superiore di Sanità e le strutture prevenzionali delle unità locali;

c) viene consentita, nell'ambito delle vacanze di organico, la possibilità di assunzione di personale scientifico che abbia svolto attività prevenzionale presso Istituti di istruzione universitaria o di ricerca italiani o stranieri. Il servizio prestato presso università o istituzioni scientifiche straniere deve essere riconosciuto con decreto del Ministro della sanità di concerto con il Ministro della pubblica istruzione;

d) viene stabilito il divieto di esercizio delle attività di libera professione.

Con decreto del Ministro della sanità, da emanarsi entro novanta giorni dall'entrata in vigore del presente decreto, di concerto con il Ministro del tesoro, vengono definite le tabelle di equiparazione per l'inquadramento del personale assegnato all'Istituto a norma del successivo art. 17. Fino al definitivo inquadramento nel ruolo organico dell'Istituto, tale personale conserva lo stato giuridico e il trattamento economico dell'ente di provenienza.

Titolo VI

Norme transitorie

Art. 17
Assegnazione del personale alle attività dell'Istituto

Con decreto del Ministro della sanità, di concerto con il Ministro del lavoro e della previdenza sociale, da emanarsi entro sessanta giorni dall'entrata in vigore del presente decreto, sono definiti, sulla base dei compiti previsti dal precedente articolo 3, i contingenti di personale della ANCC e dell'ENPI da comandare presso l'Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro o da iscrivere nei ruoli regionali per essere assegnati ai servizi delle unità sanitarie locali ed in particolare ai servizi di cui all'art. 22 della legge 23 dicembre 1978, n. 833.

Entro novanta giorni dalla entrata in vigore del presente decreto il personale degli enti di cui al primo comma del presente articolo ed il personale tecnico e sanitario centrale e periferico degli ispettorati del lavoro può presentare domanda di comando all'Istituto o di iscrizione nei ruoli regionali.

I commissari liquidatori degli enti di cui al primo comma del presente articolo, seguendo criteri obiettivi concordati con le organizzazioni sindacali maggiormente rappresentative in campo nazionale, provvedono entro centoventi giorni dalla entrata in vigore del presente decreto al comando del personale in relazione ai contingenti di cui al primo comma. Entro lo stesso periodo il Ministro del lavoro e della previdenza sociale provvede al comando del personale di cui al secondo comma del presente articolo rispettivamente all'Istituto o alle unità sanitarie locali.

Entro lo stesso termine di cui al comma precedente all'Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro sono trasferite, con decreto del Ministro della sanità, le unità funzionali dell'Istituto superiore di sanità che operano nei campi di attività di cui all'art. 3 del presente decreto, fatti salvi i diritti di opzione del personale comandato, conservando lo stato giuridico ed economico fino alla definizione dell'inquadramento del personale dell'Istituto superiore per la prevenzione e la sicurezza del lavoro.

Art. 18
Conferimento degli incarichi per il primo triennio

Il primo conferimento degli incarichi di direzione dei dipartimenti e di coordinamento delle unità funzionali ha la durata di un triennio e viene effettuato dal comitato amministrativo sulla base di apposite graduatorie compilate secondo criteri definiti, che tengano conto dei requisiti di qualificazione professionale connessi con l'espletamento di tali incarichi e delle anzianità effettive di servizio nelle amministrazioni e negli enti di provenienza.

Art. 19
Assegnazione di beni dei disciolti ENPI ed ANCC

Con decreto del Ministro del tesoro, di concerto con i Ministri del lavoro e della previdenza sociale e delle finanze, sono assegnati all'Istituto Superiore per la Prevenzione e per la Sicurezza del Lavoro, strutture scientifiche e i laboratori centrali dell'ENPI e dell'ANCC.

Con lo stesso decreto sono attribuite alla gestione di liquidazione di cui all'art. 77 della legge 23 dicembre 1978, n. 833, le somme corrispondenti ai valori inventariali dei beni stessi, da stanziare negli stati di previsione della spesa del Ministero del bilancio e della programmazione economica con espresso riferimento alla gestione dell'anno 1980 del Fondo sanitario nazionale di cui all'art. 51 della legge stessa.

Art. 20
Ordinamento dei servizi

Con decreto del Ministro della sanità, di concerto con il Ministro del tesoro, da emanarsi entro sei mesi dalla data di entrata in vigore del presente decreto, su proposta del comitato amministrativo, sentito il comitato tecnico-scientifico, viene definito l'ordinamento dei servizi che deve prevedere:

– numero, denominazione e organizzazione interna dei dipartimenti;

– organici di ciascun dipartimento;

– unità funzionali nelle quali è articolato ogni dipartimento;

– modi e forme per realizzare:

a) il coordinamento tra i dipartimenti (comitato interdipartimentale);

b) la interdisciplinarietà delle attività dell'istituto;

c) la partecipazione degli operatori alla programmazione dell'attività del dipartimento (assemblee di dipartimento) e dalla gestione funzionale del dipartimento (consiglio di dipartimento);

d) la partecipazione delle parti sociali e degli operatori del Servizio Sanitario Nazionale e degli organismi pubblici di carattere scientifico alla predisposizione ed al periodico aggiornamento delle proposte di normativa ed alla determinazione delle specifiche tecniche;

e) la temporaneità degli incarichi di direzione di dipartimento e di unità funzionale.

La dotazione complessiva dei ruoli organici dell'Istituto non potrà comunque superare quella dei ruoli dell'Istituto Superiore di Sanità quale prevista alla data di entrata in vigore del presente decreto.

Art. 21
Coordinamento degli interventi per la radioprotezione dei lavoratori e delle popolazioni

In relazione a quanto disposto dall'art. 23, ottavo comma, della legge 23 dicembre 1978, n. 833, è istituito un comitato di coordinamento tra l'Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro, l'Istituto Superiore di Sanità, il Consiglio Nazionale delle Ricerche e la Direzione di sicurezza nucleare e protezione sanitaria del CNEN.

Il comitato è costituito da dodici membri, tre per ciascuno dei predetti organismi, designati dai direttori di istituto e dai rappresentanti dei suddetti enti ed è presieduto dal Ministro della sanità.

Sono compiti del comitato:

1) assicurare l'omogeneità di approccio e l'uniformità di interpretazione dei criteri di sicurezza per i lavoratori e per le popolazioni esposte ai rischi di radiazioni ionizzanti;

2) coordinare le attività di consulenza in materia di radioprotezione nei confronti degli enti, territoriali e locali;

3) coordinare le azioni di cui al punto 4) dell'art. 3 per quanto attiene alla radioprotezione.

Art. 22
Coordinamento delle attività degli istituti

Il coordinamento delle attività dell'Istituto Superiore della Prevenzione e della Sicurezza del Lavoro e dell'Istituto Superiore di Sanità viene realizzato mediante l'istituzione di una giunta di coordinamento presieduta dal Ministro della sanità e composta dai direttori dei due Istituti e da sei componenti, di cui tre direttori di laboratorio dell'Istituto Superiore di Sanità, designati dal consiglio dei direttori dell'Istituto Superiore di Sanità, e da tre direttori di dipartimento dell'Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro, designati dal consiglio interdipartimentale dell'Istituto Superiore della Prevenzione e Sicurezza del Lavoro.

Art. 23
Regolamento organico del personale

Con decreto del Ministro della sanità da emanarsi entro sei mesi dalla data di entrata in vigore del presente decreto viene definito, sentite le organizzazioni sindacali maggiormente rappresentative in campo nazionale, il regolamento organico, nel rispetto delle norme contenute nel presente decreto.

Titolo VII

Norme finali

Art. 24
Attribuzioni delle attività e funzioni in campo nucleare.

All'Istituto sono attribuite le funzioni di consulenza nelle materie di competenza dello Stato di cui all'articolo 6, lettere i) e k), della legge 23 dicembre 1978, n. 833:

– la produzione, la registrazione, il commercio e l'impiego delle sostanze chimiche e delle forme di energia capaci di alterare l'equilibrio biologico ed ecologico;

– i controlli sanitari sulla produzione dell'energia termoelettrica e nucleare e sulla produzione, il commercio e l'impiego delle sostanze radioattive.

Nulla è innovato per quanto concerne le disposizioni riguardanti le attività connesse con l'impiego pacifico dell'energia nucleare.

All'Istituto sono attribuite le funzioni già svolte dall'A.N.C.C. ai sensi dell'art. 34 della legge 31 dicembre 1962, n. 1860.

Il presente decreto, munito del sigillo dello Stato, sarà inserto nella Raccolta ufficiale delle leggi della Repubblica italiana. È fatto obbligo a chiunque spetti di osservarlo e di farlo osservare.

Dato a Selva di Val Gardena, addì 31 luglio 1980.

PERTINI
COSSIGA - ANIASI
FOSCHI - ROGNONI
LA MALFA - PANDOLFI
BISAGLIA - MARCORA

Visto, *il Guarda sigilli:* MORLINO
Registrato alla Corte dei conti, addì 4 ottobre 1980
Atti di Governo, Registro n. 30, foglio n. 6

D.L. 30 giugno 1982, n. 390 (1)
convertito con modificazioni in Legge 12 agosto 1982, n. 597 (2)

Disciplina delle funzioni previdenziali ed omologative delle Unità Sanitarie Locali e dell'Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro

MINISTRO DI GRAZIA E GIUSTIZIA

L'ufficio legislativo del Ministero di grazia e giustizia ha redatto il testo del decreto-legge 30 giugno 1982, n. 390 (pubblicato nella *Gazzetta Ufficiale* n. 179 del 1° luglio 1982) inserendo in esso le modifiche apportatevi dalla legge di conversione 12 agosto 1982, n. 597 (pubblicata nella *Gazzetta Ufficiale* n. 233 del 25 agosto 1982).

Le modifiche sono stampate con caratteri corsivi.

Per comodità del lettore, all'inizio di ogni comma è indicato, tra parentesi, il numero che lo stesso occupa nell'ambito dell'articolo del testo coordinato.

Restano invariati il valore e l'efficacia degli atti legislativi qui coordinati, in quanto il testo che si pubblica è stato redatto al solo fine di facilitare la lettura delle nuove disposizioni di legge.

Art. 1

1. *Nelle province in cui, alla data del 1° luglio 1982, le unità sanitarie locali non abbiano iniziato l'esercizio effettivo delle funzioni dell'ANCC, dell'ENPI e degli organi del Ministero del lavoro e della previdenza sociale, loro trasferite dalla legge 23 dicembre 1978, n. 833, il prefetto, con proprio decreto, nomina un commissario, il quale esercita, nel territorio della provincia, i compiti già svolti dai predetti enti ed organi.*

2. Il commissario di cui al precedente comma - cessa, con decreto del prefetto, dalle sue funzioni al momento in cui le unità sanitarie locali inizieranno l'effettivo esercizio delle funzioni loro trasferite e comunque entro il 31 dicembre 1982.

3. Fino alla data del 31 dicembre 1982 le regioni possono chiedere ai commissari liquidatori dell'ENPI e dell'ANCC l'effettuazione di attività connesse all'esercizio, da parte delle unità sanitarie locali, delle funzioni di cui ai precedenti comma, assumendone gli oneri a carico *delle quote del fondo sanitario nazionale assegnate alle singole regioni.*

4. Fermo il disposto di cui al primo comma dell'art. 19 del D.P.R. 31 luglio 1980, n. 619, fino all'emanazione dei decreti di cui all'art. 65 della legge 23 dicembre 1978, n. 833, e, comunque, non oltre il 31 dicembre 1982, riguardo ai beni mobili ed immobili ed alle attrezzature dell'ENPI e dell'ANCC, salvo quelli necessari per l'esercizio delle funzioni di cui al primo comma del successivo art. 2, si applicano le disposizioni di cui all'art. 2 del decreto-legge 1° luglio 1980, n. 285, convertito, con modificazioni, nella legge 8 agosto 1980, n. 441.

Art. 2

1. Ferme le competenze attribuite o trasferite alle unità sanitarie locali dagli articoli 19, 20 e 21, della legge 23 dicembre 1978, n. 833, è attribuita, a decorrere dal 1° luglio 1982, all'ISPESL, la funzione statale di omologazione dei prodotti industriali *ai sensi dell'art. 6, lettera n), n. 18, e dell'art. 24, della legge 23 dicembre 1978, n. 833,* nonché il controllo di conformità dei prodotti industriali di serie al tipo omologato.

2. Per omologazione di un prodotto industriale si intende la procedura tecnico-amministrativa con la quale viene provata e certificata la rispondenza del tipo o del prototipo di prodotto prima della riproduzione e immissione sul mercato, ovvero del primo o nuovo impianto, a specifici requisiti tecnici prefissati ai sensi e per i fini prevenzionali della legge 23 dicembre 1978, n. 833, nonché anche ai fini della qualità dei prodotti.

3. Con decreto *interministeriale* dei Ministri dell'industria, del commercio e dell'artigianato, della sanità e del lavoro e della previdenza sociale possono essere autorizzati all'esercizio delle funzioni di cui al precedente primo comma anche laboratori pubblici o privati riconosciuti idonei, nonché l'autocertificazione da parte delle aziende produttrici limitatamente alla conformità dei prodotti di serie. *I requisiti delle imprese ammesse all'autocertificazione sono determinati con un regolamento, approvato dagli stessi Ministri con decreto interministeriale*

4. Le procedure e le modalità amministrative e tecniche, le specifiche tecniche, le forme di attestazione e le tariffe dell'omologazione sono determinate con decreti *interministeriali* dei Ministri dell'industria, del commercio e dell'artigianato, della sanità e del lavoro e della previdenza sociale, *previo parere dell'ISPESL.*

5. Sino all'emanazione dei decreti di cui al comma precedente, l'ISPESL opera alla stregua delle procedure e tariffe vigenti presso le amministrazioni attualmente competenti.

Art. 3

1. I provvedimenti di cui agli articoli 17 e 19 del D.P.R. 31 luglio 1980, n. 619, riguardo al personale ed ai beni dell'ANCC e dell'ENPI sono adottati di concerto con il Ministro dell'industria, del commercio e dell'artigianato, tenendo conto anche delle competenze attribuite all'ISPESL ai sensi del precedente articolo 2.

(1) *G. U.* n. 179 del 1° luglio 1982.

(2) *G. U.* n. 233 del 25 agosto 1982.

2. In attesa che l'ISPESL inizi ad esercitare le competenze attribuite dal precedente articolo 2, i commissari liquidatori dell'ANCC e dell'ENPI possono essere autorizzati, con decreto interministeriale dei Ministri della industria, del commercio e dell'artigianato, della sanità e del lavoro e della previdenza sociale, *previo parere dell'ISPESL*, ad esercitare sino al 31 dicembre 1982 le funzioni omologative già loro spettanti ai sensi delle rispettive competenze istituzionali, nonché adempimenti di gestione di competenza dell'ISPESL, all'uopo avvalendosi di personale compreso nel contingente da assegnare all'ISPESL ai sensi del precedente comma, ovvero, in via provvisoria, di personale compreso nel contingente da assegnare alle unità sanitarie locali, e ponendo altresì gli oneri finanziari, a carico delle rispettive gestioni, cui continueranno ad affluire, per l'anno 1982, i proventi delle attività svolte. L'ISPESL provvederà a rimborsare gli oneri stessi sullo stanziamento di cui al cap. 6000 dello stato di previsione della spesa del Ministero della sanità.

3. *Il contributo di cui all'articolo 3, secondo comma, della legge 19 dicembre 1952, n. 2390, viene assegnato al fondo sanitario nazionale di cui all'articolo 51 della legge 23 dicembre 1978, n. 833, per essere destinato ad attività di ricerca nel campo della prevenzione degli infortuni e delle malattie professionali, a partire dalla cessazione dell'attività commissariale dell'ENPI.*

Art. 4

1. L'ISPESL, limitatamente all'esercizio delle funzioni di cui al precedente articolo 2, primo comma, è sottoposto alla vigilanza dei Ministeri dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato, della Sanità e del Lavoro e della Previdenza Sociale.

2. I Ministri dell'industria, del commercio e dell'artigianato, della sanità e del lavoro e della previdenza sociale possono, su conforme parere del comitato amministrativo dell'ISPESL, istituire, con decreto interministeriale, di concerto con il Ministro del tesoro, dipartimenti periferici dell'Istituto in ragione della dislocazione territoriale, della densità e del rilievo economico e produttivo delle imprese industriali utenti dell'attività omologativa. Ad integrazione dell'articolo 14 del D.P.R. 31 luglio 1980, n. 619, è istituito un dipartimento *dotato di autonomia funzionale e contabile* per l'esercizio delle attività di omologazione di cui al precedente articolo 2, primo comma.

3. Il comitato amministrativo dell'ISPESL di cui all'articolo 6 del D.P.R. 31 luglio 1980, n. 619, è integrato dai seguenti componenti:

– un rappresentante del Ministero del Tesoro, un rappresentante del Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato e un rappresentante del Ministero delle Partecipazioni Statali, designati dai rispettivi Ministri;

– tre rappresentanti delle associazioni imprenditoriali, tra cui quelle delle aziende a partecipazione statale *e dei lavoratori autonomi, nonché un rappresentante delle associazioni sindacali dei quadri e dirigenti di azienda, designati dal Consiglio Sanitario Nazionale, ai sensi dell'articolo 6, lettera c), del predetto D.P.R. 31 luglio 1980, n. 619.*

4. Il comitato esecutivo dell'ISPESL di cui all'articolo 8 del D.P.R. 31 luglio 1980, n. 619, è integrato dai membri del comitato amministrativo rappresentanti, rispettivamente, il Ministero della Sanità, il Ministero del Tesoro e il Ministero delle Partecipazioni Statali, nonché da due dei rappresentanti delle associazioni imprenditoriali *e dei lavoratori autonomi, nonché da un rappresentante dell'ANCI.*

5. Il comitato tecnico-scientifico dell'ISPESL, di cui all'articolo 9 del D.P.R. 31 luglio 1980, n. 619, è integrato dai seguenti componenti:

– un rappresentante del Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato;

– un esperto designato dall'ENEL;

– un esperto designato dall'ENI;

– un esperto designato dall'IRI.

Art. 4-*bis*

I decreti previsti dal presente decreto-legge sono pubblicati nella Gazzetta Ufficiale della Repubblica italiana.

Art. 5

Il presente decreto entra in vigore il giorno stesso della sua pubblicazione nella *Gazzetta Ufficiale* della Repubblica italiana e sarà presentato alle Camere per la conversione in legge.

D.M. 23 dicembre 1982

Identificazione delle attività omologative già svolte nei soppressi Ente Nazionale Prevenzione Infortuni ed Associazione Nazionale Controllo Combustione, di competenza dell'Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro

IL MINISTRO DELL'INDUSTRIA,
DEL COMMERCIO
E DELL'ARTIGIANATO

e

IL MINISTRO DELLA SANITÀ

e

IL MINISTRO DEL LAVORO
E DELLA PREVIDENZA SOCIALE

Vista la legge 23 dicembre 1978, n. 833, concernente la istituzione del Servizio sanitario nazionale ed, in particolare, il terzo comma dell'art. 72;

Visto il D.P.R.31 luglio 1980, n. 619, concernente l'istituzione dell'Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro (ISPESL);

Visto il decreto-legge 30 giugno 1982, n. 390, convertito, con modificazioni, nella legge 12 agosto 1982, n. 597, concernente la disciplina delle funzioni prevenzionali ed omologative delle unità sanitarie locali e dell'Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro;

Ritenuto indispensabile che siano identificate le attività omologative già svolte dai soppressi ENPI e ANCC ed attribuite all'ISPESL ai sensi del primo e del secondo comma dell'art. 2 del citato decreto-legge n. 390 del 1982;

Decretano:

Articolo unico

Ai sensi ed agli effetti del primo e secondo comma dell'art. 2 del decreto-legge 30 giugno 1982, n. 390, convertito, con modificazioni, nella legge 12 agosto 1982, n. 597, le attività di cui all'allegata tabella, già svolte in via istituzionale dai soppressi ENPI ed ANCC o agli stessi comunque attribuite da provvedimenti dell'Autorità centrale amministrativa, sono riconosciute attività omologative di competenza dell'ISPESL

Il presente decreto sarà pubblicato nella *Gazzetta Ufficiale* della Repubblica italiana.

Roma, addì 23 dicembre 1982

Il Ministro dell'industria, del commercio e dell'artigianato
PANDOLFI

Il Ministro della sanità
ALTISSIMO

Il Ministro del lavoro e della previdenza sociale
SCOTTI

TABELLA

Attività omologative riguardanti:

– apparecchi ed impianti di sollevamento per persone (ascensori, scale aeree ad inclinazione variabile, ponti sviluppabili su carro, ponti sospesi, argani per ponti sospesi, ecc.);

– apparecchi ed impianti di sollevamento per materiali (gru a torre, a portale, a cavalletto, a bandiera, a bicicletta, su autocarro, autogru, argani, paranchi e relativi carrelli, derrick, montacarichi, ecc.);

– idroestrattori a forza centrifuga;

– installazioni e dispositivi di protezione contro le scariche atmosferiche; impianti di messa a terra;

– apparecchi ed impianti a pressione di vapore;

– apparecchi ed impianti a pressione di gas; recipienti per il trasporto di gas compressi, liquefatti, disciolti;

– apparecchiature di sicurezza e controllo per gli apparecchi a pressione di vapore o gas;

– apparecchi od impianti a pressione inseriti in impianti nucleari;

– apparecchi ed impianti contenenti liquidi caldi sotto pressione;

– vetri di sicurezza per ascensori e montacarichi – art. 14 del D.P.R. 29 maggio 1963, n. 1497;

– giunti ortogonali, piastre metalliche di base e tubi saldati per ponteggi metallici – decreto ministeriale 29 settembre 1968 (*Gazzetta Ufficiale* n. 242 del 23 settembre 1968);

– dispositivi a frizione per l'arresto di fine corsa per paranchi elettrici - decreto ministeriale 5 marzo 1973 (*Gazzetta Ufficiale* n. 94 dell'11 aprile 1973);

– funivie bifuni destinate al servizio delle aziende agricole montane per il trasporto promiscuo - decreto ministeriale 6 maggio 1972 (*Gazzetta Ufficiale* n. 198 del 31 luglio 1972).

D.M. 23 dicembre 1982

Istituzione dei Dipartimenti periferici per l'attività omologativa dell'Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro

IL MINISTRO DELL'INDUSTRIA,
DEL COMMERCIO
E DELL'ARTIGIANATO
e
IL MINISTRO DELLA SANITÀ
e
IL MINISTRO DEL LAVORO
E DELLA PREVIDENZA SOCIALE
DI CONCERTO CON
IL MINISTRO DEL TESORO

Vista la legge 23 dicembre 1978, n. 833, concernente l'istituzione del Servizio Sanitario Nazionale;

Visto il D.P.R. 31 luglio 1980, n. 619, concernente l'istituzione dell'Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro (ISPESL);

Visto il decreto-legge 30 giugno 1982, n. 390, convertito, con modificazioni, nella legge 12 agosto 1982, n. 597, concernente la disciplina delle funzioni prevenzionali ed omologative delle unità sanitarie locali e dell'ISPESL;

Visto l'art. 4, secondo comma, del richiamato decreto-legge n. 390 del 1982 che prevede la possibilità di istituire, su conforme parere del comitato amministrativo dell'ISPESL, dipartimenti periferici dell'Istituto in ragione della dislocazione territoriale, della densità e del rilievo economico e produttivo delle imprese industriali utenti delle attività omologative;

Considerata l'attività omologativa già svolta dalle strutture periferiche dell'ENPI e dell'ANCC;

Ritenuto, pertanto, di istituire trentatre dipartimenti periferici dell'ISPESL, con decorrenza dalla data di effettivo esercizio, da parte dell'ISPESL delle funzioni stesse;

Acquisito, nelle sedute dei giorni 14 dicembre 1982 e 22 dicembre 1982, il conforme parere del comitato amministrativo dell'ISPESL;

Decretano:

Art. 1

Con decorrenza dal 1° gennaio 1983, sono istituiti dipartimenti periferici dell'ISPESL presso le seguenti sedi periferiche dei soppressi ANCC ed ENPI:

– sezioni dell'ANCC di Torino, Biella, Alessandria, Genova, Como, Venezia, Verona, Bolzano, Udine, Forlì, Livorno, Lucca, Terni, Ancona, Pescara, Catanzaro, Sassari;

– sedi dell'ENPI di Milano, Brescia, Bergamo, Piacenza, Padova, Firenze, Bologna, Roma, Cagliari, Napoli, Bari, Taranto, Campobasso, Potenza, Palermo, Catania.

Art. 2

La competenza territoriale di ciascun dipartimento periferico verrà definita dal comitato amministrativo dell'ISPESL secondo l'art. 7, punto b), del decreto del D.P.R. 31 luglio 1980, n. 619.

Il presente decreto sarà pubblicato nella *Gazzetta Ufficiale* della Repubblica italiana.

Roma, addì 23 dicembre 1982

Il Ministro dell'industria, del commercio e dell'artigianato
PANDOLFI

Il Ministro della sanità
ALTISSIMO

Il Ministro del lavoro e della previdenza sociale
SCOTTI

Il Ministro del Tesoro
GORIA

D.M. 21 novembre 1972 (1)

Norme per la costruzione degli apparecchi a pressione

IL MINISTRO PER IL LAVORO
E LA PREVIDENZA SOCIALE

DI CONCERTO CON

IL MINISTRO PER L'INDUSTRIA,
IL COMMERCIO E L'ARTIGIANATO

Visto il regio decreto-legge 9 luglio 1926, n. 1331, che costituisce l'Associazione Nazionale per il controllo della combustione, convertito nella legge 16 giugno 1927, n. 1132;

Visto il regio decreto 12 maggio 1927, n. 824, concernente l'approvazione del regolamento di esecuzione del precitato regio decreto-legge numero 1331;

Visti i decreti ministeriali 1° dicembre 1927, 27 agosto 1931, 20 agosto 1933 e 22 ottobre 1935, concernenti, rispettivamente: l'impiego della ghisa nei recipienti a vapore ed il calcolo delle parti di apparecchi a pressione; l'impiego della saldatura autogena nella costruzione e riparazione di apparecchi a pressione; norme integrative per l'applicazione degli articoli 43 e 44 del precitato regio decreto n. 824; nonché la costruzione e l'esercizio degli apparecchi destinati a generare ed a contenere gas acetilene sotto pressione;

Sentito il consiglio tecnico dell'Associazione nazionale per il controllo della combustione e la Confederazione generale dell'industria italiana;

Ravvisata la necessità di aggiornare la normativa vigente in armonia alle esigenze postulate dal progresso tecnico;

Decreta:

Capo I – Disposizioni per il calcolo delle varie parti degli apparecchi a pressione

Art. 1. – Nella progettazione di generatori di vapore, di recipienti di vapore o gas e di apparecchi a pressione in genere soggetti alle norme di cui al regio decreto 12 maggio 1927, n. 824, si deve tener conto, qualora si verifichino, delle seguenti principali condizioni:

a) pressione interna;

b) pressione esterna;

c) temperature;

d) carico idrostatico massimo del fluido contenuto in condizioni di esercizio;

e) peso dell'apparecchio e del suo contenuto;

f) carichi massimi previsti per le condizioni di prova;

g) carichi dovuti al vento;

h) eventuali sovraccarichi dovuti alle sollecitazioni sismiche secondo le modalità previste dagli appositi regolamenti;

i) sollecitazioni localizzate dovute ai supporti, irrigidimenti, strutture interne e tubazioni di collegamento;

l) carichi dinamici;

m) momenti flettenti dovuti all'eccentricità dell'asse neutro dell'apparecchio rispetto al centro di azione della pressione;

n) differenza di temperatura e differenza dei coefficienti di dilatazione termica dei materiali adottati;

o) fluttuazione di pressione e temperatura;

p) possibilità di corrosioni o erosioni durante l'esercizio.

Art. 2. – In attuazione degli obblighi di denuncia e di verifiche di costruzione e riparazione, il costruttore o il riparatore degli apparecchi considerati nel presente decreto deve sottoporre il progetto all'esame dell'Associazione nazionale per il controllo della combustione ai fini dell'accertamento della rispondenza del progetto alle disposizioni di cui al successivo articolo 3.

Dell'esito dell'esame viene data comunicazione agli interessati.

Il progetto dell'apparecchio da costruire o da riparare deve essere firmato dal progettista abilitato secondo le disposizioni in vigore e deve soddisfare le norme di cui al presente decreto.

Art. 3. – L'Associazione nazionale per il controllo della combustione procede alla:

a) verifica di stabilità nelle condizioni di massima pressione e temperatura previste in esercizio, adottando i criteri per la determinazione della sollecitazione massima ammissibile di cui ai successivi articoli 4, 5 e 6 nonché i moduli di efficienza delle giunzioni saldate che sono specificati in base alle prescrizioni di cui al capo III del presente decreto.

(1) Pubblicato nella *Gazzetta Ufficiale* 2 gennaio 1973, n. 1.

Gli spessori previsti nel disegno di progetto, al netto dei sovraspessori imposti da esigenze di impiego e di lavorazione, non devono essere inferiori a quelli derivanti dalla verifica di cui al primo comma del presente punto *a)*.

Per gli apparecchi costruiti secondo le presenti norme e per i quali debbono essere effettuate modifiche o riparazioni, gli spessori esistenti, al netto dei sovraspessori imposti da esigenze di impiego, non devono essere inferiori a quelli risultanti dalla verifica di cui al primo comma del presente punto *a)*;

b) verifica di stabilità nelle condizioni che si producono durante le prove di pressione regolamentari, adottando i criteri per la determinazione della sollecitazione massima ammissibile di cui ai successivi articoli 4, 5 e 6 nonché i moduli di efficienza delle giunzioni saldate che sono specificati in base alle prescrizioni di cui al capo III del presente decreto.

Gli spessori previsti nel disegno di progetto, al netto dei sovraspessori imposti da esigenze di lavorazione, non devono essere inferiori a quelli risultanti dalla verifica di cui al primo comma del presente punto b). Per gli apparecchi costruiti secondo le norme del presente decreto e per i quali debbono essere effettuate modifiche o riparazioni, gli spessori non devono essere inferiori a quelli risultanti dalla verifica di cui al primo comma del presente punto *b)*.

Art. 4. – La sollecitazione massima ammissibile per ciascun tipo di materiale è determinata in relazione ai valori minimi delle caratteristiche meccaniche dei materiali ammessi per la costruzione degli apparecchi a pressione in base alle prescrizioni indicate nel Capo II del presente decreto, tenuto conto della variazione delle caratteristiche stesse, anche a lungo termine, in dipendenza della temperatura.

Art. 5. – Le determinazioni delle sollecitazioni massime ammissibili considerate al precedente articolo 4 devono essere effettuate applicando adeguati coefficienti di sicurezza; tali coefficienti non debbono, comunque, essere inferiori ai seguenti, salvo quanto disposto all'art. 6:

a) *Generatori di vapore:*

2,7 – sul carico di rottura alla temperatura ambiente per la verifica di stabilità nelle condizioni di esercizio;

2,1 – sul carico di rottura alla temperatura ambiente per la verifica di stabilità nelle condizioni di prova di pressione;

1,6 – sul carico di scorrimento viscoso o sul carico di snervamento alla temperatura di esercizio per la verifica di stabilità nelle condizioni di esercizio;

1,25 – sul carico di snervamento alla temperatura ambiente per la verifica di stabilità nelle condizioni di prova di pressione.

La temperatura di progetto dei generatori di vapore sarà assunta non inferiore a 250 °C.

b) *Recipienti di vapore o gas:*

2,0 – sul carico di rottura alla temperatura ambiente per la verifica di stabilità nelle condizioni di esercizio;

1,5 – sul carico di scorrimento viscoso o sul carico di snervamento alla temperatura di esercizio per la verifica di stabilità nelle condizioni di esercizio;

1,1 – sul carico di snervamento alla temperatura ambiente per la verifica di stabilità nelle condizioni di prova di pressione.

c) *Apparecchi costruiti in ghisa grigia:*

8 – sul carico di rottura alla temperatura ambiente per la verifica di stabilità nelle condizioni di esercizio. Tale valore può essere ridotto a 6,5 qualora venga effettuata una ricottura di distensione;

3,5 – sul carico di rottura alla temperatura ambiente per la verifica di stabilità nelle condizioni di prova di pressione.

d) *Apparecchi costruiti in ghisa speciale (sferoidale o simili):*

5,5 – sul carico di snervamento alla temperatura ambiente per la verifica di stabilità nelle condizioni di esercizio, riducibile fino a 4 in funzione del valore dell'allungamento percentuale della ghisa nella prova di trazione. Tali valori possono essere ridotti, rispettivamente, a 4,5 e 3 qualora venga effettuata una ricottura di distensione;

2,5 – sul carico di snervamento a temperatura ambiente per la verifica di stabilità nelle condizioni di prova di pressione. Tale valore è riducibile a 1,5 in funzione del valore dell'allungamento percentuale della ghisa nella prova di trazione.

e) *Apparecchi costruiti in rame e sue leghe ed in alluminio e sue leghe:*

4 – sul carico di rottura a temperatura ambiente per la verifica di stabilità nelle condizioni di esercizio;

2,5 – sul carico di rottura a temperatura ambiente per la verifica di stabilità nelle condizioni di prova di pressione.

Per membrature ed apparecchi ottenuti per fusione, esclusa la ghisa, i coefficienti di sicurezza previsti nel presente articolo devono essere maggiorati del 20%.

Art. 6. – L'associazione nazionale per il controllo della combustione, su conforme parere del consiglio tecnico, può ammettere la riduzione, sino ad un massimo del 10% dei coefficienti di sicurezza di cui al precedente art. 5 previsti per la verifica di stabilità nelle condizioni di esercizio, quando si tratti di adottare, innovando, materiali speciali ovvero più affinati metodi di calcolo o particolari controlli.

Art. 7. – Gli apparecchi, di cui al presente decreto per i quali, in relazione a particolari forme costruttive o materiali adottati, non esista, a giudizio dell'Associazione nazionale per il controllo della combustione, la possibilità di ottenere una adeguata valutazione delle condizioni di stabilità mediante il

calcolo, devono essere sottoposti a prove sperimentali intese a verificarne il coefficiente di sicurezza globale mediante prove di pressione su campione spinte fino a rottura, oppure a determinare l'effettivo stato tensionale mediante verifiche estensimetriche o simili.

Capo II – Disposizioni per l'impiego dei materiali nella costruzione e riparazione degli apparecchi a pressione

Art. 8. – Nella progettazione di generatori di vapore, di recipienti di vapore o gas e di apparecchi a pressione in genere soggetti alle norme di cui al regio decreto 12 maggio 1927, n. 824, si deve prevedere l'impiego di materiali aventi caratteristiche chimiche o tecnologiche idonee alle condizioni di esercizio degli apparecchi medesimi, tenendo conto delle esigenze della sicurezza per l'incolumità delle persone.

Sono considerati rispondenti a quanto previsto nel presente articolo gli acciai al carbonio o legati in getti, laminati, fucinati, trafilati o simili, le ghise, il rame e sue leghe, l'alluminio e sue leghe, il nichel e sue leghe, il titanio ed altri materiali, purché impiegati secondo le indicazioni fornite dall'Associazione nazionale per il controllo della combustione, su conforme parere del consiglio tecnico, con la specificazione della denominazione corrente, dei valori delle caratteristiche chimiche e meccaniche, nonché dei limiti inferiori e superiori delle temperature di impiego.

Art. 9. – Nella costruzione di apparecchi a pressione devono essere impiegati i materiali previsti nel progetto e devono essere adottati procedimenti di lavorazione e trattamenti termici tali da non compromettere l'idoneità dei materiali stessi allo specifico uso.

Art. 10. – I materiali da impiegare debbono essere di nota provenienza. A tal fine ciascun semilavorato deve essere idoneamente identificato a cura del fabbricante il quale, per ciascuno dei predetti semilavorati, deve rilasciare apposita certificazione.

Art. 11. – Per l'osservanza di quanto previsto al precedente articolo, per fabbricante del materiale devesi intendere, nel caso di lamiere, chi ha provveduto alla elaborazione del semilavorato eseguendo il ciclo di produzione, e, nel caso di altri semilavorati, chi ha provveduto alla fabbricazione degli stessi. In tale ultimo caso, le certificazioni rilasciate dal fabbricante devono riportare altresì il nominativo di chi ha provveduto alla produzione del materiale.

Art. 12. – Le prove sui materiali da eseguire ai sensi dell'art. 11 del regio decreto 12 maggio 1927, n. 824, devono essere effettuate presso i laboratori dell'Associazione nazionale per il controllo della combustione o presso altri laboratori riconosciuti, alla presenza di un tecnico dell'associazione medesima, salvo quanto disposto in materia di esoneri in esecuzione dell'art. 5 dello stesso regio decreto n. 824.

Art. 13. – I materiali sottoposti a prove alla presenza di un tecnico dell'Associazione nazionale per il controllo della combustione sono contraddistinti con il marchio ufficiale dell'associazione stessa.

La punzonatura del marchio, nel caso di suddivisione di un semilavorato, deve essere riportata su ogni singola parte.

Art. 14. – Per i materiali non soggetti alle prove alla presenza di un tecnico dell'Associazione nazionale per il controllo della combustione, il riporto del numero di identificazione deve essere eseguito a cura del costruttore dello apparecchio, il quale imprime un marchio preventivamente notificato all'Associazione nazionale per il controllo della combustione.

Art. 15. – Qualora nella costruzione dell'apparecchio siano previsti procedimenti di lavorazione o trattamenti termici che alterino le caratteristiche originarie dei materiali in modo tale che possa esserne pregiudicato l'impiego, devono essere effettuate prove aggiuntive atte a verificare che le caratteristiche meccaniche e tecnologiche degli stessi non siano state compromesse.

Capo III – Disposizioni per l'impiego della saldatura nella costruzione e riparazione degli apparecchi a pressione

Art. 16. – Il costruttore o il riparatore dei generatori, dei recipienti di vapore o di gas e di apparecchi a pressione in genere soggetti alle norme di cui al regio decreto 12 maggio 1927, n. 824, deve attenersi alle regole di buona pratica costruttiva impiegando saldatori, procedimenti, attrezzature e materiali idonei in relazione ai progressi tecnologici della specifica materia. A tale scopo devono essere impiegati elettrodi o procedimenti di saldatura riconosciuti idonei dall'Associazione nazionale per il controllo della combustione e saldatori qualificati.

Art. 17. – Nella progettazione degli apparecchi di cui al precedente articolo, si deve tener conto della presenza di giunzioni saldate introducendo nelle calcolazioni moduli di efficienza i cui valori sono specificati dall'Associazione nazionale per il controllo della combustione, su conforme parere del consiglio tecnico, in relazione ai tipi di giunto, ai controlli ed ai trattamenti termici previsti.

Art. 18. – L'Associazione nazionale per il controllo della combustione in sede di esame del progetto, prescrive, dandone comunicazione agli interessati ai sensi del secondo comma dell'art. 2 del presente decreto, quali controlli sulle giunzioni saldate debbono essere eseguiti direttamente alla presenza dei propri agenti tecnici e quali debbono essere documentati a cura e sotto la responsabilità del costruttore o del riparatore.

Capo IV – Disposizioni comuni ai capi precedenti

Art. 19. – Quando le presenti norme non siano in tutto o in parte tecnicamente applicabili agli apparecchi a pressione in quanto costruiti con materiali speciali od aventi caratteristiche particolari costrut-

tive o funzionali, devono essere adottate idonee misure sostitutive di sicurezza approvate, a seguito di istanza documentata, dalla Associazione nazionale per il controllo della combustione, su conforme parere del consiglio tecnico.

Art. 20. – L'Associazione nazionale per il controllo della combustione, su conforme parere del consiglio tecnico, emana le specificazioni tecniche applicative del presente decreto.

Art. 21. – Agli apparecchi a pressione che prima della pubblicazione del presente decreto siano stati già sottoposti dall'Associazione nazionale per il controllo della combustione alle prove e verifiche stabilite dalle disposizioni a tale data in vigore, possono continuare ad applicarsi le disposizioni medesime.

Art. 22. – Il presente decreto entrerà in vigore centottanta giorni dopo la sua pubblicazione.

Art. 23. – A partire dalla data di entrata in vigore del presente decreto sono abrogate le disposizioni contenute nei decreti ministeriali 1° dicembre 1927; 27 agosto 1931; 20 agosto 1933, limitatamente agli articoli 2, lettera *c)* e punti da 1) a 8) inclusi, e 5; 22 ottobre 1935, limitatamente agli articoli 5 e 6.

REGOLE TECNICHE

ELENCO DELLE DISPOSIZIONI CONTENUTE NEL CAPITOLO VSR.0.

Regola VSR.0.1.: *Scopi e limiti della normativa*

1. Le presenti disposizioni, emanate in attuazione del D.M. 21 novembre 1972 concernente la costruzione degli apparecchi a pressione, specificano le regole per la verifica della stabilità che sono di pertinenza dell'ISPESL.

Restano fermi in ogni caso gli adempimenti che, in base alle disposizioni in vigore, sono di spettanza del progettista e del costruttore.

2. Le presenti norme si applicano ai recipienti di vapore d'acqua, di vapori diversi dal vapore di acqua, di gas compressi liquefatti o disciolti, agli apparecchi per la preparazione rapida del caffè, ai generatori di acetilene, alle bombole fisse di capacità superiore ad 80 litri e nei limiti di cui all'art. 34 del D.M. 21 maggio 1974, ai generatori di vapore a sorgente termica diversa dal fuoco.

Si applicano altresì ai recipienti contenenti liquidi surriscaldati di cui al Titolo I, Capo I, del D.M. 1° dicembre 1975.

3. Qualsiasi modifica della struttura originaria, della pressione e/o temperatura di esercizio da apportare ad un apparecchio già costruito, che possa variarne le condizioni di stabilità, va considerata come «nuova costruzione» e richiede la verifica della sola parte modificata nonché delle parti eventualmente influenzate dalla modifica stessa, applicando le presenti norme.

4. Le presenti norme sono destinate a coprire le soluzioni costruttive di uso più corrente. Soluzioni diverse sono accettabili subordinatamente all'osservanza di quanto previsto al punto 5. della regola VSR.0.3.

Regola VSR.0.2.: *Modalità di presentazione del progetto*

1. Secondo i disposti degli artt. 45 e 54 del regolamento approvato con R.D. 12 maggio 1927, n. 824 e dell'art. 2 del D.M. 21 novembre 1972 relativi agli obblighi di denuncia e di verifiche di costruzione e riparazione, il costruttore o riparatore deve presentare all'ISPESL la denuncia di costruzione o riparazione compilata secondo il fac-simile appresso riportato.

1.1. La denuncia di costruzione o riparazione deve essere presentata, nel caso di apparecchi costruiti in Italia, alla Sezione ISPESL nella cui giurisdizione territoriale ha sede la ditta cui compete la denuncia e, nel caso di apparecchi da fabbricarsi totalmente o prevalentemente all'estero, al Dipartimento Centrale Omologazione dell'ISPESL in Roma.

È facoltà della ditta richiedente, qualora ricorrano gli estremi, allegare alla denuncia od inserire nei disegni di progetto:

– domanda di esonero dall'obbligo della presenza dei tecnici dell'ISPESL all'esecuzione delle prove meccaniche sui materiali a norma dell'art. 32 del D.M. 21 maggio 1974;

– domanda, ai sensi dell'art. 50 del D.M. maggio 1974, di delega ad Enti Esteri riconosciuti ad effettuare le verifiche e prove prescritte in sede di costruzione.

1.2. Alla denuncia di costruzione o riparazione deve essere allegato il relativo progetto, firmato dal progettista abilitato secondo le disposizioni in vigore, al fine di accertare che in sede di progettazione venga data, da parte del costruttore e/o riparatore, tramite il progettista, completa attuazione del disposto dell'art. 1 del D.M. 22 novembre 1972:

1.2.1. Dalla documentazione di progetto devono risultare in modo chiaro ed esauriente le calcolazioni eseguite attestanti che il progettista si sia attenuto, nel dimensionamento delle membrature strutturali dell'apparecchio, alle norme di cui al D.M. 21 novembre 72 e sue specificazioni tecniche applicative anche nei riguardi di quanto previsto dall'art. 1 del Decreto medesimo, tenendo conto in particolare delle condizioni di carico diverse dalla pressione e temperatura.

Le calcolazioni da allegare, chiare ed esaurienti ad esclusivo giudizio del progettista, devono essere eseguite in conformità di quanto previsto dall'art. 1 del

D.M. 21 novembre 1972 lasciando al giudizio del progettista stesso la valutazione dell'esistenza o meno di talune delle condizioni previste nel succitato articolo; e ciò anche per apparecchi inseriti in produzione di serie, per le quali frequentemente potrebbero non sussistere le condizioni necessarie per procedere a talune calcolazioni.

Qualora si verifichino oggettive difficoltà per la trasmissione dei calcoli, (per es. impiego di sistemi automatizzati di calcolo) può essere prodotta una relazione dalla quale risultino le ipotesi di carico assunte unitamente ai risultati delle calcolazioni.

Con riferimento all'art. 1 del D.M. 21 novembre 1972, per quanto attiene alle condizioni previste ai punti a), b), e c) il progettista deve sempre presentare in allegato ai disegni i calcoli di progetto o, in alternativa, esplicitare il sistema di calcolo applicato, i dati progettuali cui ha fatto riferimento ed i risultati del calcolo stesso e, per quanto attiene alle condizioni previste ai punti da d) a p) e ad altre eventuali condizioni non contemplate nei precedenti punti, il progettista deve dichiarare se, a suo esclusivo giudizio, le condizioni stesse siano o meno, singolarmente, da valutare ai fini della calcolazione.

In caso affermativo il progettista dovrà fornire i relativi calcoli di progetto ovvero, in alternativa, i dati progettuali (input) cui ha fatto riferimento ed i risultati numerici relativi.

Oltre alle teorie di calcolo possono essere indicati altri mezzi di indagine impiegati quali ad esempio prove estensimetriche, risultati di ricerche specifiche, ecc.

Può essere considerato sostitutivo dei detti risultati numerici la dichiarazione del progettista di risultato: «positivo» o «ininfluente» ai fini della stabilità.

In ogni caso ove i calcoli di progetto di cui alle condizioni previste dal citato art. 1 del D.M. 21 novembre 72 non vengano forniti unitamente al progetto deve essere esplicitamente precisato che i calcoli sviluppati sono depositati e disponibili per la constatazione di esistenza presso la sede della ditta costruttrice e/o riparatrice.

A titolo di esempio si riporta in appresso uno schema di dichiarazione.

Nel caso di sostituzione, o riparazione o nuovo impianto l'indagine può considerare le condizioni previste ai punti da d) a q) solo in quanto, a giudizio del progettista, la sostituzione, riparazione o nuovo impianto in questione siano interessati a tali condizioni.

1.2.2. La documentazione deve essere integrata da una dichiarazione del progettista nella quale lo stesso puntualizzi di aver tenuto conto nella stesura del progetto, delle condizioni previste dall'art. 1 del D.M. 21 novembre 72 e di essere a conoscenza che, in base a quanto previsto dall'art. 3 dello stesso decreto, l'ISPESL procede esclusivamente alle verifiche di stabilità nelle condizioni di massima pressione e temperatura previste in esercizio e nelle condizioni che si producono durante le prove di pressione.

La dichiarazione del progettista può anche contenere la precisazione che talune delle condizioni previste dal decreto non sono state considerate stante le caratteristiche e la destinazione dell'apparecchio.

1.2.3. La verifica di stabilità da parte dell'ISPESL deve essere effettuata esclusivamente con riferimento alle condizioni di pressione e temperatura, giusto il disposto degli artt. 3 e successivi del D.M. 21 novembre 1972.

A tal fine, da parte del progettista, deve essere curato apposito stralcio del progetto completo che consenta la predetta verifica, al quale devono essere allegati il disegno d'insieme del recipiente, dei suoi particolari costruttivi, nonché quelli relativi alle varie membrature, anche se fabbricate in officine diverse, ai fini dell'accertamento della rispondenza del progetto alle specificazioni tecniche applicative emanate dall'ISPESL ai sensi dell'art. 20 del citato D.M. 21 novembre 1972 e sue successive modifiche.

2. Dell'avvenuto deposito della documentazione attinente il progetto completo, l'ISPESL, in sede di rilascio di benestare alla costruzione, provvederà a dare attestazione alle ditte presentatrici con la specifica precisazione che l'esame dei progetti è stato effettuato limitatamente a quanto previsto dagli artt. 3 e successivi del citato D.M. 21 novembre 1972.

2.1. Le procedure previste nel precedente punto 1. si applicano sia agli apparecchi di nuova costruzione che agli apparecchi oggetto di riparazione, modifica o cambio d'uso per i quali, a giudizio del progettista, si renda comunque necessaria l'effettuazione di calcolazioni progettuali.

3. *Raccomandazioni relative ai disegni.*

3.1. Formato.

Formato minimo mm 210×297; disegni di maggiori dimensioni secondo la seguente tabella 1 (UNI 936).

Oltre ai formati di cui alla tabella 1 possono essere utilizzati i formati allungati ottenuti moltiplicando il lato minore di un formato base per un numero necessario di volte.

3.2. Piegatura.

I disegni devono essere normalmente piegati nelle dimensioni di mm 210×297 (formato A4).

3.3. Scala.

Le scale dei disegni d'insieme del recipiente e dei particolari costruttivi devono essere tali da consentire un'esatta valutazione di tutti gli elementi utili ai fini dell'esame del progetto.

La scala minima dei disegni di insieme di apparecchi o di loro particolari in relazione alla dimensione maggiore è la seguente:

fino a 2 m	1:10;
oltre 2 fino a 5 m	1:25;
oltre 5 fino a 20 m	1:50;
oltre 20 m	1:100.

3.4. Quote.

Quote espresse in mm atte a definire dimensionalmente l'apparecchio nelle sue membrature e in tutti i particolari costruttivi o necessari ai fini del calcolo, comprese le posizioni delle linee di saldatura.

Le parti non a pressione devono essere ugualmente quotate almeno nelle dimensioni principali.

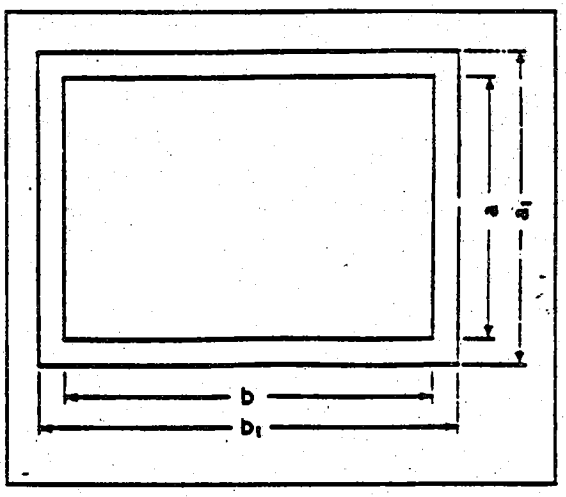


Tabella 1

Indicazione per la designazione	Fogli rifilati		Fogli non rifilati	
	a mm	b mm	a1 minimo mm	b1 minimo mm
A0	841	1189	880	1230
A1	594	841	625	880
A2	420	594	450	625
A3	297	420	330	450
A4	210	297	240	330

4. Una copia dei disegni di progetto del recipiente e di ogni eventuale allegato deve essere firmata dal progettista abilitato secondo le disposizioni in vigore.

4.1. Il disegno d'insieme deve riportare, a partire dall'angolo inferiore destro, i dati sottoelencati (vedere anche i prospetti da 1 a 4):

a) il nominativo e la sede del costruttore o del riparatore;

b) il numero distintivo del disegno e delle eventuali revisioni e la data di compilazione dello stesso;

c) l'indicazione di riferimento, tecnologica od industriale, atta a consentire l'individuazione del recipiente;

d) l'eventuale nominativo della ditta committente, il numero di commessa e l'eventuale località di destinazione del recipiente;

e) il nominativo, la qualifica del progettista e relativa firma redatta per esteso e leggibile; il tecnico progettista deve essere abilitato ai sensi del D.M. 21 novembre 1972;

f) il tipo di fluido, le pressioni di progetto e di prova e le temperature di progetto, così come definite al punto 3. della regola VSR.0.3.; per i recipienti costituiti da separate camere che contengono due o più fluidi devono indicarsi le pressioni e le temperature di progetto delle camere; anche nel caso di pressioni inferiori a quella atmosferica deve essere indicato il valore relativo;

g) la capacità totale in litri del recipiente e, per recipienti a più camere, anche la capacità delle singole camere; per i recipienti contenenti vapore o gas in pressione a contatto diretto con sostanze liquide, la capacità è da intendere come la somma della capacità occupata dal vapore o gas più quella del liquido;

h) l'eventuale sovrappressione dovuta al battente di liquido;

i) gli eventuali sovraspessori di corrosione e loro durata, quando prevista inferiore ai 10 anni;

l) la classe di appartenenza secondo l'art. 3 del D.M. 21 maggio 1974 e, per i recipienti di classe a), anche la portata massima di fluido adducibile o generabile ai fini del dimensionamento delle valvole di sicurezza;

m) l'elenco dei materiali previsti per le singole membrature, distinti con le relative sigle di identificazione e con le tolleranze previste sugli spessori nominali delle membrature.

Qualora siano previsti materiali non contemplati nelle specificazioni tecniche applicative dell'ISPESL, la documentazione di progetto deve includere quanto richiesto nella Raccolta M per la preventiva approvazione dei materiali stessi;

n) la specifica delle giunzioni saldate con l'indicazione del gruppo e della categoria di appartenenza, del procedimento di saldatura e dei controlli previsti.

Per i procedimenti di saldatura non previsti dalla Tabella S4.0.1. al progetto devono essere allegate anche le specifiche del procedimento per la preventiva approvazione del metodo proposto;

o) l'elenco degli eventuali trattamenti termici parziali e finali e relative temperature e tempi.

Il disegno d'insieme deve inoltre riportare:

- l'elenco delle connessioni con l'indicazione dei relativi servizi; nel caso che debbano essere installati dispositivi a frattura prestabilita a protezione di apparecchi la cui temperatura di progetto è maggiore di 50° C, deve essere indicata anche la pressione di rottura dei dispositivi a temperatura ambiente;

- l'elenco delle aperture d'ispezione;

- la posizione della targa di costruzione.

5. Su ogni altro disegno devono essere riportati almeno i dati di cui alle lettere a), b) ed e). In caso di utilizzo di flange, sui disegni relativi devono essere riportate le dimensioni geometriche utili per il calcolo di verifica, il tipo di flangia, la natura e le dimensioni della guarnizione con i valori quantitativi di m e y (rif. Cap. VSR.1.U. Tabella 1.U.3.2.) ed i dati relativi ai bulloni o tiranti.

FAC-SIMILE

All'Istituto Superiore per la Prevenzione
e la Sicurezza del Lavoro
Sede periferica .....

OGGETTO: *Denuncia di* $\frac{\textit{costruzione}(1)}{\textit{riparazione}}$ *di apparecchio a pressione e relativa richiesta di esame del progetto.*

La Ditta sottoscritta ..... con sede in ..... ai sensi degli artt. 45 e 54 del R.D. 12 maggio 1927, n. 824 e dell'art. 2 del D.M. 21 novembre 1972 e successive modifiche, chiede che venga esaminato il progetto allegato relativo all'apparecchio a pressione in calce descritto, che verrà costruito presso ..... di ..... - ..... (2).

La ditta sottoscritta medesima assume pertanto la figura di $\frac{\text{costruttore}}{\text{riparazione}}$ del predetto apparecchio ai sensi del R.D. 12 maggio 1927, n. 824 e del D.M. 21 novembre 1972.

DATI DESCRITTIVI DELL'APPARECCHIO

– Tipo e sigla dell'apparecchio .....

– Pressione di progetto .....

– Temperatura di progetto .....

– Capacità o Potenzialità .....

– Fluido [Natura del fluido ..... / Stato fisico del fluido ☐ Gas ☐ Vapore d'acqua ☐ Liquido ☐]

– N. del disegno .....

– Progettista .....

– Altri elementi distintivi (3) .....

TIMBRO DELLA DITTA E FIRMA LEGGIBILE
DEL RESPONSABILE

.....

(1) Oppure di modifica (vedi VSR.0.1. punto 3)

(2) Qualora sia impossibile precisare gli estremi relativi all'officina ove l'apparecchio sarà costituito, il Costruttore può fare esplicita riserva di comunicare gli stessi non appena siano definiti.

(3) Per i recipienti di cui al D.M. 21 maggio 1974 indicare la classe di appartenenza secondo l'art. 3.

SCHEMA DI DICHIARAZIONE

In ottemperanza a quanto previsto nell'art. 1 del D.M. 21 novembre 1972 e successive modifiche, il sottoindicato progettista dichiara che è stato tenuto conto delle condizioni di carico come di seguito indicato:

Condizioni	Valori di progetto (1)	Norme italiane e/o estere ovvero teorie di calcolo (2)	Conclusioni (3)
a) pressione interna			
b) pressione esterna			
c) temperature			
d) carico idrostatico massimo del fluido contenuto in condizioni di esercizio			
e) peso dell'apparecchio e del suo contenuto			
f) carichi massimi previsti per le condizioni di prova			
g) carichi dovuti al vento			
h) eventuali sovraccarichi dovuti alle sollecitazioni sismiche secondo le modalità previste dagli appositi regolamenti			
i) sollecitazioni localizzate dovute ai supporti, irrigidimenti, strutture interne e tubazioni di collegamento			
l) carichi dinamici			
m) momenti flettenti dovuti all'eccentricità dell'asse neutro dell'apparecchio rispetto al centro di azione della pressione			
n) differenza di temperatura e differenza dei coefficienti di dilatazione termica dei materiali adottati			
o) fluttuazioni di pressione e temperatura			
p) possibilità di corrosioni o erosioni durante l'esercizio			
q) altre eventuali condizioni			

Si dichiara inoltre che la documentazione relativa alle condizioni di calcolo da d) a q) è conservata e disponibile presso la Ditta ..... per la constatazione di esistenza da parte dell'Ente di controllo.

Si dichiara inoltre di essere a conoscenza che, in base a quanto previsto dall'art. 3 del D.M. 21 novembre 1972, l'ISPESL procede esclusivamente alle verifiche di stabilità nelle condizioni di massima pressione e temperatura previste in esercizio e nelle condizioni che si producono durante la prova di pressione.

(Timbro e firma)

---

(1) Il valore di progetto deve essere indicato anche se la condizione è ininfluente. Se esso non è definibile indicare "non definibile". Se la condizione non si verifica si indicherà "non esistente".

(2) Oltre alle teorie di calcolo possono essere indicati altri mezzi di indagine impiegati quali ad esempio prove estensimetriche, risultati di ricerche specifiche, ecc. Per le condizioni di cui ai punti a), b) e c) il progettista deve sempre presentare i calcoli di progetto o, in alternativa, esplicitare il sistema di calcolo applicato, i dati progettuali cui ha fatto riferimento ed i risultati del calcolo stesso.

(3) Indicare *positivo* a fronte di accertamento di stabilità
ininfluente stante le caratteristiche e l'utilizzazione dell'apparecchio

PROSPETTO N. 1

DATI GENERALI

PROGETTISTA ..... FIRMA .....
(nome, qualifica)

IMPIANTO DI DESTINAZIONE .....

CLIENTE .....COMMESSA .....

DENOMINAZIONE DELL'APPARECCHIO .....

SIGLA ..... N. FABBRICA .....

NOMINATIVO E SEDE DEL COSTRUTTORE .....

REV.	DATA	DESCRIZIONE	VISTO
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....

REVISIONI

QUOTE IN mm .....

SCALA .....

DISEGNO N. .....

DATA .....

PROSPETTO N. 2

DATI DI PROGETTO

(1) Come riferita nel D.M. 21 maggio 1974; corrisponde alla «pressione di bollo» nel R.D. 12 maggio 1927, n. 824, e alla «pressione massima di esercizio» nel D.M. 21 novembre 1972 e successive modifiche.

Collaudo ISPESL				
Portata massima del fluido adducibile o generabile per i soli recipienti di classe a) oppure per generatori con sorgente termica diversa dal fuoco kg/h				
Classe di appartenenza secondo la Raccolta E				
Ovalizzazione massima; Appiattimento %				
Corrosione	Spessore	mm		
	Durata prevedibile	anni		
Fluido	Natura			
	Stato fisico			
	Peso specifico			
Capacità		l		
Pressione di prova idraulica		bar		
Temperatura di esercizio (facoltativo)		°C		
Temperatura di progetto		°C		
Pressione di esercizio (facoltativo)		bar		
Pressione di progetto (1)		l		
CAMERA				

PROSPETTO N. 3

DISTINTA MATERIALI

(1) Flange: indicare la pressione nominale, il diametro nominale e l'unificazione; per flange di unificazione italiana PN, DN, UNI

(2) Tolleranze di fabbricazione

Tolleranze di lavorazione

Stiramento %

Procedura di formatura

Guarnizioni: indicare il tipo e le caratteristiche b, m, y

Compensatori di dilatazione: indicare n. cicli, E_t, w_t

Piastre tubiere: indicare α_m, θ_m, α_t, θ_t

.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Posizione	N. pezzi	Tipo di semilavorato	Descrizione e dimensioni in mm (1)	Sigla di unificazione o Marca del fabbricante	Collaudo ISPESL	NOTE secondo la Raccolta «VSR» (2)

PROSPETTO N. 4

SALDATURE

Si dichiara che il progetto, nel suo insieme e nei suoi particolari costruttivi

è / non è conforme alle disposizioni della Raccolta S.

Le difformità esistenti sono:

per i seguenti motivi:

Posizione	Tipo	Preparazione dei lembi	Procedimento di saldatura	Elettrodi	Qualifica saldatori	Eventuale appartenenza a Gruppo della Raccolta «S»	Modulo di efficienza	Trattamenti termici	Controlli non distruttivi	Talloni	Eventuale qualifica del procedimento di saldatura		NOTE
											N.	Data	
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

Regola VSR.0.3.: *Verifiche di stabilità*

1. La verifica di stabilità delle varie membrature costituenti un recipiente a pressione deve essere eseguita, secondo le regole previste nelle presenti specificazioni tecniche, nelle condizioni di pressione e temperatura di progetto e nelle condizioni che si producono durante la prova di pressione.

Qualora un recipiente sia sottoposto in esercizio a pressione massima e/o temperatura diverse da zona a zona, per ciascuna zona la verifica può essere eseguita con riferimento alle condizioni di pressione e temperatura previste in progetto per la zona considerata.

2. Le formule di cui alla presente Raccolta consentono di ricavare il valore minimo, necessario per la stabilità, dello spessore della membratura considerata (spessore di calcolo) introducendo nelle formule stesse le misure geometriche risultanti dal disegno di progetto.

3. Ai fini della verifica della stabilità di cui al precedente punto 1., si intende con riferimento alle singole membrature:

a) per pressione nelle condizioni di progetto: il valore della pressione di progetto [1], aumentato del valore corrispondente all'eventuale carico idrostatico, con approssimazione per eccesso alla prima cifra decimale, se è espresso in bar o Kg/cm^2, e per eccesso alla seconda cifra decimale se è espresso in MPa o N/mm^2;

b) per temperatura nelle condizioni di progetto: il valore massimo e/o minimo della temperatura media di parete, in relazione alle più gravose condizioni di progetto;

c) per pressione nelle condizioni di prova: il valore di prova, aumentato della pressione idrostatica nel caso che la prova sia effettuata con liquido, con approssimazione per eccesso alla prima cifra decimale se è espresso in bar o Kg/cm^2, e per eccesso alla seconda cifra decimale se è espresso in MPa o N/mm^2;

d) per temperatura ambiente: la temperatura compresa nell'intervallo da -10 a +50C, estremi inclusi, sempreché in tale intervallo non siano tabellati valori di caratteristiche meccaniche a caldo. In caso contrario, la temperatura ambiente è quella compresa nell'intervallo tra -10° C ed il primo valore di temperatura a caldo escluso.

4. Per recipienti a pressione funzionanti a temperatura inferiore a -10° C devono essere evitate forme che comportino concentrazione di sollecitazioni pericolose per la rottura fragile, quali quelle che si possono verificare per discontinuità dei profili, per raccordi non progressivi, per spigoli vivi dei rinforzi o supporti, ovvero per particolari tipi e posizioni dei giunti.

5. Per i recipienti o le membrature per i quali nella presente Raccolta non siano previste specifiche disposizioni per la verifica della stabilità ai sensi dell'art. 3 del D.M. 21 novembre 1972, il costruttore deve presentare un'adeguata e dettagliata analisi di calcolo oppure deve sottoporli a prove sperimentali atte a determinarne l'effettivo stato tensionale od a prove di pressione su campione intese a verificarne il coefficiente di sicurezza globale. Nel caso di presentazione di analisi di calcolo, nel Capitolo VSR.7.A. «Categorizzazione delle sollecitazioni» sono riportati dei criteri generali per la valutazione delle sollecitazioni e la determinazione dei relativi limiti ammissibili.

5.1. Qualora l'ISPESL ritenga per la complessità o della struttura o del calcolo presentato o perché sussistano perplessità sulla validità del metodo usato di dover integrare l'indagine teorica proposta con prove sperimentali, dovrà essere seguita la seguente procedura:

– esecuzione di rilievi diretti mediante estensimetri o comparatori atti ad accertare l'effettivo stato tensionale della membratura, in particolare nei punti che risultano più sollecitati;

– confronto dei valori delle sollecitazioni ricavati dalle prove con quelli risultanti dall'analisi di calcolo proposta dal progettista.

Nel caso in cui i valori delle sollecitazioni determinate con il calcolo proposto risultino sostanzialmente corrispondenti e comunque superiori a quelli determinati sperimentalmente, il sistema di calcolo può essere considerato attendibile o cautelativo; in tale ipotesi esso può essere esteso anche a strutture costruttivamente simili a quelle sottoposte a prova sperimentale.

Nel caso in cui i valori delle sollecitazioni determinate con il calcolo proposto risultino inferiori a quelli determinati sperimentalmente, l'analisi di calcolo non può essere accettata.

Regola VSR.0.4.: *Misure geometriche da introdurre nelle formule di verifica. Sovraspessore di corrosione*

1. Le misure geometriche da introdurre nelle formule di verifica sono quelle nominali risultanti dal disegno di progetto, al netto delle tolleranze di fabbricazione e degli eventuali sovraspessori imposti da esigenze di impiego o di lavorazione.

Ove non diversamente specificato nelle regole di calcolo, anche i vari coefficienti e parametri che risultano funzione degli spessori devono essere valutati con riferimento ai valori degli spessori al netto delle tolleranze e degli eventuali sovraspessori.

Per quanto riguarda i diametri od i raggi di membrature cilindriche, nelle formule deve essere introdotto il valore nominale risultante dal disegno, che sarà quello esterno o interno in funzione dei procedimento di fabbricazione o di lavorazione della membratura stessa.

1.1. Se la parete è formata da una lamiera placcata, lo spessore del metallo di placcatura non è utilizzabile nella verifica di stabilità.

(1) Come riferita nel D.M. 21 maggio 1974; corrisponde alla «pressione di bollo» nel R.D. 12 Maggio 1927, n. 824, e alla «pressione massima di esercizio» nel D.M. 21 novembre 1972.

2. Nella verifica di stabilita nelle condizioni di prova idraulica di costruzione o di primo impianto, l'eventuale sovraspessore di corrosione deve essere considerato concorrente agli effetti della stabilità.

Regola VSR.0.5.: *Prescrizioni di carattere generale*

1. Le disposizioni della presente Raccolta devono essere applicate unitamente a quelle di cui alle Raccolte M ed S.

Regola VSR.0.6.: *Simboli*

1. Nelle regole della presente Raccolta sono impiegati i simboli sottoriportati, con il significato per ciascuno di essi specificato, oltre quelli indicati nelle singole regole:

D_e diametro esterno, in mm;

D_i diametro interno, in mm;

E_t modulo di elasticità del materiale, in MPa, alla temperatura media di parete t dichiarata in progetto. I valori di E_t si assumono come segue:

Acciai non legati, debolmente legati, e legati al Ni fino al 3.5%								
t	°C	20	100	200	300	400	500	600
E_t	MPa	205940	201036	191230	181423	171616	161810	152003
Acciai inossidabili austenitici								
t	°C	20	100	200	300	400	500	600
E_t	MPa	196133	190249	181423	172597	162790	154945	147100

f sollecitazione massima ammissibile, in MPa, riferita alle condizioni di progetto;

f_i sollecitazione massima ammissibile, in MPa, riferita alle condizioni di prova idraulica;

p pressione alle condizioni di progetto, in MPa(1);

p_i pressione alle condizioni di prova idraulica, in MPa(1);

R_m valore minimo tabellare della resistenza a trazione alla temperatura ambiente, in MPa;

$R_{p(0,2)}$ valore tabellare del carico unitario di scostamento dalla proporzionalità allo 0,2% nella prova di trazione alla temperatura ambiente, in MPa;

$R_{p(0,2)/t}$ valore tabellare del carico unitario di scostamento dalla proporzionalità allo 0,2% nella prova di trazione alla temperatura media di parete t dichiarata in progetto, in MPa;

$R_{p(1)}$ valore tabellare del carico unitario di scostamento dalla proporzionalità all'1% nella prova di trazione alla temperatura ambiente, in MPa;

$R_{p(1)/t}$ valore tabellare del carico unitario di scostamento dalla proporzionalità all'1% nella prova di trazione alla temperatura media di parete t dichiarata in progetto, in MPa;

R_s valore tabellare del carico unitario di snervamento nella prova di trazione alla temperatura ambiente, in MPa;

s spessore di parete, in mm, come definito nella regola VSR.0.4.;

s_0 spessore minimo di calcolo, in mm;

u valore percentuale dell'ovalizzazione per i corpi cilindrici e sferici

$$u = \frac{2(D_{i\max} - D_{i\min})}{D_{i\max} + D_{i\min}} \cdot 100$$

z modulo di efficienza delle sezioni di indebolimento, quali giunzioni saldate, linee di forature;

$\sigma_{R/x/t}$ valore tabellare del carico unitario di rottura per scorrimento viscoso dopo x ore alla temperatura media di parete t dichiarata in progetto, in MPa;

ν coefficiente di Poisson.

(1) Le pressioni vengono normalmente espresse in bar (1 MPa = 10 bar); tuttavia nella redazione dei calcoli di progetto è conveniente esprimerle in MPa, cioè nella stessa unità delle sollecitazioni, in modo da rendere tutte le formule di calcolo valide per qualunque sistema congruente di unità di misura. Il valore della pressione deve essere approssimato per eccesso alla seconda cifra decimale se viene espresso in MPa o N/mm^2.

ELENCO DELLE REGOLE CONTENUTE NEL CAPITOLO VSR.1.A.

Regola VSR.1.A.1. - *Campo di applicazione*

1. Le norme di cui ai capitoli seguenti si applicano agli apparecchi di cui alla Regola VSR.0.1. punto 2, da realizzare con acciai non legati, debolmente legati e legati, esclusi gli acciai inossidabili austentici.

ELENCO DELLE REGOLE CONTENUTE NEL CAPITOLO VSR.1.B.

Regola VSR.1.B.1.: *Valori delle caratteristiche meccaniche da assumere per la determinazione della sollecitazione massima ammissibile*

1. I valori delle caratteristiche meccaniche da assumere per la determinazione della sollecitazione massima ammissibile devono essere desunti come specificato nella disposizione M.1.B.2. della Raccolta M.

Regola VSR.1.B.2.: *Sollecitazione massima ammissibile alle condizioni di progetto per laminati, fucinati, trafilati*

1. La sollecitazione massima ammissibile f nella verifica alle condizioni di progetto viene determinata applicando adeguati coefficienti di sicurezza alle caratteristiche meccaniche del materiale alla temperatura media di parete t, dichiarata in progetto, della membratura considerata.

2. *Sollecitazione massima ammissibile per temperatura media di parete da -10°C fino a 50°C.*

2.1. Per gli acciai soggetti a temperatura media di parete da -10°C fino a 50°C, si assume quale sollecitazione massima ammissibile:

2.1.1. $$f = \frac{R_s}{1,5}$$

Per gli acciai per i quali R_s non è determinabile, si assume:

2.1.2. $$f = \frac{R_{p(0,2)}}{1,5}$$

2.2. Qualora nella saldatura di acciai legati al nichel si impieghi materiale di apporto eterogeneo rispetto al materiale base, avente carico unitario di snervamento inferiore a quello del materiale base stesso, nella formula 2.1.1. va introdotto il valore minimo del carico unitario di snervamento del materiale depositato per saldatura, dichiarato dal costruttore in relazione al procedimento ed alla tecnica di saldatura da lui adottati: tale valore non deve essere in ogni caso superiore a quello risultante dalla prova di trazione eseguita, in sede di qualifica del procedimento di saldatura, su provetta longitudinale ricavata in zona fusa.

2.3. In ogni caso il carico ammissibile non dovrà superare il valore di $f = R_m/2,4$.

2.3.1. Questo valore potrà tuttavia essere elevato a $f = R_m/2$ alle seguenti condizioni:

a) la temperatura minima di progetto dell'apparecchio non sia inferiore a -50°C;

b) siano eseguite prove di resilienza sul materiale base, in particolare:

– il prelievo dei saggi sia effettuato nella direzione di maggiore deformazione plastica del semilavorato,

– sia effettuata la prova di resilienza in sede di collaudo ISPESL su tre provette di tipo ISO-V alla minima temperatura di impiego,

– il valore minimo medio dei tre valori della resilienza non risulti minore di 40, 33, 26 e 13 joule rispettivamente per provini di 10, 7.5, 5 e 2.5 mm di spessore;

c) in presenza di procedimento di saldatura siano eseguite prove di resilienza in zona termicamente alterata, in particolare:

– sia effettuata la prova di resilienza in sede di omologazione ISPESL del procedimento di saldatura su tre provette di tipo ISO-V alla minima temperatura di impiego;

– il valore minimo medio dei tre valori della resilienza non risulti minore di 28, 23, 18 e 9 joule rispettivamente per provini di 10, 7.5, 5 e 2.5 mm di spessore;

d) soltanto uno dei tre valori di resilienza del punto *b)* e/o del punto *c)* può risultare minore del valore minimo medio ammesso, ma non minore del 70% di tale valore. Se la terna di prove di resilienza non dà i risultati richiesti, le prove devono essere ripetute su un'altra terna con le medesime modalità della prima. La media dei sei valori non deve essere inferiore al valore medio prescritto e non si devono avere più di due valori inferiori a tale valore medio, di cui solo uno può essere inferiore al valore minimo previsto per ogni singola provetta;

e) il progettista presenti una completa analisi degli sforzi in accordo a quanto previsto in VSR.7.A, eventualmente integrata da una corrispondente analisi a fatica se il numero totale di cicli previsto nella vita dell'apparecchio supera il valore di 500;

f) tutte le saldature longitudinali e circonferenziali vengano esaminate secondo i criteri previsti dalla Raccolta S per la prima categoria di saldatura in accordo al gruppo di appartenenza secondo la stessa Raccolta S.

3. *Sollecitazione massima ammissibile per temperatura media di parete superiore a 50°C.*

3.1. Per gli acciai soggetti a temperatura media di parete t superiore a 50°C, si assume quale sollecitazione massima ammissibile il valore:

3.1.1. $$f = \frac{R_{p(0,2)/t}}{1,5}$$

3.2. In ogni caso il carico ammissibile non dovrà superare il valore di $f = R_m/2,4$.

3.2.1. Questo valore minimo potrà tuttavia essere elevato a $f = R_m/2$ alle stesse condizioni indicate al precedente punto 2.3.1.

3.3. Per gli acciai soggetti a temperatura media di parete t alla quale si verificano apprezzabili fenomeni di scorrimento viscoso, si assume quale sollecitazione massima ammissibile il minore dei valori ricavati dalle due formule 3.3.1. e 3.3.2 oppure dalle due formule 3.3.1. e 3.3.3. a scelta del progettista in funzione del massimo numero di ore di funzionamento previste per l'apparecchio:

3.3.1. $$f = \frac{R_{p(0,2)/t}}{1,5}$$

3.3.2. $$f = \frac{\sigma_{R/100.000/t}}{1,5}$$

3.3.3. $$f = \frac{\sigma_{R/200.000/t}}{1,25}$$

In mancanza di valori tabellari, il valore di $\sigma_{R/200.000/t}$ viene assunto pari a $\sigma_{R/100.000/t'}$, ove:

$$t' = a\,t + b$$

con:

$a = 1,012$; $b = 3,3$; t e t' espressi in gradi centigradi

Il valore di $R_{p(0,2)/t}$ non deve essere preso in considerazione nel campo di temperature in cui detto valore non è tabellato in quanto, già a temperature inferiori, risulta superiore a $\sigma_{R/100.000/t}$ (1).

Qualora, dopo la temperatura alla quale i valori di $R_{p(0,2)/t}$ non sono più tabellati, i valori di $\sigma_{R/T/t}$ risultino ancora più alti dell ultimo $R_{p(0,2)/t}$ tabellato, si deve estrapolare la curva ottenuta dai valori di $R_{p(0,2)/t}$ per le precedenti temperature fino alla temperatura in cui tale curva incontra la curva ottenuta dai valori di $\sigma_{R/T/t}$ per le temperature precedenti e successive. In tal modo per le temperature successive all'ultimo valore di $R_{p(0,2)/t}$ tabellato e fino alla temperatura del punto di incontro delle due curve si deve prendere il valore minore tra quelli delle due curve a parità di temperatura.

Il valore di $\sigma_{R/200.000/t}$ non può essere calcolato se il valore di t' supera il massimo valore di t a cui risulta tabellato $\sigma_{R/100.000/t}$.

4. *Interpolazione.*

4.1. Per valori di temperatura intermedi fra due valori tabellari di $R_{p(0,2)/t}$ o di $\sigma_{R/100.000/t}$, si assume il valore di $R_{p(0,2)/t}$ o di $\sigma_{R/100.000/t}$, ottenuto per interpolazione lineare.

4.2. Per temperatura di progetto superiore a 50°C ma inferiore alla temperatura per la quale è noto il primo valore tabellare di $R_{p(0,2)/t}$, il corrispondente valore di $R_{p(0,2)/t}$ si ottiene per interpolazione lineare tra R_s o $R_{p(0,2)}$ (assunto convenzionalmente come $R_{s/50}$ o $R_{p(0,2)/50}$) ed il primo valore tabellare noto di $R_{p(0,2)/t}$.

Regola VSR.1.B.3.: *Sollecitazione massima ammissibile alle condizioni di prova idraulica per laminati, fucinati, trafilati*

1. Nella verifica di stabilità alle condizioni di prova idraulica, si assume quale sollecitazione massima ammissibile:

1.1. $$f_t = \frac{R_s}{1,1}$$

Per i materiali per i quali R_s non è determinabile, si assume:

$$f_t = \frac{R_{p(0,2)}}{1,1}$$

2. *Corpi sferici.*

Nella verifica di stabilità alle condizioni di prova idraulica dei corpi sferici, di cui alle regole VSR.1.G.1. e VSR.1.H.4., si assume quale sollecitazione massima ammissibile, il valore dato dalla formula 1.1., introducendo al denominatore il valore 1,3 in luogo di 1,1.

(1) Vedi Circolare ISPESL 24 maggio 1989, n. 31/89.

3. *Recipienti a pressione costruiti con acciai legati al nichel.*

Qualora nella saldatura di recipienti a pressione costruiti con acciai legati al nichel si impieghi materiale di apporto eterogeneo rispetto al materiale base, avente carico unitario di snervamento inferiore a quello del materiale base stesso, nella formula 1.1. va introdotto il valore minimo del carico unitario di snervamento del materiale depositato per saldatura, dichiarato dal costruttore in relazione al procedimento ed alla tecnica di saldatura da lui adottati; il valore dichiarato del carico unitario di snervamento del materiale depositato per saldatura da introdurre nella formula 1.1. non deve essere in ogni caso superiore a quello risultante dalla prova di trazione eseguita, in sede di qualifica del procedimento di saldatura, su provetta longitudinale ricavata in zona fusa.

Regola VSR.1.B.4.: *Sollecitazione massima ammissibile per gli acciai in getti*

1. Per gli acciai in getti, la sollecitazione massima ammissibile nella verifica alle condizioni di progetto e nella verifica alle condizioni di prova idraulica deve essere determinata maggiorando del 20% i coefficienti di sicurezza stabiliti nelle regole VSR.1.B.2 e VSR.1.B.3.

Regola VSR.1.B.5.: *Sollecitazione massima ammissibile per la bulloneria*

1. Per la sollecitazione massima ammissibile nella verifica alle condizioni di progetto, oltre la regola VSR.1.B.2., devono anche essere soddisfatte le seguenti limitazioni:

a) acciai non legati (carichi sulla guarnizione calcolati a mezzo della tabella 1.U.3.2. del capitolo VSR.1.U.):

1.1. $$f_B \leq \frac{R_m}{4}$$

b) acciai debolmente legati e legati (carichi sulla guarnizione calcolati a mezzo della tabella 1.U.3.2. del capitolo VSR.1.U.):

1.2. $$f_B \leq \frac{R_m}{5}$$

$$f_B \leq \frac{R_s}{4} \quad \text{oppure} \quad f_B \leq \frac{R_{p(0,2)}}{4}$$

c) acciai debolmente legati e legati (calcolo dei carichi sulla guarnizione e modalità di serraggio dei bulloni secondo i criteri di cui alla Regola VSR.1.U.6.):

1.3.

– per $t \leq 50°C$ $\quad f_B \leq \frac{R_s}{3}$ oppure $f_B \leq \frac{R_{p(0,2)}}{3}$

– per $t > 50°C$ $\quad f_B \leq \frac{R_{p(0,2)/t}}{3}$

2. La sollecitazione massima ammissibile in condizioni di prova idraulica deve essere in ogni caso:

2.1. $$f_{Bi} = \frac{R_s}{1,5} \quad \text{oppure} \quad f_{Bi} = \frac{R_{p(0,2)}}{1,5}$$

3. La sollecitazione massima ammissibile f_{B0} in condizioni di serraggio a freddo della guarnizione va determinata con le stesse modalità previste per quella in condizioni di progetto, considerando però i valori delle caratteristiche meccaniche a temperatura ambiente.

Regola VSR.1.B.6.: *Sollecitazione massima ammissibile per temperatura media di parete inferiore a –10°C*

1. Per le membrature soggette a temperatura media di parete dichiarata in progetto inferiore a –10°C, nella verifica di stabilità alle condizioni di pressione alla minima temperatura di progetto, si assume quale sollecitazione massima ammissibile il valore a temperatura ambiente di cui alle regole VSR.1.B.2. punto 2., VSR.1.B.3., VSR.1.B.4. e VSR.1.B.5., salvo quanto previsto per impieghi particolari nel fascicolo M.14. della Raccolta M.

Regola VSR.1.B.7.: *Sollecitazione massima ammissibile per apparecchi di cui al 3° comma dell'art. 32 del D.M. 21 maggio 1974*

1. Per i materiali da impiegare nella costruzione di particolari tipi di apparecchi non rientranti fra quelli di tipo *a)* e di tipo *b)* definiti al primo comma dell'art. 32 del D.M. 21 maggio 1974, qualora per essi venga richiesto l'esonero previsto dall'art. 32 stesso, la sollecitazione massima ammissibile si assume in base alle pertinenti formule indicate nelle regole VSR.1.B.2., VSR.1.B.3., VSR.1.B.4. e VSR.1.B.5. nelle quali il coefficiente di sicurezza può variare in funzione delle condizioni espresse nel terzo comma del citato art. 32 del DM 21/5/74 e nei punti 3; 3.1; 3.2; 3.2.1 e 4 della Regola E.2.C.1 (prove sui materiali) della Raccolta E ediz. 79 dell'ex ANCC, nei cui testi «ANCC» va sostituito con «ISPESL».

Regola VSR.1.B.8.: *Sollecitazione massima ammissibile per apparecchi di cui all'art. 35 del D.M. 21 maggio 1974*

1. Nei limiti ed alle condizioni di cui all'art. 35 del D.M. 21 maggio 1974, la sollecitazione massima ammissibile per le condizioni di prova si assume in base alle pertinenti formule di cui alle regole VSR.1.B.3., VSR.1.B.4. e VSR.1.B.5. introducendo i coefficienti di sicurezza previsti per le condizioni di esercizio.

Per le modalità di esecuzione della prova pneumatica si fa riferimento alla Regola VSR. 1.G.2. (D.P.R. 5 agosto 1966 n. 961) punto 3.2.1. della presente Raccolta VSR.

ELENCO DELLE REGOLE CONTENUTE NEL CAPITOLO VSR.1.C.

VSR.1.C.1. - *Valori minimi ammessi degli spessori*

Regola VSR.1.C.1.: *Valori minimi ammessi degli spessori*

1. Lo spessore di una parete, al netto degli eventuali sovraspessori imposti da esigenze di impiego o di lavorazione, non deve essere inferiore ai seguenti minimi, salvo quanto stabilito ai successivi punti 2., 3. e 4. e per specifici tipi di membrature di cui alla presente Raccolta.

Eventuali tolleranze negative di fabbricazione dei semilavorati possono essere ammesse sugli spessori minimi appresso indicati, purché vengano considerate nei calcoli di stabilità e rientrino nei limiti ammessi dalle disposizioni per l'impiego dei materiali.

– Pareti ricavate da lamiera oppure da tubo per fasciami cilindrici:

acciai al C	3 mm
acciai debolmente legati e legati	2 mm

– Pareti ricavate per fusione:

acciai al C	6 mm
acciai debolmente legati e legati	5 mm

2. *Generatori di acetilene.*

Lo spessore di parete dei generatori di acetilene non deve essere inferiore a:

– 1,5 mm, per pressioni di progetto fino a 0,049 MPa;

– 2 mm, per pressioni di progetto superiori a 0,049 MPa e fino a 0,147 MPa.

3. *Vasi di espansione.*

Lo spessore di parete delle lamiere dei vasi di espansione non deve essere inferiore a 2 mm, per pressioni di progetto fino a 0,49 MPa e prodotto della pressione di progetto in MPa per il volume in litri non superiore a 98.

Per pressioni o prodotto della pressione per il volume superiori ai valori suindicati, lo spessore di parete non deve essere inferiore ai valori di cui al precedente punto 1.

4. *Serbatoi sferici.*

Lo spessore dell'involucro dei serbatoi sferici di cui al D.P.R. 5 agosto 1966, n. 961 non deve essere inferiore al valore minimo dato dalle formule:

– per lamiere di acciaio al C: $2,5 + (D_e/3000)$
– per lamiere di acciaio legato o debolmente legato: $1,5 + (D_e/3000)$

In ogni caso lo spessore non deve essere inferiore a 6 mm.

ELENCO DELLE REGOLE CONTENUTE NEL CAPITOLO VSR.1.D.

Regola VSR.1.D.1.: *Condizioni di applicazione*

1. Le regole di cui al presente capitolo VSR.1.D. si applicano per la verifica di stabilità dei fasciami cilindrici sottoposti a pressione interna per i quali:

a) il diametro esterno sia maggiore di 220 mm oppure qualunque sia il diametro esterno se vi sono fori o aperture;

b) le linee mediane dei tegoli, nel caso di fasciame costituito da tegoli di diverso spessore (fig. 1.D.1.), risultino, in corrispondenza dei giunti longitudinali, l'una quale prolungamento dell'altra, con uno scarto ammissibile pari al 10% dello spessore del tegolo maggiore;

c) il valore massimo dell'ovalizzazione u non sia superiore a:

1% per $s/D_i \geq 0,01$

1,5% per $s/D_i < 0,01$

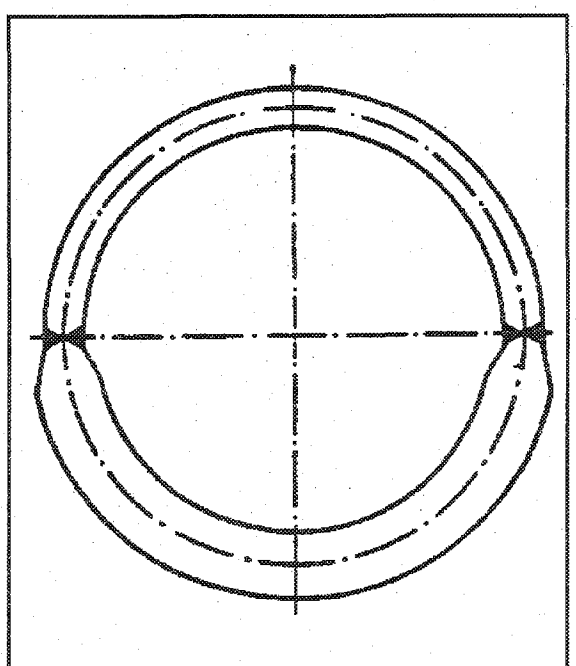


Figura 1.D.1. – Fasciame in 2 tegoli

Regola VSR.1.D.2.: *Verifica di stabilità*

1. Lo spessore s_0 dei fasciami cilindrici per i quali il rapporto p/fz oppure p/f è minore o uguale ai valori di cui alla tabella I, si determina con le seguenti formule:

1.1. $$s_0 = \frac{p \cdot D_e}{2 \cdot f \cdot z + p}$$

ovvero:

1.2. $$s_0 = \frac{p \cdot D_i}{2 \cdot f \cdot z - p}$$

La scelta di una delle due formule dipende dall'indicazione del diametro riportato nel disegno.

2. Lo spessore s_0 dei fasciami cilindrici per i quali il rapporto p/fz oppure p/f è maggiore dei valori riportati nella tabella I, si determina con le seguenti formule:

– per la verifica lungo una saldatura nelle condizioni di progetto:

2.1. $$s_0 = \frac{D_e}{2}\left(1 - \sqrt{\frac{fz - 1,333p}{fz}}\right)$$

ovvero:

2.2. $$s_0 = \frac{D_i}{2}\left(\sqrt{\frac{fz}{fz - 1,333p}} - 1\right)$$

– per la verifica lungo una saldatura nelle condizioni di prova idraulica:

$$2.3. \qquad s_0 = \frac{D_e}{2}\left(1 - \sqrt{\frac{f_i\, z - 1,818\, p_i}{f_i\, z}}\right)$$

ovvero:

$$2.4. \qquad s_0 = \frac{D_i}{2}\left(\sqrt{\frac{f_i\, z}{f_i\, z - 1,818\, p_i}} - 1\right)$$

– per la verifica in corrispondenza di forature nelle condizioni di progetto:

$$2.5. \qquad s_0 = \frac{D_e}{2}\left(1 - \sqrt{\frac{f\, z - 0,666\, p\,(1+z)}{f\, z + 0,666\, p\,(1-z)}}\right)$$

ovvero:

$$2.6. \qquad s_0 = \frac{D_i}{2}\left(\sqrt{\frac{f\, z + 0,666\, p\,(1-z)}{f\, z - 0,666\, p\,(1+z)}} - 1\right)$$

– per la verifica in corrispondenza di forature nelle condizioni di prova idraulica:

$$2.7. \qquad s_0 = \frac{D_e}{2}\left(1 - \sqrt{\frac{f_i\, z - 0,909\, p_i\,(1+z)}{f_i\, z + 0,909\, p_i\,(1-z)}}\right)$$

ovvero:

$$2.8. \qquad s_0 = \frac{D_i}{2}\left(\sqrt{\frac{f_i\, z + 0,909\, p_i\,(1-z)}{f_i\, z - 0,909\, p_i\,(1+z)}} - 1\right)$$

3. Nelle formule di cui al punto 1., il modulo di efficienza z deve essere introdotto con riferimento alle diverse sezioni di giunzioni saldate longitudinali o alle forature allineate quando considerate come linee di forature, assuendo il minore dei valori risultanti.

Nelle formule di cui al punto 2., deve essere introdotto il modulo di efficienza z pertinente alla verifica da eseguire.

Tabella I

Verifica lungo linee di saldatura		
Valori del modulo di efficienza	Valori massimi di p/fz che limitano la validità delle formule 1.1. e 1.2.	
z qualsiasi	nelle condizioni di progetto	nelle condizioni di prova
	0,449	0,0976
Verifica in corrispondenza di forature		
Valori del modulo di efficienza z (1)	Valori massimi di p/f che limitano la validità delle formule 1.1. e 1.2.	
	nelle condizioni di progetto (2)	nelle condizioni di prova (3)
1,00	0,449	0,0976
0,95	0,445	0,0974
0,090	0,440	0,0971
0,85	0,435	0,0967
0,80	0,428	0,0964
0,75	0,421	0,0959
0,70	0,413	0,0953
0,65	0,404	0,0946
0,60	0,393	0,0938
0,55	0,380	0,0928
0,50	0,366	0,0916
0,45	0,349	0,0899
0,40	0,330	0,0879
0,35	0,307	0,0852
0,30	0,281	0,0815

(1) Per valori intermedi del modulo di efficienza il valore di p/f si ottiene direttamente dalle formule (2) e (3)

(2) $z\left(\sqrt{4z^2+2} - 2z\right)$

(3) $z\left(\sqrt{4z^2+0,4} - 2z\right)$

Regola VSR.1.D.3.: *Moduli di efficienza*

1. I moduli di efficienza z per le giunzioni saldate, le condizioni tecniche da soddisfare e le limitazioni da rispettare sono quelli prescritti nelle specificazioni tecniche applicative del D.M. 21 novembre 1972 per la costruzione saldata (Raccolta S).

2. I moduli di efficienza z per forature allineate considerate come linee di forature possono essere determinati secondo quanto stabilito nel Capitolo VSG.1.D. della raccolta VSG.

3. Qualora le forature vengano considerate come previsto alle regole del capitolo VSR.1.K. il valore del modulo di efficienza relativo alle forature è $z = 1$.

ELENCO DELLE REGOLE CONTENUTE NEL CAPITOLO VSR.1.E.

Regola VSR.1.E.1.: *Simboli*

1. Nelle regole del presente capitolo VSR.1.E. sono impiegati i seguenti simboli in aggiunta a quelli riportati nelle regole successive ed a quelli definiti alla regola VSR.0.6.:

C coefficiente di forma da ricavare dal diagramma in figura 1.E.2.1. e dalle tabelle VSR.1.E.1., VSR.1.E.2. e VSR.1.E.3.;

C_0 coefficiente di forma da ricavare dalla retta inferiore del diagramma in fig. 1.E.2.1.;

r raggio di curvatura del profilo di intradosso al raccordo con la parte cilindrica, in mm,

R raggio di curvatura del profilo di intradosso, al centro del fondo, in mm;

H altezza del fondo misurata sulla superficie esterna, a partire dal piano ove ha inizio il raccordo tra la parte curva e quella cilindrica, in mm.

Regola VSR.1.E.2.: *Fondi curvi pieni sottoposti a pressione sulla superficie di intradosso*

1. Lo spessore s_0 di un fondo curvo pieno, sottoposto a pressione sulla superficie di intradosso, avente base circolare, di profilo meridiano circolare, ellittico e paraellittico (o torosferico), è dato dal maggior valore risultante dalle seguenti formule:

1.1. $$s_0 = \frac{p \cdot D_e}{2 \cdot f} \cdot C$$

1.2. $$s_0 = \frac{p \cdot D_e}{2 \cdot f \cdot z} \cdot C_0$$

1.3. $$s_0 = \frac{p \cdot R}{2 \cdot f \cdot z - 0,5p}$$

Nel caso di fondi eseguiti in un sol pezzo è sufficiente l'applicazione della formula 1.1. per fondi ellittici e paraellittici, mentre per fondi a profilo meridiano circolare è necessario applicare, oltre la formula 1.1., la formula 1.3. introducendo il modulo di efficienza z che compete al giunto saldato di attacco del fondo al corpo cilindrico.

2. I valori del coefficiente di forma C da introdurre nella formula 1.1. si ricavano dal diagramma in figura 1.E.2.1. in funzione di H/De e di s/D_e ovvero, per valori di $H/D_e \leq 0,334$, dalla tabella VSR.1.E.1.

I valori del coefficiente di forma C_0 da introdurre nella formula 1.2. si ricavano dalla retta inferiore del diagramma in figura 1.E.2.1. in funzione di H/D_e.

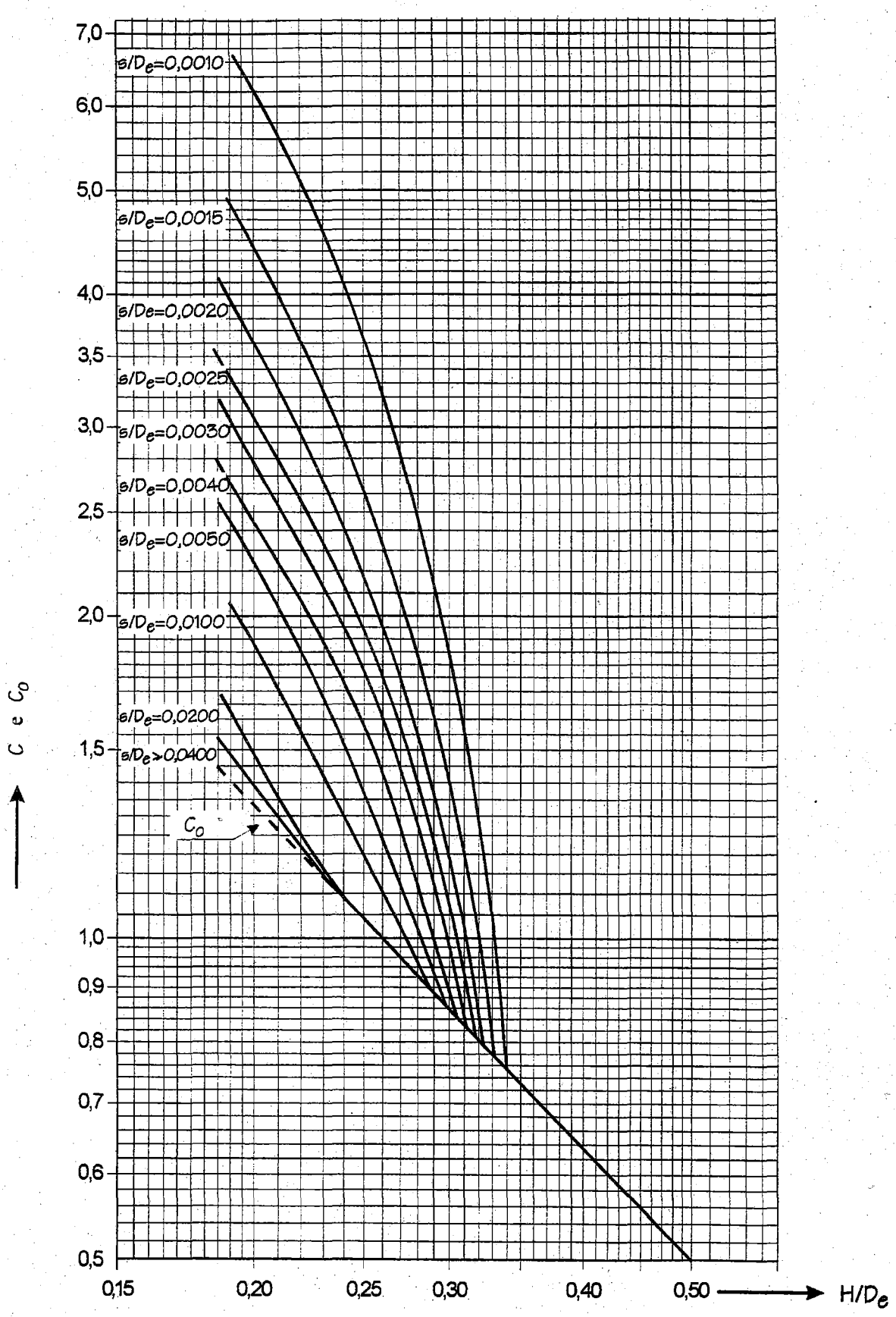


Figura 1.E.2.1. – Coefficienti di forma C e C_o dei fondi curvi

Tabella VSR.1.E.1.

H/D_e	VALORI DEL COEFFICIENTE C									
	s/D_e									
	0.04	0.02	0.01	0.005	0.004	0.003	0.0025	0.0020	0.0015	0.0010
0.180	1.47	1.61	2.00	2.40	2.65	2.98	3.30	3.87	4.82	6.73
0.181	1.46	1.60	1.99	2.38	2.63	2.96	3.27	3.84	4.78	6.66
0.182	1.45	1.59	1.97	2.36	2.60	2.94	3.25	3.81	4.74	6.61
0.183	1.44	1.57	1.96	2.34	2.57	2.92	3.22	3.77	4.70	6.54
0.184	1.43	1.56	1.94	2.32	2.54	2.89	3.19	3.74	4.65	6.47
0.185	1.42	1.55	1.93	2.30	2.52	2.86	3.16	3.70	4.60	6.40
0.186	1.41	1.54	1.91	2.28	2.50	2.84	3.14	3.68	4.57	6.35
0.187	1.40	1.52	1.90	2.26	2.48	2.82	3.11	3.64	4.52	6.28
0.188	1.39	1.51	1.88	2.24	2.46	2.79	3.08	3.60	4.47	6.21
0.189	1.38	1.50	1.87	2.22	2.44	2.77	3.05	3.57	4.43	6.14
0.190	1.38	1.48	1.85	2.20	2.42	2.75	3.03	3.54	4.39	6.10
0.191	1.37	1.46	1.83	2.18	2.40	2.73	3.00	3.50	4.35	6.03
0.192	1.36	1.45	1.81	2.16	2.38	2.70	2.97	3.47	4.30	5.96
0.193	1.35	1.44	1.80	2.14	2.36	2.67	2.94	3.43	4.25	5.89
0.194	1.34	1.43	1.79	2.12	2.34	2.64	2.92	3.41	4.22	5.84
0.195	1.33	1.42	1.77	2.10	2.32	2.62	2.90	3.38	4.19	5.80
0.196	1.32	1.41	1.76	2.08	2.30	2.60	2.88	3.36	4.15	5.75
0.197	1.32	1.40	1.74	2.06	2.28	2.58	2.86	3.33	4.12	5.70
0.198	1.31	1.39	1.72	2.04	2.26	2.56	2.84	3.31	4.09	5.65
0.199	1.30	1.38	1.71	2.02	2.24	2.54	2.82	3.28	4.06	5.61
0.200	1.30	1.36	1.70	2.00	2.22	2.52	2.79	3.25	4.01	5.54
0.201	1.29	1.35	1.69	1.99	2.20	2.50	2.76	3.21	3.96	5.47
0.202	1.28	1.34	1.68	1.97	2.19	2.48	2.74	3.19	3.93	5.42
0.203	1.27	1.33	1.67	1.95	2.17	2.46	2.72	3.16	3.90	5.38
0.204	1.26	1.32	1.65	1.93	2.15	2.44	2.70	3.14	3.87	5.33
0.205	1.26	1.31	1.64	1.92	2.13	2.42	2.67	3.10	3.82	5.26
0.206	1.25	1.30	1.62	1.90	2.11	2.40	2.65	3.08	3.79	5.22
0.207	1.24	1.29	1.61	1.89	2.09	2.38	2.63	3.05	3.76	5.17
0.208	1.23	1.28	1.60	1.87	2.07	2.36	2.61	3.03	3.73	5.12
0.209	1.22	1.27	1.58	1.86	2.05	2.34	2.58	2.99	3.68	5.06
0.210	1.22	1.26	1.57	1.84	2.03	2.32	2.56	2.97	3.65	5.01
0.211	1.21	1.25	1.57	1.83	2.01	2.31	2.54	2.94	3.62	4.96
0.212	1.20	1.24	1.55	1.81	2.00	2.29	2.52	2.92	3.59	4.92
0.213	1.20	1.23	1.53	1.79	1.98	2.27	2.49	2.88	3.54	4.85
0.214	1.19	1.22	1.51	1.77	1.97	2.25	2.47	2.86	3.51	4.81
0.215	1.19	1.21	1.50	1.76	1.95	2.23	2.45	2.84	3.48	4.76
0.216	1.18	1.20	1.49	1.75	1.94	2.22	2.43	2.81	3.45	4.71
0.217	1.18	1.19	1.47	1.73	1.92	2.20	2.41	2.79	3.41	4.67
0.218	1.17	1.19	1.46	1.71	1.90	2.19	2.39	2.76	3.38	4.62
0.219	1.16	1.18	1.44	1.70	1.89	2.17	2.37	2.74	3.35	4.58
0.220	1.16	1.17	1.43	1.68	1.87	2.15	2.35	2.71	3.32	4.53
0.221	1.15	1.16	1.42	1.67	1.86	2.14	2.34	2.70	3.30	4.51
0.222	1.15	1.16	1.41	1.65	1.85	2.21	2.32	2.68	3.27	4.46
0.223	1.14	1.15	1.39	1.63	1.84	2.10	2.30	2.65	3.24	4.42
0.224	1.14	1.14	1.38	1.62	1.82	2.08	2.28	2.63	3.21	4.37
0.225	1.13	1.13	1.37	1.60	1.80	2.06	2.26	2.60	3.18	4.33
0.226	1.12	1.12	1.36	1.58	1.79	2.04	2.24	2.58	3.15	4.28
0.227	1.12	1.12	1.35	1.57	1.77	2.02	2.22	2.56	3.12	4.24
0.228	1.11	1.11	1.34	1.55	1.75	2.00	2.20	2.53	3.09	4.19
0.229	1.10	1.10	1.33	1.54	1.73	1.98	2.18	2.51	3.06	4.15
0.230	1.09	1.09	1.32	1.53	1.72	1.97	2.16	2.48	3.02	4.10
0.231	1.09	1.09	1.31	1.52	1.71	1.96	2.15	2.47	3.01	4.08
0.232	1.08	1.08	1.30	1.51	1.70	1.94	2.13	2.45	2.98	4.04
0.233	1.08	1.08	1.29	1.49	1.68	1.93	2.11	2.42	2.95	3.99
0,234	1.07	1.07	1.28	1.48	1.66	1.91	2.09	2.40	2.92	3.95
0.235	1.07	1.07	1.27	1.46	1.65	1.89	2.07	2.38	2.89	3.90
0.236	1.06	1.07	1.26	1.45	1.64	1.88	2.06	2.36	2.87	3.88
0.237	1.05	1.06	1.25	1.44	1.62	1.86	2.04	2.34	2.84	3.84

continua %

Segue: **Tabella VSR.1.E.1.**

H/D_e	VALORI DEL COEFFICIENTE C									
	s/D_e									
	0.04	0.02	0.01	0.005	0.004	0.003	0.0025	0.0020	0.0015	0.0010
0.238	1.05	1.06	1.24	1.43	1.61	1.84	2.02	2.32	2.81	3.79
0.239	1.04	1.05	1.23	1.41	1.59	1.83	2.00	2.29	2.78	3.75
0.240	1.04	1.05	1.22	1.40	1.58	1.81	1.98	2.27	2.75	3.70
0.241	1.04	1.04	1.21	1.39	1.57	1.80	1.96	2.25	2.72	3.66
0.242	1.03	1.03	1.20	1.37	1.55	1.78	1.94	2.22	2.69	3.62
0.243	1.03	1.03	1.19	1.36	1.54	1.76	1.92	2.20	2.65	3.57
0.244	1.02	1.02	1.18	1.34	1.53	1.74	1.90	2.17	2.62	3.53
0.245	1.02	1.02	1.17	1.33	1.51	1.72	1.88	2.15	2.59	3.49
0.246	1.01	1.01	1.16	1.32	1.50	1.71	1.86	2.12	2.56	3.44
0.247	1.01	1.01	1.15	1.31	1.49	1.69	1.84	2.10	2.53	3.40
0.248	1.01	1.01	1.14	1.30	1.47	1.67	1.82	2.08	2.50	3.36
0.249	1.00	1.00	1.13	1.29	1.46	1.66	1.80	2.05	2.47	3.31
0.250	1.00	1.00	1.12	1.27	1.44	1.64	1.78	2.03	2.44	3.27
0.251	0.99	0.99	1.11	1.26	1.43	1.63	1.77	2.02	2.43	3.25
0.252	0.99	0.99	1.10	1.25	1.42	1.61	1.75	1.99	2.40	3.20
0.253	0.99	0.99	1.09	1.24	1.40	1.59	1.73	1.97	2.37	3.16
0.254	0.98	0.98	1.09	1.23	1.39	1.57	1.72	1.96	2.35	3.14
0.255	0.98	0.98	1.08	1.22	1.37	1.55	1.70	1.93	2.32	3.10
0.256	0.97	0.97	1.07	1.21	1.36	1.54	1.69	1.92	2.30	3.07
0.257	0.97	0.97	1.06	1.20	1.34	1.52	1.67	1.90	2.27	3.03
0.258	0.97	0.97	1.05	1.18	1.33	1.50	1.65	1.87	2.24	2.99
0.259	0.96	0.96	1.04	1.17	1.32	1.49	1.63	1.85	2.21	2.95
0.260	0.96	0.96	1.03	1.16	1.30	1.47	1.61	1.83	2.18	2.90
0.261	0.96	0.96	1.02	1.15	1.29	1.46	1.60	1.81	2.17	2.88
0.262	0.96	0.96	1.01	1.14	1.28	1.44	1.58	1.79	2.14	2.84
0.263	0.95	0.95	1.00	1.13	1.27	1.43	1.56	1.77	2.11	2.80
0.264	0.95	0.95	0.99	1.12	1.25	1.41	1.55	1.75	2.09	2.77
0.265	0.95	0.95	0.99	1.11	1.24	1.40	1.53	1.73	2.06	2.73
0.266	0.94	0.94	0.98	1.10	1.23	1.39	1.52	1.72	2.05	2.71
0.267	0.94	0.94	0.98	1.09	1.21	1.37	1.50	1.69	2.02	2.67
0.268	0.93	0.93	0.97	1.08	1.20	1.35	1.48	1.67	1.99	2.63
0.269	0.93	0.93	0.97	1.07	1.19	1.34	1.46	1.65	1.96	2.59
0.270	0.93	0.93	0.96	1.06	1.18	1.32	1.44	1.62	1.93	2.54
0.271	0.92	0.92	0.95	1.05	1.16	1.30	1.43	1.61	1.92	2.52
0.272	0.92	0.92	0.94	1.04	1.15	1.28	1.41	1.59	1.89	2.48
0.273	0.92	0.92	0.94	1.03	1.14	1.26	1.39	1.57	1.86	2.44
0.274	0.91	0.91	0.93	1.02	1.13	1.25	1.37	1.54	1.83	2.40
0.275	0.91	0.91	0.93	1.02	1.12	1.24	1.36	1.53	1.81	2.38
0.276	0.91	0.91	0.92	1.01	1.11	1.23	1.34	1.51	1.78	2.34
0.277	0.90	0.90	0.91	1.00	1.10	1.22	1.33	1.49	1.77	2.31
0.278	0.90	0.90	0.90	0.99	1.09	1.20	1.31	1.47	1.74	2.27
0.279	0.90	0.90	0.90	0.98	1.07	1.19	1.29	1.45	1.71	2.23
0.280	0.89	0.89	0.89	0.97	1.06	1.17	1.27	1.42	1.68	2.19
0.281	0.89	0.89	0.89	0.96	1.05	1.15	1.26	1.41	1.67	2.17
0.282	0.88	0.88	0.88	0.95	1.04	1.13	1.24	1.39	1.64	2.13
0.283	0.88	0.88	0.88	0.94	1.03	1.12	1.22	1.37	1.61	2.09
0.284	0.87	0.87	0.87	0.94	1.02	1.11	1.21	1.35	1.59	2.07
0.285	0.87	0.87	0.87	0.93	1.01	1.10	1.20	1.34	1.58	2.05
0.286	0.87	0.87	0.87	0.92	1.00	1.09	1.19	1.33	1.56	2.03
0.287	0.86	0.86	0.86	0.91	0.99	1.07	1.17	1.31	1.53	1.99
0.288	0.86	0.86	0.86	0.90	0.98	1.06	1.16	1.29	1.52	1.97
0.289	0.86	0.86	0.86	0.89	0.97	1.05	1.14	1.27	1.49	1.93
0.290	0.86	0.86	0.86	0.88	0.96	1.04	1.13	1.26	1.47	1.91
0.291	0.86	0.86	0.86	0.88	0.95	1.03	1.12	1.25	1.46	1.89
0.292	0.85	0.85	0.85	0.87	0.94	1.02	1.10	1.23	1.43	1.85
0.293	0.85	0.85	0.85	0.87	0.93	1.00	1.09	1.21	1.42	1.83

continua %

Segue: **Tabella VSR.1.E.1.**

H/D_e	VALORI DEL COEFFICIENTE C									
	s/D_e									
	0.04	0.02	0.01	0.005	0.004	0.003	0.0025	0.0020	0.0015	0.0010
0.294	0.85	0.85	0.85	0.86	0.92	0.99	1.07	1.19	1.39	1.79
0.295	0.85	0.85	0.85	0.86	0.91	0.98	1.06	1.18	1.37	1.77
0.296	0.85	0.85	0.85	0.86	0.90	0.97	1.05	1.17	1.36	1.75
0.297	0.84	0.84	0.84	0.85	0.89	0.96	1.03	1.14	1.33	1.71
0.298	0.84	0.84	0.84	0.85	0.88	0.95	1.02	1.13	1.32	1.69
0.299	0.84	0.84	0.84	0.84	0.87	0.94	1.00	1.11	1.29	1.65
0.300	0.84	0.84	0.84	0.84	0.86	0.93	0.99	1.10	1.27	1.63
0.301	0.83	0.83	0.83	0.83	0.85	0.92	0.98	1.09	1.26	1.61
0.302	0.83	0.83	0.83	0.83	0.84	0.91	0.97	1.07	1.25	1.59
0.303	0.83	0.83	0.83	0.83	0.84	0.89	0.95	1.05	1.22	1.55
0.304	0.82	0.82	0.82	0.82	0.83	0.88	0.93	1.03	1.19	1.51
0.305	0.82	0.82	0.82	0.82	0.83	0.87	0.92	1.02	1.17	1.49
0.306	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.86	0.91	1.00	1.16	1.47
0.307	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.85	0.90	0.99	1.15	1.45
0.308	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.84	0.89	0.98	1.13	1.43
0.309	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.82	0.87	0.96	1.10	1.40
0.310	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.86	0.95	1.09	1.38
0.311	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.84	0.92	1.06	1.34
0.312	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.82	0.90	1.03	1.30
0.313	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.81	0.89	1.02	1.28
0.314	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.80	0.88	1.00	1.26
0.315	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.87	0.99	1.24
0.316	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.86	0.95	1.20
0.317	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.84	0.94	1.18
0.318	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.82	0.93	1.15
0.319	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.80	0.92	1.13
0.320	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.79	0.90	1.11
0.321	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.79	0.88	1.09
0.322	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.87	1.07
0.323	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.85	1.04
0.324	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.84	1.00
0.325	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.82	0.98
0.326	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.80	0.95
0.327	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.78	0.92
0.328	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.90
0.329	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.88
0.330	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.86
0.331	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.85
0.332	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.82
0.333	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.79
0.334	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75

Tabella VSR.1.E.2.

$H/D_e = 0,20$	VALORI DEL COEFFICIENTE C							
s/D_e	d/D_e							
	0	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60
0.0010	5.540	5.954	6.453	7.167				
0.0015	4.010	4.412	4.828	5.412	6.002			
0.0020	3.250	3.636	4.008	4.517	5.041			
0.0025	2.790	3.160	3.505	3.964	4.442	5.365		
0.0030	2.520	2.876	3.200	3.622	4.066	4.927		
0.0040	2.220	2.550	2.845	3.215	3.612	4.373	5.165	
0.0050	2.000	2.308	2.583	2.916	3.279	3.964	4.635	5.318
0.0060	1.940	2.230	2.488	2.794	3.131	3.756	4.353	4.974
0.0070	1.880	2.155	2.399	2.681	2.999	3.574	4.124	4.694

continua %

Segue: **Tabella VSR.1.E.2.**

$H/D_e = 0,20$	VALORI DEL COEFFICIENTE C							
s/D_e	d/D_e							
	0	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60
0.0080	1.820	2.082	2.313	2.577	2.877	3.413	3.929	4.457
0.0090	1.760	2.010	2.230	2.478	2.764	3.265	3.757	4.250
0.0100	1.700	1.940	2.150	2.383	2.657	3.129	3.601	4.066
0.0200	1.360	1.545	1.683	1.827	2.021	2.341	2.713	3.033
0.0300	1.330	1.497	1.593	1.688	1.835	2.095	2.401	2.673
0.0400	1.300	1.477	1.532	1.596	1.709	1.934	2.186	2.435
0.0500	1.300	1.482	1.537	1.561	1.646	1.847	2.055	2.287
0.0600	1.300	1.485	1.540	1.542	1.603	1.784	1.958	2.175
0.0700	1.300	1.488	1.543	1.545	1.576	1.738	1.885	2.087
0.0800	1.300	1.493	1.548	1.550	1.558	1.704	1.831	2.016
0.0900	1.300	1.498	1.553	1.555	1.549	1.677	1.792	1.958
0.1000	1.300	1.504	1.559	1.561	1.546	1.657	1.763	1.910

Tabella VSR.1.E.3.

$H/D_e = 0,25$	VALORI DEL COEFFICIENTE C								
s/D_e	d/D_e								
	0	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60
0.0010	3.270	3.724	4.448	5.196	5.929				
0.0015	2.440	2.833	3.436	4.031	4.604	5.162			
0.0020	2.030	2.385	2.914	3.419	3.909	4.420	5.524		
0.0025	1.780	2.108	2.586	3.032	3.470	3.941	4.901	5.903	
0.0030	1.640	1.947	2.388	2.790	3.192	3.630	4.488	5.391	5.951
0.0040	1.440	1.717	2.103	2.446	2.803	3.186	3.908	4.670	5.256
0.0050	1.272	1.526	1.875	2.179	2.507	2.849	3.483	4.147	4.726
0.0060	1.240	1.476	1.798	2.073	2.381	2.690	3.263	3.855	4.416
0.0070	1.210	1.432	1.731	1.985	2.278	2.559	3.087	3.625	4.164
0.0080	1.180	1.389	1.671	1.908	2.189	2.447	2.939	3.434	3.950
0.0090	1.150	1.348	1.615	1.838	2.109	2.348	2.812	3.271	3.766
0.0100	1.120	1.309	1.563	1.774	2.036	2.259	2.699	3.129	3.604
0.0200	1.000	1.256	1.303	1.456	1.665	1.802	2.125	2.414	2.758
0.0300	1.000	1.277	1.277	1.353	1.531	1.639	1.913	2.152	2.436
0.0400	1.000	1.284	1.284	1.282	1.438	1.537	1.780	1.994	2.246
0.0500	1.000	1.287	1.287	1.278	1.365	1.465	1.685	1.883	2.110
0.0600	1.000	1.287	1.287	1.278	1.307	1.412	1.613	1.798	2.008
0.0700	1.000	1.287	1.287	1.278	1.278	1.371	1.556	1.732	1.927
0.0800	1.000	1.287	1.287	1.278	1.278	1.340	1.511	1.677	1.857
0.0900	1.000	1.287	1.287	1.278	1.278	1.315	1.474	1.630	1.796
0.1000	1.000	1.287	1.287	1.278	1.278	1.295	1.443	1.589	1.741

3. Per i fondi curvi a profilo ellittico o paraellittico, se vi sono aperture all'esterno dell'area compresa nella circonferenza di diametro $0,8D_e$, nei limiti da $H/D_e = 0,20$ a $H/D_e = 0,25$, si può tener conto di queste utilizzando la formula 1.1. in cui il valore di C si ricava per interpolazione dei valori del coefficiente C dalle tabelle VSR.1.E.2. e VSR.1.E.3. rispettivamente per $H/D_e = 0,20$ e $H/D_e = 0,25$, in funzione di s/D_e e d/D_e, dove d è il diametro interno del tronchetto.

Se il rapporto H/D_e è superiore al limite $0,25$ il metodo è ancora applicabile utilizzando i valori di $H/D_e = 0,25$, mentre se il rapporto H/D_e è inferiore al limite 0,20 il metodo è ancora applicabile fino al valore H/D_e = 0,18 utilizzando i valori di H/D_e = 0,20. Se il rapporto H/D_e è inferiore a $0,18$ il metodo non è più applicabile.

Sono ammessi solo tronchetti il cui asse è parallelo all'asse del fondo o il cui asse è coincidente con il raggio di curvatura del fondo al centro della foratura.

Se la congiungente i centri di due aperture adiacenti non è interamente compresa entro $0,8D_e$, la minima distanza tra i bordi delle aperture deve essere non inferiore alla semisomma dei diametri delle aperture stesse.

4. È ammessa l'interpolazione lineare dei valori di C sia all'interno di ciascuna tabella, sia tra tabella e tabella.

5. Le formule 1.1., 1.2. e 1.3. si applicano ai fondi curvi a base circolare aventi:

a) profilo meridiano semicircolare, per il quale lo spessore minimo di calcolo è $\leq 0,16D_e$;

b) profilo meridiano ellittico (figura 1.E.2.2.), per il quale sia $H \geq 0,2D_e$ e $s \leq 0,08D_e$;

c) profilo meridiano paraellittico (o torosferico) (figura 1.E.2.3.) rispondente alle condizioni seguenti:

$$s \leq 0,08\,D_e \qquad r \geq 0,1\,D_e$$
$$r \geq 3\,s \qquad R \leq D_e$$
$$H \geq 0,18\,D_e$$

Nelle condizioni di cui alle lettere *b)* e *c)*, s è lo spessore nominale.

Qualora il rapporto H/D_e, per i fondi a profilo paraellittico, sia compreso fra 0,18 e 0,20 è ammesso un valore di R fino ad $1,2D_e$.

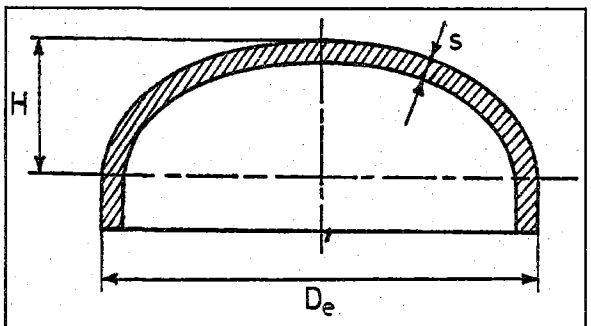
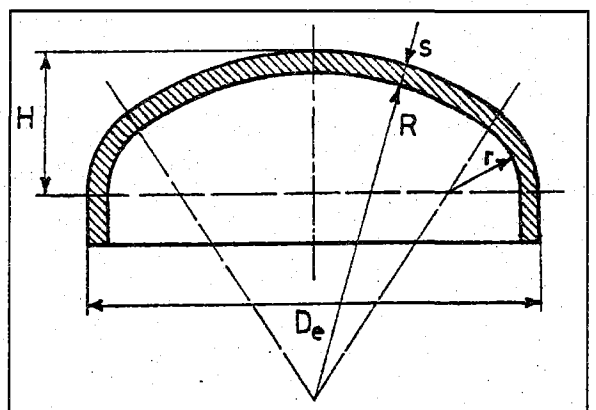


Figura 1.E.2.2. – Fondo ellittico



$$H = R + s - \sqrt{\left(R-r\right)^2 - \left(\frac{D_e}{2} - s - r\right)^2}$$

Figura 1.E.2.3. – Fondo paraellittico (o torosferico)

6. Ogni fondo, esclusi quelli a profilo semicircolare, deve essere munito di un colletto cilindrico, ricavato in un solo pezzo col fondo stesso, avente un'altezza almeno pari a $0,3 \cdot \sqrt{D_e \cdot s}$.

L'altezza del colletto è limitabile a 100 mm se il giunto saldato di unione del fondo al fasciame cilindrico è radiografato al 100% con classe I di accettabilità dei difetti.

7. Nel caso di fondi emisferici, qualora lo spessore del fondo sia inferiore allo spessore del fasciame cilindrico, quest'ultimo può essere rastremato fino allo spessore del fondo come indicato in figura 1.E.2.4. relativamente alla lunghezza di rastremazione.

8. Nei casi in cui i fondi non siano realizzati in un sol pezzo, le giunzioni saldate debbono essere situate in modo da intersecare una circonferenza di diametro pari a $0,8D_e$ oppure devono essere completamente contenute nel cerchio stesso.

Tali limitazioni non si applicano ai fondi emisferici.

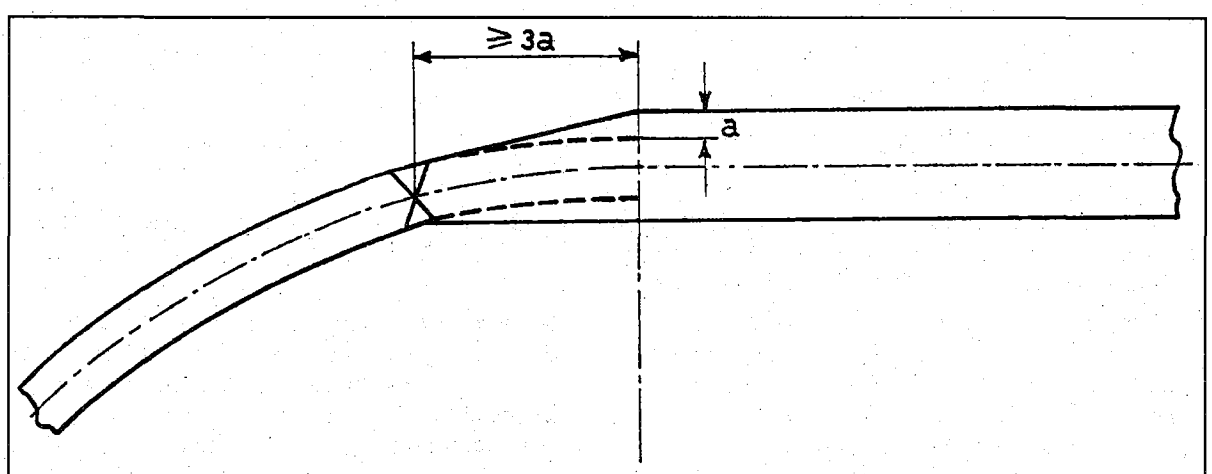


Figura 1.E.2.4. – Fondo emisferico saldato ad un fasciame cilindrico

Regola VSR.1.E.3.: *Fondi curvi intermedi saldati internamente a fasciami cilindrici*

1. *Campo di applicazione.*

1.1. La presente regola si applica ai fondi curvi intermedi saldati internamente a fasciami cilindrici mediante due saldature (figura 1.E.3.), interessanti rispettivamente il bordo (saldatura A) e la superficie esterna del colletto del fondo (saldatura B), per i quali siano verificate le seguenti condizioni:

$s_1 \leq 30\,\text{mm}$

$a \geq 2\,s_3$ (può essere limitato a 25 mm)

$b \geq s_3 + 5$ mm

$c \geq 2s_1$ per $s_1 \leq 5\,\text{mm}$

$10\,\text{mm} \leq c \leq 2\,s_1$ per $s_1 > 5\,\text{mm}$

2. *Verifica della stabilità.*

2.1. La verifica di stabilità del fondo intermedio deve essere eseguita applicando la regola VSR.1.E.2., per la pressione agente sull'intradosso, e le regole VSR.1.H.5 e VSR.1.H.7., per la pressione agente sull'estradosso.

Quando sia escluso che la pressione differenziale possa essere superata in esercizio, la verifica di stabilità deve essere effettuata assumendo per p la pressione differenziale moltiplicata per 1,5.

Di tale ultima condizione di calcolo si deve tener conto nell'esecuzione delle prove idrauliche.

2.2. Lo spessore del fondo in corrispondenza della saldatura A non deve superare 2 volte lo spessore s_1 del fasciame, con un massimo di 30 mm; è ammessa la rastremazione dell'eventuale maggior spessore effettivo del fondo rispetto al valore suddetto con pendenza massima di 1/4. Detta rastremazione riguardante il tratto a può interessare anche il tratto c di figura 1.E.3.

2.3. Il valore K della saldatura A è stabilito in base allo spessore minimo di calcolo s_{03} del fondo calcolato considerando il fondo come pieno e premuto sull'intradosso dalla maggiore delle pressioni agenti dai due lati.

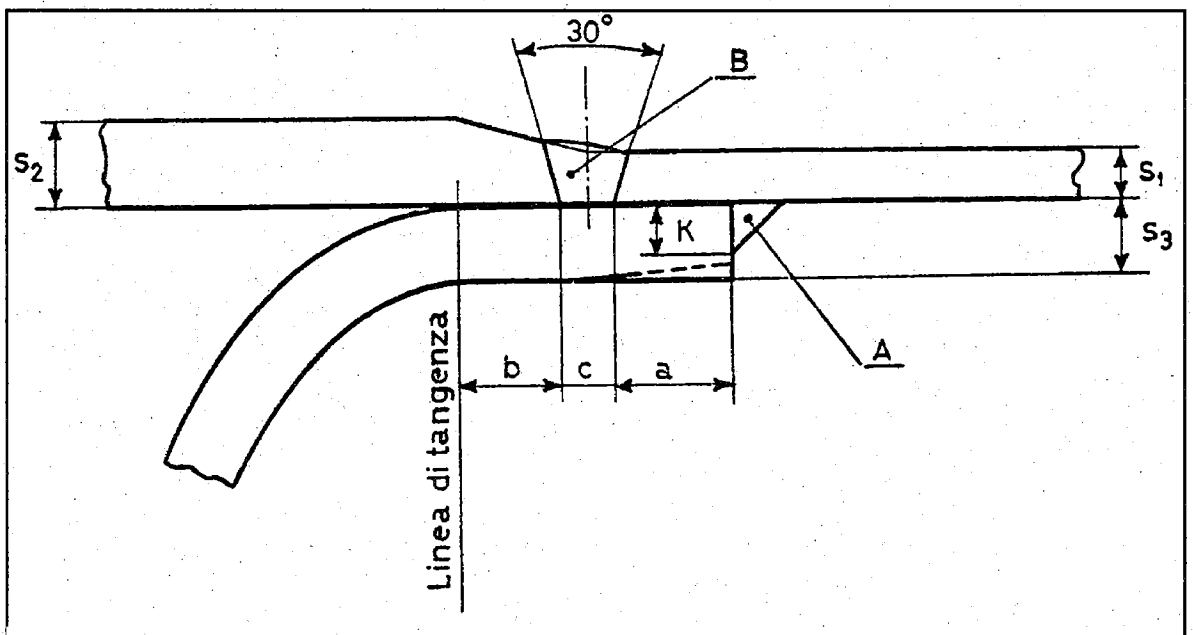


Figura 1.E.3. – Fondo curvo intermedio

2.3.1. Nel caso in cui la dimensione K sia minore dello spessore s_{03} (saldatura di tenuta), deve essere eseguita la verifica di stabilità della saldatura B con le seguenti formule:

$$c = \frac{1,2\,p\,D}{2f}$$

$$s_1 = \frac{1,2\,p\,D}{2f} - 0,15\,s_3$$

in cui:

D diametro interno del fasciame cilindrico, in mm;

f la minore tra le sollecitazioni massime ammissibili per i materiali del fasciame, del fondo e del cordone di saldatura.

Qualora le suddette relazioni risultino incompatibili con quelle date al punto 1.1., la saldatura A non può essere di sola tenuta e si applica il punto 2.3.2. seguente.

2.3.2. Nel caso in cui la dimensione K della saldatura A sia maggiore o uguale allo spessore del fondo s_{03} (saldatura di forza):

a) non occorre alcuna verifica di stabilità delle saldature per fondi aventi coefficiente di forma C maggiore o uguale a 1;

b) deve essere verificata a taglio la saldatura A per fondi aventi coefficiente di forma C minore di 1, assumendo quale sollecitazione massima ammissibile a taglio $\tau_{amm} = 0,5 f$; qualora tale verifica non sia soddisfatta, deve essere verificata la stabilità della saldatura B secondo le regole del precedente punto 2.3.1.

3. *Modalità esecutive e di controllo delle saldature.*

3.1. La saldatura B deve essere eseguita con almeno due passate di fondo, una su ciascun lembo del cianfrino. Per le modalità esecutive si deve far riferimento ai procedimenti di saldatura normalmente adottati per i vari materiali e spessori.

3.2. Ai fini della saldatura B, l'aggiustaggio deve essere tale che la massima distanza fra estradosso del fondo ed intradosso del fasciame non superi:

1 mm	per $s_1 \leq 10$ mm
$0,1\, s_1$ mm	per $s_1 > 10$ mm

con un massimo di 2 mm.

Per l'accertamento di detta distanza possono essere adottate normali sonde calibrate.

3.3. Sulle saldature A e B devono essere eseguiti i controlli previsti nella Raccolta S per tale soluzione costruttiva.

Regola VSR.1.E.4.: *Fondi curvi di estremità di fasciami cilindrici, sottoposti a pressione sull'estradosso*

1. *Campo di applicazione.*

1.1. La giunzione di fondi curvi di estremità sottoposti a pressione sull'estradosso a fasciami cilindrici mediante saldatura, come indicato in figura 1.E.4., è ammessa sempreché siano rispettate le seguenti limitazioni:

- diametro esterno del recipiente ≤ 1000 mm;
- pressione di progetto $p \leq 0,784$ Mpa;
- prodotto della pressione p, in Mpa, per la capacità v, in litri, $p \cdot v \leq 490$;
- spessore del fondo $s_2 \leq 2$ volte lo spessore del fasciame s_1, con un massimo di 30 mm;
- temperatura di progetto compresa fra -10°C e 200°C, estremi inclusi.

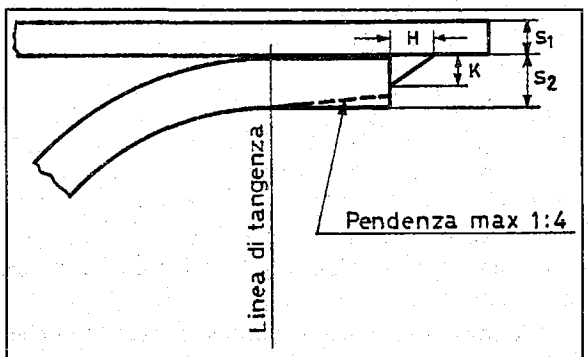


Figura 1.E.4. – Fondo curvo di estremità

2. *Verifica del dimensionamento del fondo.*

2.1. La verifica della stabilità del fondo deve essere eseguita applicando le regole del capitolo VSR.1.H

2.2. L'altezza del colletto cilindrico del fondo deve essere $\geq 3\, s_2$, con un minimo di 25 mm.

3. *Dimensionamento della saldatura.*

3.1. Devono essere rispettate le seguenti condizioni:

$$H \geq 1,3\, s_1$$

$$K \geq s_1$$

4. *Regole costruttive.*

4.1. La sporgenza del bordo del fasciame cilindrico dal bordo del fondo deve essere $\geq 2\, s_1$.

4.2. L'aggiustaggio del fondo al fasciame deve essere tale che la massima distanza fra estradosso del fondo ed intradosso del fasciame non superi:

1 mm	per $s_1 \leq 10$ mm
$0,1\, s_1$ mm	per $s_1 > 10$ mm

Per l'accertamento di detta distanza possono essere adottate normali sonde calibrate.

Regola VSR.1.E.5.: *Fondi a calotta sferica saldati a membrature coniche*

1. *Campo di applicazione.*

1.1. È ammesso saldare calotte sferiche a membrature coniche (fig. 1.E.5.), purché la linea mediana della parete del cono coincida con la tangente alla linea mediana della calotta stessa in corrispondenza dell'attacco.

2. *Verifica del dimensionamento della calotta.*

2.1. Lo spessore s_0 della calotta di raggio interno r, in mm, sottoposta a pressione p_1 in MPa, dal lato concavo si determina con la seguente formula:

2.1.1. $$s_0 = \frac{p_1 \cdot r}{1,2 \cdot f \cdot z}$$

2.2. Lo spessore s_0 della calotta di raggio interno r, in mm, sottoposta a pressione p_2, in MPa, dal lato convesso si determina con la seguente formula:

2.2.1. $$s_0 = \frac{p_2 \cdot r}{1,2 \cdot f \cdot z}$$

Inoltre la pressione p_2 deve soddisfare le relazioni della regola VSR.1.H.4.

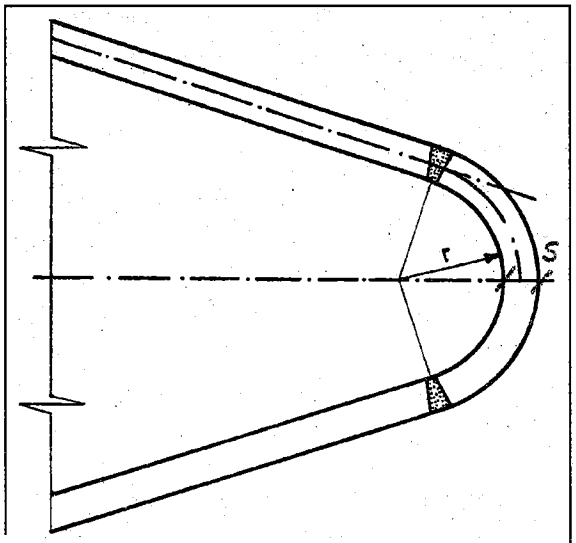


Figura 1.E.5. – Fondo a calotta sferica saldato a membratura conica

Regola VSR.1.E.6: *Fondi a calotta sferica saldati a flange*

1. *Campo di applicazione.*

1.1. Il collegamento dei fondi a calotta sferica alle flange può essere realizzato con uno dei seguenti modi:

– mediante saldatura testa a testa ad un apposito codolo della flangia (figura 1.E.6.1.);

– mediante saldatura alla parte interna della flangia (figura 1.E.6.2.).

1.2. La presente regola si applica nel caso di fondi le cui flange abbiano la superficie a contatto con la guarnizione situata tutta all'interno rispetto ai fori per le viti di serraggio.

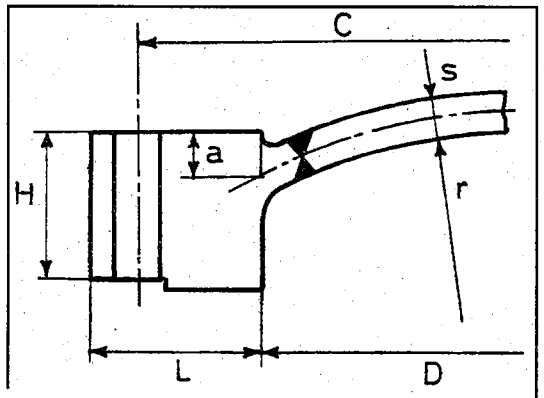


Figura 1.E.6.1.

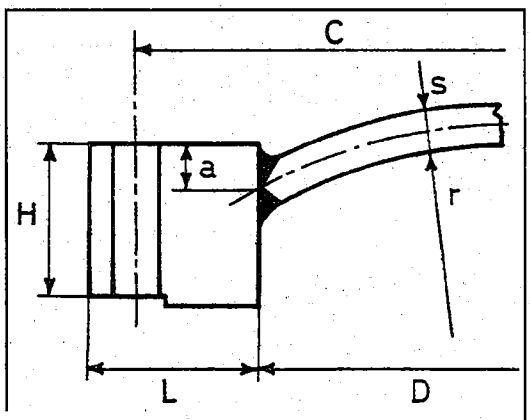


Figura 1.E.6.2.

1.3. Nella presente regola sono impiegati i seguenti simboli in aggiunta a quelli definiti in VSR.0.6.:

p_1 pressione (di progetto oppure di prova idraulica a secondo della verifica) agente dalla parte concava della calotta, in MPa;

p_2 pressione (di progetto oppure di prova idraulica a secondo della verifica) agente dalla parte convessa della calotta, in MPa;

r raggio di curvatura della superficie di intradosso della calotta, in mm;

s spessore della calotta, in mm;

D diametro interno della flangia, in mm;

L larghezza della flangia, in mm;

H altezza della flangia, in mm;

a distanza della superficie superiore della flangia dalla intersezione della superficie media della calotta con la faccia cilindrica interna della flangia, in mm;

C diametro della circonferenza passante per l'asse delle viti di serraggio, in mm;

D_g diametro medio della superficie effettiva di contatto della guarnizione, in mm;

I simboli m, b, b_0, A_m, A_b, f_{Bo} hanno lo stesso significato del capitolo VSR.1.U.

2. *Verifica della calotta.*

2.1. Lo spessore s_0 della calotta è dato dal maggiore dei seguenti valori:

2.1.1. $$s_0 = \frac{p_1 \cdot r}{1,2 \cdot f \cdot z}$$

2.1.2. $$s_0 = \frac{p_2 \cdot r}{1,2 \cdot f \cdot z}$$

2.2. Inoltre la pressione p_2 deve soddisfare le relazioni della regola VSR.1.H.4.

2.3. Lo spessore della calotta può essere assunto anche diverso da quello risultante dalle formule del punto 2.1. a condizione che venga esibita da parte del costruttore una analisi dettagliata delle sollecitazioni.

3. *Verifica delle viti di serraggio.*

3.1. La verifica delle viti di serraggio si esegue considerando la sola pressione p_1 secondo la regola VSR.1.U.3. punto 3.

4. *Verifica della flangia.*

4.1. La verifica della flangia deve essere eseguita in 5 condizioni e cioè:

a) alla pressione interna di progetto
b) alla pressione interna di prova
c) alla pressione esterna di progetto
d) alla pressione esterna di prova
e) in condizioni di serraggio.

4.2. In ognuno dei casi summenzionati l'altezza H della flangia deve soddisfare la seguente relazione:

4.2.1. $$H \geq A + \sqrt{A^2 + B}$$

dove A e B (da considerare in valore assoluto) variano a seconda della verifica che si esegue, e sono dati nelle varie condizioni dalle formule che seguono:

4.2.2. Condizioni *a)* e *b)*

$$A = p_1 D \sqrt{\frac{4r^2 - D^2}{16Lf}}$$

$$B = 0,785 \frac{p_1(D+L)}{2DLf} \left[D_g (D_g + 8\text{mb})(C - D_g) + \frac{D^2 + D_g^2}{2}(D_g - D) - D(H - 2a)\sqrt{4\left(r + \frac{s}{2}\right)^2 - D^2} \right]$$

4.2.3. Condizioni *c)* e *d)*

$$A = p_2 D \sqrt{\frac{4r^2 - D^2}{16Lf}}$$

$$B = 0,785 \frac{p_2(D+L)}{2DLf} \left[\frac{D^2 + D_g^2}{2}(D_g - D) - D(H - 2a)\sqrt{4\left(r + \frac{s}{2}\right)^2 - D^2} \right]$$

4.2.4. Condizione *e)*

$$A = 0$$

$$B = \frac{A_m + A_b}{2} \frac{f_{Bo}}{f} \frac{C - D_g}{2} \frac{D+L}{DL}$$

Nella formula 4.2.4. il valore di f deve essere assunto considerando la flangia a temperatura ambiente ma utilizzando i coefficienti di sicurezza prescritti per le condizioni di progetto. Qualora, da parte del progettista, venga ravvisata l'opportunità di incrementare il margine di sicurezza contro l'eccessivo serraggio, o di verificare la flangia per il carico complessivo che i bulloni sono in grado di trasmettere, il rapporto $(A_m + A_b)/2$ va sostituito con A_b.

5. *Modalità esecutive e di controllo della saldatura.*

5.1. Nel caso di saldatura testa a testa di cui in figura 1.E.6.1., deve essere effettuata la radiografia della saldatura al 100% con classe di accettabilità dei difetti della I categoria di saldatura.

5.2. Nel caso di saldatura della calotta sferica alla parte interna della flangia di cui in figura 1.E.6.2., le modalità esecutive e di controllo sono le seguenti:

a) controllo magnetoscopico su tutte le superfici delle flange ricavate da lamiera di altezza H superiore o uguale a 50 mm, al fine di accertare l'assenza di sfogliature; per spessori superiori a 100 mm deve essere effettuato anche un controllo con ultrasuoni della zona interessata dalla saldatura. Per flange fucinate di larghezza L superiore o uguale a 100 mm è richiesto il solo controllo con ultrasuoni della zona interessata dalla saldatura al fine di accertare l'assenza di sfogliature o segregazioni importanti;

b) preparazione del lembo del fondo per saldare dai due lati a piena penetrazione; per i fondi di spessore maggiore di 30 mm è raccomandata una imburratura della flangia per evitare cricche da strappo nella flangia stessa;

c) molatura del vertice e controllo con liquidi penetranti o magnetoscopico prima della ripresa al rovescio, a cura del costruttore;

d) controllo finale con liquidi penetranti o magnetoscopico, alla presenza di un tecnico dell'ISPESL.

5.3. Agli effetti dei limiti di spessore che comportano l'obbligo del trattamento termico secondo le disposizioni sulla saldatura riguardanti i materiali del fondo e della flangia, nel caso di figura 1.E.6.1., viene considerato lo spessore in corrispondenza della giunzione saldata e nel caso di figura 1.E.6.2. viene considerata l'altezza interessata dalla saldatura sulla superficie interna della flangia, con un minimo di 2 volte lo spessore del fondo.

ELENCO DELLE DISPOSIZIONI CONTENUTE NEL CAPITOLO VSR.1.F.

Regola VSR.1.F.1.: *Condizioni di applicazione - Simboli*

1. Le regole di cui al presente capitolo VSR.1.F. valgono per fondi conici e per riduzioni tronco-coniche assialsimmetrici.

Per fondi conici e riduzioni tronco-coniche non assialsimmetrici valgono le stesse regole a condizione che venga assunto quale angolo di conicità il valore massimo.

I fondi conici e le riduzioni tronco-coniche con angolo di conicità fino a 30° possono essere collegati alla parte cilindrica senza raccordo torico, con le precisazioni di cui ai punti da 6. a 12. della regola VSR.1.F.4.

Per angoli di conicità superiori a 30° il tratto torico di raccordo è di norma obbligatorio.

2. Nelle regole del presente capitolo VSR.1.F. sono impiegati i seguenti simboli in aggiunta a quelli definiti alla regola VSR.0.6.:

α angolo di conicità, in gradi, ossia l'angolo compreso fra l'asse e la generatrice del cono;

D_i diametro interno del fasciame cilindrico di diametro maggiore, in mm;

d_i diametro interno del fasciame cilindrico di diametro minore, in mm.

Regola VSR.1.F.2.: *Fondi conici e riduzioni tronco-coniche con angolo di conicità maggiore di 70°*

1. Lo spessore s_0 dei fondi conici con angolo di conicità α maggiore di 70° si determina con la formula seguente:

$$1.1. \qquad s_o = 0,5\, D_i \sqrt{\frac{p}{f}}$$

2. Lo spessore s_0 delle riduzioni tronco-coniche con angolo di conicità α maggiore di 70° si determina con la formula seguente:

$$2.1. \qquad s_o = 0,5\, D_i\, \delta \sqrt{\frac{p}{f}}$$

in cui:

δ coefficiente funzione del rapporto d_i/D_i dato dalla seguente formula:

$$2.2. \qquad \delta = \sqrt{1 + \frac{d_i}{D_i} + \left(\frac{d_i}{D_i}\right)^2}$$

Per angoli di conicità maggiori di 85° lo spessore s_o dei fondi conici o delle riduzioni tronco-coniche non deve essere inferiore a quello che si ottiene verificandoli come pareti piane con la Regola VSR.1.L.

3. Il fondo conico e la riduzione tronco-conica devono essere muniti di tratto torico di raccordo avente raggio interno non inferiore in alcun caso a 3 volte lo spessore del tratto stesso né a 0,06 D_i o 0,06 d_i rispettivamente, nonché di colletto cilindrico avente altezza h non inferiore allo spessore dello stesso tratto torico.

Regola VSR.1.F.3.: *Fondi conici e riduzioni tronco-coniche con angolo di conicità maggiore di 30° e fino a 70°*

1. Lo spessore s_0 dei fondi conici e delle riduzioni tronco-coniche con angolo di conicità α maggiore di 30° e fino a 70° si determina con la formula seguente:

$$1.1. \qquad s_o = \frac{p \cdot D_i}{2 \cdot f \cdot z - p} \frac{1}{\cos\alpha}$$

in cui:

z = modulo di efficienza della saldatura lungo una generatrice.

2. Il collegamento tra fondi conici o riduzioni tronco-coniche e fasciami cilindrici deve essere realizzato, oltre che con tratto torico, anche con colletto.

3. La formula 1.1. è valida anche per il calcolo dello spessore del tratto torico di raccordo fra parte conica e colletto, di cui al punto 2.

Per angoli di conicità maggiori di 30° e fino a 60° è ammessa una riduzione massima del 12% dello spessore del tratto torico rispetto allo spessore calcolato con la citata formula.

4. Il colletto deve avere altezza h non inferiore a $0,3 \cdot \sqrt{D_e \cdot s}$ con un minimo di 25 mm. È consentito che l'altezza del colletto non interessata dal cordone di saldatura sia limitata a 60 mm, purché non risulti inferiore allo spessore del tratto torico. Il colletto può

essere eliminato nel caso che il raccordo al cilindro maggiore o minore sia effettuato rispettivamente con raggio pari a 0,5 D_i o 0,5 d_i.

Il raggio interno r del tratto torico non deve essere in alcun caso inferiore a 3 volte lo spessore del tratto torico stesso, né inferiore rispettivamente a:

0,06 D_i o 0,06 d_i per α fino a 50°

0,08 D_i o 0,08 d_i per $\alpha > 50°$ e fino a 60°

0,10 D_i o 0,10 d_i per $\alpha > 60°$ e fino a 70°.

5. Se il fondo conico o la riduzione tronco-conica sono costituiti da più anelli saldati circonferenzialmente, per il calcolo dello spessore di ciascun anello si applica la formula 1.1. ponendo per D_i il valore del diametro interno massimo dell'anello considerato.

Regola VSR.1.F.4.: *Fondi conici e sezioni di riduzione tronco-coniche con angolo di conicità non superiore a 30°*

1. Lo spessore s_0 dei fondi conici e delle riduzioni tronco-coniche con angolo di conicità α fino a 30° si determina con la formula 1.1. della regola VSR.1.F.3.

2. Nel collegamento tra fondi conici o riduzioni tronco-coniche e fasciami cilindrici il colletto può essere eliminato.

3. La formula 1.1. della regola VSR.1.F.3. è valida anche per il calcolo dello spessore del tratto torico di raccordo.
È ammessa una riduzione massima del 12% dello spessore del tratto torico rispetto allo spessore calcolato come sopra; lo spessore del tratto torico non dovrà comunque essere inferiore al valore ottenibile introducendo nella formula 1.1. della regola VSR.1.F.3., $\cos \alpha = 1$.

4. Il raggio interno r del tratto torico non deve essere in alcun caso inferiore a 3 volte lo spessore del tratto torico stesso né, rispettivamente, a 0,06 D_i o 0,06 d_i.

5. Se il fondo conico o la riduzione tronco-conica sono costituiti da più anelli saldati circonferenzialmente, per il calcolo dello spessore di ciascun anello si applica la formula 1.1. della regola VSR.1.F.3. ponendo per D_i il valore del diametro interno massimo dell'anello considerato.

6. Nel collegamento dei fondi conici al fasciame cilindrico o delle riduzioni tronco-coniche al fasciame cilindrico di diametro maggiore è consentita la eliminazione del tratto torico di raccordo quando l'angolo di conicità α sia inferiore od uguale all'angolo β ricavato, se del caso per interpolazione, dalla seguente tabella:

D_i/s_m	$\geq$ 1962	965	633	466	367	301	254	219	$\leq$ 192
β in gradi	11	15	18	21	23	25	27	28,5	30

nella quale:
D_i diametro interno maggiore, in mm;
s_m spessore del fasciame conico maggiore, in mm.

7. Qualora il valore dell'angolo di conicità α sia superiore al valore di β ricavato dalla tabella di cui al punto 6., l'eliminazione del tratto torico di raccordo è ancora consentita purché sia adottato un anello di rinforzo a compressione avente area trasversale A, in mm^2, non minore di quella calcolata con la formula:

$$7.1. \qquad A = \frac{D_i^2}{8} \left(\frac{p}{f\,z}\right) \left(1 - \frac{\beta}{\alpha}\right) \operatorname{tg} \alpha$$

in cui:
z il minore dei valori del modulo di efficienza delle giunzioni longitudinali della zona cilindrica e della parte conica e delle giunzioni fra gli eventuali elementi costituenti l'anello di rinforzo e può essere assunto pari a 1 quando tutte le suddette giunzioni, soggette a compressione, siano realizzate mediante saldature di testa.

8. Se lo spessore s risultante in progetto del fondo conico o della riduzione tronco-conica è maggiore dello spessore s_0 determinato con la formula 1.1. della regola VSR.1.F.3., l'eccedenza di spessore può essere considerata a contributo dell'area richiesta per l'anello di rinforzo per un'area A_c, in mm$_2$, pari a:

$$8.1. \qquad A_c = 2,828 \cdot s_m \cdot \sqrt{D_i \cdot s_f}$$

in cui:
s_f spessore risultante in progetto del fasciame cilindrico alla giunzione con il cono o con la riduzione tronco-conica, in mm;
s_m il minore dei due valori $(s_f - s_{0f})$ e $(s - s_{0f}/\cos \alpha)$, essendo s_{0f} lo spessore minimo di calcolo del fasciame cilindrico maggiore.

9. Nel collegamento delle riduzioni tronco-coniche al fasciame cilindrico di diametro minore è consentita la eliminazione del tratto torico di raccordo quando l'angolo di conicità α sia inferiore o uguale all'angolo β ricavato, se del caso per interpolazione, dalla seguente tabella:

d_i/s_m	$\geq$ 937	397	197	97	47	22	17	$\leq$ 13
β in gradi	4	6	9	12,5	17,5	24	27	30

nella quale:

d_i diametro interno minore, in mm;

s_m spessore del fasciame conico minore, in mm.

10. Qualora il valore dell'angolo di conicità α sia superiore al valore di β rilevato dalla tabella di cui al punto 9., l'eliminazione del tratto torico di raccordo è ancora consentita purché sia adottato un anello di rinforzo a trazione avente area trasversale A, in mm^2, non minore di quella calcolata con la formula:

10.1. $$A = \frac{d_i^2}{8} \left(\frac{p}{f\,z}\right) \left(1 - \frac{\beta}{\alpha}\right) \operatorname{tg} \alpha$$

in cui:

z = il minore dei valori del modulo di efficienza delle giunzioni longitudinali della zona cilindrica e della parte conica e delle giunzioni fra gli eventuali elementi costituenti l'anello di rinforzo.

11. Se lo spessore s risultante in progetto della riduzione tronco-conica è maggiore dello spessore s_0 determinato con la formula 1.1. della regola VSR.1.F.3., l'eccedenza di spessore può essere considerata a contributo dell'area richiesta per l'anello di rinforzo per un'area A_c, in mm^2, pari a:

11.1.

$$A_c = m \sqrt{\frac{d_i\, s_{0f}}{2}} \left[\left(s - \frac{s_{0f}}{\cos \alpha} + (s_f - s_{0f})\right)\right]$$

in cui:

s_{0f} spessore minimo di calcolo del fasciame cilindrico minore, in mm;

s_f spessore risultante in progetto del fasciame cilindrico minore, in mm;

m il minore dei due valori:

$$\frac{s_f}{s_{0f}} \cos (\alpha - \beta)$$

$$\frac{s \cos \alpha}{s_{0f}} \cos (\alpha - \beta)$$

12. L'anello di rinforzo di cui ai punti 7. e 10. deve essere posto in posizione tale che il baricentro della sezione si trovi ad una distanza non maggiore di 0,353 D_i dalla giunzione del fondo conico o della riduzione tronco-conica al fasciame cilindrico di diametro maggiore e non maggiore di 0,353 d_i dalla giunzione della riduzione tronco-conica al fasciame cilindrico di diametro minore.

ELENCO DELLE REGOLE CONTENUTE NEL CAPITOLO VSR.1.G.

Regola VSR.1.G.1.: *Corpi sferici sottoposti a pressione interna (esclusi quelli previsti nella regola VSR.1.G.2.)*

1. Lo spessore s_o dei corpi sferici sottoposti a pressione interna, per i quali il rapporto s/D_e sia inferiore a 0,1285 (oppure il rapporto $p/(f.z)$ sia inferiore a 0,59) ed inoltre il piano degli appoggi coincida con l'equatore o con un parallelo sottostante posto a non più di 30° dall'equatore stesso, si determina con la formula:

$$1.1. \qquad s_0 = \frac{p\,D_i}{4fz - 1{,}2p}$$

2. Per i corpi sferici per i quali non siano soddisfatte le condizioni di cui al precedente punto 1., lo spessore s_0 deve essere determinato, oltre che con l'applicazione della formula 1.1., con verifiche aggiuntive, secondo i criteri di cui al punto 5. della regola VSR.0.3.

Regola VSR.1.G.2.: *Serbatoi metallici sferici per immagazzinamento di gas di capacità superiore a 50 m^3 e pressione non superiore a 20Kgf/cm^2 (D.P.R. 5 agosto 1966, n. 961)*

Decreto del Presidente della Repubblica 5 agosto 1966, n. 961 - Norme per il calcolo, il collaudo e le verifiche dei serbatoi metallici sferici a pressione di gas.

Art. 1. - Sono approvate le annesse norme tecniche relative ai serbatoi metallici sferici destinati all'immagazzinamento di gas sotto pressione, situati sopra il livello del suolo, aventi capacità superiore a 50 metri cubi e la cui pressione di bollo non sia superiore a 20Kgf/cm^2[1] ed, in ogni caso, ad un valore per cui lo spessore dell'involucro, calcolato secondo quanto stabilito dalle norme medesime, superi i 50 mm.

Art. 2. - I serbatoi metallici sferici, di cui all'art. 1, devono essere realizzati con materiali aventi caratteristiche che, in relazione alla natura e qualità del gas da immagazzinare sotto pressione, non diano luogo a fenomeni fisico-chimici che possano arrecare comunque pregiudizio alla resistenza delle strutture.

Art. 3. - Restano ferme le altre disposizioni vigenti sulla sorveglianza degli apparecchi a pressione che non risultino modificate dalle norme del presente decreto.

NORME TECNICHE RELATIVE AI SERBATOI METALLICI SFERICI A PRESSIONE DI GAS

1. La verifica della stabilità dell'involucro sferico si esegue applicando la formula:

$$1.1. \qquad s_0 = \frac{p \cdot D_e \cdot x}{4 \cdot R_{r(0,2)} \cdot z}$$

in cui:

- s_0 — spessore minimo dell'involucro sferico, in mm;
- p — pressione di bollo, in MPa, pari alla massima pressione di esercizio del recipiente riferita alla temperatura di 50 °C;
- D_e — diametro esterno dell'involucro, in mm;
- $R_{r(0.2)}$ — carico unitario minimo al limite di deformazione permanente dello 0,2% nella prova di trazione, alla temperatura ambiente, del materiale costituente l'involucro, in MPa. Si deve assumere comunque un valore di $R_{r(0.2)}$ non superiore a:
  - 0,65.R_m per gli acciai al carbonio;
  - 0,70.R_m per gli acciai legati o debolmente legati;

  essendo R_m il carico unitario di rottura minimo nella prova di trazione, alla temperatura ambiente, in MPa;
- x — coefficiente di sicurezza pari a 2; tale valore tiene conto anche delle sollecitazioni accessorie dovute al peso proprio della sfera, al peso della neve, all'azione del vento, a differenza di temperatura;
- z — modulo di efficienza delle saldature da assumere pari a 0,90.
  Le saldature devono essere effettuate secondo le modalità di cui al successivo paragrafo 2.

[1] Pari a 1,96 MPa.

1.1.1. La concentrazione locale delle tensioni nelle zone di appoggio della sfera deve essere valutata, in sede di progetto, in relazione alla forma ed al posizionamento degli appoggi per una eventuale maggiorazione locale dello spessore dell'involucro determinato con la formula *1.1.*

1.2. Lo spessore dell'involucro non deve essere comunque inferiore al valore minimo dato dalle formule:

1.2.1. per lamiere di acciaio al carbonio

$$2,5 + \frac{D_e}{3000}$$

1.2.2. per lamiere di acciaio legato o debolmente legato

$$1,5 + \frac{D_e}{3000}$$

1.2.3. In ogni caso lo spessore non deve essere inferiore a 6 mm.

1.3. Le valutazioni degli indebolimenti per eventuali forature su elementi dell'involucro e delle compensazioni delle aperture debbono essere verificate in modo da escludere menomazioni della resistenza.

2. L'esecuzione ed il controllo delle saldature debbono essere effettuati, ai fini della sicurezza, con riferimento ad un modulo di efficienza uguale ad 1.

2.1. In ogni caso il trattamento termico di distensione su recipiente finito di costruzione può essere omesso solo se i materiali siano di tipo idoneo ad escludere menomazioni di resistenza e di tenacità dovute a tensioni interne in relazione allo spessore dell'involucro; tale condizione dovrà essere accertata in sede di accettazione dei materiali e di approvazione del procedimento di saldatura[1].

2.1.1. Qualora non si verifichi la condizione riportata al punto precedente, dovranno essere previsti trattamenti termici totali con procedimenti di cui sia stata accertata l'idoneità.

2.1.2. Gli elementi sferici ai quali sono stati saldati gli attacchi dei sostegni ed i collari per passo d'uomo, qualora non si effettui il trattamento termico totale, dovranno essere sottoposti prima del loro assiemamento all'involucro sferico a trattamento termico di distensione in forno.

Per gli elementi sferici ai quali andranno saldati tronchetti, scale, passerelle ed ogni altra membratura accessoria, la necessità del trattamento termico in forno prima dell'assiemamento sarà stabilita caso per caso in sede di esame di progetto, tenendo conto delle dimensioni e forme geometriche delle saldature di unione delle parti accessorie, dell'involucro, dei procedimenti di saldatura adottati, in modo da escludere menomazioni di resistenza e di tenacità dovute a tensioni interne, in relazione anche allo spessore dell'involucro.

3. A fine costruzione, in sede di visita interna del serbatoio, oltre gli accertamenti previsti dal regio decreto n. 824 del 12 maggio 1927, deve essere accertata la sfericità mediante il rilievo del diametro interno massimo ($D_{i\ max}$) e del diametro interno minimo ($D_{i\ min}$) sul piano equatoriale e su due piani meridiani tra loro ortogonali.

[1] Le condizioni di cui al punto 2.1. sono soddisfatte dall'applicazione della pertinente specifica ISPESL di saldatura relativa al materiale impiegato.

3.1. Su ciascun piano di misurazione si determinerà lo scostamento dalla sfericità del recipiente s_c secondo la seguente formula:

$$s_c = \frac{2\,(D_{i\,\max} - D_{i\,\min})}{D_{i\,\max} + D_{i\,\min}}$$

Il valore s_c non dovrà essere maggiore di 0,005.

3.2. Il serbatoio deve essere sottoposto, a fine costruzione, a prova pneumatica da eseguirsi a pressione di 1,2 volte quella di bollo. Nelle successive verifiche di esercizio, i serbatoi devono essere sottoposti a prova pneumatica da eseguirsi a pressione di 1,1 volte quella di bollo.

3.2.1. Le prove pneumatiche di cui al paragrafo 3.2. devono essere condotte seguendo la metodologia seguente:

– la pressione sarà aumentata gradualmente fino ad un valore pari alla metà della pressione di prova;

– la pressione sarà successivamente aumentata per gradi di un decimo della pressione di prova con la permanenza in ogni grado di 5 minuti primi fino a raggiungere la pressione di prova che sarà mantenuta per 10 minuti primi;

– la pressione sarà poi abbassata a 9/10 della pressione di prova e mantenuta a tale valore per 20 minuti primi;

– la pressione verrà infine ulteriormente abbassata a 8/10 della pressione di prova e mantenuta a tale valore per un tempo sufficiente per la completa ispezione delle saldature con apposite soluzioni od altri sistemi rilevatori di perdita.

4. Ciascun serbatoio deve essere munito, oltre che degli accessori stabiliti dal regio decreto 12 maggio 1927, n. 824, e successive modifiche ed integrazioni, di almeno due valvole di sicurezza dimensionate e regolate in modo da assicurare che la pressione nel serbatoio non superi quella di bollo.

4.1. La superficie di sfogo di ciascuna valvola di cui al paragrafo precedente può essere suddivisa in più valvole.

4.1.1. I collegamenti tubolari delle valvole di sicurezza al recipiente potranno avere dispositivi di intercettazione, purché la manovra di chiusura di una o più valvole assicuri in ogni caso la comunicazione diretta dell'altra o delle altre valvole al recipiente.

La manovra di tutti i dispositivi di intercettazione deve essere tale da consentire che il recipiente sia sempre in diretta comunicazione con la valvola o con le valvole dimensionate secondo quanto previsto ai paragrafi 4. e 4.1.

I collegamenti tubolari ed i dispositivi di intercettazione debbono avere una superficie di passaggio non inferiore a quella della valvola o delle valvole cui sono collegati.

4.2. Il serbatoio deve essere inoltre provvisto delle seguenti apparecchiature:

- manometro registratore con segnale di massima e con dispositivo di allarme con segnale acustico per raggiungimento della pressione di bollo;
- termometro registratore della temperatura del gas all'interno del recipiente.

I registratori di temperatura e pressione debbono essere installati in sala di controllo.

ELENCO DELLE REGOLE CONTENUTE NEL CAPITOLO VSR.1.H.

Regola VSR.1.H.1.: *Condizioni di applicazione - Simboli*

1. Le regole di cui al presente capitolo si applicano per la verifica di stabilità dei fasciami cilindrici, dei corpi sferici, dei fondi curvi, dei fondi conici e delle riduzioni tronco-coniche sottoposti a pressione esterna.

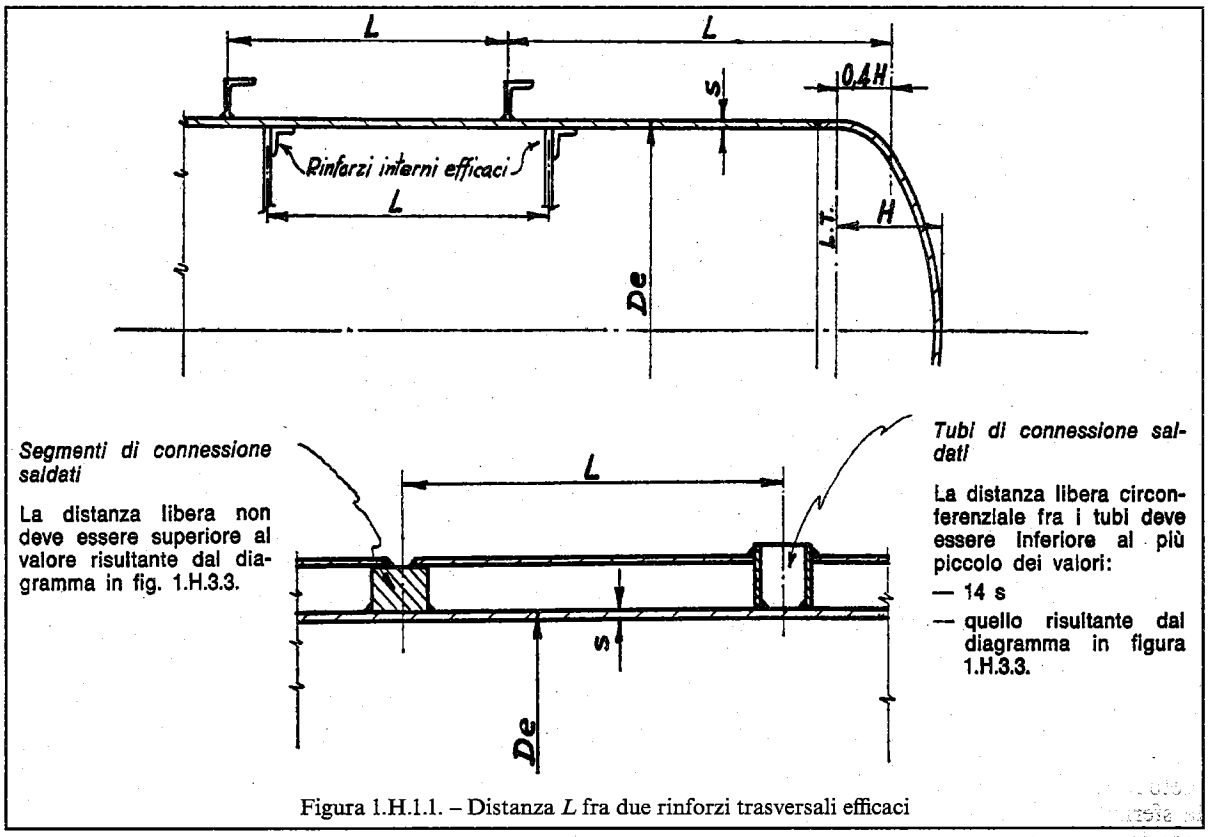


Figura 1.H.1.1. – Distanza *L* fra due rinforzi trasversali efficaci

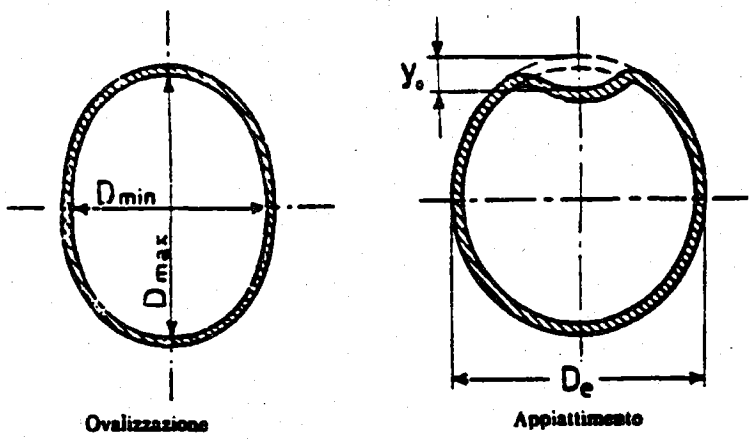


Figura 1.H.1.2.

2. Nelle regole del presente capitolo sono impiegati, oltre quelli della regola VSR.0.6., i seguenti simboli:

D_a diametro in corrispondenza dell'asse neutro, di una sezione di rinforzo;

L distanza massima, in mm, fra due rinforzi trasversali efficaci (fondi o anelli di irrigidimento), da assumere come indicato nella figura 1.H.1.1.;

R_e raggio esterno, in mm, di un corpo sferico, o di un fondo emisferico o raggio esterno massimo al centro di un fondo ellittico o torosferico;

u ovalizzazione, come definita nella regola VSR.0.6. oppure appiattimento dato dalla formula $400.(y_o/D_e)$, essendo y_o la saetta dell'imperfezione (fig. 1.H.1.2.).

Regola VSR.1.H.2.: *Fasciami cilindrici sottoposti a pressione esterna*

1. La pressione di progetto p, in MPa, deve soddisfare la relazione:

$$1.1. \qquad p \leq \frac{p_{cr}}{3}$$

in cui:

p_{cr} pressione critica di instabilità in regime elastico, in MPa.

Il valore di p_{cr} è dato dalla formula 1.2. seguente:

$$1.2. \qquad p_{cr} = \frac{2\,E_t\,s}{D_e}\left\{\frac{1}{(n^2-1)\left[1+\left(\frac{2nL}{\pi D_e}\right)^2\right]^2} + \frac{s^2}{3\,(1-v^2)\,D_e^2}\left[n^2-1+\frac{2n^2-1-v}{\left(\frac{2nL}{\pi D_e}\right)^2-1}\right]\right\}$$

in cui:

v coefficiente di Poisson del materiale;

n numero intero uguale o superiore a 2, per il quale il valore di p_{cr} ottenuto dalla formula 1.2. è minimo;

inoltre n deve essere $\geq (\pi/2)\cdot(D_e/L)$

L'andamento qualitativo di p_{cr} è riportato nella figura 1.H.2.1.

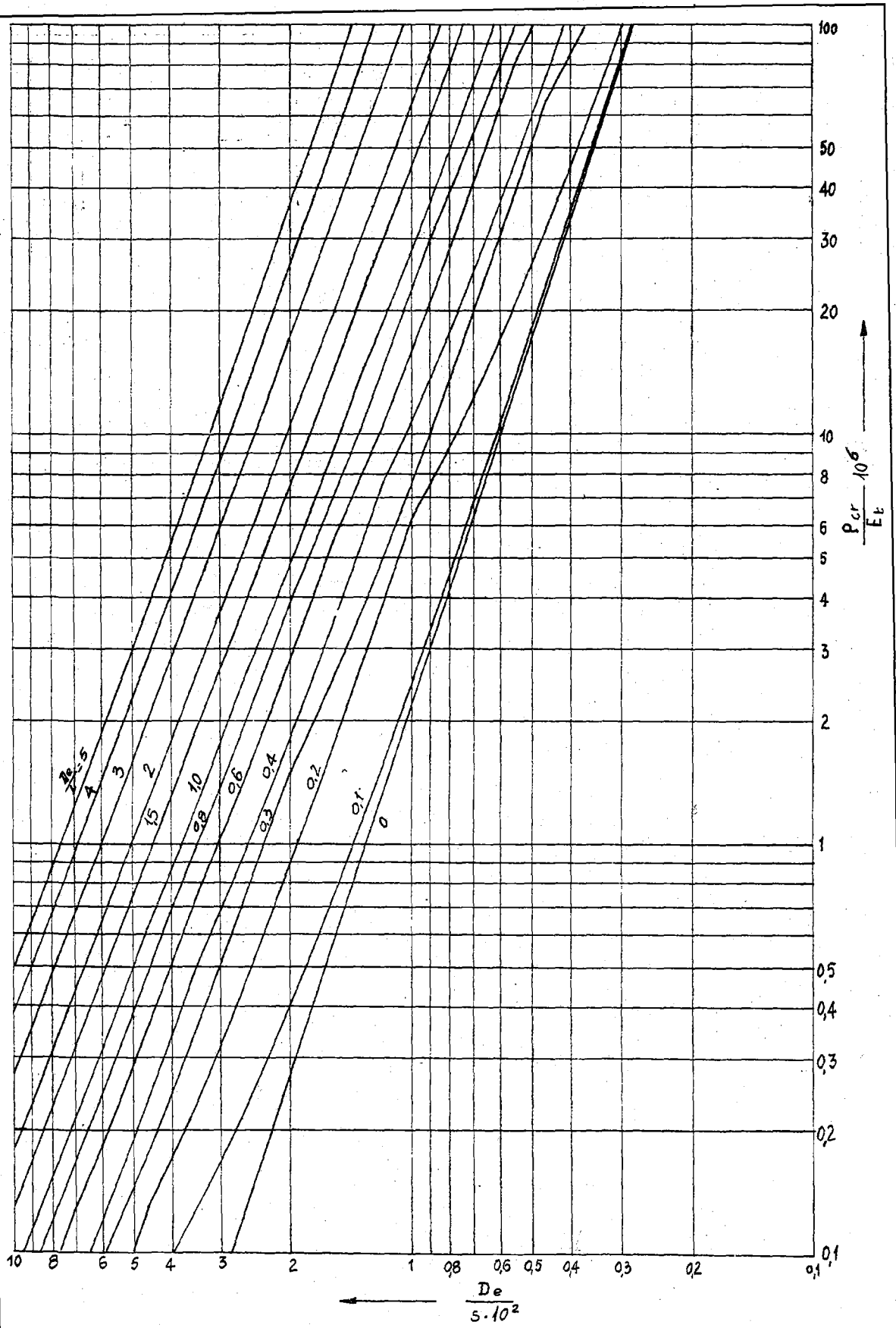


Figura 1.H.2.1. – Valori di p_{cr}

2. La pressione di progetto p deve inoltre soddisfare la relazione:

$$2.1. \qquad p \leq \frac{2\,s f}{D_e}\,\frac{1,5}{1,6\,k}$$

in cui:
k coefficiente che per $D_e \geq 5L$ vale 1, per $D_e < 5L$ è dato dalla formula:

$$2.2. \qquad k = 1 + 0,015\,u\left(1 - 0,2\,\frac{D_e}{L}\right)\frac{D_e}{s}$$

3. Nella verifica alla pressione di prova idraulica, la pressione di prova p_i deve soddisfare le due relazioni:

$$3.1. \qquad p_i \leq \frac{p_{cri}}{2,2}$$

$$3.2. \qquad p_i \leq \frac{2\,s f_i}{D_e}\,\frac{1,1}{1,3\,k}$$

essendo p_{cri} il valore che assume p_{cr} alle condizioni di prova idraulica.

Regola VSR.1.H.3.: *Dimensionamento degli anelli di irrigidimento dei fasciami cilindrici sottoposti a pressione esterna*

1. Gli anelli di irrigidimento saldati con continuità al fasciame cilindrico devono avere un momento di inerzia I_x della sezione rispetto all'asse neutro parallelo all'asse del fasciame non inferiore al valore, in mm^4, risultante dalla formula 1.1.

$$1.1. \qquad I_x \geq \frac{0,2\,p\,L\,D_a{}^2\,D_e}{E_t}$$

Nella verifica alle condizioni di prova idraulica p ed E_t divengono p_i ed E_{20} rispettivamente.

Ai fini del calcolo del momento di inerzia, è consentito considerare facente parte della sezione di rinforzo un tratto L_s di fasciame, da ciascun lato dell'anello, pari a $0,55 \cdot \sqrt{D_e \cdot s}$ (fig. 1.H.3.1.).

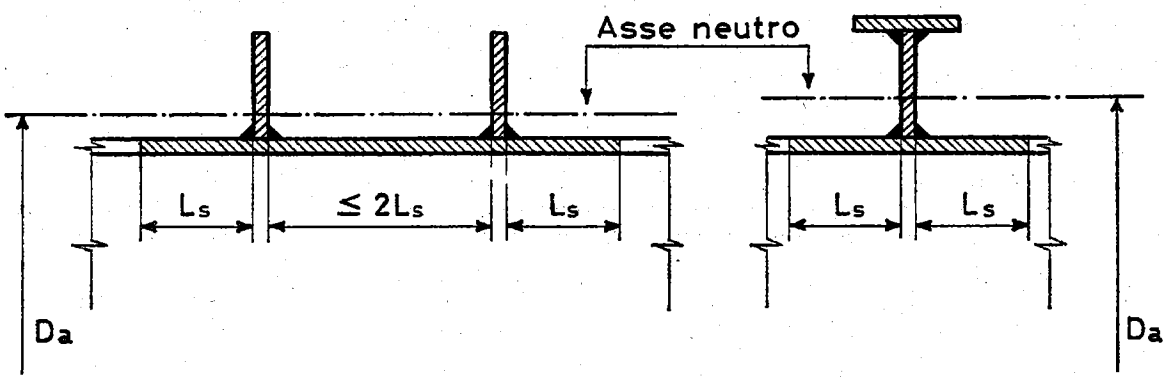
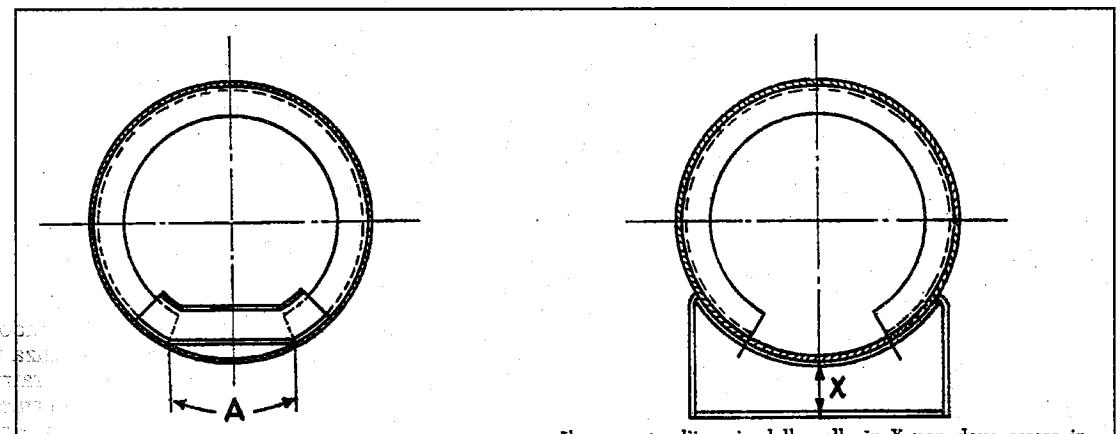


Figura 1.H.3.1. – Anelli di irrigidimento nei fasciami cilindrici

1.2. Anelli di irrigidimento inseriti all'interno del recipiente, anche se non saldati, purché in stretto contatto con il fasciame ed opportunamente vincolati, devono avere un momento di inerzia I_x non inferiore al valore risultante dalla formula 1.1.

1.3. Gli anelli di irrigidimento devono essere estesi a tutta la circonferenza ed eventuali giunti devono essere progettati in modo da realizzare un irrigidimento non inferiore a quello dell'anello.

1.4. Anelli di irrigidimento disposti con tratti non aderenti al fasciame, come indicato in figura 1.H.3.2., devono essere progettati in modo che la lunghezza A di ogni arco nel quale l'anello non aderisce al fasciame sia minore dell'arco ammissibile in base al diagramma in figura 1.H.3.3.



Il momento d'inerzia della sella in X non deve essere inferiore a quello dell'anello di irrigidimento.

Figura 1.H.3.2. – Archi di fasciame non irrigiditi da anello di rinforzo

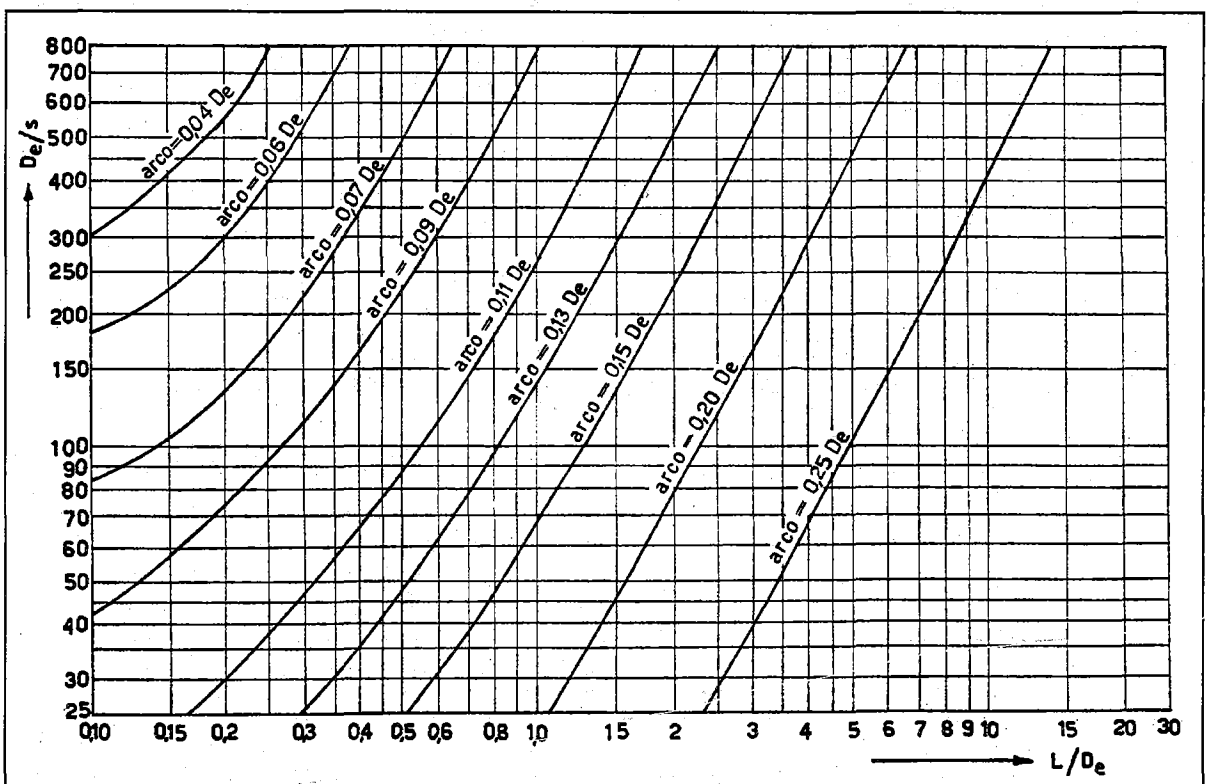


Figura 1.H.3.3. – Valori massimi ammessi per archi di fasciame non irrigiditi da anello di rinforzo

1.5. Nel caso di recipienti con intercapedine, in luogo degli anelli di irrigidimento possono essere adottati elementi di connessione tra fasciame interno e fasciame esterno come indicato in figura 1.H.1.1. con il rispetto delle condizioni geometriche precisate nella figura stessa.

Detti elementi di connessione debbono essere verificati come tiranti, adottando per le relative saldature un valore del modulo di efficienza $z = 0,5$.

Regola VSR.1.H.4.: *Corpi sferici sottoposti a pressione esterna*

1. La pressione di progetto p di un corpo sferico sottoposto a pressione esterna deve soddisfare le seguenti relazioni:

$$1.1. \quad p \leq (1 - k') \frac{E_t}{9 + 0,006 \frac{R_e}{s}} \left(\frac{s}{R_e}\right)^2$$

$$1.2. \quad p \leq (1 - k') \frac{1,5\, s f}{R_e}$$

in cui:

k' coefficiente che vale 0 quando il valore di u è inferiore o uguale a 0,5 e che vale 0,2 quando il valore di u è compreso fra 0,5 ed 1.

2. Nella verifica alla pressione di prova idraulica, la pressione di prova p_i deve soddisfare le seguenti relazioni:

$$2.1. \quad p_i \leq 1,35\,(1 - k') \frac{E_{20}}{9 + 0,006 \frac{R_e}{s}} \left(\frac{s}{R_e}\right)^2$$

$$2.2. \quad p_i \leq (1 - k') \frac{1,5\, s f_i}{R_e}$$

Regola VSR.1.H.5.: *Fondi curvi sottoposti a pressione dalla parte convessa*

1. La pressione di progetto p di un fondo curvo pieno, collegato di testa al fasciame cilindrico, sottoposto a pressione dalla parte convessa si determina con le formule 1.1. e 1.2. della regola VSR.1.H.4.

2. Lo spessore di un fondo di profilo torosferico o ellittico non può comunque essere inferiore allo spessore richiesto per resistere a 1,2 volte la pressione p considerata agente dalla parte concava, assumendo in ogni caso $z = 1$.

3. Nella verifica alla pressione di prova idraulica la pressione di prova p_i deve soddisfare le relazioni 2.1. e 2.2. della regola VSR.1.H.4.

Regola VSR.1.H.6.: *Fondi conici e riduzioni tronco-coniche sottoposti a pressione esterna*

1. La pressione di progetto p dei fondi conici e delle riduzioni tronco-coniche sottoposti a pressione esterna deve soddisfare le relazioni di cui ai punti 1. e 2. della regola VSR.1.H.2., in cui i valori di L e di D_e si assumono come indicato in 1.1. e 1.2.

1.1. Se la giunzione tra fondo conico e fasciame cilindrico o, per le riduzioni tronco-coniche, se tanto la giunzione con il cilindro di diametro maggiore quanto quella con il cilindro di diametro minore possono essere considerate rinforzi efficaci secondo il successivo punto 2., per L si assume la distanza fra le giunzioni misurate parallelamente alla generatrice - salvo quando esistono rinforzi efficaci intermedi, nel qual caso la lunghezza L sarà quella fra due rinforzi efficaci contigui - e per D_e si assume il valore $D_m/\cos\alpha$, in cui D_m è il diametro esterno medio e α è l'angolo compreso fra l'asse e le generatrici del cono.

1.2. Se la condizione di cui al successivo punto 2. non è soddisfatta per la giunzione o le giun zioni di cui al punto 1.1., per D_e si assume il diametro esterno del cilindro unito alla base maggiore del cono e per L si assume la distanza, misurata parallelamente all'asse, fra due rinforzi efficaci secondo la regola VSR.1.H.3., considerando, per i fondi conici, il vertice del fondo alla stregua di un rinforzo efficace (figura 1.H.6.2.).

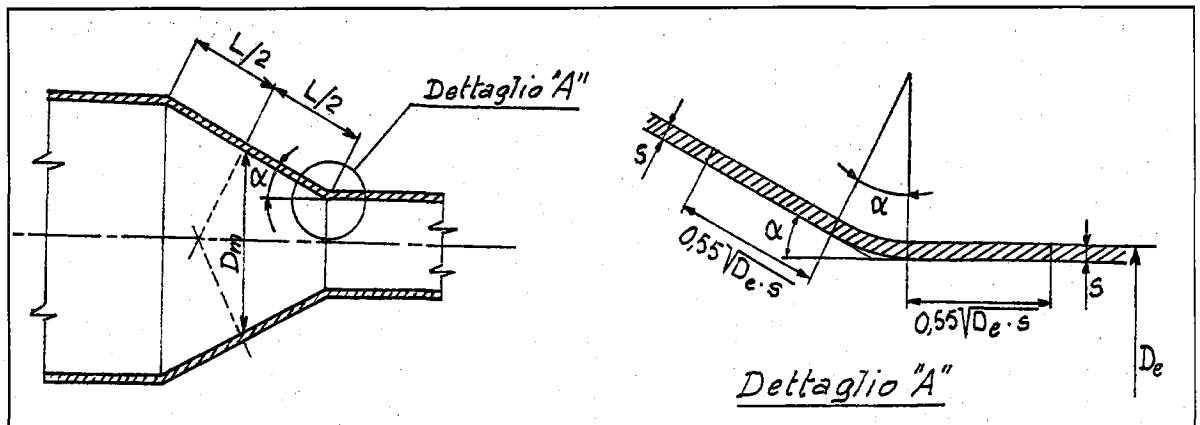


Figura 1.H.6.1. – Distanza L per giunzioni efficaci cono-cilindro

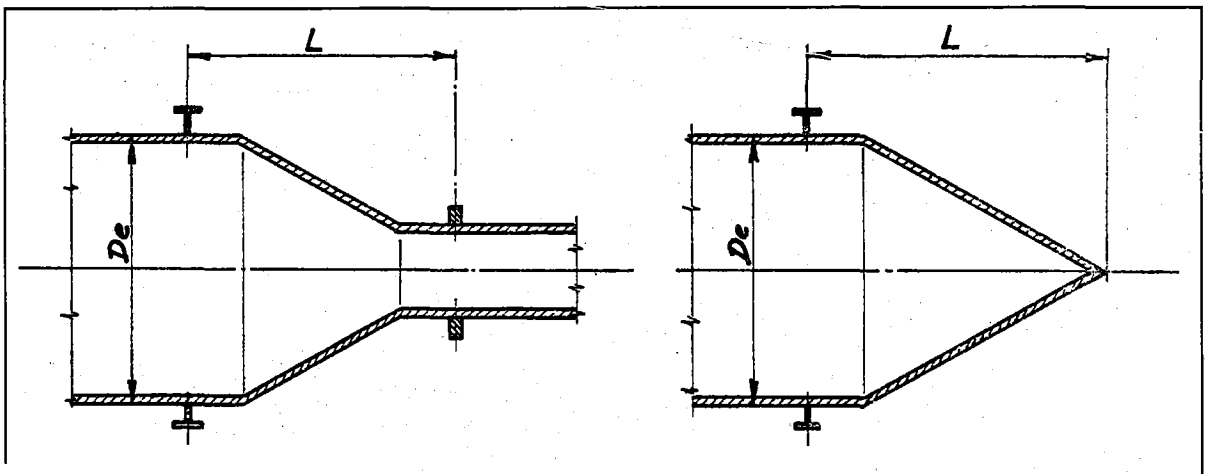


Figura 1.H.6.2. – Distanza L per giunzioni non efficaci cono-cilindro

2. Perché una giunzione fra cono e cilindro possa considerarsi rinforzo efficace occorre che il momento di inerzia, riferito all'asse neutro parallelo all'asse del cilindro, della sezione del cono e del cilindro, includendo eventuali anelli di rinforzo compresi entro la distanza $0{,}55\sqrt{D_e \cdot s}$ da entrambi i lati della base del cono, soddisfi la relazione 1.1. della regola VSR.1.H.3. (fig. 1.H.6.1.) dove D_e è il valore del diametro esterno del cilindro unito alla base maggiore del cono e D_a è il diametro dell'asse neutro del rinforzo che si considera.

3. In ogni caso lo spessore del cono o del tronco di cono non deve essere inferiore a quello richiesto per resistere alla medesima pressione agente dalla parte interna, assumendo $z = 1$.

4. Nella verifica alla pressione di prova idraulica, la pressione di prova p_i deve soddisfare le relazioni 3.1. e 3.2. della VSR.1.H.2.

Regola VSR.1.H.7.: *Aperture nelle pareti sottoposte a pressione esterna*

1. Per le aperture nelle pareti sottoposte a pressione esterna si applicano le regole del capitolo VSR.1.K. «Aperture e tronchetti sulle pareti sottoposte a pressione interna», limitatamente alle condizioni di progetto.

Ai fini della verifica della compensazione, il valore della pressione p_c convenzionale, da utilizzare per le regole del capitolo VSR.1.K., si assume come segue:

1.1. per fasciami cilindrici:

$$p_c = \frac{1,6K}{1,5} \cdot p$$

1.2. per corpi sferici e fondi curvi:

$$p_c = \frac{4}{3} \cdot p$$

1.3. per fondi conici e riduzioni tronco-coniche:

$$p_c = \frac{1,6K}{1,5} \cdot p$$

Nelle formule di cui sopra k è un coefficiente da assumere come indicato al punto 2 della regola VSR.1.H.2.

ELENCO DELLE REGOLE CONTENUTE NEL CAPITOLO VSR.1.K.

Regola VSR.1.K.1.: *Campo di applicazione e simboli*

1. Le regole di cui al presente capitolo VSR.1.K. riguardano le aperture ed i tronchetti applicati alle pareti di fasciami cilindrici o sferici, ai fondi curvi ed alle pareti coniche e tronco-coniche sottoposti a pressione interna.

2. Nelle regole del presente capitolo VSR.1.K. sono impiegati i seguenti simboli in aggiunta a quelli definiti nella regola VSR.0.6.:

a distanza, misurata sulla superficie media della parete, tra il centro di una apertura ed il bordo esterno dell'eventuale tronchetto o massello sia penetrante che appoggiato alla virola, oppure, in assenza di tronchetto o massello, tra il centro dell'apertura ed il bordo interno dell'apertura stessa, nella sezione in cui si esegue la verifica di compensazione, in mm;

a_1, a_2 distanze a relative alla verifica di aperture vicine, comprese entro la lunghezza L_c;

a'_1, a'_2 distanze a relative alla verifica di aperture vicine, prese esternamente alla lunghezza L_c;

A_f area sollecitata della sezione trasversale del materiale utile per la compensazione, in mm^2;

A_{fm} A_f del fasciame (parete principale), in mm^2;

A_{fp} A_f della piastra di rinforzo, in mm^2;

A_{fr} A_f del massello flangiato al netto della sezione della sede del bullone, in mm^2;

A_{fs} A_f della saldatura fra fasciame e tronchetto, in mm^2;

A_{ft} A_f del tronchetto, in mm^2;

A_p area soggetta alla pressione del fluido, in mm^2;

$A_{p\alpha}$ area addizionale soggetta a pressione per i tronchetti inclinati, dipendente dall'angolo di inclinazione del tronchetto preso sul piano della sezione, in mm^2;

A_{pm} A_p del fasciame (parete principale), in mm^2;

A_{pt} A_p del tronchetto, in mm^2;

d diametro interno del tronchetto, del massello flangiato, dimensione massima di una apertura in generale, in mm;

d_{if} diametro interno della parte cilindrica del fondo, in mm;

d_{ip} diametro interno della piastra di rinforzo, in mm;

d_o diametro esterno, in mm;

d_{op} d_o della piastra di rinforzo, in mm;

d_{or} d_o del massello flangiato, in mm;

d_{ot} d_o del tronchetto, in mm;

D_e diametro esterno della parte cilindrica dei fondi curvi, in mm;

D_i diametro interno dei fasciami cilindrici e conici al centro dell'apertura, e dei fondi curvi al centro del fondo ($D_i = 2 \cdot R$), in mm;

D_o diametro esterno dei fasciami cilindrici, sferici e conici al centro dell'apertura, in mm;

f sollecitazione massima ammissibile in progetto del fasciame o del fondo (parete principale), in MPa;

f_p f del materiale della piastra di rinforzo, in MPa;

f_r f del materiale del massello flangiato, in MPa;

f_t f del materiale del tronchetto, in MPa;

H altezza interna di un fondo bombato, senza colletto, in mm;

k coefficiente di riduzione del valore di L;

l altezza esterna utile del tronchetto, in mm;

l' altezza interna utile del tronchetto, in mm;

l_t altezza del tronchetto esterna alla parete, in mm;

l'_t altezza del tronchetto interna alla parete, in mm;

l_{cil} lunghezza d'influenza della giunzione cilindro-base minore del cono sul lato del cilindro (fig. 1.K.5.6), in mm:

l_{con} lunghezza d'influenza della giunzione cilindro-base minore del cono sul lato del cono (fig. 1.K.5.10), in mm;

l_m lunghezza della parete effettivamente disponibile per la compensazione di una apertura, in mm;

l_{max} massima lunghezza della parete, dal bordo della apertura o dal diametro esterno del tronchetto, disponibile per la compensazione vicino ad una discontinuità della parete principale in mm;

l_p larghezza della piastra di rinforzo, in mm;

l_{po} larghezza utile della piastra di rinforzo, in mm;

l_r larghezza del massello flangiato, in mm;

l_{ro} larghezza utile del massello flangiato, in mm;

L lunghezza massima della sezione della parete principale utile per la compensazione dell'apertura, presa sul raggio medio di curvatura della parete a partire dal bordo esterno del tronchetto o massello penetrante o appoggiato alla virola, oppure dal bordo della foratura in assenza del tronchetto, in mm;

L' lunghezza della sezione della parete principale che comprende l'intera sezione di due aperture vicine, presa sul diametro medio della parete stessa, in mm;

L_c distanza minima fra i centri di due aperture o tronchetti presa sulla superficie media di curvatura della parete, in mm. Nel caso di fasciami cilindrici o conici la distanza L_c va presa, a secondo della coppia di aperture considerate, su una generatrice, su un circolo direttore o su un arco a spirale. Nel caso di fondi curvi la distanza L_c va presa sulla sezione del fondo ottenuta con un piano passante per i centri delle due aperture e per il centro di origine del raggio di curvatura R del fondo curvo;

R raggio interno di curvatura del profilo di intradosso, al centro di un fondo curvo, in mm;

r_i raggio interno di curvatura della parete principale al centro dell'apertura, in mm;

s spessore del fasciame (parete principale) o spessore medio della parete nel tratto l_m, in mm;

s_p spessore della piastra di rinforzo, in mm;

s_r spessore del massello flangiato, in mm;

s_t spessore della parete del tronchetto o spessore medio di tale parete nel tratto l oppure l', in mm;

x distanza di una apertura da una discontinuità della parete principale, in mm;

α angolo tra l'asse del tronchetto e la perpendicolare alla fibra media della parete principale al centro dell'apertura, in gradi;

α_c angolo di conicità, compreso fra l'asse e la generatrice del cono, in gradi;

β angolo tra la tangente alla linea congiungente i centri di due aperture o tronchetti tracciata sulla superficie media della parete e la generatrice del fasciame cilindrico o conico, prese su uno dei due centri, in gradi;

θ angolo tra la congiungente il punto di proiezione sul fasciame della saldatura longitudinale del tronchetto ed il centro dell'apertura, e la generatrice del fasciame passante per il centro della apertura stessa, in gradi.

Regola VSR.1.K.2.: *Condizioni di applicazione*

1. I metodi di calcolo specificati alle regole VSR.1.K.3. e VSR.1.K.4. si applicano ai fasciami cilindrici e conici, ai fasciami sferici ed ai fondi curvi aventi aperture circolari, ellittiche od oblunghe, se risultano soddisfatte le ipotesi e le condizioni specificate nella presente regola.

Forze e/o momenti derivanti da carichi diversi da quelli originati dalla pressione interna non sono presi in considerazione in tali metodi di calcolo.

2. Il rapporto tra il diametro interno del tronchetto o dell'apertura e quello della parete principale deve soddisfare la condizione:

$$2.1. \qquad \frac{d}{2 \cdot r_i} \leq 0,3$$

Per i fasciami cilindrici e conici è possibile avere il rapporto d/D_i maggiore di 0,3 se il rapporto tra gli spessori s_t/s non supera il valore indicato sul grafico di figura 1.K.2.1., funzione del rapporto $d/2r_i$.

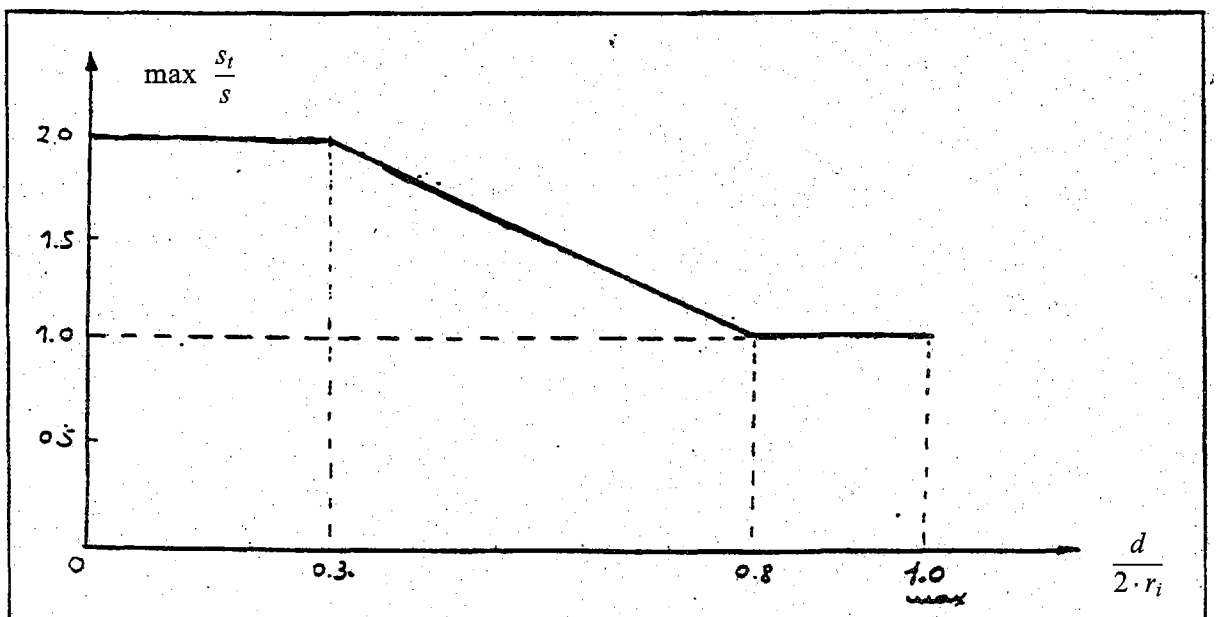


Figura 1.K.2.1. – Valore massimo del rapporto s_t/s

Per i fondi curvi (emisferici, paraellittici ed ellittici) è possibile avere il rapporto $d/2r_i > 0{,}3$ ma con $d/D_e \leq 0{,}6$ se il rapporto tra gli spessori s_t/s non supera il valore indicato sul grafico di figura 1.K.2.1., funzione del rapporto $d/2r_i$.

Qualora il rapporto s_t/s superi i limiti previsti nel grafico della fig. 1.K.2.1., lo spessore del tronchetto da usare nei calcoli previsti nei successivi paragrafi non deve essere superiore al valore massimo previsto dal grafico stesso per il rapporto $d/2r_i$ considerato.

3. Il metodo di calcolo specificato alle regole VSR.1.K.3. e VSR.1.K.4. si applica ai fasciami cilindrici e conici ed ai fondi ellittici, torosferici ed a calotta sferica allorquando le aperture e i tronchetti sono distanti dal bordo della parete di un valore x non inferiore alla distanza minima indicata per ogni tipo di parete alla regola VSR.1.K.5. In particolare tale metodo non si applica ai fori su fondo curvo posizionati sulla zona di raccordo del fondo al fasciame che non è compresa entro lo $0{,}8 \cdot D_e$ del fondo stesso, ai quali può essere applicato il metodo descritto in V.S.R.1.E.2.3. alle condizioni ivi esposte.

4. I fasciami cilindrici e conici, i fasciami sferici e i fondi curvi con aperture devono essere rinforzati dove necessario. Il rinforzo può essere effettuato:

a) aumentando lo spessore della parete principale che risulterebbe necessario in assenza di aperture (figure 1.K.2.2. e 1.K.2.3.);

b) applicando con saldatura una piastra di rinforzo (figure 1.K.2.4. e 1.K.2.5.);

c) applicando con saldatura un massello flangiato (figure 1.K.2.6. e 1.K.2.7.);

d) incrementando lo spessore minimo necessario dei tronchetti (figure da 1.K.2.8. a 1.K.2.11.);

e) ricorrendo ad una combinazione dei metodi sopra citati (figure 1.K.2.12., 1.K.2.13. e 1.K.2.14.).

La parte di piastre di rinforzo che, nei fondi curvi, eventualmente supera 0.8 D_e (fig. 1.K.5.12.) non deve essere presa in considerazione ai fini della verifica di compensazione delle aperture.

5. Il metodo di calcolo esposto è ricavato dalle formule relative al calcolo di verifica dei fasciami cilindrici, dei fasciami sferici e sezioni sferiche dei fondi curvi rispettivamente, e deriva dalla relazione tra l'area soggetta alla pressione del fluido A_p e l'area sollecitata della sezione trasversale del materiale utile per la compensazione A_f (figure da 1.K.2.2. a 1.K.2.16).

6. Quando è necessario un rinforzo, esso deve risultare sufficiente in tutti i piani passanti per l'asse della apertura.

7. Nel caso di aperture ellittiche o oblunghe il rapporto tra l'asse maggiore e quello minore non deve superare 2. Per aperture ellittiche o oblunghe su fasciami conici e cilindrici deve essere presa come diametro di calcolo la dimensione della apertura lungo la generatrice, mentre su fasciami sferici e fondi curvi deve essere presa in esame la dimensione maggiore.

8. I tronchetti saldati con saldature d'angolo non penetranti (vedere figure 1.K.2.15. e 1.K.2.16.) possono essere presi in considerazione per il rinforzo delle aperture solo se lo spessore di saldatura m indicato nelle figure citate risulta non inferiore al valore del minore dei due spessori, del fasciame e del tronchetto, moltiplicato per 0,7.

9. La compensazione delle aperture mediante piastre di rinforzo è ammessa soltanto alla seguente condizione:

9.1. $$\frac{d}{2 \cdot r_i} \leq 0{,}5$$

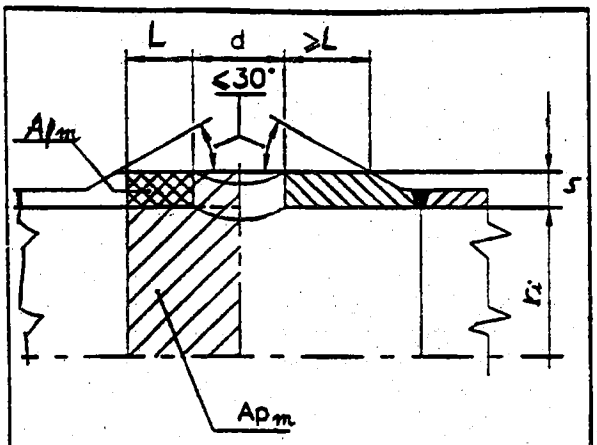


Figura 1.K.2.2. – Rinforzo mediante aumento di spessore del fasciame

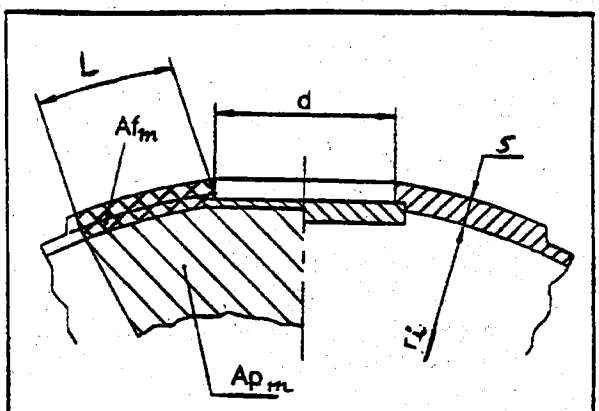


Figura 1.K.2.3. – Rinforzo mediante aumento di spessore del fasciame

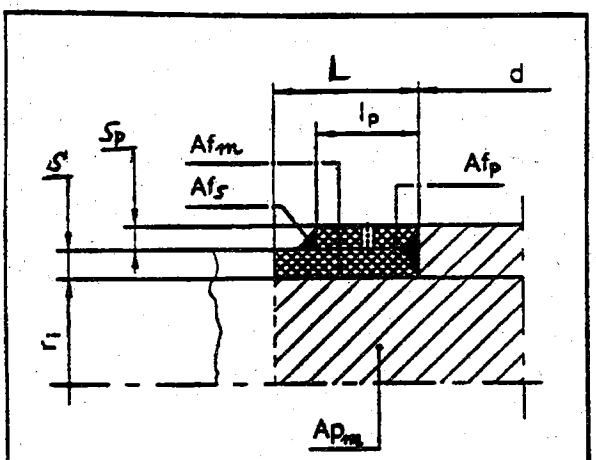


Figura 1.K.2.4. – Rinforzo mediante piastra i rinforzo

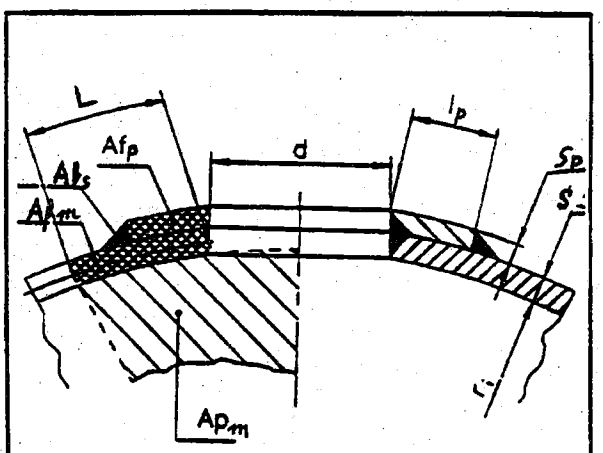


Figura 1.K.2.5. – Rinforzo mediante piastra di rinforzo

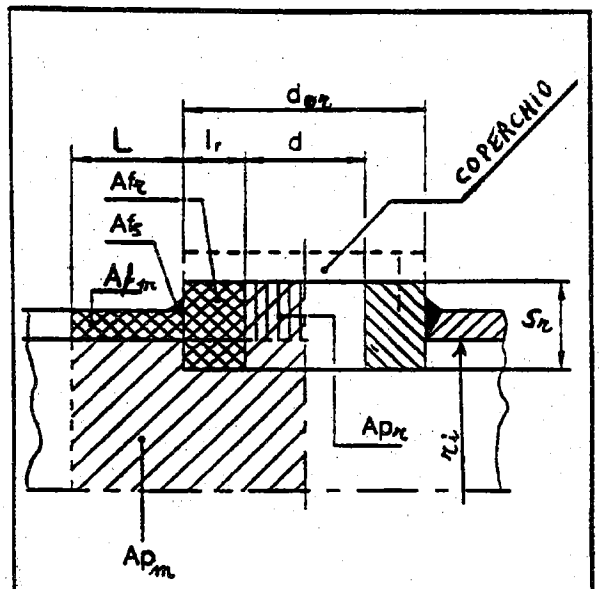


Figura 1.K.2.6. – Rinforzo mediante massello flangiato

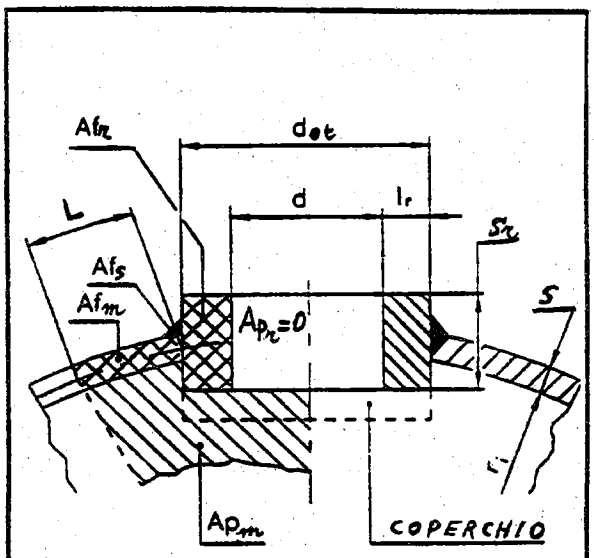


Figura 1.K.2.7. – Rinforzo mediante massello flangiato

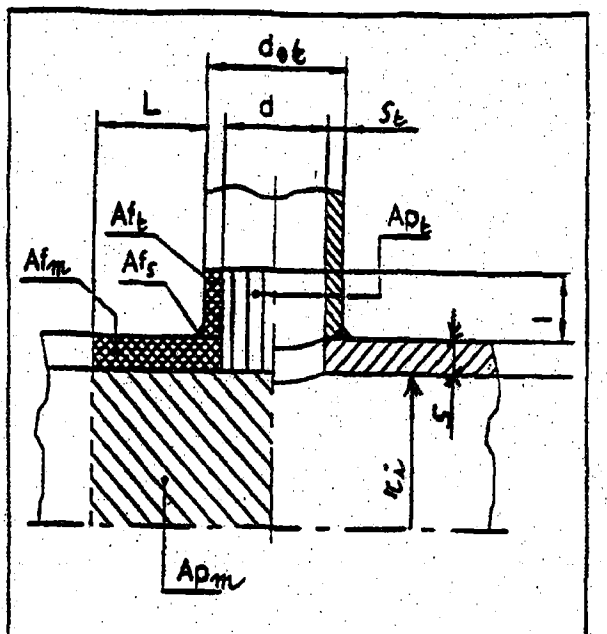


Figura 1.K.2.8. – Rinforzo mediante tronchetto

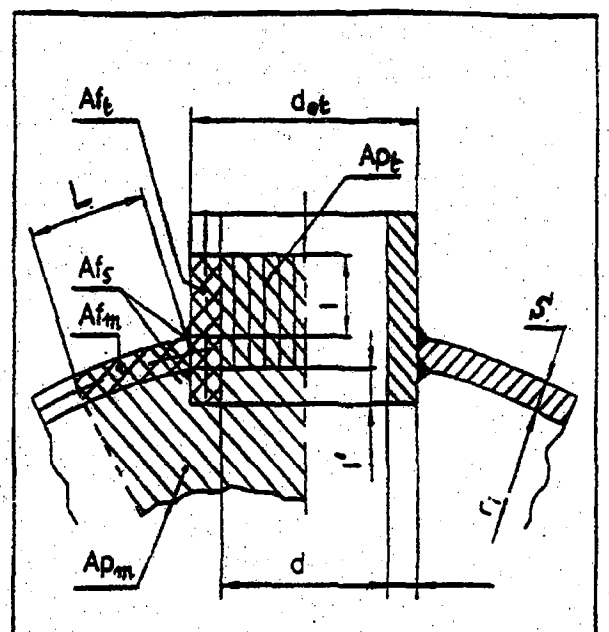


Figura 1.K.2.9. – Rinforzo mediante tronchetto

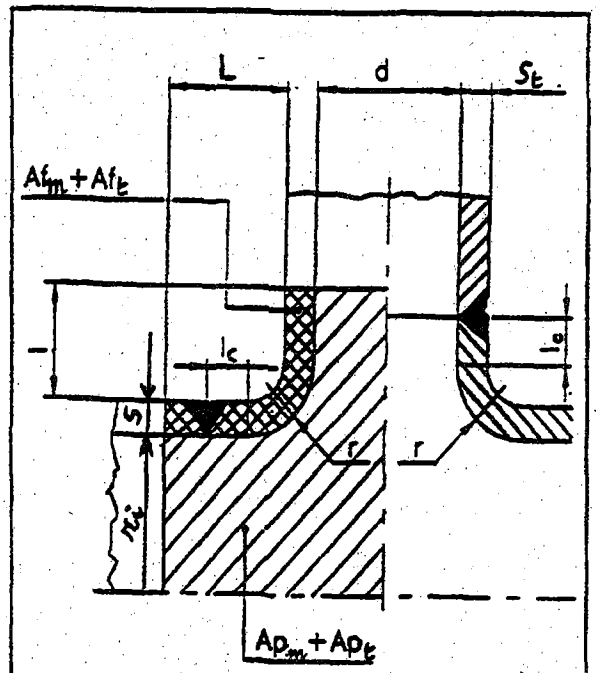


Figura 1.K.2.10. – Rinforzo mediante tronchetto estruso su fasciame cilindrico

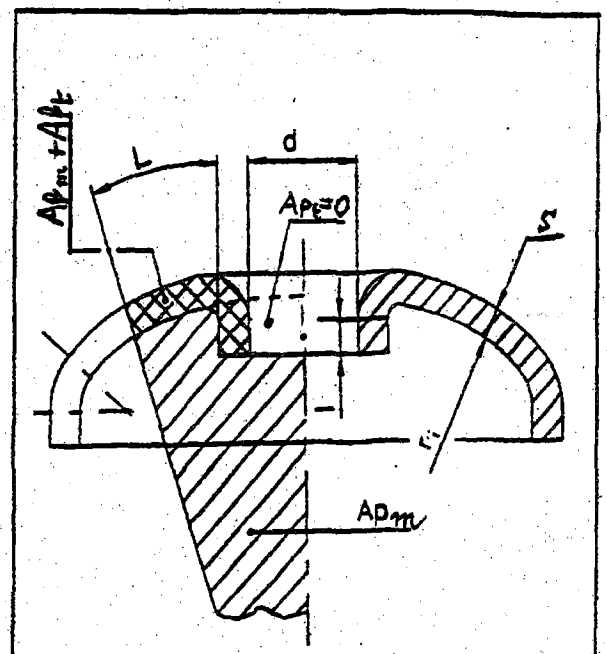


Figura 1.K.2.11. – Chiusura autoclave: rinforzo mediante tronchetto estruso su fondo curvo

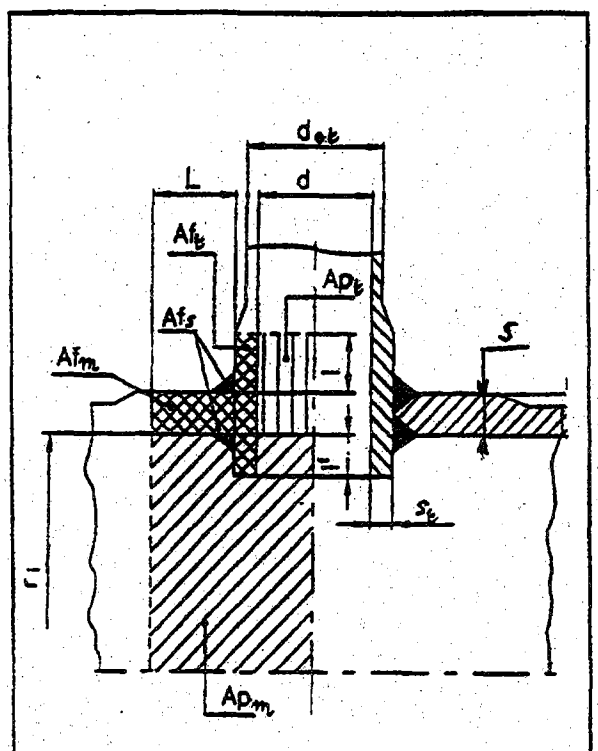


Figura 1.K.2.12. – Rinforzo di tipo misto

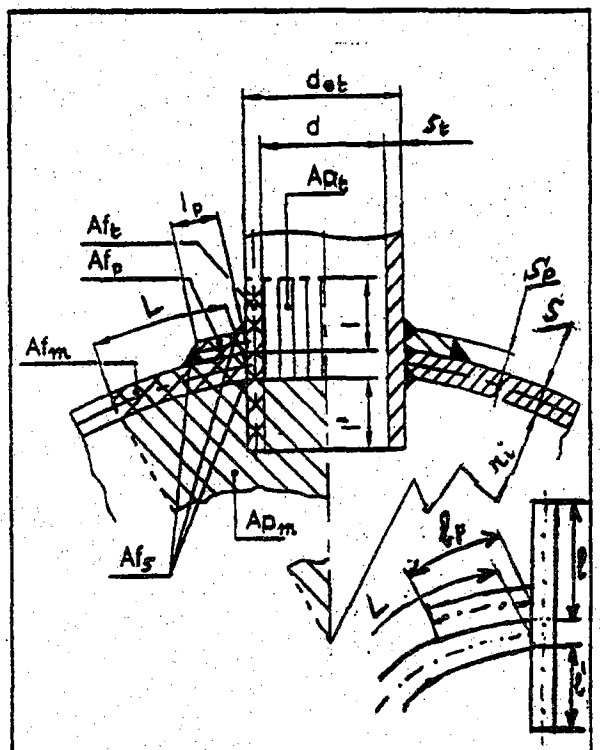


Figura 1.K.2.13. – Rinforzo di tipo misto

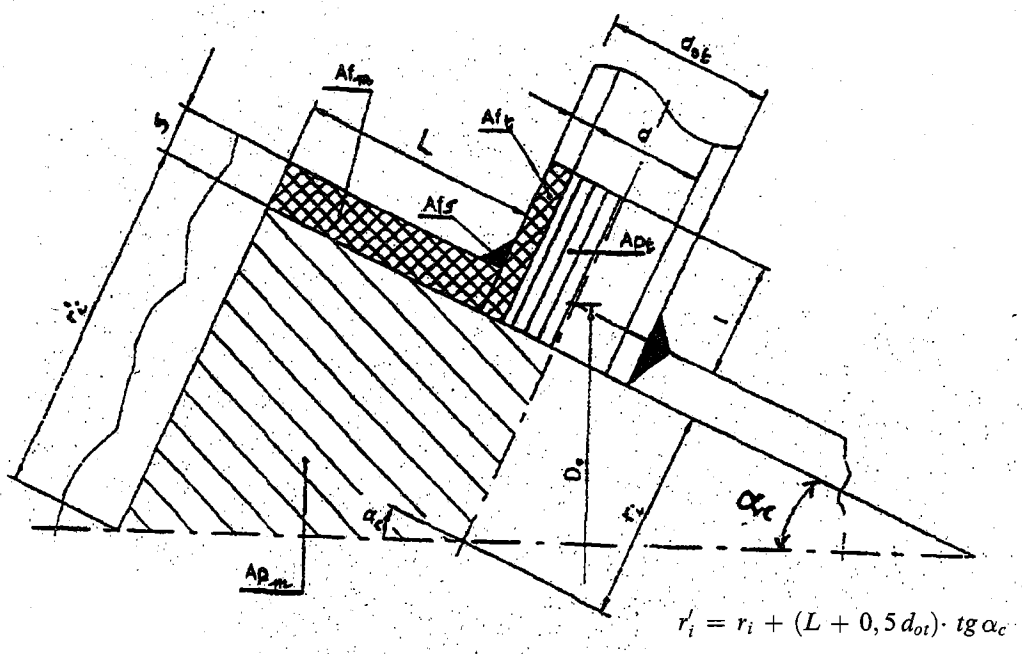


Figura 1.K.2.14. – Rinforzo mediante tronchetto su fasciame conico

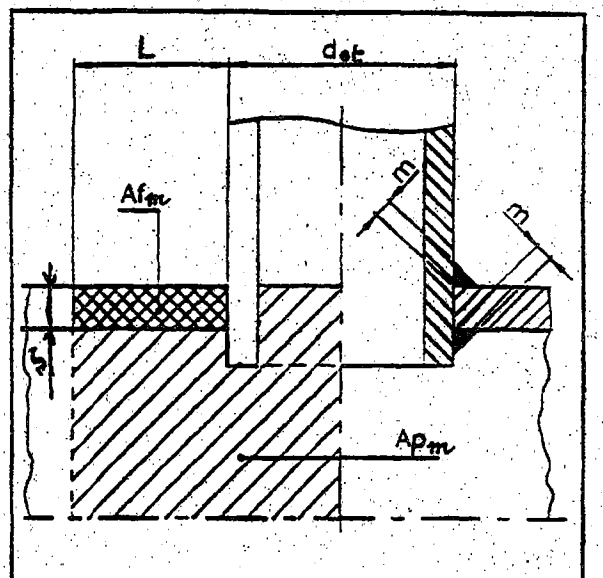


Figura 1.K.2.15. – Rinforzo con tronchetto penetrante

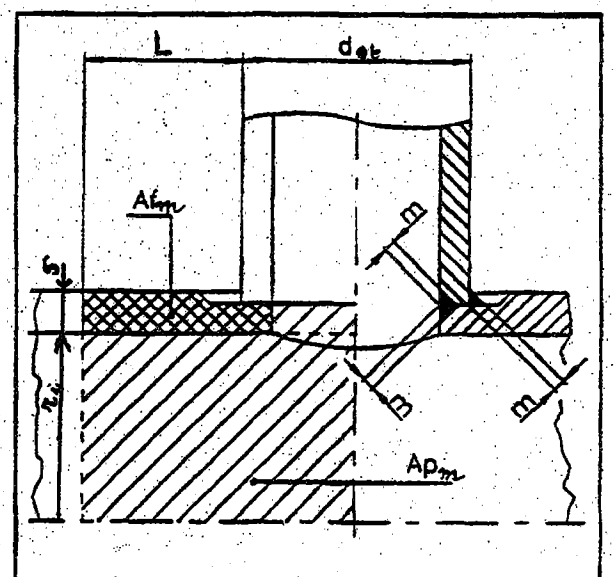


Figura 1.K.2.16. – Rinforzo con tronchetto parzialmente penetrante

Regola VSR.1.K.3.: *Fasciami cilindrici e conici, fasciami sferici e fondi curvi con aperture isolate*

1. *Aperture isolate.*

1.1. Aperture e tronchetti adiacenti possono essere considerati come aperture isolate se la distanza L_c fra i centri di tali aperture, presa sul diametro medio della parete principale, soddisfa la seguente relazione:

$$L_c \geq a_1 + a_2 + L_1 + L_2 \qquad 1.1.$$

in cui a_1 e a_2 sono prese lungo L_c (cfr. figure 1.K.3.6., 1.K.3.7., 1.K.3.8., 1.K.3.9.) mentre L è per ciascuna apertura:

$$L = \sqrt{(2r_i + s) \cdot s} \qquad 1.2.$$

in cui:

s spessore effettivo della sola parete principale oppure lo spessore medio sul tratto L, senza considerare lo spessore di eventuali piastre di rinforzo presenti,

r_i raggio interno di curvatura della parete principale al centro di ciascuna apertura, e cioè:

– per fasciami cilindrici o sferici

$$r_i = \frac{D_o}{2} - s \qquad 1.3.$$

– per fondi emisferici o torosferici

$$r_i = R \qquad 1.4.$$

– per fondi ellittici o paraellittici

$$r_i = 0,9 \cdot \frac{d_{if}^2}{4H} \qquad 1.5.$$

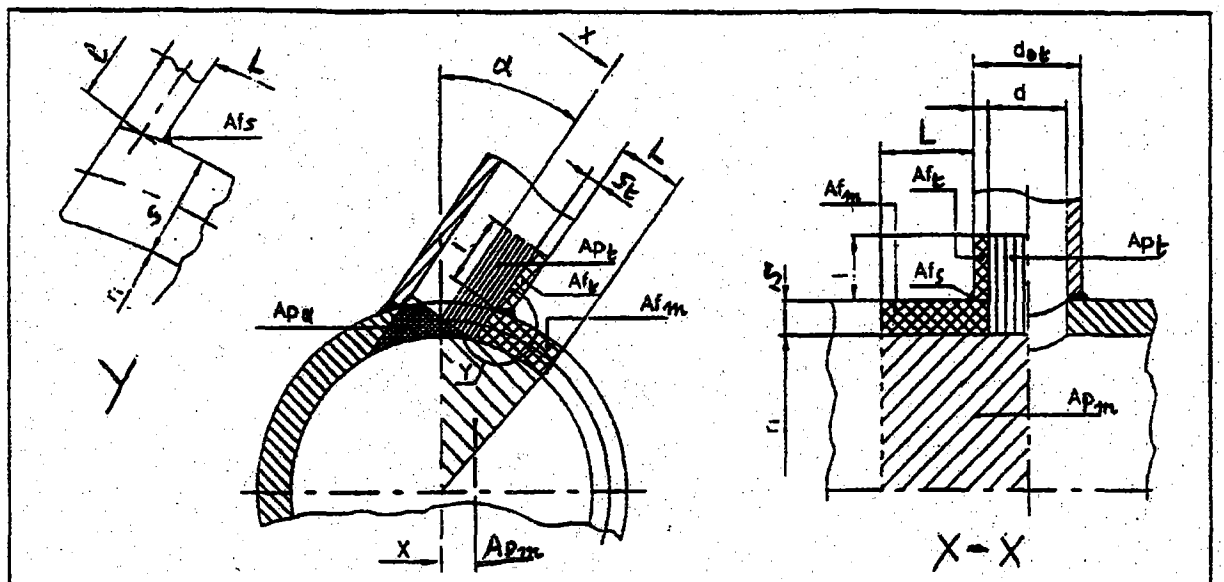


Figura 1.K.3.1. – Fasciame cilindrico con tronchetto inclinato lungo il circolo direttore

$$Ap_\alpha = \frac{d^2}{2} \cdot tg\ \alpha$$

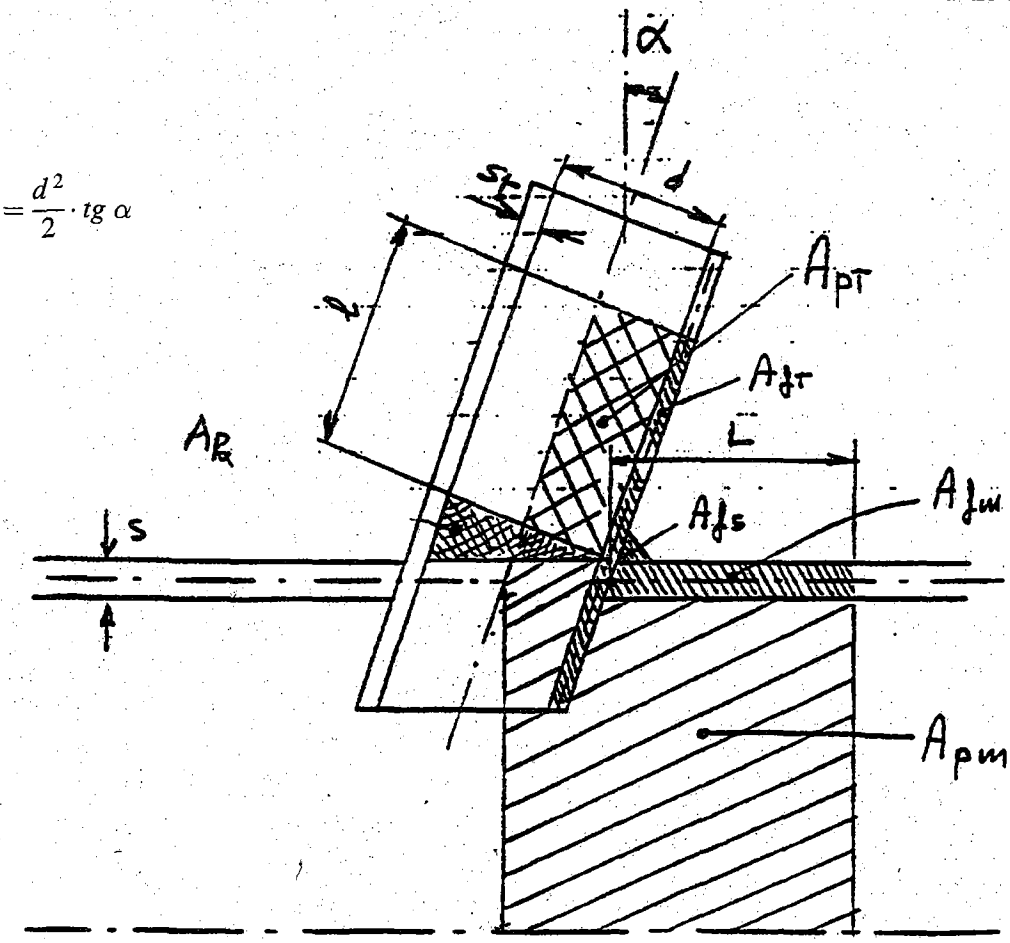


Figura 1.K.3.2. – Fasciame cilindrico con tronchetto inclinato lungo la generatrice

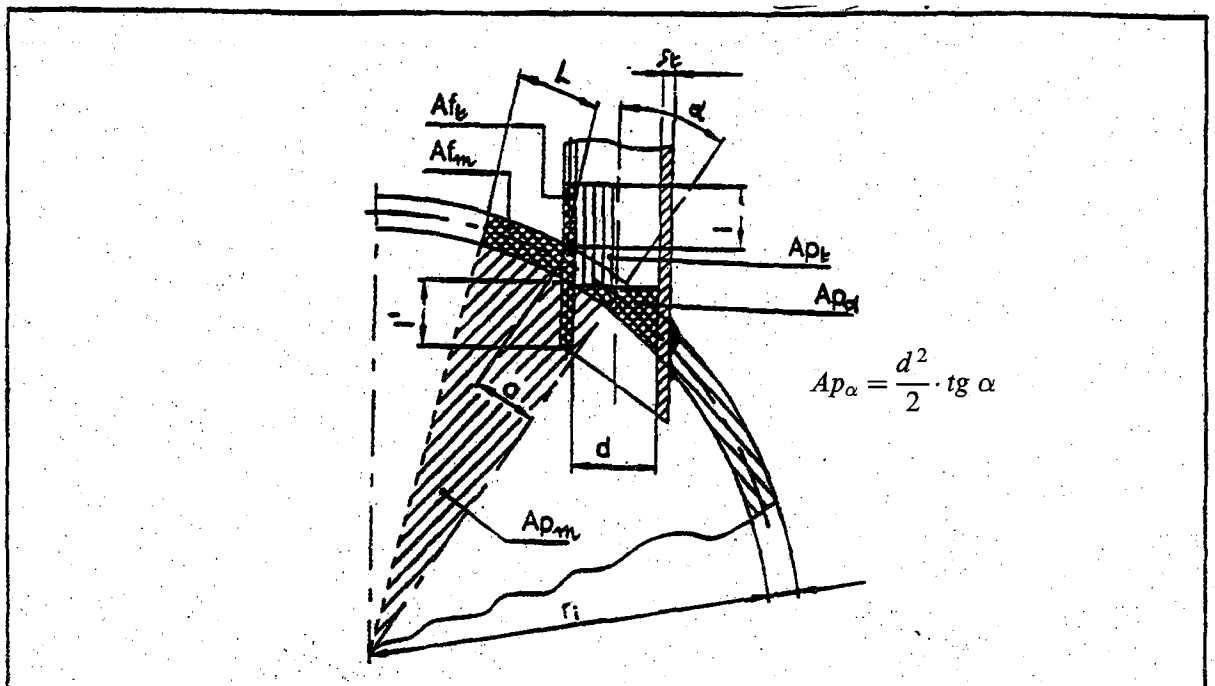


Figura 1.K.3.3. – Fasciame sferico con tronchetto inclinato

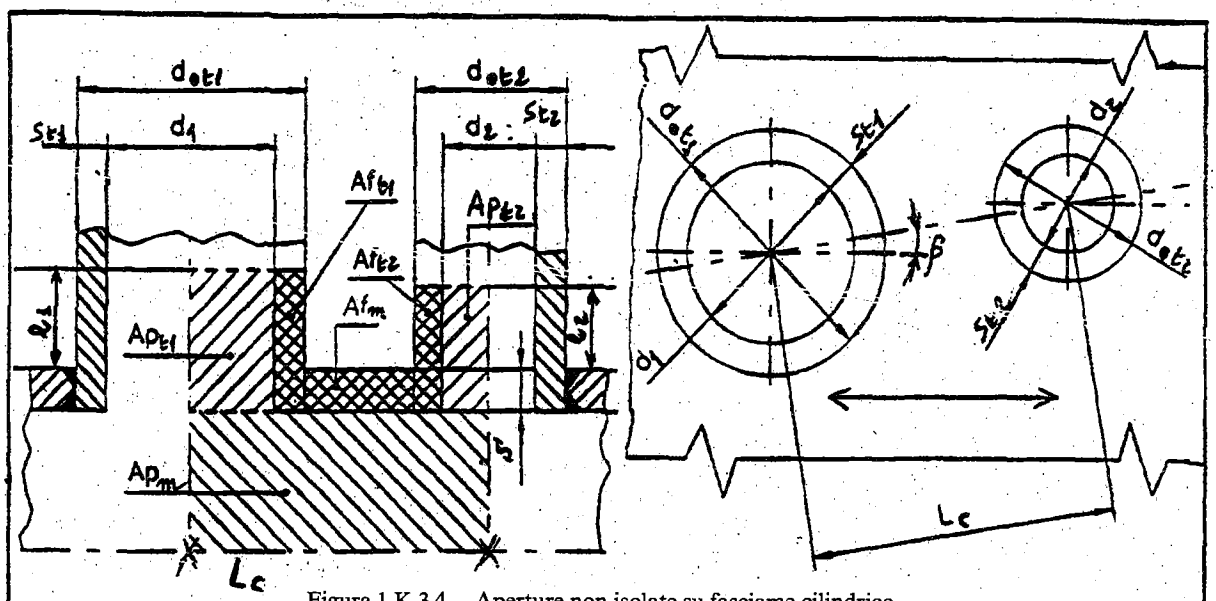


Figura 1.K.3.4. – Aperture non isolate su fasciame cilindrico

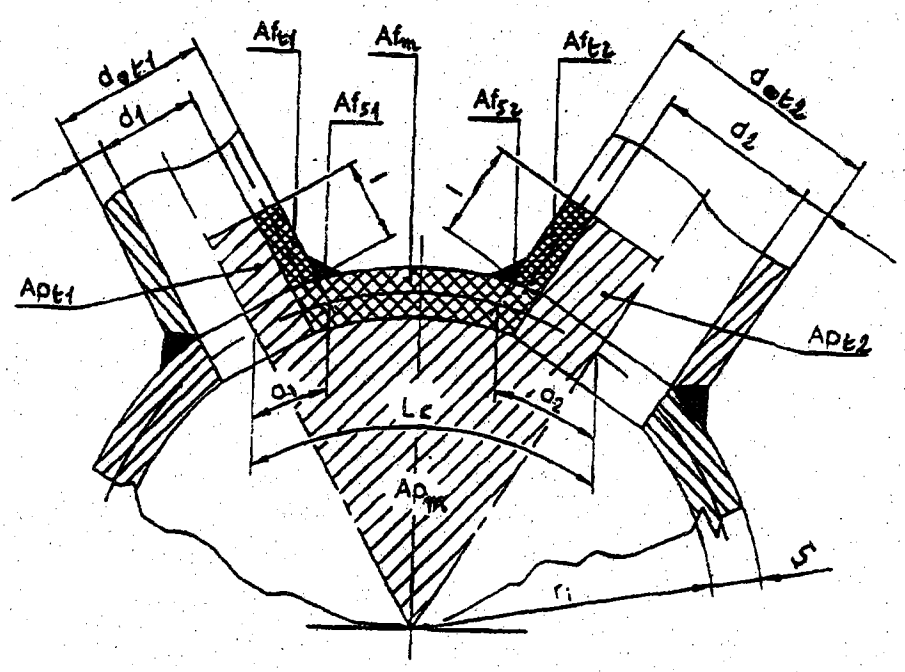


Figura 1.K.3.5. – Aperture non isolate su fondo curvo o sferico

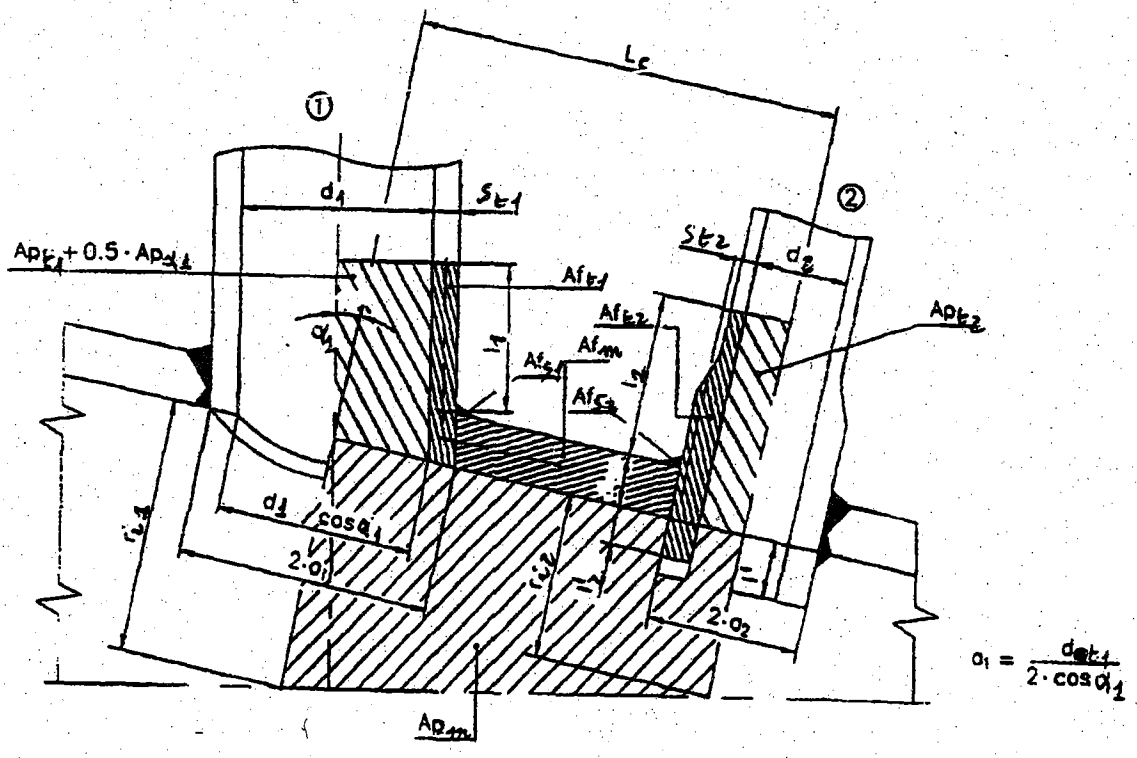


Figura 1.K.3.6. – Tronchetti inclinati non isolati su fasciame conico
(con assi dei tronchetti e asse del cono complanari)

$$Ap_{\alpha_1} = \frac{d_2^2}{2} \cdot tg\ \alpha_1$$

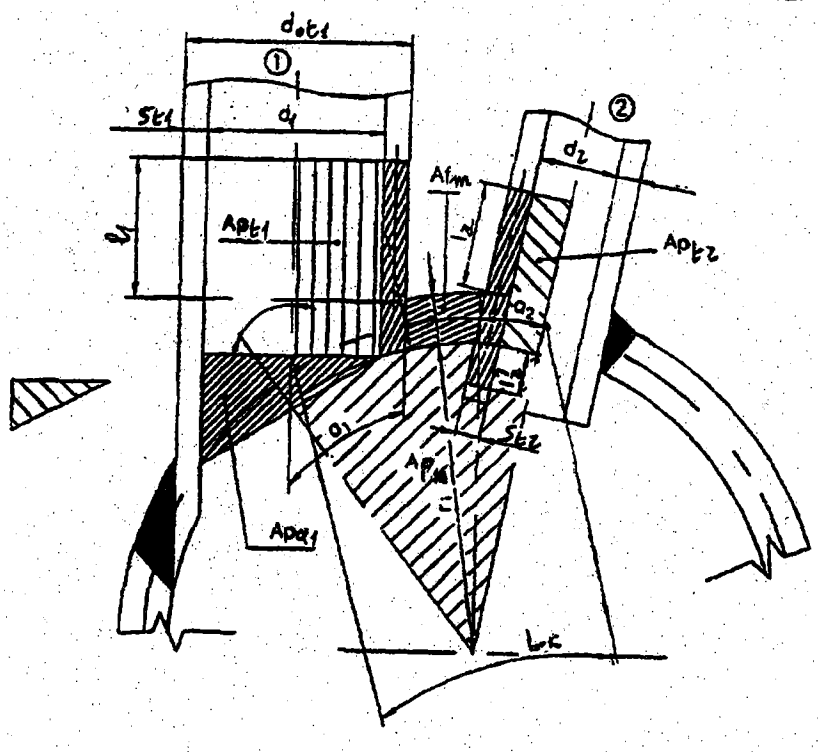
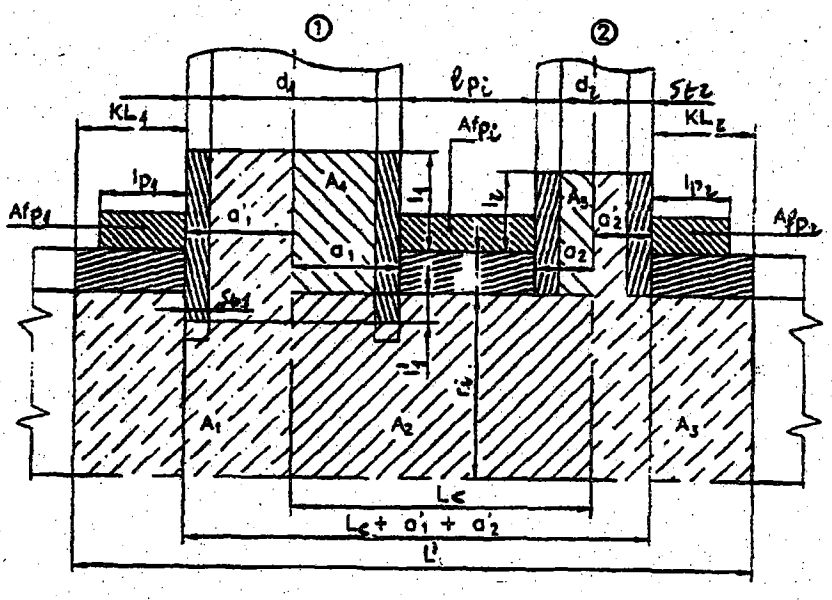


Figura 1.K.3.7. – Tronchetti inclinati non isolati su fondo sferico
(con assi dei tronchetti e centro di curvatura complanari)



Af_m = Af_p = Af_{t_1} = Af_{t_2} =

$$Ap = A1+A2+A3+A4+A5 = Ap_m + 2Ap_{t_1} + 2Ap_{t_2} + Ap_{\alpha_1} + Ap_{\alpha_2}$$

Figura 1.K.3.8. – Aperture adiacenti poco rinforzate (interferenti) su fasciame cilindrico

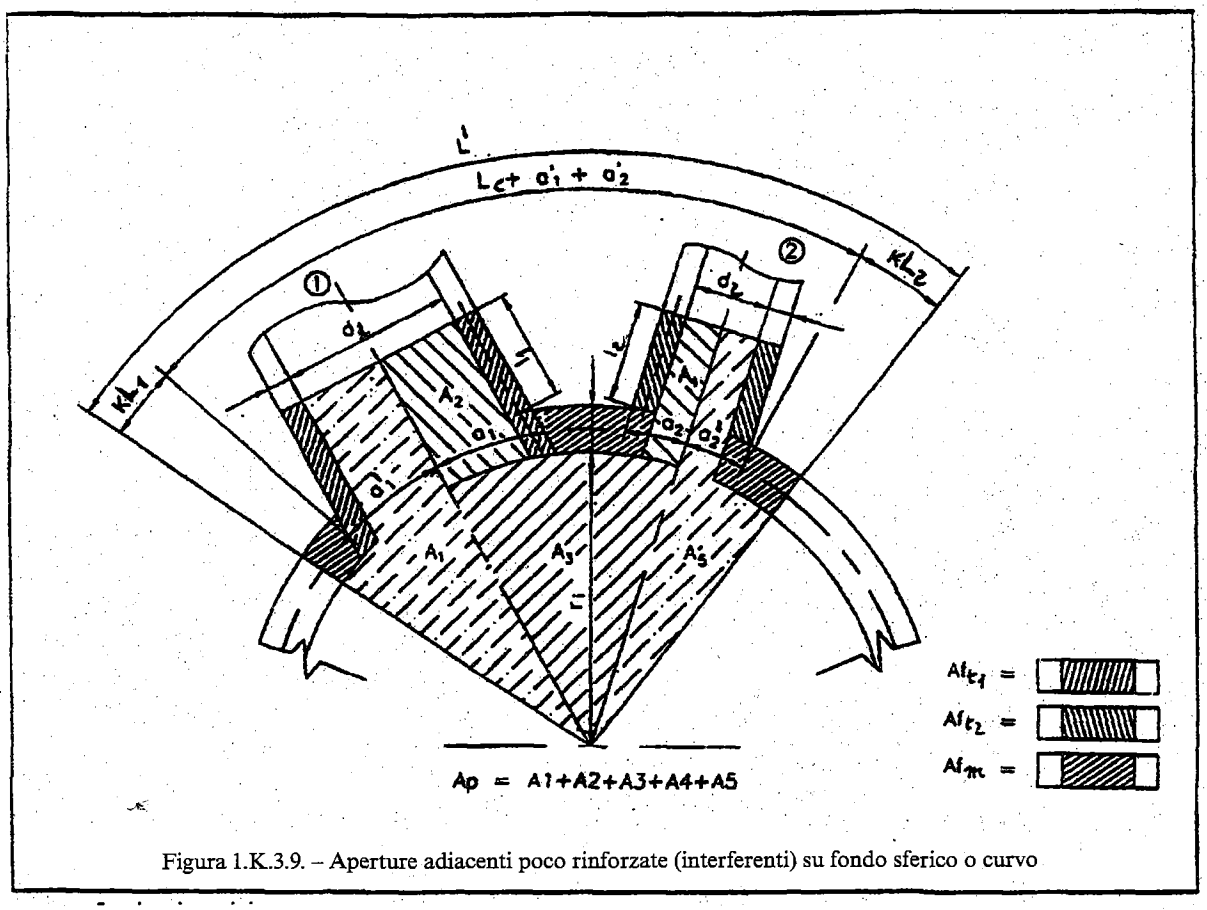


Figura 1.K.3.9. – Aperture adiacenti poco rinforzate (interferenti) su fondo sferico o curvo

– per fasciami conici

1.6. $$r_i = \frac{D_o}{2 \cos \alpha_c} - s$$

1.2. Aperture e tronchetti con asse perpendicolare alla parete allineati lungo una generatrice su fasciami cilindrici possono ancora essere considerati come aperture isolate se:

– la distanza fra i loro assi è non inferiore a 3,34 $(d_1 + d_2)$ per i fasciami con efficienza di saldatura = 0,85;

– la distanza fra i loro assi è non inferiore a 1,67 $(d_1 + d_2)$ per i fasciami con efficienza di saldatura = 0,7.

2. *Equazione generale per la compensazione di aperture isolate.*

2.1. Per le aperture isolate deve risultare verificata la seguente condizione generale:

2.1. $$(A_{fm} + A_{fs}) \cdot (f - 0,5p) + A_{fp}(f_{op} - 0,5p) + A_{ft}(f_{ot} - 0,5p) \geq p\,(A_{pm} + A_{pt} + 0,5A_{p\alpha})$$

In questa formula i termini relativi al tronchetto possono essere sostituiti dai termini relativi al massello flangiato; inoltre (cfr. figure da 1.K.2. a 1.K.16.):

p pressione di calcolo;

f_{ot} MIN (f, f_t);

f_{op} MIN (f, f_p);

f_{or} MIN (f, f_r);

A_{fm} area sollecitata A_f, utile ai fini della compensazione, della sezione trasversale della parete principale;

A_{fs} eventuale area di saldatura, esterna al profilo fasciame-tronchetto, del tronchetto (o del massello) e/o della piastra di rinforzo sulla parete entro la lunghezza l_m del fasciame;

A_{fp} area A_f della piastra di rinforzo descritta al punto 4. della presente regola;

A_{fr} area A_f del massello flangiato descritta al punto 5. della presente regola;

A_{ft} area A_f del tronchetto descritta ai punti 6.1. e 6.2. della presente regola;

A_{pm} area A_p soggetta alla pressione del fluido relativa alla parete principale;

A_{pt} area A_p soggetta alla pressione del fluido relativa al tronchetto, descritta al punto 6.1. della presente regola;

A_{pr} area A_p soggetta alla pressione del fluido relativa al massello flangiato, descritta al punto 5. della presente regola;

$A_{p\alpha}$ area addizionale A_p soggetta alla pressione del fluido relativa al tronchetto inclinato e funzione dell'angolo α, descritta ai punti 6.2. e 6.3. della presente regola (cfr. figure 1.K.3.1 e 1.K.3.2.).

I valori delle aree A_{fm}, A_{fs}, A_{fp}, A_{fr}, A_{ft}, A_{pm}, A_{pt}, A_{pr}, $A_{p\alpha}$ sono indicati graficamente nelle figure. Nel caso di aperture rinforzate con tronchetti o masselli valgono le seguenti formule:

– per fasciami cilindrici, verificati sul piano longitudinale

2.2. $$A_{pm} = r_i \cdot (l_m + a)$$

– per fasciami conici (cfr. figura 1.K.2.14.), verificati sul piano longitudinale

2.3. $$A_{pm} = 0,5(l_m + a) \cdot (r_i + (r_i + (l_m + a) \cdot \mathrm{tg}\alpha_c))$$

– per fasciami sferici, fondi curvi e fasciami cilindrici o conici verificati sul piano trasversale

2.4. $A_{pm} = 0{,}5 r_i \cdot (l_m + a) \cdot \dfrac{r_i}{0{,}5 \cdot s + r_i}$

– per tutti i tipi di pareti

2.5. $A_{fm} = s \cdot l_m$ *per tronchetti penetranti*

2.6. $A_{fm} = s \cdot (s + l_m)$ *per tronchetti appoggiati*

con:

r_i definito nelle formule 1.3., 1.4., 1.5., 1.6. della presente regola;

l_m MIN (L, l_{max}).

Nel caso di tronchetti radiali a sezione circolare, nelle formule 2.2 e 2.3 si ha $a = 0{,}5\ d_{ot}$.

2.2. Se la sollecitazione massima ammissibile f_t (o f_r) e f_p sono entrambe non minori di f, in tal caso la formula 2.1. assume la forma:

2.7. $(A_{fm} + A_{fs} + A_{fp} + A_{ft}) \cdot (f - 0{,}5_p) \geq$
$\geq p(A_{pm} + A_{pt} + 0{,}5 A_{pa})$

In questa formula i termini relativi al tronchetto possono essere sostituiti dai termini relativi al massello flangiato.

2.3. Se l'apertura isolata ha un diametro d che soddisfa la condizione:

2.8. $d \leq 0{,}14\sqrt{(2r_i + s) \cdot s}$

allora l'apertura è definita «piccola apertura» e non è necessario verificarne la compensazione con la formula 2.1.

2.4. È ammessa la presenza di «piccole aperture» in prossimità delle discontinuità della parete principale a distanze inferiori a quelle indicate alla regola VSR.1.K.5., ma in tal caso è necessario effettuare la verifica della compensazione di tali aperture con la formula 2.1.

3. *Compensazione mediante aumento di spessore della parete.*

La compensazione può essere ottenuta incrementando lo spessore minimo di calcolo della parete principale ottenuto in assenza di aperture. La lunghezza della parete principale l_m utile per la compensazione della apertura, presa a partire dal bordo dell'apertura o dal diametro esterno del tronchetto e lungo la fibra media dello spessore della parete, non può essere più grande di L (cfr. formula 1.2. della presente regola). Per aperture vicino alle discontinuità indicate al punto 3. della regola VSR.1.K.2., la lunghezza l_m non deve superare il valore l_{max} indicato alla regola VSR.1.K.6.

Per aperture sprovviste di tronchetto l'area A_{pm} va estesa a tutta la zona soggetta a pressione dall'interno della parete (cfr. figure 1.K.2.2. e 1.K.2.3.).

Quando l'apertura è ricavata su una saldatura con modulo di efficienza z:

– con qualsiasi orientamento su fasciami sferici e fondi curvi,

– con direzione longitudinale su fasciami cilindrici e conici,

il valore f del materiale del fasciame o fondo deve essere sostituito nei calcoli dal valore $f \cdot z$.

4. *Compensazione mediante piastre di rinforzo.*

Le piastre di rinforzo devono essere solidali con la parete.

Il valore di s_p da utilizzare per il calcolo di A_{fp} non deve superare lo spessore s della parete principale:

4.1. $s_p \leq s$

Inoltre devono essere osservate le condizioni del paragrafo 2. della presente regola, per la cui formula (cfr. figure 1.K.2.4. e 1.K.2.5.):

$A_{fp} = s_p \cdot l_{po}$ con l_{po} = MIN (L, l_p)

Per aperture sprovviste di tronchetto l'area A_{pm} va estesa a tutta la zona soggetta a pressione dall'interno della parete (cfr. figure 1.K.2.4. e 1.K.2.5.).

5. *Compensazione mediante masselli flangiati.*

Possono essere presi in considerazione soltanto i masselli flangiati saldati con le modalità e le condizioni previste a riguardo dalla Raccolta «S» dell'ISPESL.

Il valore dello spessore s'_r da usare per il calcolo di A_{fr} non deve superare a tre volte il valore di s. Inoltre devono essere osservate le condizioni del paragrafo 2. della presente regola, per la cui formula (cfr. figure 1.K.2.6. e 1.K.2.7.):

$A_{fr} = s'_r . l_{ro}$ con l_{ro} = MIN (L, l_r)
e con s'_r = MIN (s_r, $3s$)

A_{pr} dovrà essere ricavata dalle figure 1.K.2.6. e 1.K.2.7.

A_{fm} ed A_{pm} si calcolano come al precedente punto 2.1., tuttavia l'area A_{pm} va limitata alla sola zona soggetta a pressione.

L'area della sezione della sede del bullone nel massello deve essere detratta dall'area A_{fr}.

6. *Compensazione mediante tronchetti.*

Lo spessore dei tronchetti deve essere superiore allo spessore minimo necessario per sopportare la pressione interna, per una lunghezza l (cfr. formula 6.1) misurata a partire dalla superficie esterna della parete principale. Questa condizione è indipendente da qualsiasi altro tipo di rinforzo presente contemporaneamente, come piastra di rinforzo o aumento di spessore della parete.

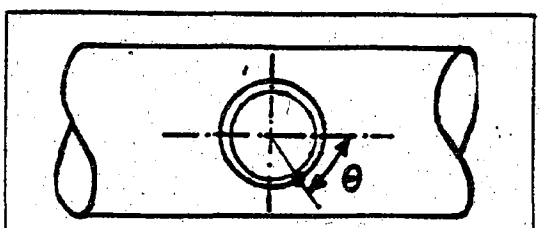


Figura 1.K.3.10.

6.1. $l = \sqrt{(d_{ot} - s_t) \cdot s_t}$

Se il tronchetto ha saldatura longitudinale con modulo di efficienza z, nel caso di tronchetti su fasciami cilindrici e conici, il valore f_t del materiale del tronchetto deve essere sostituito nei calcoli dal valore $f_t \cdot z$ quando l'angolo θ fra la saldatura e la generatrice passante per il centro dell'apertura risulta minore di 45° (figura 1.K.3.10.); nel caso di tronchetti saldati disposti su fondi, il valore f_t del materiale del tronchetto deve essere sostituito da $f_t \cdot z$.

6.1. Tronchetti perpendicolari alla parete.

Le lunghezze utili per la compensazione non devono superare il valore di L (cfr. formula 1.2. della presente regola) per la parete principale ed il valore di l (cfr. formula 6.1. della presente regola) per il tronchetto. Per i tronchetti penetranti la lunghezza interna utile per la compensazione non deve superare il valore l', misurato a partire dalla superficie interna dalla parete principale:

6.1.1. $l^l = 0{,}5 \cdot l$

Le limitazioni per eventuali piastre di rinforzo presenti sono riportate al paragrafo 4. della presente regola. Inoltre devono essere osservate le condizioni del paragrafo 2. per la cui formula (cfr. figure 1.K.2.12. e 1.K.2.13.):

$$A_{ft} = s \cdot (l_o + s'_t + l'_o)$$

con:

$l_o = \mathrm{MIN}(l, l_t)$

$l'_o = \mathrm{MIN}(l', l'_t)$

$s't$ =spessore di penetrazione ($\leq s$)

A_{pt} dovrà essere desunto dalle figure delle regole VSR.1.K.2 e VSR.1.K.3.

Le aree A_{fm} ed A_{pm} sono state definite al paragrafo 2.1. della presente regola.

I tronchetti ottenuti per deformazione possono essere verificati secondo la formula del paragrafo 2. della presente regola; per i tronchetti estrusi l'area $A_f = A_{fm} + A_{ft}$ deve essere moltiplicata per 0,9 per tener conto di eventuali difetti di lavorazione (cfr. figure 1.K.2.10. e 1.K.2.11.).

6.2. Tronchetti inclinati su fasciami cilindrici e conici.

Le seguenti regole si applicano ai tronchetti non normali alla parete di fasciami cilindrici e conici, ma con il loro asse giacente in un piano perpendicolare alla generatrice del fasciame passante per il centro dell'apertura e con angolo α con la normale al fasciame su detto centro (cfr. figura 1.K.3.1.), oppure giacente in un piano che contiene l'asse del fasciame e con angolo α con la normale all'apertura che non superi il valore di 60° (cfr. figura 1.K.3.2.).

Nel primo caso la compensazione della apertura deve essere verificata sia nella sezione longitudinale che in quella trasversale al fasciame.

La verifica della compensazione deve essere effettuata applicando, sulla semisezione dell'apertura relativa al lato in cui la parete del tronchetto forma un angolo acuto con quella del fasciame, la formula del paragrafo 2. della presente regola, in cui:

A_{ft} e A_{pt} sono quelle indicate nelle figure 1.K.3.1 e 1.K.3.2;

A_{pm} è calcolata con le formule del paragrafo 2.1 della presente regola in cui il valore a è uguale a $d_o/(2 \cos\alpha)$;

$A_{p\alpha}$ è l'area addizionale soggetta a pressione per i tronchetti inclinati (cfr. figura 1.K.3.2.):

6.2.1. $A_{p\alpha} = \frac{d^2}{2} \cdot \mathrm{tg}\alpha$

Per tronchetti inclinati su fasciami conici il cui asse sia complanare con quello del cono, il calcolo di A_{pm} va fatto con la formula 2.4. indipendentemente dalla direzione dell'inclinazione verso il vertice o verso la base.

6.3. Tronchetti inclinati su fasciami sferici e fondi curvi.

Le seguenti regole si applicano ai tronchetti non normali alla parete di fasciami sferici e parti sferiche di fondi curvi, ma con il loro asse formante un angolo α con la normale alla parete nel centro dell'apertura. La compensazione deve essere verificata nella sezione sul piano che contiene l'asse del tronchetto e la normale alla parete per il centro della apertura. La verifica della compensazione deve essere effettuata sulla semisezione dell'apertura relativa al lato in cui la parete del tronchetto forma un angolo acuto con quella del fasciame; comunque la lunghezza L della parete e la larghezza l_{po} della piastra di rinforzo, da utilizzare nella verifica, devono essere le minori fra quelle utili da ambedue i lati. La verifica va effettuata applicando la formula del paragrafo 2. della presente regola, in cui:

A_{ft} e A_{pt} sono stati definiti al paragrafo 6.1. della presente regola;

A_{pm} va desunto dalla figura 1.K.3.3., tenendo conto dell'effettivo valore dell'arco a;

$A_{p\alpha}$ è l'area addizionale soggetta a pressione per i tronchetti inclinati (cfr. figura 1.K.3.3.):

6.3.1. $A_{p\alpha} = \frac{d^2}{2} \cdot \mathrm{tg}\alpha$

Regola VSR.1.K.4.: *Fasciami cilindrici e conici, fasciami sferici e fondi curvi con aperture multiple*

1. *Aperture non isolate.*

Se la distanza L_c fra i centri di due aperture o tronchetti adiacenti, come definita al paragrafo 1. della regola VSR.1.K.3. ed illustrata nelle figure 1.K.3.4. e 1.K.3.5., non soddisfa la relazione 1.1. della regola VSR.1.K.3., è necessario che siano verificate le seguenti condizioni, in aggiunta alle condizioni della regola VSR.1.K.3. per aperture e tronchetti isolati.

2. *Equazione generale per la compensazione di aperture non isolate.*

Per aperture adiacenti deve essere verificata la seguente relazione (cfr. figure 1.K.3.4. e 1.K.3.5.):

2.1. $$(A_{fm} + A_{fs}) \cdot (f - 0{,}5p) + A_{ft1}(f_{ot1} - 0{,}5p) + A_{fp1}(f_{op1} - 0{,}5p) + A_{ft2}(f_{ot2} - 0{,}5p) + A_{fp2}(f_{op2} - 0{,}5p) \geq p(A_{pm} + A_{pt1} + 0{,}5A_{p\alpha1} + A_{pt2} + 0{,}5A_{p\alpha2})$$

I termini relativi ai tronchetti possono essere sostituiti dai termini relativi ai masselli flangiati.

Nella relazione 2.1. della presente regola, le aree A_{fm} ed A_{pm} della parete principale sono definite ai successivi paragrafi 3. e 4., tutti gli altri termini sono definiti al paragrafo 2.1. della regola VSR.1.K.3. (formula 2.1.) rispettivamente per l'apertura 1 e l'apertura 2.

3. *Compensazione di aperture non isolate su fasciami cilindrici e conici.*

Per la sezione passante per la congiungente dei centri di due aperture adiacenti, la quale forma un angolo β con la generatrice della parete passante per uno dei centri come mostrato nella figura 1.K.3.4.,

deve essere verificata la relazione del paragrafo 2. della presente regola, per la cui formula:

– angolo β è stato sopra definito

– A_{pm} è dato da:

3.1. $$0{,}5 \cdot r_i \cdot L_c \cdot (1 + \cos\beta) \cdot \frac{r_i}{r_i + 0{,}5s \cdot \sin\beta}$$

per i fasciami cilindrici

$$0{,}5 \cdot (r_{i1} + r_{i2}) \cdot L_c$$

per i fasciami conici lungo la generatrice

$$0{,}5 \cdot r_i \cdot L_c$$

per i fasciami conici lungo il circolo direttore

con:

r_i definito alle formule 1.3. e 1.6. della regola VSR.1.K.3.

L_c definito al paragrafo 1. della regola VSR.1.K.3. (cfr. figura 1.K.3.6)

– A_{fm} è dato da:

3.2. $$(L_c - a_1 - a_2) \cdot s$$

con:

a_1 e a_2 definiti al paragrafo 1. della regola VSR.1.K.3.

In presenza di tronchetti appoggiati alla parete principale aggiungere all'area della formula 2.3. anche le aree sottostanti allo spessore del tronchetto stesso;

– gli altri termini sono stati definiti al paragrafo 2. della presente regola.

Se la relazione 2.1. della presente regola non è soddisfatta, è possibile estendere la verifica della compensazione ad una sezione più ampia della parete principale applicando il criterio illustrato al paragrafo 5. della presente regola relativo alle aperture adiacenti poco rinforzate. In presenza di gruppi di aperture, le verifiche devono essere effettuate lungo le congiungenti dei centri delle aperture nelle varie direzioni e per ciascuna coppia di aperture adiacenti.

Le regole del presente paragrafo 3. possono essere utilizzate per tronchetti adiacenti non perpendicolari alla parete principale (figura 1.K.3.6.). I valori delle aree $A_{p\alpha 1}$ ed $A_{p\alpha 2}$ devono essere ottenuti usando il criterio esposto al paragrafo 6.2. della regola VSR.1.K.3.

4. *Compensazione di aperture non isolate su fasciami sferici e fondi curvi.*

Per la sezione passante per i centri di due aperture adiacenti su fasciame sferico o sulla parte sferica di un fondo curvo, così come mostrato in figura 1.K.3.5., deve essere verificata la relazione del paragrafo 2. della regola VSR.1.K.3., per la cui formula:

– angolo β è uguale a zero

– A_{pm} è dato da:

4.1. $$0{,}5 r_i \cdot L_c \cdot \frac{r_i}{r_i + 0{,}5s}$$

con:

r_i definito alle formule 1.3. 1.4. e 1.5. della regola VSR.1.K.3.

L_c definito al paragrafo 1. della regola VSR.1.K.3. (cfr. figura 1.K.3.6)

– A_{fm} è dato da:

4.2. $$(L_c - a_1 - a_2) \cdot s$$

con:

a_1 e a_2 definiti al paragrafo 1. della regola VSR.1.K.3.

– gli altri termini sono stati definiti al paragrafo 2. della presente regola.

Se la relazione 2.1. della presente regola non è soddisfatta, è possibile estendere la verifica della compensazione ad una sezione più ampia della parete principale applicando il criterio illustrato al paragrafo 5. della presente regola relativo alle aperture adiacenti poco rinforzate. In presenza di gruppi di aperture, le verifiche devono essere effettuate lungo le congiungenti dei centri delle aperture nelle varie direzioni e per ciascuna coppia di aperture adiacenti.

Le regole del presente paragrafo 4. possono essere utilizzate per tronchetti adiacenti non perpendicolari alla parete principale (cfr. figura 1.K.3.7.). I valori delle aree $A_{p\alpha 1}$ ed $A_{p\alpha 2}$ devono essere ottenuti usando il criterio esposto al paragrafo 6.3. della regola VSR.1.K.3.

5. *Aperture adiacenti poco rinforzate (interferenti).*

Se la relazione del paragrafo 2. della presente regola non è verificata, si può estendere la verifica della compensazione ad una sezione della parete principale di lunghezza L' comprendente l'intera sezione delle due aperture (cfr. figure 1.K.3.8. e 1.K.3.9.), se sono soddisfatte le seguenti condizioni:

a)

5.1. $$L_c + a_1' + a_2' \leq 2(L_1 + L_2)$$

in cui a'_1 e a'_2 hanno lo stesso significato di a_1 e a_2, ma sono presi dai centri dei tronchetti verso l'esterno rispetto a L_c (figure 1.K.3.8. e 1.K.3.9.).

b) deve risultare verificata la relazione 2.1. del paragrafo 2. della presente regola nella quale l'intera area soggetta a pressione A_p è moltiplicata per il valore 0,85;

c) nessuna altra apertura deve essere vicina alle due prese in considerazione nella sezione in cui si esegue la verifica;

d) nessuna delle due aperture deve essere vicina ad eventuali discontinuità (cfr. Regola VSR.1.K.6.).

In tal caso una ulteriore verifica può essere effettuata sull'intera sezione della parete di lunghezza L':

5.2. $$L' = L_c + a_1' + a_2' + k \cdot L_1 + k \cdot L_2$$

in cui:

k è dato dalla formula:

5.3. $$k = 2 - \frac{L_c + a_1' + a_2'}{L_1 + L_2}$$

se k risulta > 1, deve essere preso uguale ad 1.

La verifica deve soddisfare la seguente relazione:

5.4.
$$\begin{aligned}(A_{fm} + A_{fs}) \cdot (f - 0{,}5p) + 2A_{ft1}(f_{ot1} - 0{,}5p) + \\ + 2A_{ft2}(f_{ot2} - 0{,}5p) + A'_{fp1}(f_{op1} - 0{,}5p) + \\ + A'_{fp2}(f_{op2} - 0{,}5 \cdot p) + A'_{fpi}(f_{opi} - 0{,}5p) \geq \\ \geq p(A'_{pm} + 2A_{pt1} + A_{p\alpha 1} + 2A_{pt2} + A_{p\alpha 2})\end{aligned}$$

in cui:

A'_{pm} per fasciami cilindrici:

$$0{,}5 \cdot r_i \cdot L' \cdot (1 + \cos\beta) \cdot \frac{r_i}{r_1 + 0{,}5 \cdot s \cdot \sin\beta}$$

per fasciami conici lungo la generatrice:

$$0{,}5 \cdot (r_{i1} + r_{i2}) \cdot L'$$

per fasciami conici lungo il circolo direttore:

$$0{,}5 \cdot r_i \cdot L'$$

per fasciami sferici e fondi curvi:

$$0{,}5 \cdot r_i \cdot L' \cdot \frac{r_i}{r_i + 0{,}5 \cdot s}$$

con r_i definito alle formule 13., 1.4, 1.5. e 1.6 della regola VSR.1.K.3.

A_{fm} $(L' - a_1 - a_2 - a_1' - a_2') \cdot s$

in presenza di tronchetti appoggiati alla parete principale aggiungere a questa area anche le aree sottostanti allo spessore del tronchetto stesso;

A_{fs} totale delle aree di saldatura interne a L'

A'_{fp} $s_p \cdot l_{po}$ con $l_{po} = \mathrm{MIN}(l_p,\ k \cdot L)$

A_{fpi} $s_p \cdot L_{cp}$ con $L_{cp} = \mathrm{MIN}(l_p,\ (l_c - a_1 - a_2))$

gli altri termini sono stati definiti in precedenza.

Regola VSR.1.K.5: *Distanza minima di una apertura dal bordo della parete principale*

1. *Aperture su fasciami cilindrici.*

1.1. In caso di raccordo del fasciame cilindrico con fondo curvo, fasciame conico coassiale per la base maggiore, fondo piano, piastra tubiera, compensatore di dilatazione e flange di vario tipo, la distanza x presa come mostrato nelle figure da 1.K.5.1. a 1.K.5.5. deve soddisfare la condizione:

1.1. $x \geq 0{,}26L$

1.2. In caso di raccordo del fasciame cilindrico con fasciame conico coassiale per la base minore, fasciame emisferico o altro fasciame cilindrico non coassiale, la distanza x presa come illustrato nelle figure da 1.K.5.6. a 1.K.5.8. deve soddisfare la condizione:

1.2. $x \geq l_{cil}$

2. *Aperture su fasciami conici.*

2.1. In caso di raccordo del fasciame conico con fasciame cilindrico coassiale per la base maggiore, la distanza x presa come illustrato in figura 1.K.5.9. deve soddisfare la seguente condizione:

2.1. $$x \geq 0{,}26\sqrt{\frac{(D_m \cdot s)}{\cos\alpha}}$$

in cui:

D_m diametro medio del fasciame cilindrico,

s spessore del fasciame conico,

α angolo di conicità del cono stesso.

2.2. In caso di raccordo del fasciame conico con fasciame cilindrico coassiale per la base minore, la distanza x presa come illustrato nella figura 1.K.5.10. deve soddisfare la relazione:

2.2. $x \geq l_{con}$

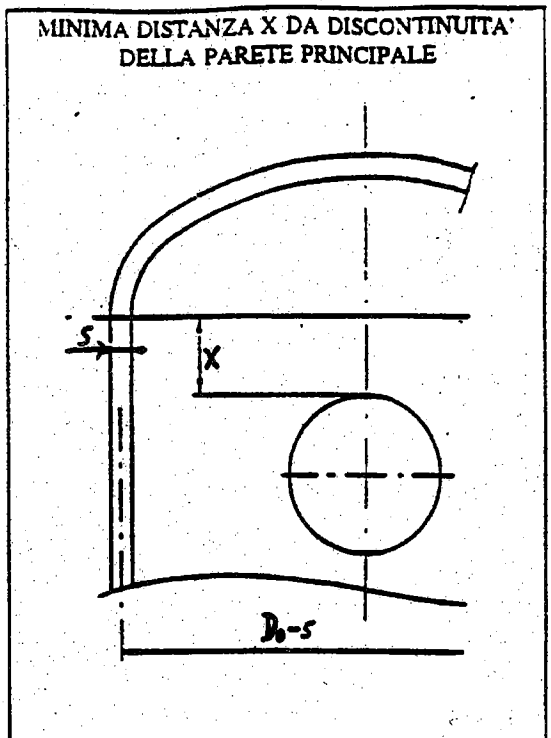


Figura 1.K.5.1. – Raccordo fra fasciame cilindrico e fondo curvo

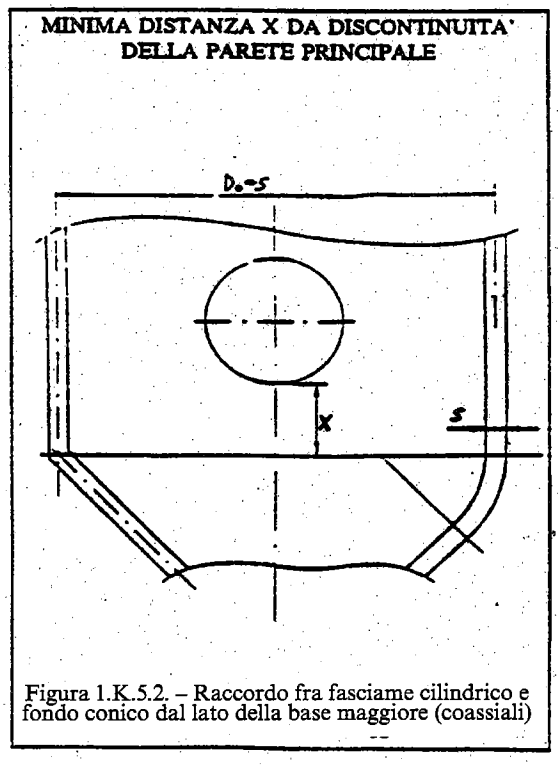


Figura 1.K.5.2. – Raccordo fra fasciame cilindrico e fondo conico dal lato della base maggiore (coassiali)

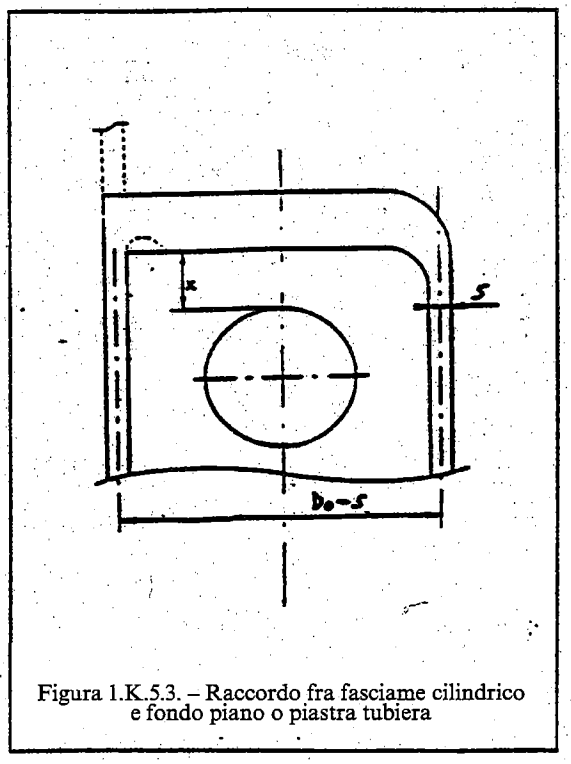


Figura 1.K.5.3. – Raccordo fra fasciame cilindrico e fondo piano o piastra tubiera

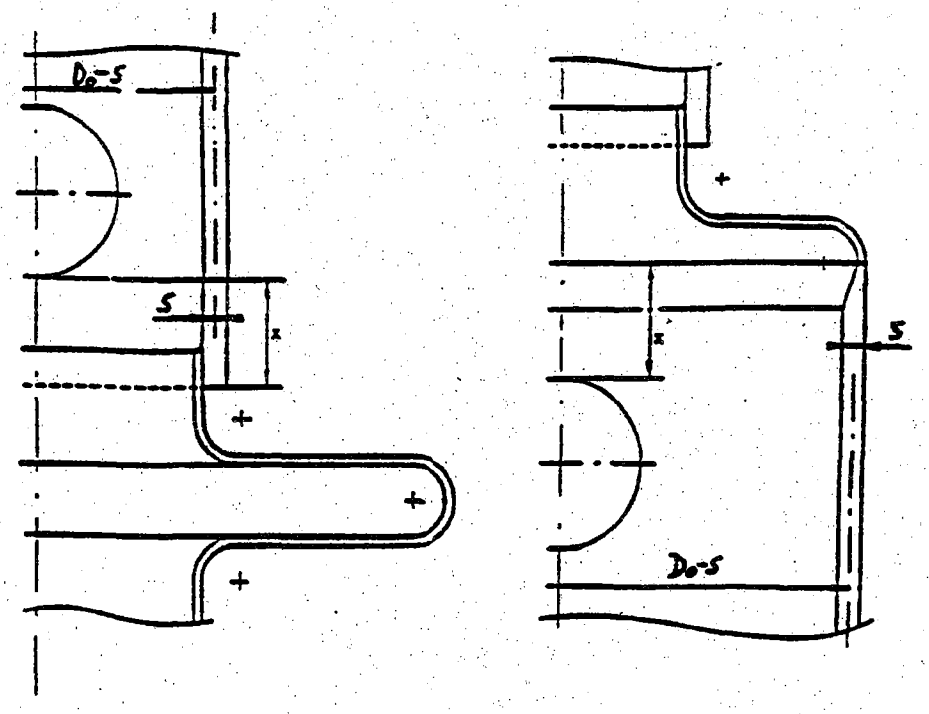


Figura 1.K.5.4. – Raccordo fra fasciame cilindrico e compensatore di dilatazione

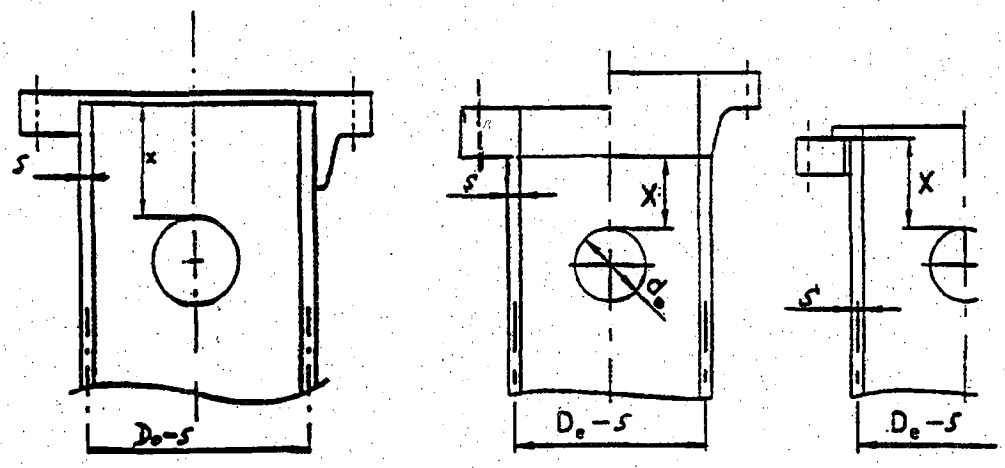


Figura 1.K.5.5. – Raccordo fra fasciame cilindrico e flange

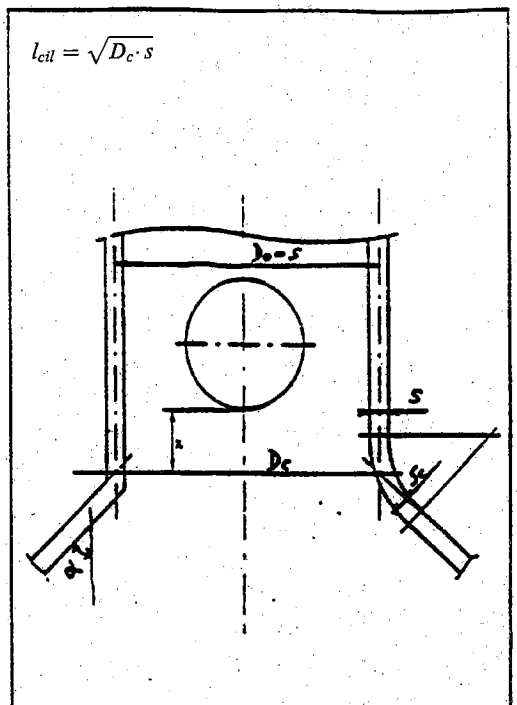


Figura 1.K.5.6. – Raccordo fra fasciame cilindrico e fondo conico dal lato della base minore (coassiali)

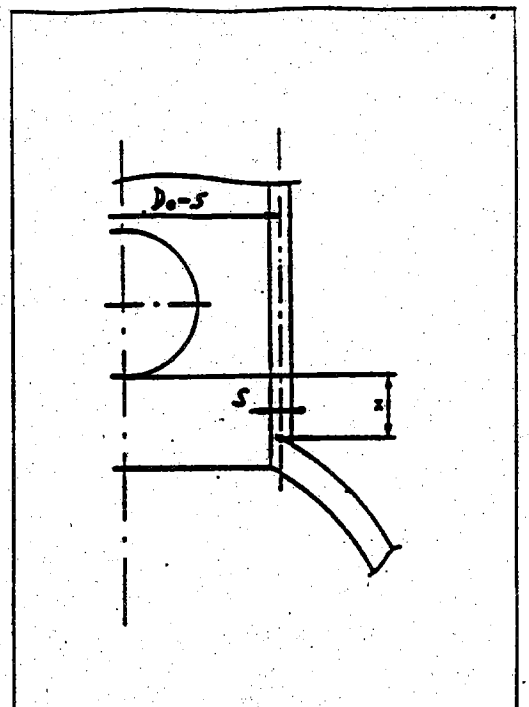


Figura 1.K.5.7. – Raccordo fra fasciame cilindrico e fasciame sferico

3. *Aperture su fondi a calotta sferica.*

Per le aperture sui fondi a calotta sferica la distanza x della apertura dalla flangia della stessa calotta, presa come indicato nella figura 1.K.5.11., deve soddisfare la condizione:

3.1. $x \geq 0{,}26 \cdot L$

4. *Aperture su fondi ellittici e torosferici.*

Per i fondi ellittici e torosferici, aperture e tronchetti devono essere contenuti entro l'area centrale del fondo delimitata dal diametro 0.8 D_e come indicato in figura 1.K.5.12. Per ubicazioni al di fuori di tale area si rimanda ai metodi di calcolo per la verifica di stabilità dei fondi curvi.

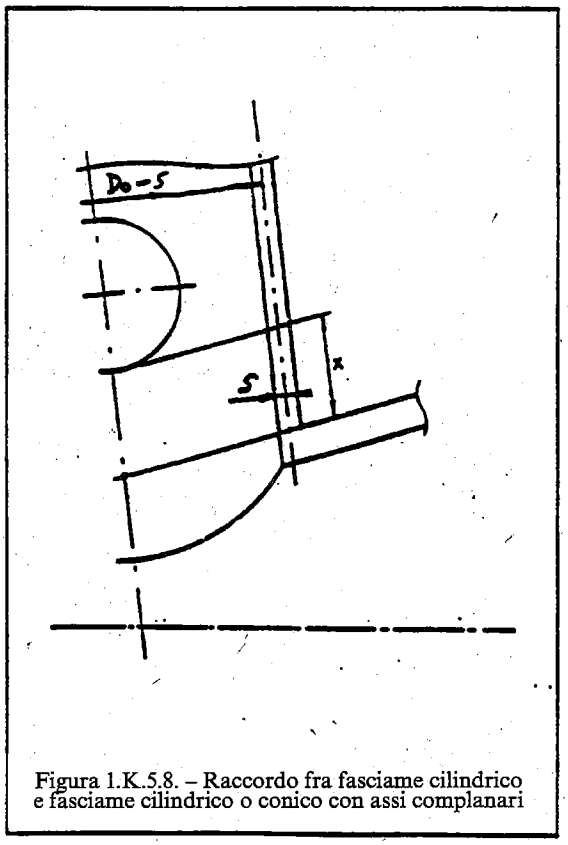


Figura 1.K.5.8. – Raccordo fra fasciame cilindrico e fasciame cilindrico o conico con assi complanari

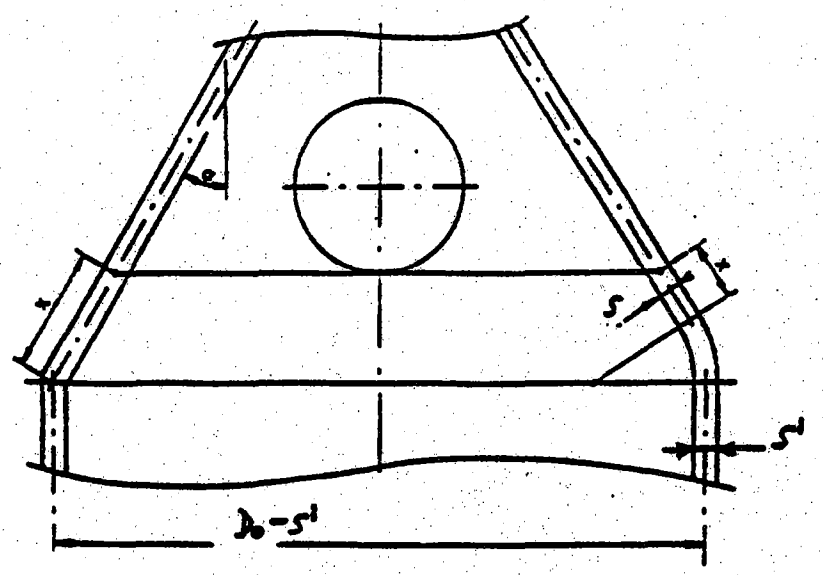


Figura 1.K.5.9. – Raccordo fra fasciame conico
dal lato della base maggiore e fasciame cilindrico (coassiale)

$l_{con} = \sqrt{D_c \cdot s_c / cos\alpha}$

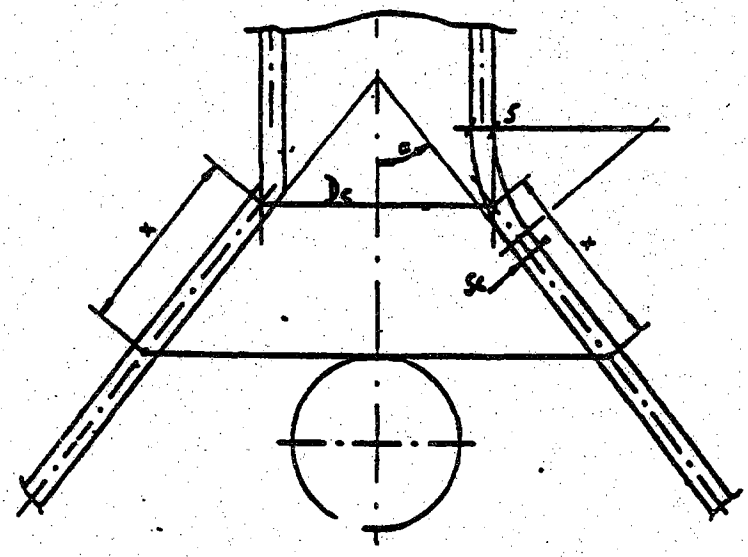


Figura 1.K.5.10. – Raccordo fra fasciame conico
dal lato della base minore e fasciame cilindrico (coassiale)

Regola VSR.1.K.6.: *Valore ridotto l_{max} della lunghezza utile L della parete per la compensazione di aperture vicino a discontinuità*

Quando il valore l_{max} della parete, definito di seguito, è inferiore a L, l'apertura è considerata «vicino alla discontinuità».

1. Per le discontinuità indicate ai paragrafi 1.1, 2.1, 3. e 4. della regola VSR.1.K.5. il valore l_{max} della parete utile per la compensazione è dato da:

$$1.1. \qquad l_{max} = MIN\,(L, x)$$

in cui:

L definito alla formula 1.2. della regola VSR.1.K.3.,

x definito al paragrafo 3. della regola VSR.1.K.2.

2. Per le discontinuità indicate al paragrafo 1.2. della regola VSR.1.K.5. il valore l_{max} della parete utile per la compensazione è dato da:

$$2.1. \qquad l_{max} = MIN\,(L, (x - l_{cil}))$$

3. Per le discontinuità indicate al paragrafo 2.2. della regola VSR.1.K.5. il valore l_{max} della parete utile per la compensazione è dato da:

$$3.1. \qquad l_{max} = MIN\,(L, (x - l_{con}))$$

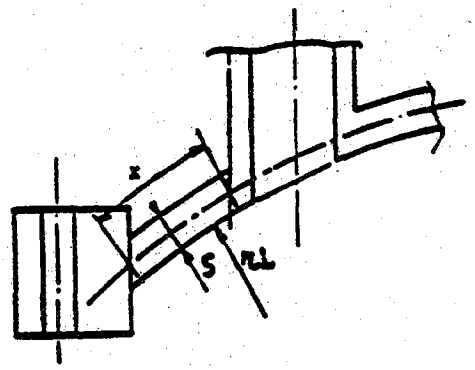
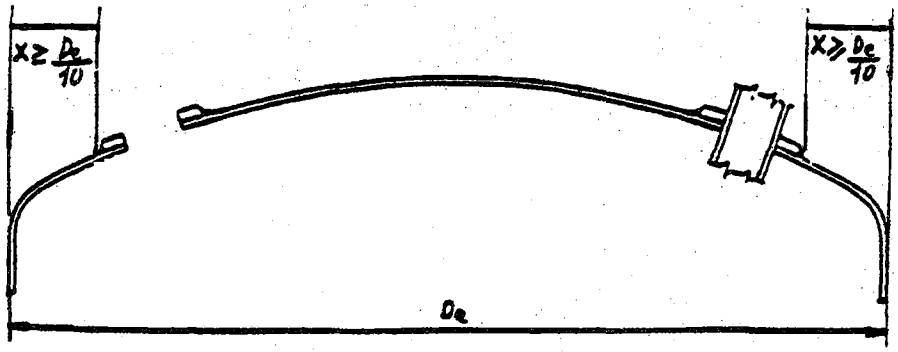
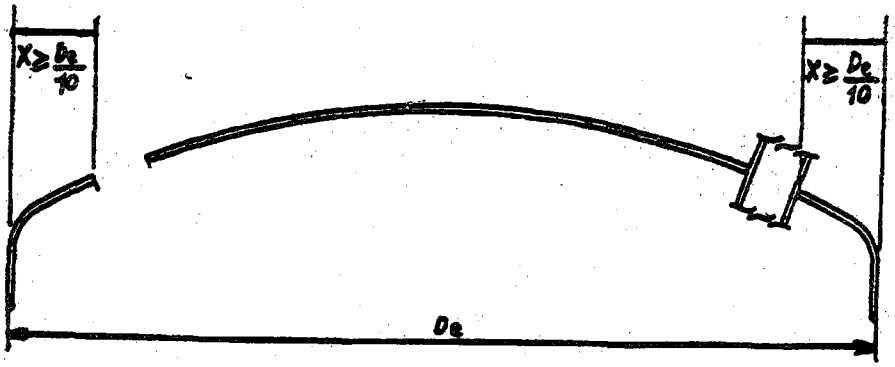


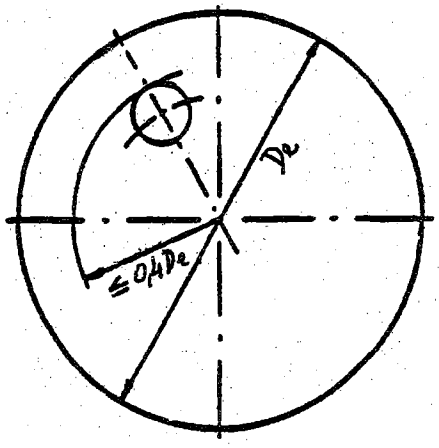
Figura 1.K.5.11. – Raccordo fra fondo e flangia in una calotta sferica



a) Rinforzo ottenuto con piastra di rinforzo



b) Rinforzo ottenuto con tronchetto o solo fasciame



c) Delimitazione dell'area di dislocazione delle aperture

Figura 1.K.5.12. – Posizione di una apertura su un fondo

ELENCO DELLE REGOLE CONTENUTE NEL CAPITOLO VSR.1.L.

Regola VSR.1.L.1.: *Simboli*

1. Nelle regole del presente capitolo VSR.1.L. sono impiegati i seguenti simboli in aggiunta a quelli definiti in VSR.0.6.:

a dimensione minore di una parete piana non circolare, in mm;

b dimensione maggiore di una parete piana non circolare, in mm;

C, C_1, C_2, C^* coefficienti di forma che tengono conto delle condizioni di vincolo;

D diametro, in mm, della parete piana o del fondo piano da assumere come indicato nelle figure da 1.L.2.1. a 1.L.2.11.;

d diametro reale o equivalente dell'apertura come definito nella regola VSR.1.L.3., in mm;

f_m sollecitazione ammissibile del materiale del fasciame saldato al fondo piano, in MPa;

f_{min} minor valore tra f e f_m, in MPa;

h spessore del fondo in corrispondenza del canale di scarico, in mm;

m lunghezza di fasciame di spessore costante s_m e privo di forature, in mm;

r raggio interno del fondo provvisto di colletto cilindrico, in mm;

s spessore della parete piana risultante in progetto, in mm;

s_o spessore minimo di calcolo della parete piana o fondo piano, in mm;

s_c spessore del colletto cilindrico di una parete piana risultante in progetto, in mm;

s_m spessore del fasciame cilindrico risultante in progetto, in mm;

s_1 spessore della parete piana in corrispondenza di scanalature (figg. 1.L.2.10. e 1.L.2.11.), in mm;

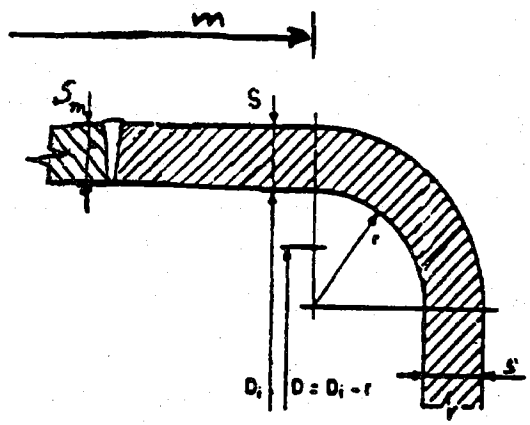
s_{1o} valore minimo di calcolo per s_1, in mm;

u distanza, in mm, misurata dalla faccia interna della parete piana o fondo piano (o dal fondo dell'eventuale canale di scarico) alla mezzeria della saldatura od al termine della rastremazione del colletto cilindrico del fondo.

Regola VSR.1.L.2.: *Pareti piane e fondi piani circolari non rinforzati e senza aperture - Formule di verifica e limiti della norma*

1. Lo spessore s di una parete piana o di un fondo piano circolare non rinforzati o senza aperture collegati al fasciame come indicato nelle soluzioni costruttive di cui alle figure da 1.L.2.1. a 1.L.2.11., non deve essere inferiore a quello ricavato dalla formula che segue:

$$1.1. \qquad s_o = C\,D\sqrt{\frac{p}{f}}$$

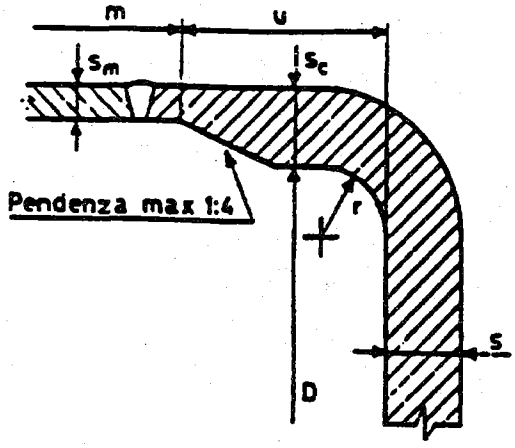


$$r \geq s$$

$$m \geq \frac{1}{2}\sqrt{(D + s_m)\, s_m}$$

$$C = C_1$$

Figura 1.L.2.1. .



$0{,}25\, s_m \leq r < s,$ minimo r = 5 mm

$$C = MAX\left\{ C_1,\ C_2 \cdot \sqrt{f / f_{min}} \right\}$$

$$m \geq \sqrt{(D + s_m)\, s_m}$$

Per la determinazione di C_1 e di C_2 s_m va assunto pari a s_c se

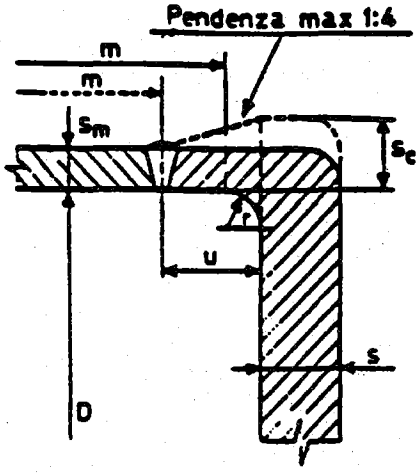
$$u \geq \sqrt{(D + s_c)\, s_c}$$

In caso contrario, per s_m si assume il valore medio dello spessore del fasciame entro una distanza pari a

$$\sqrt{(D + s_c)\, s_c}$$

dalla superficie interna del fondo (si procede in modo analogo se la rastremazione inizia dal raggio)

Figura 1.L.2.2.



$0{,}25\, s_m \leq r < s,$ minimo r = 5 mm

$$C = MAX\left\{ C_1,\ C_2 \cdot \sqrt{f / f_{min}} \right\}$$

$$m \geq \sqrt{(D + s_m)\, s_m}$$

Per la determinazione di C_1 e di C_2 s_m va assunto pari a s_c se

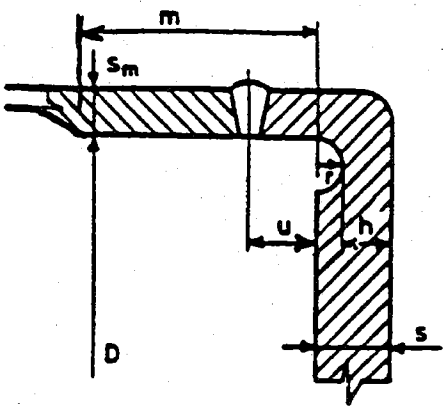
$$u \geq \sqrt{(D + s_c)\, s_c}$$

In caso contrario, per s_m si assume il valore medio dello spessore del fasciame entro una distanza pari a

$$\sqrt{(D + s_c)\, s_c}$$

dalla superficie interna del fondo

Figura 1.L.2.3.



$r \geq 0.25\, s_m$; $u \geq 0$

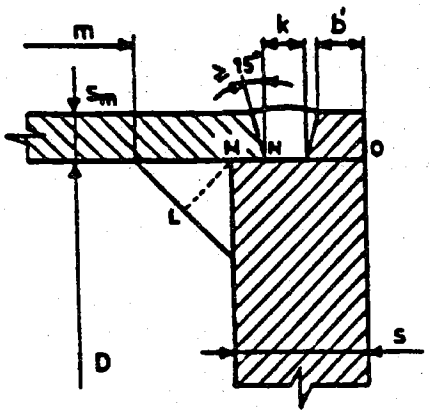
$$\mathrm{MAX}\left[0,77 s_m,\ \frac{p(D-2\cdot r)1.3}{2f}\right] \leq h$$

$$m \geq \sqrt{(D+s_m)\, s_m}$$

$$C = MAX\left\{C_1,\ C_2 \cdot \sqrt{f/f_{min}}\right\}$$

Figura 1.L.2.4.

A)



p/f qualsiasi; $s_m \leq \overline{LM} \leq 1.5 s_m$

$\overline{NO}$ non inferiore al minor valore tra $2s_m$ e

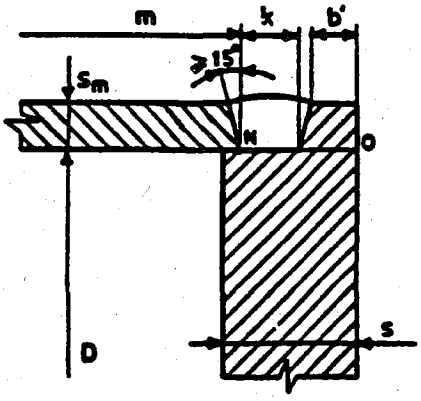
$$0{,}4D\sqrt{\frac{p}{f_{min}}} - \overline{LM}$$

K non inferiore al minor valore tra s_m e 6 mm.

$b' \geq s_m$; $m \geq \sqrt{(D+s_m)\, s_m}$

$$C = MAX\left\{C_1,\ C_2 \cdot \sqrt{f/f_{min}}\right\}$$

B)



$p/f_{min} \leq 0{,}015$

$\overline{NO}$ non inferiore al minor valore tra $3s_m$ e

$$0{,}4D\sqrt{\frac{p}{f_{min}}}$$

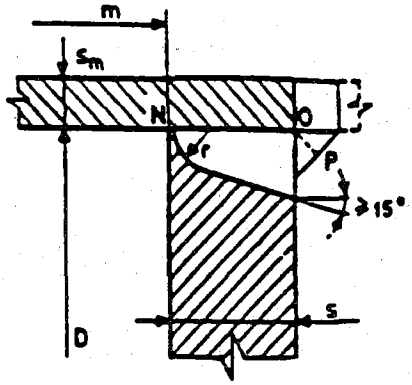
K non inferiore al minor valore tra s_m e 6 mm.

$b' \geq s_m$; $m \geq \sqrt{(D+s_m)\, s_m}$

$$C = MAX\left\{C_1,\ C_2 \cdot \sqrt{f/f_{min}}\right\}$$

Figura 1.L.2.5.

A)



p/f_{min} qualsiasi; $\overline{NO} = s$

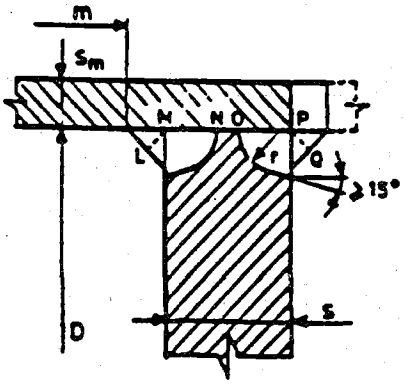
$\overline{NO} + \overline{OP}$ non inferiore al minor valore tra $3s_m$ e $KD\cdot\sqrt{p/f_{min}}$

dove: $K = 0{,}4$ per $p/f_{min} \leq 0{,}015$
$K = 0{,}55$ per $p/f_{min} > 0{,}015$

$r \geq 6\ mm$; $m \geq \sqrt{(D + s_m)\, s_m}$

$$C = MAX\left\{ C_1,\ C_2 \cdot \sqrt{f / f_{min}} \right\}$$

B)



p/f_{min} qualsiasi; $\overline{MN} \geq s_m$; $\overline{OP} \geq s_m$

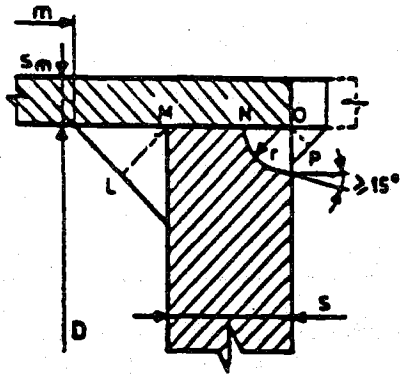
$\overline{LM} + \overline{MN}$ non inferiore al minor valore tra $1{,}5s_m$ e $0{,}2D\cdot\sqrt{p/f_{min}}$

$\overline{OP} + \overline{PQ}$ non inferiore al minor valore tra $1{,}5s_m$ e $0{,}2D\cdot\sqrt{p/f_{min}}$

$r \geq 6\ mm$; $m \geq \sqrt{(D + s_m)\, s_m}$

$$C = MAX\left\{ C_1,\ C_2 \cdot \sqrt{f / f_{min}} \right\}$$

C)



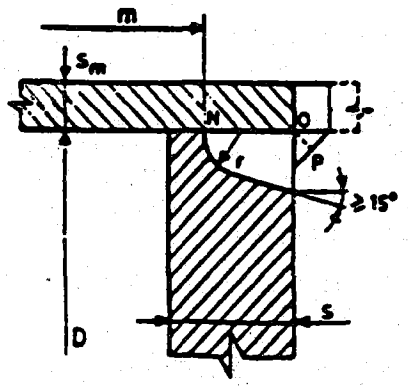
p/f_{min} qualsiasi; $s_m \leq \overline{LM} \leq 1{,}5s_m$; $\overline{NO} \geq s_m$

$\overline{NO} + \overline{OP}$ non inferiore al minor valore tra $2s_m$ e $0{,}4D\cdot\sqrt{p/f_{min}} - \overline{LM}$

$r \geq 6\ mm$; $m \geq \sqrt{(D + s_m)\, s_m}$

$$C = MAX\left\{ C_1,\ C_2 \cdot \sqrt{f / f_{min}} \right\}$$

D)



$p/f_{min} \leq 0{,}015$; $\overline{NO} \geq 2s_m$;

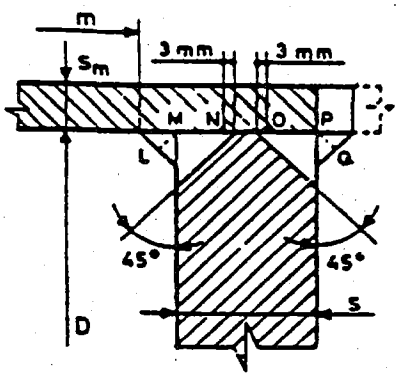
$\overline{NO} + \overline{OP}$ non inferiore al minor valore tra $3s_m$ e $0{,}4D\cdot\sqrt{p/f_{min}}$

$r \geq 6\ mm$; $m \geq \sqrt{(D + s_m)\, s_m}$

$$C = MAX\left\{ C_1,\ C_2 \cdot \sqrt{f / f_{min}} \right\}$$

Figura 1.L.2.6.

A)



p/f_{min} qualsiasi: $\overline{MN} \geq s_m$; $\overline{OP} \geq s_m$

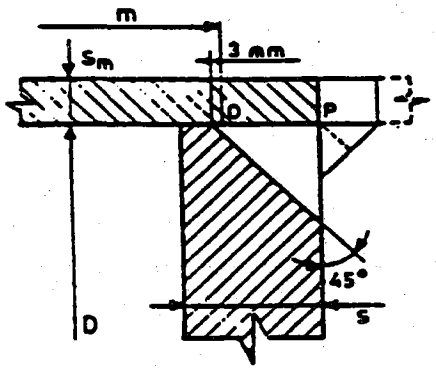
$\overline{LM} + \overline{MN}$ non inferiore al minor valore tra $1.5s_m$ e $0.2D \cdot \sqrt{p/f_{min}}$

$\overline{OP} + \overline{PQ}$ non inferiore al minor valore tra $1.5s_m$ e $0.2D \cdot \sqrt{p/f_{min}}$

$$m \geq \sqrt{(D + s_m)\, s_m}$$

$$C = MAX \left\{ C_1,\ C_2 \cdot \sqrt{f / f_{min}} \right\}$$

B)



$p/f_{min} \leq 0.015$; $\overline{OP} \geq 2s_m$

$\overline{OP} + \overline{PQ}$ non inferiore al minor valore tra $3s_m$ e $0.4D \cdot \sqrt{p/f_{min}}$

$$m \geq \sqrt{(D + s_m)\, s_m}$$

$$C = MAX \left\{ C_1,\ C_2 \cdot \sqrt{f / f_{min}} \right\}$$

Figura 1.L.2.7.

dove per C va assunto il valore indicato nelle figure da 1.L.2.1. a 1.L.2.11.

2. La formula 1.1. si applica alle soluzioni costruttive indicate nelle figure da 1.L.2.5. a 1.L.2.7., purché la parete piana o il fondo piano siano di acciaio non legato avente carico di rottura minimo tabellare non superiore a 471 MPa, oppure di acciaio a grano fine avente limite di snervamento minimo tabellare non superiore a 373 MPa.

3. I giunti dei fondi piani in più pezzi devono appartenere alla I categoria di saldatura.

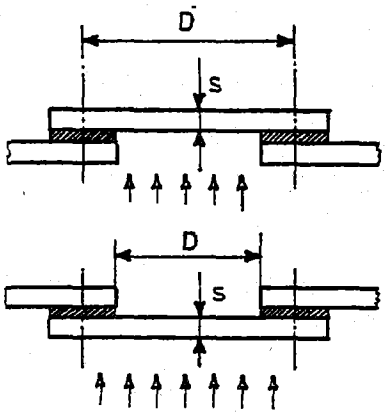
4. Le figure 1.L.2.12. e 1.L.2.13. riportano i valori dei coefficienti di forma C_1 e C_2 in funzione di determinati valori dei rapporti p/f e p/f_{min}.

Per determinare il valore di C nei diagrammi delle figure 1.L.2.13 e 1.L2.14 occorre prendere l'ordinata che corrisponde alla intersezione della curva di parametro s_m/D con la verticale passante per l'ascissa p/f oppure p/f_{min}

Poiché le curve s_m/D sono limitate dal valore del coefficiente di saldatura z del fasciame, nel caso in cui il punto di intersezione sulla curva si collochi oltre il limite della curva stessa individuato dal valore di z bisogna prendere come valore C il punto di intersezione della citata curva s_m/D_e con la curva del valore del coefficiente di saldatura longiudinale z del fasciame saldato al fondo.

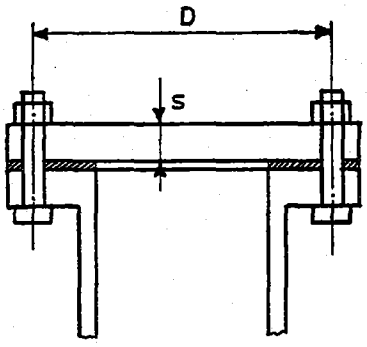
È ammessa l'interpolazione lineare sia tra le ascisse p/f che tra le curve S_m/D.

In tutti i casi in cui C viene ricavato come maggior valore tra C_1 e $C_2 \cdot \sqrt{f/f_{min}}$ il valore di C_1 deve essere determinato in corrispondenza di p/f_{min}, anziché di p/f, dalla figura 1.L.2.12..



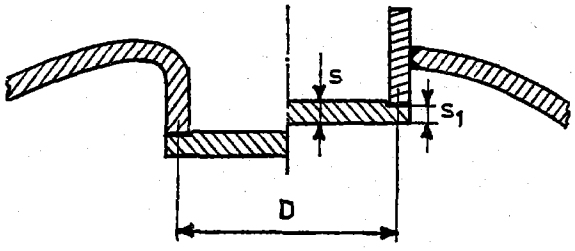
$C = 0{,}50$

Figura 1.L.2.8.



$C = 0{,}42$

Figura 1.L.2.9.



$D \leqslant 610$ mm

$C = 0{,}60$

Per il caso in esame deve essere eseguita una verifica al taglio per lo spessore s_1 che deve quindi risultare non inferiore al valore ricavato dalla formula che segue:

$$s_{1o} = 1{,}5 \frac{p \cdot D}{4 \cdot 0{,}58 \cdot f}$$

Figura 1.L.2.10.

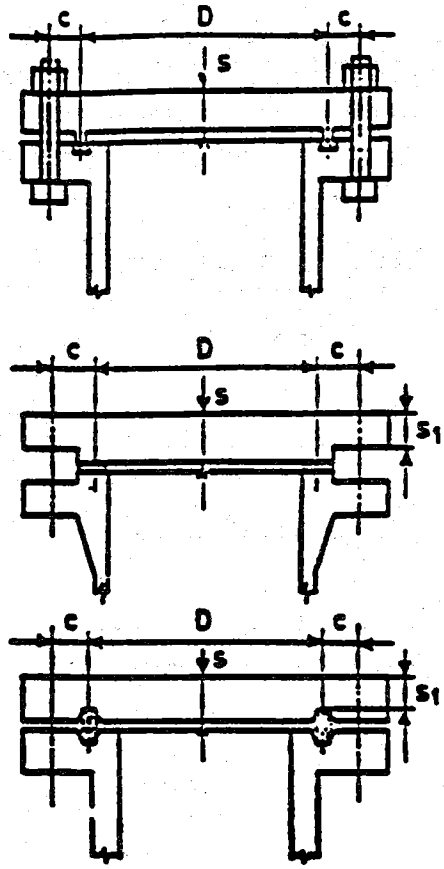
Per la verifica dello spessore s:

$$C = \sqrt{0{,}31 + 1{,}49 \cdot \left(1 + \frac{8mb}{D}\right) \cdot \frac{c}{D}}$$

Per la verifica dello spessore s_1:

$$C = \sqrt{1{,}49 \cdot \left(1 + \frac{8mb}{D}\right) \cdot \frac{c}{D}}$$

dove i simboli m e b hanno lo stesso significato del Capitolo VSR.1.U



Per le soluzioni indicate deve inoltre essere eseguita la verifica in condizioni di serraggio con la formula:

$$s_{1o} = 1{,}38 \sqrt{\frac{f_{Bo}\left(\frac{A_m + A_b}{2}\right) c}{D f_o}}$$

Qualora da parte del progettista venga ravvisata l'opportunità di incrementare il margine di sicurezza contro l'eccessivo serraggio, o di verificare la flangia per il carico complessivo che i bulloni sono in grado di trasmettere, il rapporto ($A_m + A_b$) / 2 va sostituito con A_b.
Nelle formule di cui sopra:

- f_o rappresenta la sollecitazione massima ammissibile del materiale della parete piana o del fondo piano, per le condizioni di serraggio, ottenuta partendo dalle caratteristiche meccaniche a temperatura ambiente ed applicando il coefficiente di sicurezza previsto per le condizioni di progetto;
- i simboli A_m, A_b, f_{Bo} hanno lo stesso significato del Capitolo VSR.1.U.;
- il simbolo D corrisponde al simbolo G di cui al Capitolo VSR.1.U.

Figura 1.L.2.11.

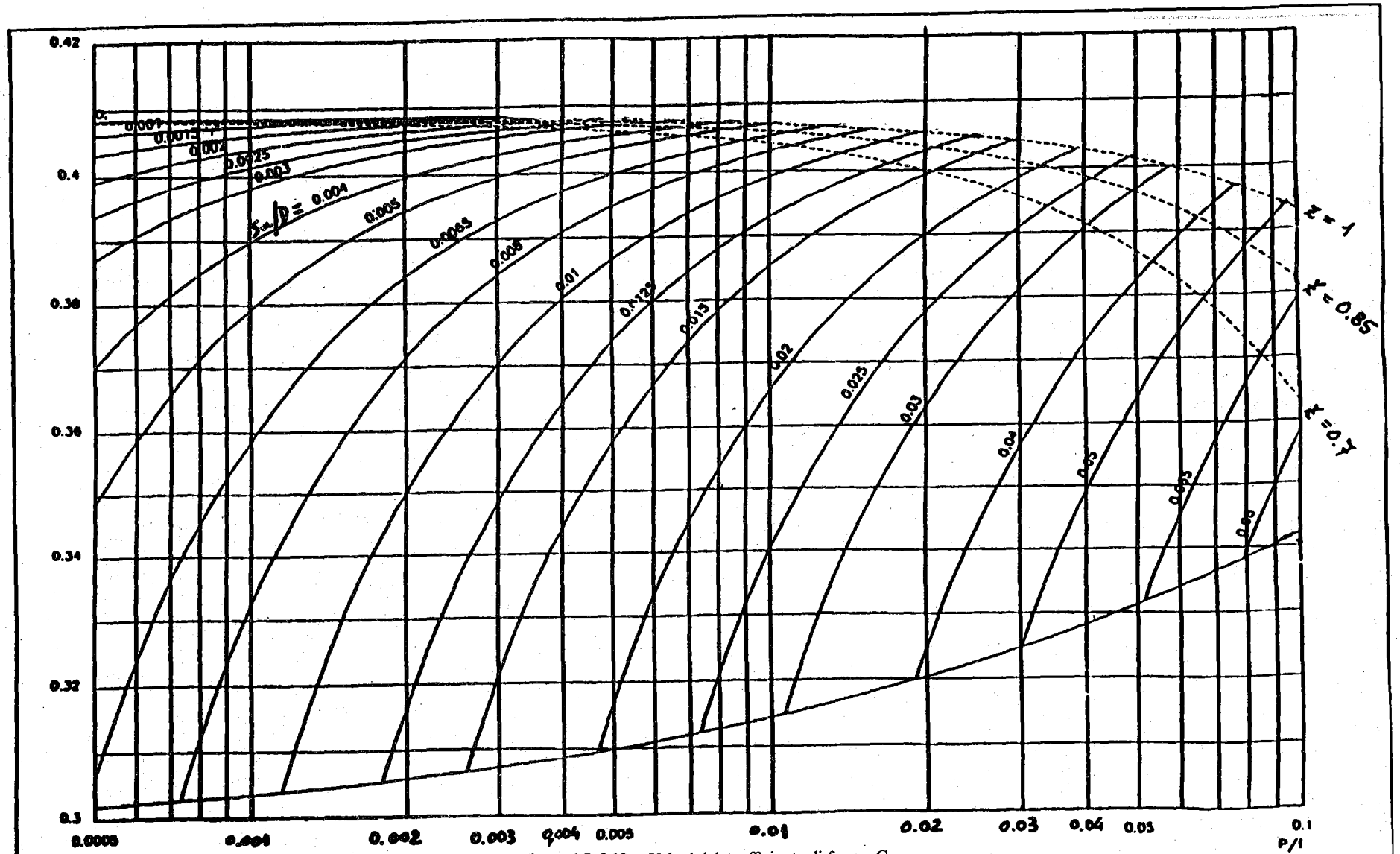


Figura 1.L.2.12. – Valori del coefficiente di forma C_1.
Le linee tratteggiate rappresentano i valori minimi di s_m compatibili con p, D, f e z

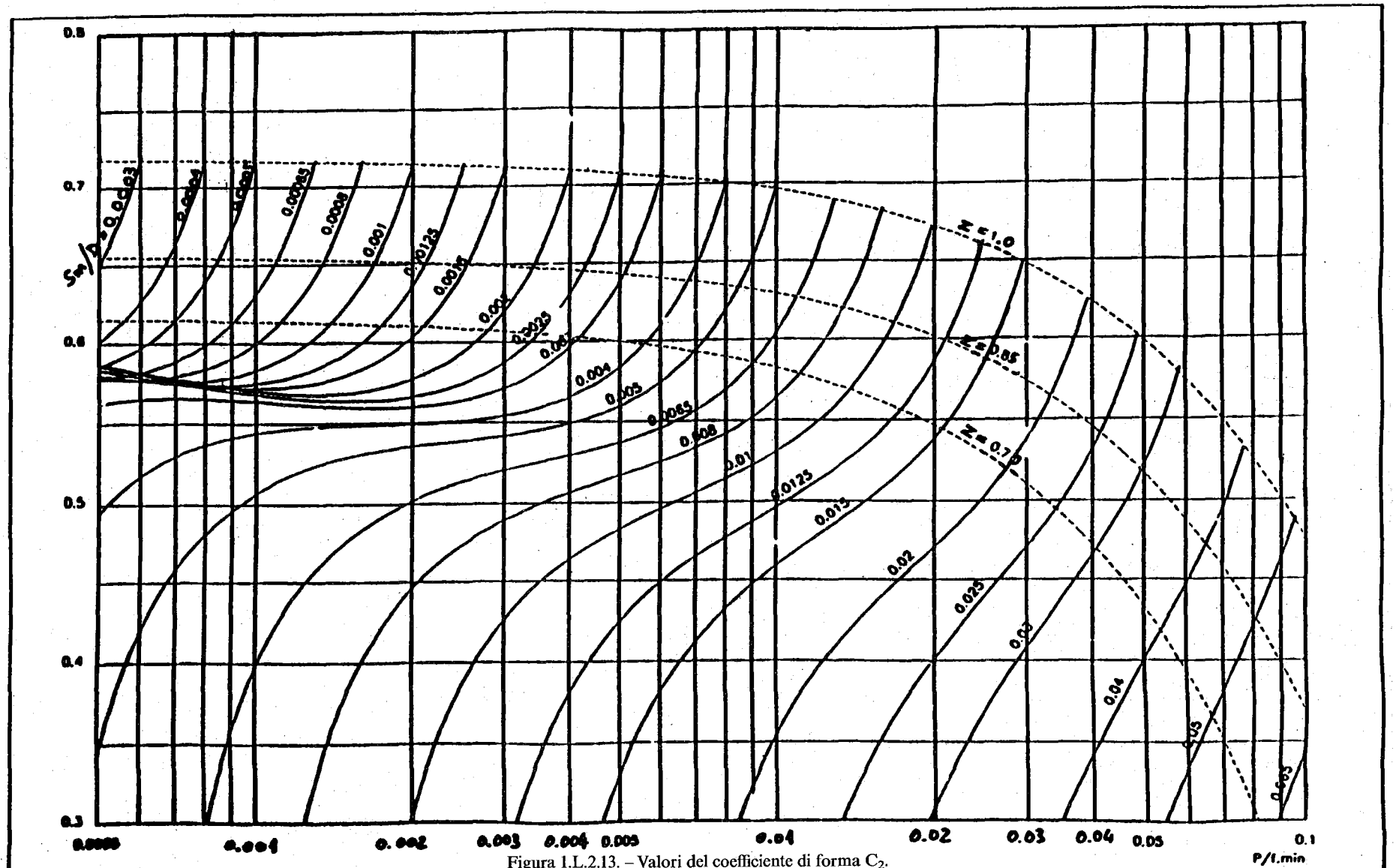


Figura 1.L.2.13. – Valori del coefficiente di forma C_2.
Le linee tratteggiate rappresentano i valori minimi di s_m compatibili con p, D, f_{min} e z

Per valori di p/f o p/f_{min} inferiori a 0,001, si assumono per C_1 e C_2 i valori a 0,001. In ogni caso i valori di C_1 e C_2 vanno assunti non inferiori a 0,3.

Regola VSR.1.L.3.: *Pareti piane e fondi piani circolari non rinforzati, con aperture*

1. La presente regola si applica alle pareti piane e fondi piani circolari non rinforzati, con aperture aventi diametro $d \leq D/2$. Nel caso di aperture aventi un diametro superiore, la parete piana forata, nei casi in cui questo è possibile, potrà essere verificata usando le norme relative al calcolo delle flange (capitolo VSR.1.U) (cfr. figure 1.L.3.4. e 1.L.3.5.).

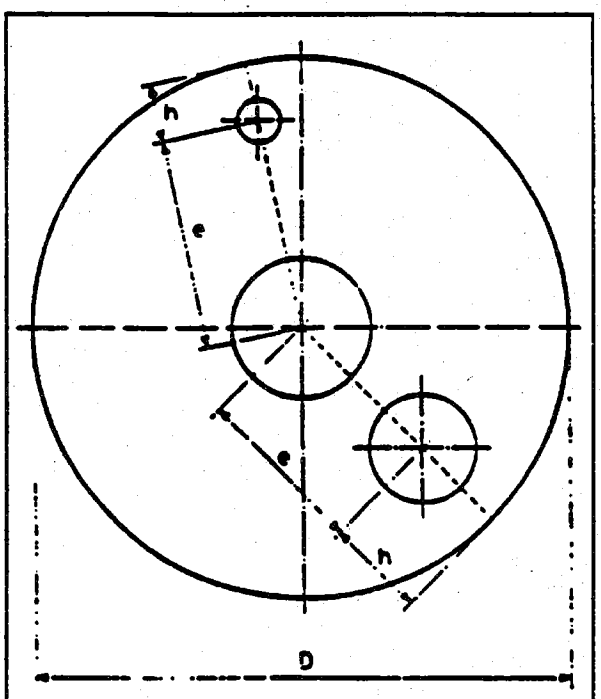


Figura 1.L.3.1.

2. Una parete piana o un fondo piano non rinforzati con aperture comunque distribuite (vedi figura 1.L.3.1.) e collegati al fasciame secondo una delle soluzioni costruttive indicate nelle figure da 1.L.2.1. a 1.L.2.11., devono soddisfare alle condizioni previste nella regola VSR.1.L.2. ed inoltre lo spessore non deve risultare inferiore a quello ricavato dalle formule che seguono.

2.1. Per fondi piani collegati al fasciame mediante saldatura (cfr. soluzioni costruttive indicate nelle figure da 1.L.2.1. a 1.L.2.7.):

2.1.1. $$s_0 = C\, Y_1\, D \sqrt{\frac{p}{f}}$$

2.1.2. $$s_0 = C_1\, Y_2\, D \sqrt{\frac{p}{f}}$$

2.2. Per fondi piani imbullonati, appoggiati, ecc. (cfr. soluzioni costruttive da figura 1.L.2.8. a 1.L.2.11.):

2.2.1. $$s_0 = C\, Y_2\, D \sqrt{\frac{p}{f}}$$

2.3. Nelle formule che precedono, i coefficienti C sono quelli desunti in base alla regola VSR.1.L.2.; i coefficienti Y_1 e Y_2 si ricavano dalle formule:

2.3.1. $$Y_1 = \sqrt[3]{\frac{e}{e-d}},\ comunque \leq 2$$

2.3.2. $$Y_2 = \sqrt{\frac{e}{e-d}}$$

dove la grandezza e rappresenta:

e distanza fra i centri di due fori contigui (nel qual caso deve risultare $\geq 1.2\, d$) e, per foro singolo:

– due volte la distanza h del centro del foro dalla circonferenza di diametro D per la formula 2.3.1.;

– diametro del fondo D per la formula 2.3.2.

La grandezza d da non assumere comunque inferiore a zero rappresenta:

a) per tronchetti saldati appoggiati:

$$d = d_i - \frac{A}{s}$$

b) per tronchetti saldati penetranti:

$$d = d_e - \frac{A}{s}$$

essendo A l'area complessiva di rinforzo in mm^2, definita nelle figure 1.L.3.2. e 1.L.3.3. in cui lo spessore s_{to} è quello minimo di calcolo del tronchetto e le lunghezze l ed l' sono date dalle relazioni:

$$l = 0{,}8 \sqrt{(d_i + s_t)s_t}$$

$$l' = 0{,}8 \sqrt{(d_i + s'_t)s'_t}$$

Se la sollecitazione massima ammissibile del tronchetto è inferiore a quella del materiale della parete piana o del fondo, l'area A deve essere moltiplicata per il rapporto tra la sollecitazione massima ammissibile del tronchetto e la sollecitazione massima ammissibile del fondo.

Se sulla parete piana o sul fondo piano sono praticati fori aventi diametri (reali od equivalenti) diversi, nel considerare le relative coppie di fori per il calcolo dei coefficienti Y_1 e Y_2 bisogna porre per d il valore medio dei due diametri in esame.

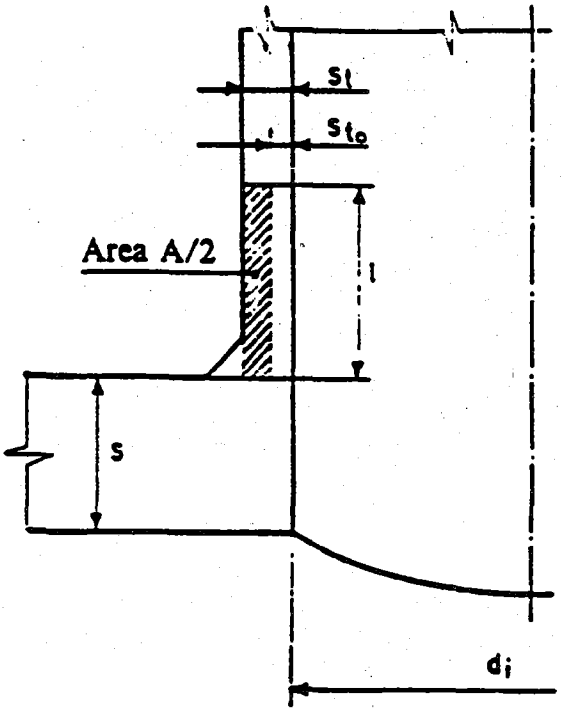


Figura 1.L.3.2.

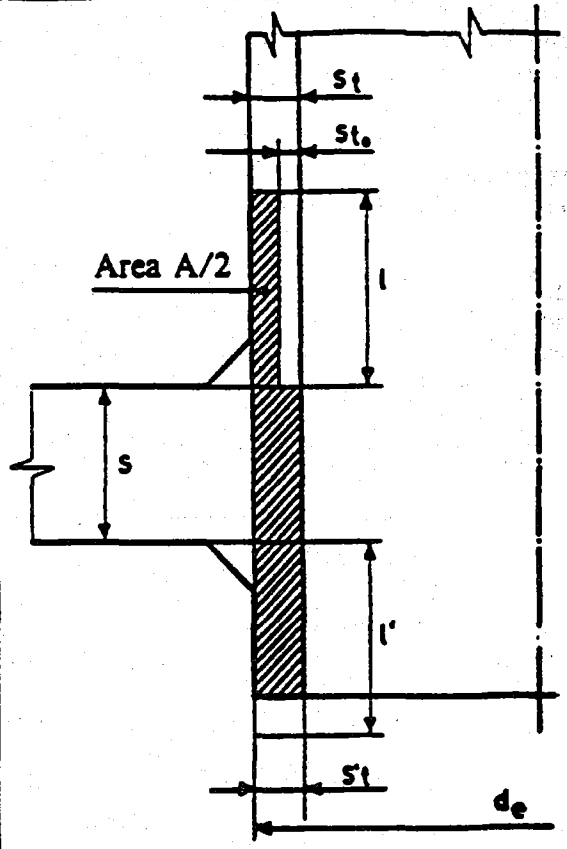


Figura 1.L.3.3.

3. In presenza di una distribuzione irregolare di forature bisogna scegliere la coppia di fori per cui i coefficienti Y_1 e Y_2 risultano maggiori.

4. In ogni caso ciascun foro deve essere verificato come singolo.

5. I giunti dei fondi piani in più pezzi devono appartenere alla I categoria di saldatura.

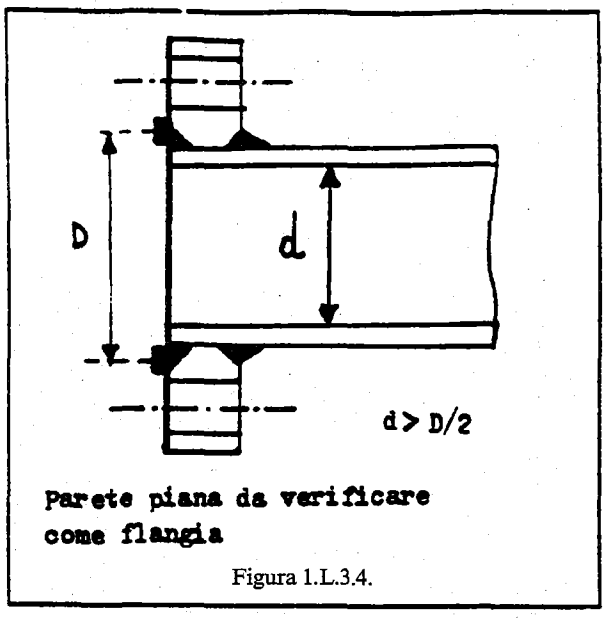


Figura 1.L.3.4.

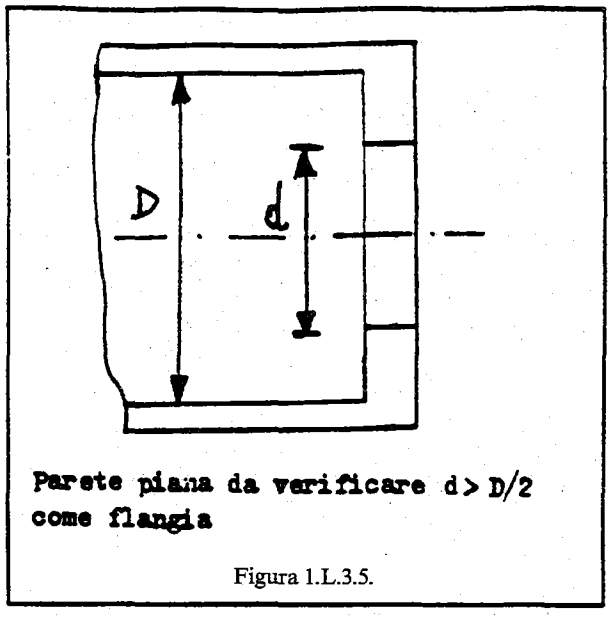


Figura 1.L.3.5.

Regola VSR.1.L.4.: *Pareti piane e fondi piani circolari rinforzati*

1. Lo spessore s_o di una parete piana o di un fondo piano circolare rinforzati con tiranti, tubi tiranti, mensole o nervature di irrigidimento sui quali non siano praticate aperture non deve essere inferiore a quello ricavato dalla formula:

$$1.1. \qquad s_o = 0{,}45\, D \sqrt{\frac{p}{f}}$$

in cui:

D diametro, in mm, del cerchio più grande inscrivibile nella porzione di lamiera non rinforzata (figura 1.L.4.1.); nel caso di tiranti posizionati in modo irregolare si assume per D il valore della semisomma delle diagonali relative alla maglia quadrilatera per la quale detta semisomma è massima.

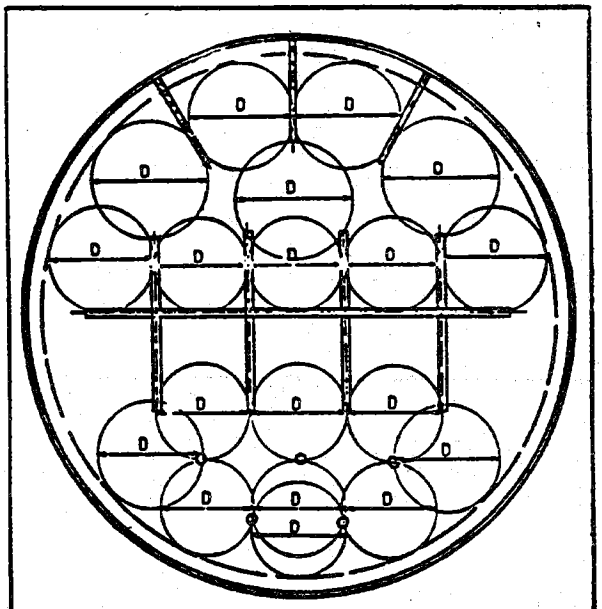


Figura 1.L.4.1.

2. Per il calcolo dei rinforzi si applicano le regole del capitolo VSG.1.T. della Raccolta V.S.G., assumendo come valore dello spessore ideale che compare nella regola VSG.1.T.1. lo spessore calcolato con le regole della VSR, introducendo i coefficienti C che si ricavano dalla VSR.1.L.2. e assumendo in ogni caso C non minore di 0,45.

3. I giunti dei fondi piani in più pezzi devono appartenere alla I categoria di saldatura.

Regola VSR.1.L.5.: *Pareti piane e fondi piani rettangolari, ellittici, pseudo-ellittici, non rinforzati*

1. Lo spessore s di una parete piana o di un fondo piano rettangolare, ellittico o pseudo-ellittico, non rinforzati e senza aperture, realizzati secondo le soluzioni costruttive corrispondenti alle figure da 1.L.2.1. a 1.L.2.11., non deve risultare inferiore a quello ricavato dalla formula che segue:

$$1.1. \qquad s_o = C\, a \sqrt{\frac{p}{f}}$$

dove:

a è la dimensione minore della parete o fondo, in mm;

C è un coefficiente di forma che si ricava come appresso indicato:

– per le pareti piane e fondi piani collegati a mezzo saldatura (figure da 1.L.2.1. a 1.L.2.7.) C si ricava dal diagramma di figura 1.L.5.1. in funzione del rapporto fra la dimensione minore a e quella maggiore b della parete o fondo stesso;

– per le pareti piane e fondi piani appoggiati e/o imbullonati (figure 1.L.2.8., 1.L.2.9. e 1.L.2.10.) C si ricava, sempre in funzione del rapporto a/b, dalla curva di figura 1.L.5.2. per le pareti rettangolari e dalla figura 1.L.5.3. per le pareti ellittiche o pseudo-ellittiche.

Inoltre per le pareti piane collegate secondo la soluzione costruttiva di cui alla figura 1.L.2.10, deve essere verificato anche lo spessore s_1 con la formula:

$$1.2. \qquad s_{1o} = 1{,}5\, \frac{A}{L} \frac{p}{0{,}58 f}$$

dove A ed L sono rispettivamente l'area, in mm^2, ed il perimetro, in mm, del rettangolo o dell'ellisse passante per la mezzeria della guarnizione.

2. Per le pareti e i fondi piani imbullonati e con guarnizione interna (figura 1.L.2.11.) il coefficiente C è dato dalla relazione:

$$2.1. \qquad C = \sqrt{C^* + \frac{6 F_m\, c}{p\, t\, a^2}}$$

dove:

c sbalzo fra diametro passante per il centro dei bulloni e diametro medio della guarnizione, in mm;

t passo tra i bulloni, in mm;

C^* coefficiente che si ricava dalla figura 1.L.5.4

F_m è il carico sopportato da ciascun bullone, in N, di cui alla regola VSR.1.R.

Per la verifica dello spessore s_1 il coefficiente C è dato invece dalla relazione:

$$2.2. \qquad C = \sqrt{\frac{6 F_m\, c}{p\, t\, a^2}}$$

Per la verifica nelle condizioni di prova idraulica, nelle formule 2.1. e 2.2. vanno inseriti i simboli F_{mi} e p_i al posto di F_m e p.

Lo spessore s_1 deve essere verificato anche nelle condizioni di serraggio mediante la relazione:

$$2.3. \qquad s_{1o} = \sqrt{\frac{6 \left(\frac{a_m + a_b}{2}\right) f_{Bo}\, c}{t f_o}}$$

dove i simboli a_m, a_b, f_{Bo} hanno lo stesso significato del Capitolo VSR.1.R.

3. Le pareti e fondi piani a forma di corona circolare, vincolati su entrambi i bordi, con diametro esterno D_e e diametro interno D_i possono essere considerati come pareti e fondi rettangolari aventi:

$$a = \frac{D_e - D_i}{2}$$

$$b = \pi \frac{D_e + D_i}{2}$$

4. Per le pareti e fondi piani descritti ai punti precedenti, ma aventi aperture comunque distribuite, lo spessore risultante in progetto non deve essere inferiore a quello che si ricava dalla seguente formula:

4.1. $$s_o = C y a \sqrt{\frac{p}{f}}$$

dove il coefficiente C si ricava come indicato nei punti precedenti ed y vale:

4.2. $$y = \sqrt{\frac{e}{e - d}}$$

avendo i simboli e e d il significato di cui alla regola VSR.1.L.3.

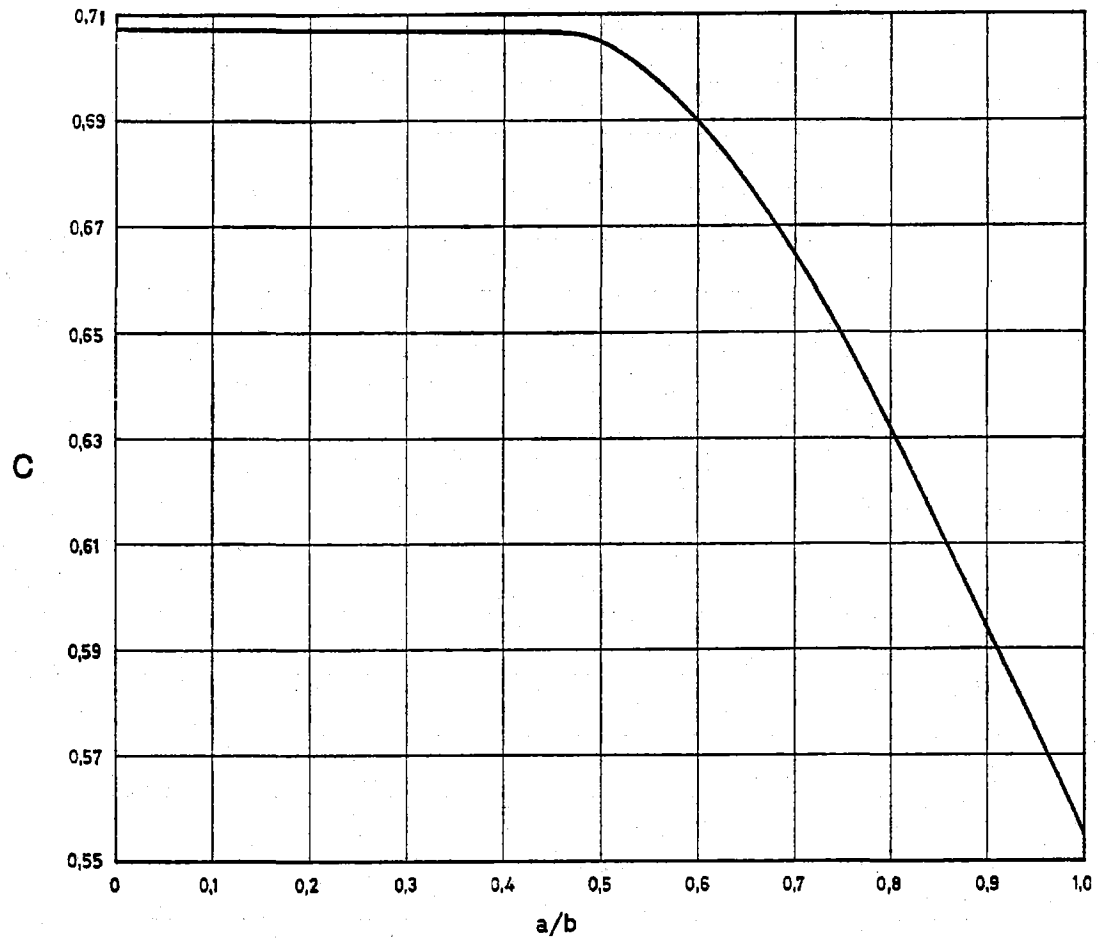


Figura 1.L.5.1. – Coefficienti di forma C per pareti e fondi piani non rinforzati (figure da 1.L.2.1. a 1.L.2.7.)

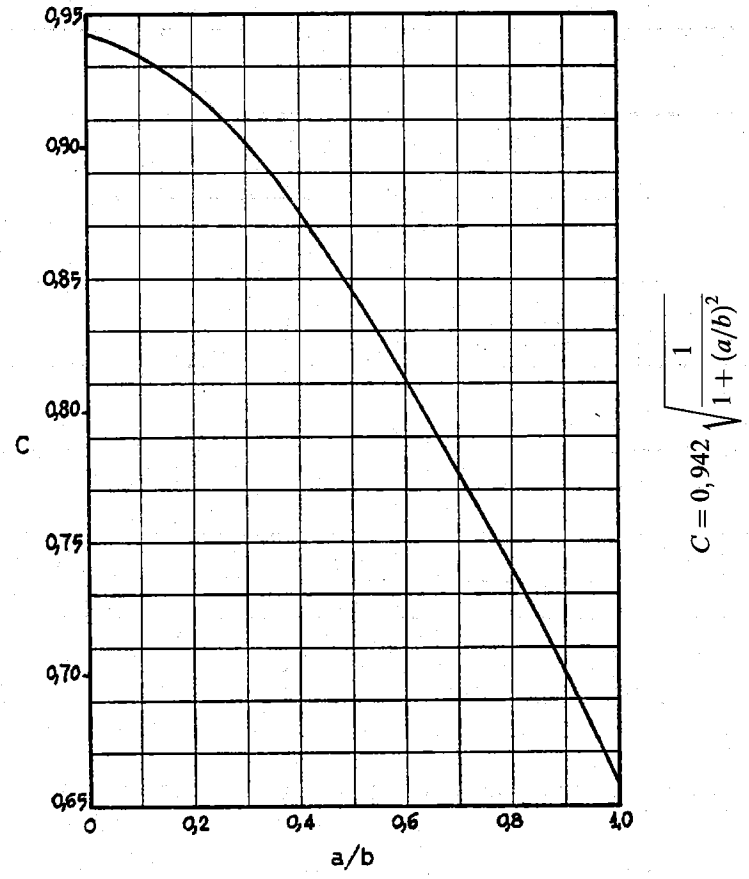


Figura 1.L.5.2. – Coefficienti di forma *C* per pareti e fondi piani rettangolari non rinforzati (figure da 1.L.2.8. a 1.L.2.10.)

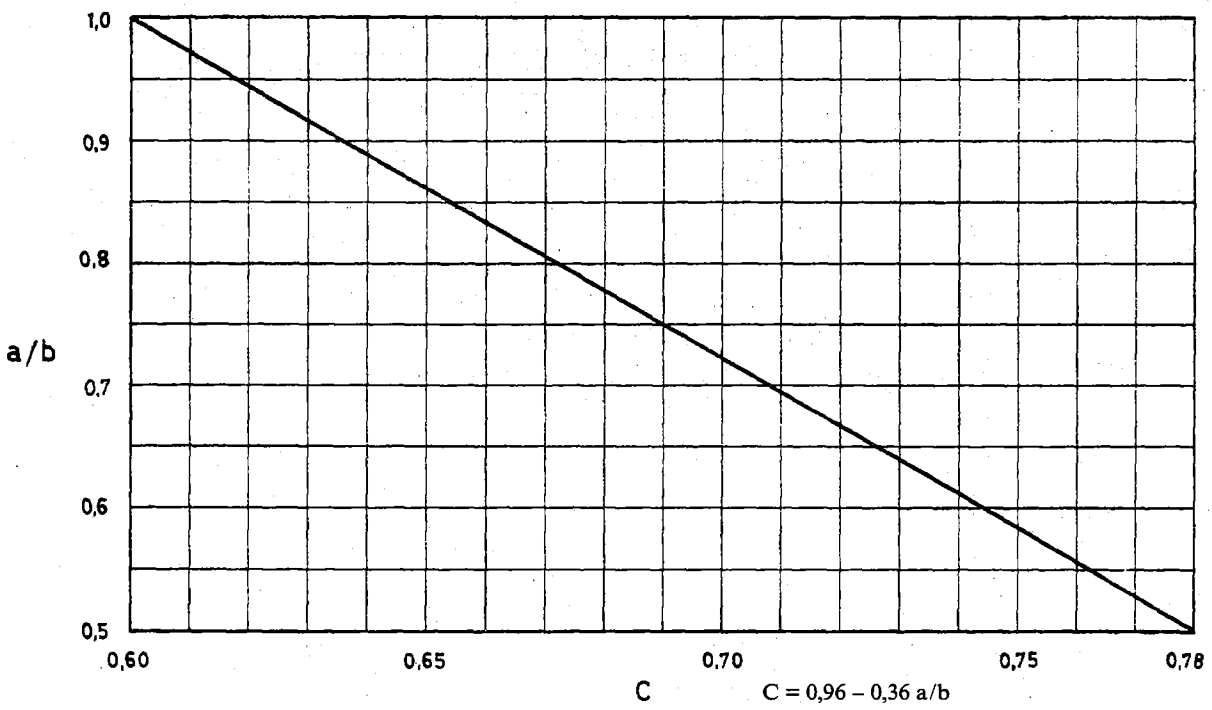


Figura 1.L.5.3. – Coefficienti di forma *C* per pareti e fondi piani ellittici o pseudoellittici non rinforzati (figure da 1.L.2.8. a 1.L.2.10.)

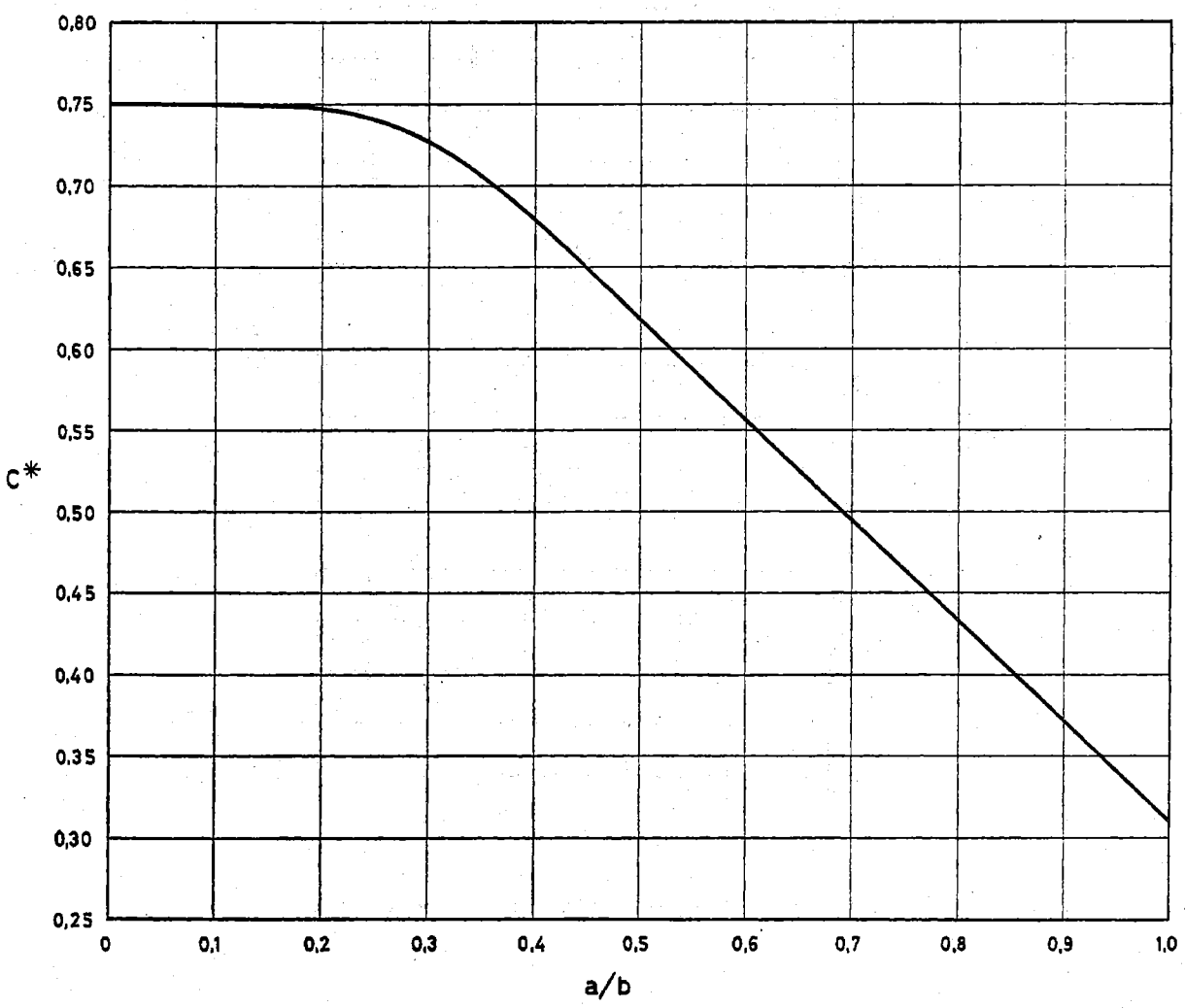


Figura 1.L.5.4. – Valori di C^* per la determinazione dei coefficienti di forma C per pareti e fondi piani non rinforzati (figura 1.L.2.11.)

ELENCO DELLE REGOLE CONTENUTE NEL FASCICOLO VSR.1.M.

Regola VSR.1.M.1.: *Generalità*

1. Ai fini dell'applicazione delle regole del presente capitolo VSR.1.M., i tubi - esclusi quelli aventi diametro esterno maggiore di 220 mm e quelli di qualsiasi diametro aventi fori o aperture (da calcolare secondo VSR.1.D).) - vengono divisi in due classi:

1ª – tubi destinati a scambio termico con diametro esterno non superiore a 30 mm;

2ª – tubi destinati a scambio termico con diametro esterno superiore a 30 mm e tubi non destinati a scambio termico.

Regola VSR.1.M.2.: *Tubi sottoposti a pressione interna*

1. Lo spessore s_o dei tubi della prima classe si determina con la formula seguente:

1.1. $$s_o = \frac{p D_e}{2f z + p}$$

in cui z è il modulo di efficienza della saldatura longitudinale da assumere pari ad 1, con i controlli previsti nella Raccolta M.

2. Lo spessore s_o dei tubi della seconda classe deve essere determinato come al precedente punto 1., ma in ogni caso lo spessore adottato non deve essere inferiore al seguente valore minimo:

2.1. $$s_{min} = 1\,mm$$

Regola VSR.1.M.3.: *Tubi sottoposti a pressione esterna*

1. Lo spessore s_o dei tubi della prima classe si determina con la formula seguente:

1.1. $$s_o = 1{,}2\,\frac{p D_e}{2f + p}$$

2. Lo spessore s_o dei tubi della seconda classe deve essere determinato con la stessa formula 1.1. ma in ogni caso lo spessore adottato non deve essere inferiore al seguente valore minimo:

2.1. $$s_{min} = 1\,mm$$

Regola VSR.1.M.4.: *Tubi a sezione trasversale ellittica senza saldatura sottoposti a pressione interna*

1. *Generalità.*

1.1. I tubi a sezione trasversale ellittica senza saldatura sottoposti a pressione interna devono avere rapporto fra l'asse minore b e l'asse maggiore a non inferiore a 0,25.

2. *Materiali, fabbricazione e prove.*

2.1. Per la fabbricazione dei tubi ellittici devono essere impiegati materiali dei tipi ammessi, con la osservanza delle disposizioni di carattere generale e particolare vigenti per i tubi a sezione circolare senza saldatura.

2.2. Agli effetti delle prove sui tubi ellittici valgono le disposizioni relative ai tubi a sezione circolare, assumendo come diametro l'asse maggiore dell'ellisse.

3. *Verifica della stabilità.*

3.1. Lo spessore s_o dei tubi ellittici si determina con la formula seguente:

3.1.1. $$s_o = \frac{p\,a}{4f}\left(1 + \sqrt{1 + \frac{6f}{p}\,\frac{a^2 - b^2}{a^2}\,k}\right)$$

in cui:

k coefficiente funzione del rapporto e fra l'asse minore b e l'asse maggiore a, dato dalla formula seguente:

3.1.2. $$k = 1 + \frac{1}{4}\left(\frac{1-e^2}{1+e^2}\right) + \frac{5}{128}\left(\frac{1-e^2}{1+e^2}\right)^3 + \frac{15}{1024}\left(\frac{1-e^2}{1+e^2}\right)^5$$

L'andamento qualitativo è riportato nella figura 1.M.4.

3.2. Lo spessore minimo dei tubi ellittici deve essere conforme a quello stabilito per i tubi a sezione circolare, assumendo come diametro l'asse maggiore dell'ellisse.

Regola VSR.1.M.5.: *Verifica delle curve e dei tubi curvati*

1. *Generalità.*

La presente regola si applica alle curve di tubazioni in pressione. Sono escluse dalla presente verifica le serpentine dei fasci tubieri degli scambiatori di calore con tubi ad U, le serpentine dei surriscaldatori, degli economizzatori e gli altri tipi di serpentine utilizzate per scambio termico.

2. *Simboli e definizioni.*

Nelle formule di verifica vengono utilizzati i seguenti simboli con le relative definizioni:

D_i diametro interno della curva, in mm;

R raggio di curvatura in corrispondenza della mezzeria della curva, in mm;

s spessore minimo della curva, in mm;

f sollecitazione massima ammissibile in condizioni di progetto, in MPa;

f_i sollecitazione massima ammissibile in condizioni di prova, in MPa.

3. *Verifica della stabilità.*

La verifica della stabilità deve essere eseguita nelle condizioni di prova e di progetto; la sollecitazione massima ammissibile del materiale del tubo deve soddisfare alle seguenti condizioni:

– all'estradosso

$$3.1.\quad f \geq 0{,}5 \cdot p \left(1 + 0{,}5 \cdot \frac{D_i}{s} \cdot \frac{4R + D_i}{2R + D_i + s}\right)$$

– all'intradosso

$$3.2.\quad f \geq 0{,}5 \cdot p \left(1 + 0{,}5 \cdot \frac{D_i}{s} \cdot \frac{4R - D_i}{2R - D_i - s}\right)$$

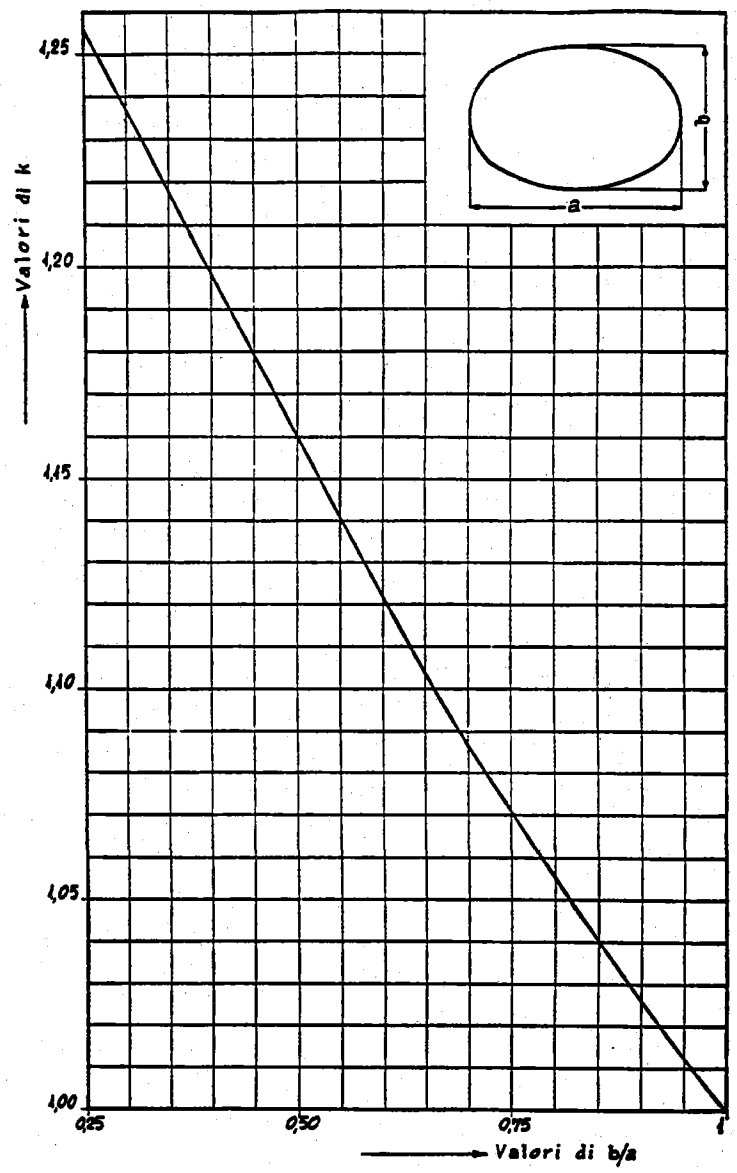


Figura 1.M.4. – Coefficiente K per tubi a sezione trasversale ellittica

ELENCO DELLE REGOLE CONTENUTE NEL CAPITOLO VSR.1.N.

Regola VSR.1.N.1.: *Campo di applicazione*

1. Le regole del presente capitolo si applicano per la verifica della stabilità delle piastre forate per innesto di tubi, piane e di forma circolare con tubi a dilatazione libera o impedita, purché il passo e fra i tubi sia almeno pari a 1,2 d_e essendo d_e il diametro esterno del tubo all'innesto della piastra. Sono ammessi scostamenti locali dovuti a tolleranze di lavorazione purché il passo medio della fila in cui si ha lo scostamento sia non inferiore al limite suddetto.

2. Nel presente capitolo vengono considerati i seguenti tipi di piastre tubiere:

– piastre tubiere stazionarie di scambiatori con tubi a dilatazione libera di cui alla tabella 1;

– piastre tubiere flottanti di scambiatori con tubi a dilatazione libera di cui alla tabella 2;

– piastre tubiere di scambiatori con tubi a dilatazione impedita (con o senza compensatore di dilatazione) di cui alla tabella 3.

Per i casi previsti nelle regole VSR.1.N.5. e VSR.1.N.6. del presente capitolo, sono applicabili le verifiche di cui alle regole stesse.

Regola VSR.1.N.2.: *Definizioni e simboli*

1. Si definisce:

– «stazionaria» la piastra tubiera non mobile in scambiatori con tubi a dilatazione libera;

– «flottante» la piastra tubiera mobile in scambiatori con tubi a dilatazione libera;

– «fissa» la piastra tubiera in scambiatori con tubi a dilatazione impedita, con o senza compensatore di dilatazione sul mantello;

– «integrale» la piastra tubiera solidale con la parte in pressione considerata (una piastra tubiera può essere considerata integrale da un lato e non integrale dall'altro lato qualora su questo secondo lato sia collegata con guarnizione interposta).

2. Nel presente capitolo sono impiegati i simboli seguenti in aggiunta a quelli definiti in VSR.0.6.:

d_e diametro esterno dei tubi, in mm;

D_e diametro esterno del mantello, in mm;

D_G diametro di calcolo della piastra da assumere pari a D_{G1}, D_{G2}, come indicato nelle tabelle 1, 2, 3, in mm;

D_j diametro interno massimo dell'onda del compensatore di dilatazione, in mm:
$D_j = D_{G2}$ nel caso di mantello senza compensatore;

D_L diametro della circonferenza passante per il centro dei tubi più esterni, in mm;

e passo dei tubi, in mm;

E_t modulo di elasticità del materiale della piastra tubiera alla temperatura media di parete considerata, in MPa; in caso di piastre aventi spessore, materiale, o temperature di esercizio differenti, i due moduli elastici verranno denominati E_{t1} e E_{t2};

E_{tm} modulo di elasticità del materiale del mantello alla temperatura media di parete considerata, in MPa;

E_{tt} modulo di elasticità del materiale dei tubi alla temperatura media di parete considerata, in MPa;

f_t massima sollecitazione longitudinale effettiva sui tubi, in MPa;

f_{tt} sollecitazione ammissibile a trazione dei tubi alla temperatura media di parete considerata, in MPa;

f_{tc} sollecitazione ammissibile a compressione dei tubi alla temperatura media di parete considerata, in MPa;

F coefficiente adimensionale da assumere pari ad F_1, F_2, come indicato nelle tabelle 1, 2, 3;

$$F_q = 0{,}25 + (F_2 - 0{,}6)\left[\frac{300 s_m E_{tm}}{KL}\right]^{\frac{1}{4}}\left[\frac{D_{G2}^3}{E_t s_p^3}\right]^{\frac{1}{4}}$$

In caso di piastre tubiere aventi spessori o moduli elastici diversi, l'ultimo fattore dell'espressione di F_q

va sostituto da: $\left[\frac{D_{G2}^3}{2}\left(\frac{1}{E_{tl}\, s_{pl}^3} + \frac{1}{E_{t2} s_{p2}^3}\right)\right]^{\frac{1}{4}}$

F_q va assunto in ogni caso ≥ 1;

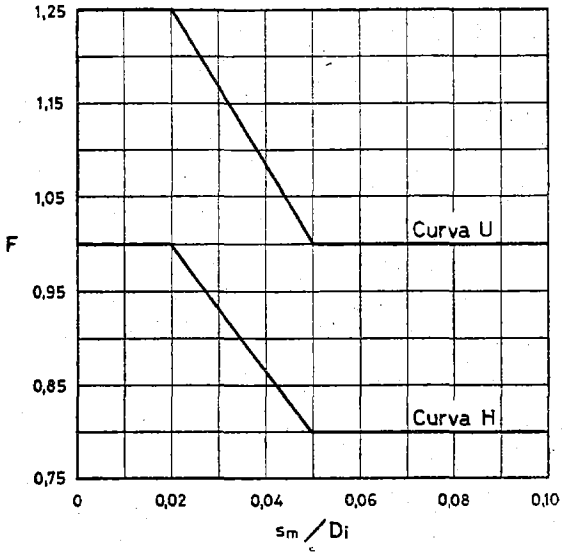


Figura 1.N.2. – Coefficienti F per piastre e tubiere integrali

I momento di inerzia della sezione trasversale del tubo, del tirante o del tubo-tirante riferito allo spessore al netto della tolleranza e della corrosione, in mm^4.

J pari a 1,0 per mantelli senza compensatore di dilatazione;
mentre per mantelli con compensatore di dilatazione:

$$J = \frac{S_{jt} \cdot L}{S_{jt} \cdot L + \pi \cdot (D_e - s_m) s_m \cdot E_m};$$

$$se\ S_{jt} < \frac{(D_e - s_m)\, s_m \cdot E_{tm}}{10 \cdot L} \text{ allora } J = 0$$

S_{jt} Rigidezza assiale del compensatore di dilatazione, in N/mm (rif. VSR.1.N.7.);

$$K = \frac{E_{tm}\, s_m\, (D_e - s_m)}{E_{tt}\, s_t\, n\, (d_e - s_t)}$$

l lunghezza libera di inflessione dei tubi, tiranti o tubi-tiranti, in mm, da assumere pari a 0,6 L nel caso di assenza di diaframmi, essendo L la distanza tra le piastre in mm, oppure pari al maggior valore fra l' e l'' dove l' è la massima distanza non supportata fra due diaframmi ed l'' è l'80% della massima distanza non supportata tra un diaframma ed una piastra, in mm;

L lunghezza dei tubi tra le facce interne delle piastre tubiere, in mm;

M_1 momento totale agente in condizioni di esercizio sulla parte periferica della piastra tubiera (sporgente dal mantello) dato, in N.mm, dalla formula:

$$M_1 = \frac{\pi}{8} p\, [D_g(D_g + 8 \cdot m \cdot b)(C - D_g)]$$

M_2 momento totale agente nella condizione di serraggio iniziale sulla parte periferica della piastra tubiera (sporgente dal mantello) dato, in N.mm, dalla formula:

$$M_2 = \frac{A_m + A_b}{4} \cdot (C - D_G) \cdot f_{BO}$$

Nelle formule di M_1 e M_2:

p pressione agente dal lato in cui è presente la guarnizione, in MPa; si pone $p = p_1$ in tutti i casi previsti nelle tabelle 1, 2, 3, escluso il caso H di tabella 2 in cui si pone $p = p_2$;

D_G diametro medio della guarnizione, in mm; si pone $D_G = D_{G1}$ in tutti i casi previsti dalle tabelle 1, 2, 3, escluso il caso H di tabella 2 in cui si pone $D_G = D_{G2}$;

C diametro della circonferenza passante per l'asse delle viti di serraggio, in mm.

n numero dei tubi;

p pressione di progetto o di prova idraulica del lato mantello (p_m), del lato tubi (p_t), del lato 1 (p_1), del lato 2 (p_2), come indicato nelle tabelle 1, 2, 3, in MPa;

p_{Bt} pressione equivalente dovuta ai bulloni in condizioni di esercizio, in MPa, data dalla formula:

$$p_{Bt} = \frac{6{,}2}{F_2^2} \frac{M_1}{D_{G2}^3}$$

p_{B0} pressione equivalente dovuta al serraggio dei bulloni, in MPa, data dalla formula:

$$p_{B0} = \frac{6{,}2}{F_2^2} \frac{M_2}{D_{G2}^3}$$

p_c, p'_c pressioni convenzionali, rispettivamente per la verifica a flessione e per quella a taglio, in MPa;

p_d pressione equivalente - da considerare con il suo segno algebrico - dovuta alla dilatazione termica differenziale e data, in MPa, dalla seguente formula:

$$p_d = \frac{4J\, E_{tm}\, s_m(\alpha_m \theta_m - \alpha_t\, \theta_t)}{(D_e - 3s_m)(1 + JKF_q)}$$

$$p'_m = p_m\left\{\frac{0{,}4J\, [1{,}5 + K(1{,}5 + q_m)]}{1 + JKF_q} - \frac{\frac{1-J}{2}\left(\frac{D_j^2}{D_{G2}^2} - 1\right)}{1 + JKF_q}\right\}$$

$$p'_t = p_t\left[\frac{1 + 0{,}4JK(1{,}5 + q_t)}{1 + JKF_q}\right]$$

$$q_m = 1 - n\left(\frac{d_e}{D_{G2}}\right)^2$$

$$q_t = 1 - n\left(\frac{d_e - 2s_t}{D_{G1}}\right)^2$$

s_0 spessore minimo di calcolo della piastra, in mm;

s_m spessore nominale del mantello, in mm;

s_{m0} spessore del mantello, al netto delle tolleranze e della corrosione, in mm;

s_p spessore nominale della piastra tubiera, al lordo della corrosione e di eventuali scanalature; in caso di scambiatori aventi piastre di spessore diverso, i due spessori nominali verranno denominati s_{P1} e s_{P2}, in mm.;

s_r spessore minimo di calcolo della piastra tubiera nella zona flangiata, in mm;

s_t spessore nominale dei tubi, in mm;

s_{t0} spessore dei tubi, al netto delle tolleranze e della corrosione, in mm;

α valore medio, fra 20 °C e la temperatura media di parete considerata, del coefficiente di dilatazione termica del materiale del mantello (α_m) o del materiale dei tubi (α_t) in m/m °C;

η efficienza di foratura della piastra tubiera in funzione del tipo di foratura:

– per passo quadrato o passo quadrato ruotato:

$$\eta = 1 - \frac{0{,}785}{(e/d_e)^2}$$

– per passo triangolare o passo triangolare ruotato: $\eta = 1 - \dfrac{0{,}907}{(e/d_e)^2}$

θ valore dichiarato della temperatura media di parete del mantello (θ_m) o dei tubi (θ_t) in °C, diminuito di 20 °C;

I simboli m, b, A_m, A_b, f_{B0} hanno lo stesso significato che in VSR.1.U. Il simbolo M_2 ha lo stesso significato del simbolo M_{ow} definito in VSR 1.U.3.5.b. Il valore f_{B0} è espresso in MPa.

Regola VSR.1.N.3.: *Verifica di stabilità delle piastre tubiere*

1. Lo spessore s_0 dei tipi di piastre tubiere di cui al punto 2 della VSR.1.N.1. risultante dalle formule seguenti non deve essere superiore allo spessore della piastra tubiera indicato nel progetto, detratto il sovraspessore di corrosione e la profondità di eventuali scanalature per alloggiamento di guarnizioni o diaframmi ripartitori interessanti la zona compresa nel cerchio di diametro D_L; dette due detrazioni non sono cumulabili per una stessa faccia della piastra.

Eventuali scanalature di raccordo tra piastre e fasciami ad esse collegati sono ammesse (anche se interessanti il cerchio di diametro D_L) purché in tale zona lo spessore residuo sia tale da verificare la formula 3.2. e non risulti inferiore all'85% del valore dato dalla formula 3.1.

2. In ogni caso, lo spessore s_0 non deve essere inferiore a:

$0{,}75\ d_e$	per tubi aventi $d_e \leq 25$mm
$6{,}5 + 0{,}5 d_e$	per tubi aventi $d_e > 25$mm

3. Lo spessore s_0 va calcolato nelle condizioni di progetto e di prova idraulica per la pressione sia dal lato tubi sia dal lato mantello utilizzando per ciascuna verifica i valori di F, D_G, p_c, p'_c relativi al lato che si considera ed è dato dal maggior valore risultante dalle seguenti formule:

– verifica a flessione:

$$3.1. \quad s_0 = \frac{F\ D_G}{3}\sqrt{\frac{p_c}{\eta \cdot f}}$$

– verifica a taglio:

$$3.2. \quad s_0 = \frac{0{,}31\ D_L}{1 - \frac{d_e}{e}} \cdot \frac{p'_c}{f}$$

Il valore di p_c da introdurre nella formula 3.1.è, per ciascun tipo di collegamento, il maggior valore assoluto desumibile dalle tabelle 1, 2 e 3.

Il valore di p'_c da introdurre nella formula 3.2. si ottiene dalle stesse tabelle uguagliando a zero i termini p_{B0} e p_{Bt} nelle formule di p_c.

4. Salvo il caso di cui al punto 4.1 qualora in scambiatori di tipo L ed M della tabella 2 e tipi N, P, Q della tabella 3 si abbiano porzioni di piastra libere da tubi, lo spessore s_0 non deve essere comunque inferiore a quello ottenuto applicando, nella zona non forata, la formula 1.1.della regola VSR.1.L.4. sia dal lato tubi che dal lato mantello. In tale formula i simboli D e p hanno il significato che segue:

D diametro della massima circonferenza inscrivibile nelle zone non forate (vedi figura 1.L.4.1.), in mm; per i tipi L ed M e per quelli N, P, Q dotati di compensatore di dilatazione, il diametro di tale circonferenza va raddoppiato se la zona libera da tubi si trova alla periferia della piastra;

p pressione di progetto o di prova idraulica.

4.1. Non è necessario verificare le zone di piastra non forate quando il diametro D da inserire nella formula 1.1. della VSR.1.L.4. risulta non superiore a $0{,}1\ D_G$.

5. La verifica può essere effettuata sulla base della sola pressione differenziale qualora sia escluso che tale pressione differenziale possa essere superata in esercizio.

In tal caso nelle formule sotto riportate p_1, p_2, p_t, p_m sono le pressioni che realizzano la pressione differenziale; la verifica va eseguita soltanto dal lato avente la pressione più elevata utilizzando i valori di F e di D_G relativi a quel lato.

Il valore p_c da introdurre nella formula 3.1. si ottiene:

a) per piastre tipo A, B, C, D, E, F, G, H, K sostituendo nelle formule di p_c tabellate al valore di p_1 (o di p_2) il termine $1{,}5 \cdot |p_1 - p_2|$ e mettendo p_{Bt} al posto di p_{B0};

b) per piastre tipo N, P, Q, p_c va assunto uguale al maggiore in valore assoluto tra i termini seguenti:

1) $p'_t - p'_m + p_{Bt}$ 3) p_{B0} 7) p_{Bt}

2) $\dfrac{p'_t - p'_m + p_{Bt} + p_d}{2}$ 4) $\dfrac{p_{B0} + p_d}{2}$ 6) $\dfrac{p'_i - p'_m + p_d}{2}$

Il valore di p'_c da introdurre nella formula 3.2. si ottiene eguagliando a zero i termini p_{Bt} e p_{B0} nelle formule di p_c.

5.1. La verifica a pressione differenziale non è ammessa per scambiatori a premistoppa (tipi L ed M della tabella 2) e per scambiatori con piastre a dilatazione impedita (tipi N, P, Q della tabella 3) dotati di compensatore di dilatazione.

5.2. Nell'esecuzione delle prove idrauliche si deve tener conto del valore della pressione considerato nella verifica.

Regola VSR.1.N.4: *Verifica del mantello e dei tubi alla sollecitazione longitudinale*

1. Nel caso di piastre fisse in apparecchi con tubi a dilatazione impedita con o senza compensatore di dilatazione, devono essere verificati il mantello ed i tubi per la sollecitazione longitudinale in essi indotta dal collegamento alle piastre secondo le formule seguenti; la verifica dei tubi va effettuata quindi per i tipi di collegamento L ed M di cui alla tabella 2 al punto 5 oppure 6 e per quelli di tipo N, P, Q di cui alla tabella 3 al punto 3.

2. *Verifica del mantello.*

2.1. La sollecitazione longitudinale effettiva del mantello deve soddisfare la seguente relazione:

$$f_m = \frac{C_s(D_e - s_{m0})p^*_m}{4 \cdot s_{m0}} \leq f$$

in cui p^*_m vale:

1) $p_t - p'_t$ 2) p'_m 3) $-p_d$

4) $p_t - p'_t + p'_m$ 5) $p_t - p'_t - p_d$ 6) $p'_m - p_d$

7) $p_t - p'_t + p'_m - p_d$

e $C_s = 1$, oppure nei casi 3, 5, 6 e 7 sopra esposti $C_s = 0{,}5$ quando il segno algebrico di p^*_m è positivo.

Quando il calcolo viene effettuato assumendo quale pressione la pressione differenziale, si devono considerare solo le formule 3, 4, 7.

3. *Verifica dei tubi.*

3.1. La sollecitazione longitudinale effettiva dei tubi è data dalla seguente relazione:

$$f_t = \frac{C_t\, F_q\, p^*_t\, D^2_{G2}}{4\, n\, s_{t0}(d_e - s_{t0})} \leq f$$

in cui p^*_t vale:

1) p_2 2) $-p_3$ 3) p_d

4) $p_2 - p_3$ 5) $p_2 + p_d$ 6) $-p_3 + p_d$

7) $p_2 - p_3 + p_d$

e $C_t = 1$, oppure nei casi 3, 5, 6 e 7 sopra esposti $C_t = 0{,}5$ quando il segno algebrico di p^*_t è positivo;

dove:

$$p_2 = p'_t - \frac{q_t}{F_q} p_t; \qquad p_3 = p'_m - \frac{q_m}{F_q} p_m;$$

Quando il calcolo viene effettuato assumendo quale pressione la pressione differenziale, si devono considerare solo le formule 4 e 7.

3.2. Verifica a trazione dei tubi.

La verifica a trazione dei tubi va eseguita ricercando il valore massimo positivo di f_t, calcolato secondo il punto 3.1, il quale deve essere inferiore al valore ammissibile a trazione f_{tt}, in MPa, del materiale dei tubi alla temperatura media di parete.

3.3. Verifica a compressione dei tubi.

La verifica a compressione dei tubi va eseguita ricercando il massimo valore negativo di f_t, calcolato secondo il punto 3.1, il quale deve essere inferiore al valore ammissibile di compressione f_{tc}, in MPa, che viene determinato con le seguenti formule.

$$f_{tc} = \frac{\pi^2 E_{tt}}{F_s\left(\dfrac{l}{r}\right)^2} \quad \textit{quando} \quad \gamma \leq \frac{l}{r}$$

$$f_{tc} = \frac{R_{p(0,2)}}{F_s}\left[1 - \frac{\dfrac{l}{r}}{2\gamma}\right] \quad \textit{quando} \quad \gamma > \frac{l}{r}$$

dove:

$$\gamma = \sqrt{\frac{2\,\pi^2\, E_{tt}}{R_{p(0,2)}}}$$

$$r = 0{,}25\sqrt{d_e^2 + (d_e - 2 \cdot s_t)^2}$$

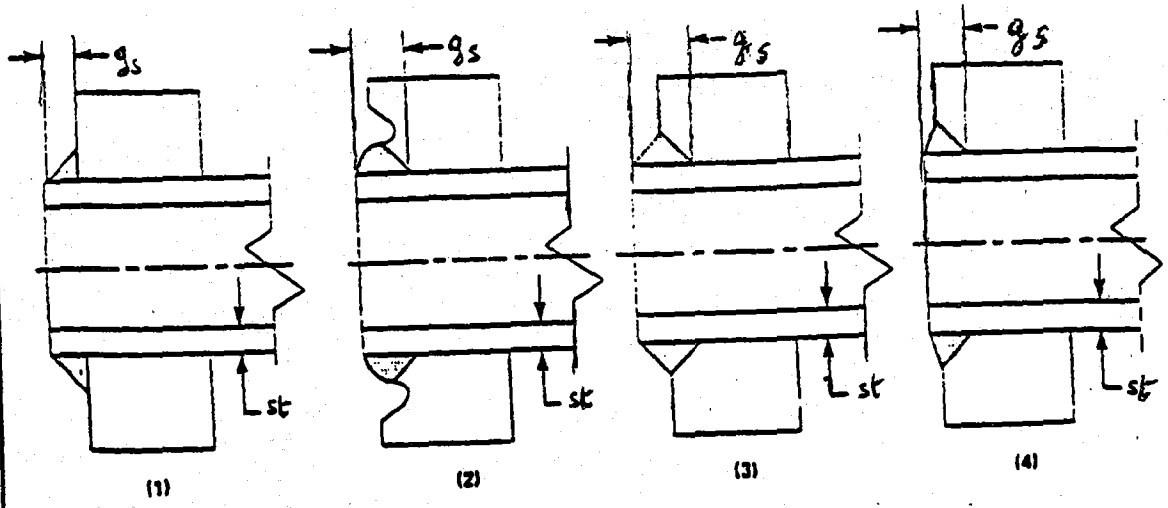
F_s Fattore di sicurezza dato da $F_s = 3{,}25 - 0{,}5\, F_q$ con la limitazione $1{,}25 \leq F_s \leq 2{,}0$

Qualora risulti che la sollecitazione ammissibile a compressione f_{tc} sia maggiore della sollecitazione ammissibile f_{tt} verrà assunto come valore ammissibile a compressione quest'ultimo.

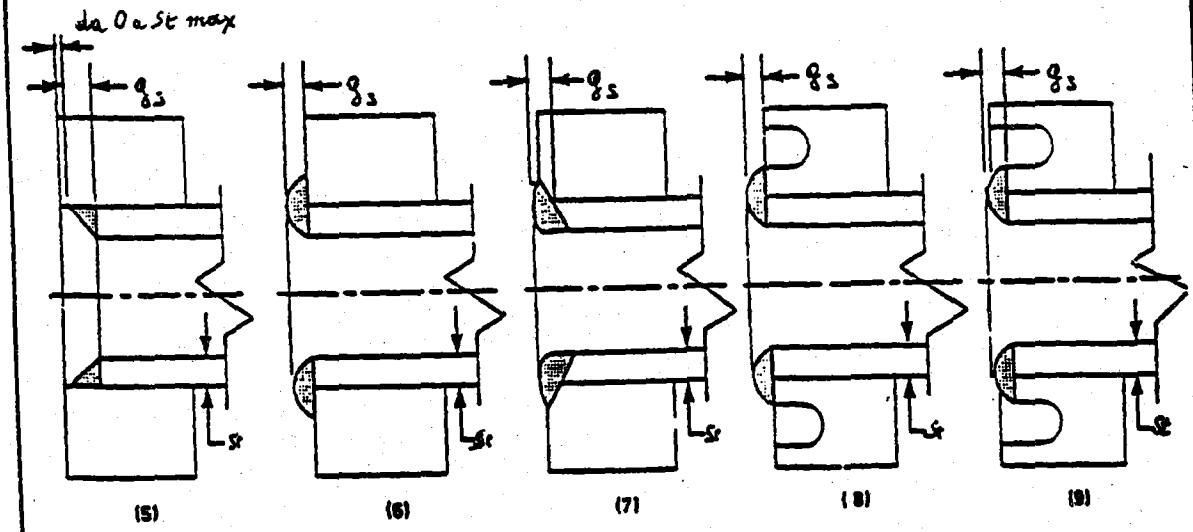
4. *Verifica allo sfilamento dei tubi in scambiatori con piastre tipo N, P, Q.*

La capacità del tubo scambiatore nel sostenere i carichi dipende dalla scelta del tipo di giunzione tubo-piastra riportato in figura 1.N.4.

Il progettista deve valutare attentamente le combinazioni di materiale tubo-piastra quando adotta le tipologie di giunto I, J, K (rif. Tab. VSR 1.N.1.).



Tipologia di saldatura con $g_s \geq 1.4\ S_t$



Tipologia di saldatura con $g_s < 1.4\ S_t$

Figura 1.N.4. – Tipologie di saldatura tubo-piastra

Qualora non vengano rispettate le limitazioni riportate sopra, si dovranno eseguire delle prove sperimentali come descritto al punto 4.3. Il collegamento mandrinato (tipologia di giunto I, J, K) è comunque da escludere a temperatura di progetto nel campo dello scorrimento viscoso per il materiale del tubo o per quello della piastra (convenzionalmente viene assunta come temperatura limite una temperatura inferiore di 50 °C a quella in cui la $\sigma_{R/100000/t}$ diventa minore di $R_{p\,0,2/t}$).

4.1. Determinazione del carico alla giunzione tubo-piastra.

Il massimo carico effettivo sui tubi W_t, in N, alla giunzione tubo-piastra tubiera è dato dalla seguente formula:

$$W_t = \frac{\pi\, F_q\, p_t^*\, D_{G2}^2}{4\, n}$$

dove p_t^* vale:

1) p_2 2) $-p_3$ 3) $p_2 - p_3$

p_2 e p_3 sono definiti come descritto in 3.1.

4.2. Determinazione del massimo carico ammissibile alla giunzione tubo-piastra.

Il massimo carico ammissibile, in N, sulla giunzione tubo piastra tubiera è dato dalle seguenti formule:

- per giunti di tipo A, B, C, D, E (vedi tabella VSR.1.N.1.): $W_{max} = A_t f_{tt} E_g$
- per giunti di tipo F, G, H, I, J, K (vedi tabella VSR.1.N.1.): $W_{max} = A_t f_{tt} E_g E_e E_{sn}$

dove:

W_{max} massimo carico assiale in entrambe le direzioni sul giunto tubo-piastra tubiera, in N,

A_t area trasversale del tubo, in mm^2,

E_e efficienza di mandrinatura funzione della lunghezza di mandrinatura; in particolare si ha:

E_e = 1.0 per giunzioni mandrinate di forza con canaline nel foro della piastra tubiera,

$E_e = l_m/d_e$ per giunzioni mandrinate di forza senza canaline con la seguente limitazione:
rapporto $l_m/d_e \leq 1.0$ con l_m = lunghezza di mandrinatura,

E_g $E_g(1)$ $E_g(2)$ efficienza del giunto in accordo a tabella VSR.1.N.1. Il valore di efficienza $E_g(1)$, è il valore calcolato mediante prove sperimentali in accordo al punto 4.3.
Qualora tale valore superi il valore riportato nella tabella verrà adottato quest'ultimo.
Il valore di efficienza $E_g(2)$ è il massimo valore ammissibile da usare nel calcolo senza l'esecuzione di prove sperimentali.

E_{sn} rapporto tra lo snervamento della piastra tubiera e lo snervamento del tubo alla temperatura considerata, con la limitazione che $E_{sn} \leq 1.0$, per giunzioni mandrinate.
Quando $E_{sn} \leq 0.60$ bisogna prevedere delle prove sperimentali in accordo al punto 4.3.

Per tipologie di giunti non contemplati in Tabella VSR.1.N.1. si dovrà provvedere a prove sperimentali di sfilamento secondo il punto 4.3.

AVVERTENZE:

a) L'uso dei valori $E_g(1)$ richiede delle prove di qualifica in accordo al punto 4.3.

b) Per saldature con g_s minore di S_t, $E_g(1) = 0$.

c) I valori di $E_g(1) = 1.00$ e $E_g(2) = 0.80$ si possono usare solo per giunti il cui esame visivo possa accertare che la profondità di brasatura sia almeno tre volte lo spessore nominale del tubo.

d) Quando il rapporto tra diametro esterno ed interno è minore di 1.05 o maggiore di 1.41 sono richieste delle prove di qualifica secondo il punto 4.3.

e) Il passo nominale usato per la progettazione di piastre tubiere con tubi mandrinati non deve essere minore al valore indicato in VSR.1.N.1.

f) I valori $E_g(1) = 0.50$ e $E_g(2) = 0.40$ si possono usare solamente per giunti il cui esame visivo non possa accertare la piena brasatura del giunto.

g) Il valore $E_g(2)$ si applica solo a combinazioni di materiali saldabili tra loro.

h) Per mandrinature eseguite per esplosione o per espansione idraulica è richiesta la determinazione di E_g mediante prove sperimentali condotte secondo il punto 4.3.

Tabella VSR.1.N.1.

Efficienza di giunzione E_g

Tipo di giunto	Descrizione	Note	E_g	
			$E_g(1)$	$E_g(2)$
A	Solamente saldato con $g \geq 1.4\ S_t$	a),g)	1.00	0.80
B	Solamente saldato con $S_t \leq g < 1.4\ S_t$	a),b)	0.70	0.55
C	Brasato con controllo visivo (se ammesso in Raccolta S)	a),c)	1.00	0.80
D	Brasato senza controllo visivo (se ammesso in Raccolta S)	a),f)	0.50	0.40
E	Saldato con $g \geq 1.4\ S_t$ e mandrinato	a),g)	1.00	0.80
F	Saldato con $g < 1.4\ S_t$ e mandrinato con due o più canaline	a),d),e),g)	0.95	0.75
G	Saldato con $g < 1.4\ S_t$ e mandrinato con una sola canalina	a),d),e),g)	0.85	0.65
H	Saldato con $g < 1.4\ S_t$ e mandrinato senza canalina	a),d),e),g),i)	0.70	0.50
I	Mandrinato con due o più canaline	a),d),e),i)	0.90	0.70
J	Mandrinato con una sola canalina	a),d),e),i)	0.80	0.65
K	Mandrinato senza canalina	a),d),e),i)	0.60	0.50

4.3. Prove sperimentali di sfilamento di tubi.

Qualora il progettista intenda utilizzare i valori di efficienza più elevati previsti in Tabella VSR.1.N.1., ed in tutti gli altri casi previsti nei paragrafi precedenti, dovrà predisporre un programma di prove sperimentali, da eseguire alla temperatura di progetto del giunto, volte a determinare il carico massimo W sopportabile dal giunto stesso. La documentazione di tali prove (almeno tre per ogni tipo di giunto e alla relativa temperatura di progetto) dovrà essere disponibile in sede di collaudo dell'apparecchio.

Essendo $W_{(prova)}$ il carico (minimo tra le prove eseguite) a cui si verifica lo sfilamento o la rottura del giunto, il valore di $E_g(1)$ deve essere calcolato come segue:

1) per giunti tipo A, B, C:

$$E_g(1) = \frac{0.8\ W_{(prova)}}{A_t\ R_m}$$

2) per giunti tipo D, E, F, G, H, I:

$$E_g(1) = \frac{W_{(prova)}}{R_m}\ \frac{0.8}{A_t\ E_e\ E_{sn}}$$

con:

E_g efficienza di prova;

$W_{(prova)}$ il più basso carico assiale per il quale avviene la rottura del provino, in N;

R_m la resistenza a rottura del materiale del tubo, in MPa.

Il valore di E_g determinato mediante le formule 1) o 2) deve essere usato nelle formule riportate al paragrafo 4.2. per la determinazione del massimo carico assiale ammissibile sul giunto tubo-piastra.

5. *Verifica dei tubi in scambiatori a premistoppa con piastre tipo L.*

5.1. La sollecitazione longitudinale di trazione deve soddisfare la relazione seguente:

$$\frac{p_t\, n\, (d_e - 2s_{t0})^2 + p_m\, (D_e^2 - n\, d_e^2)}{4\, n\, s_{t0}\, (d_e - s_{t0})} \leq f$$

6. *Verifica dei tubi in scambiatori a premistoppa con piastre tipo M.*

6.1. La sollecitazione longitudinale di trazione deve soddisfare la relazione seguente:

$$\frac{p_m\, (D_e^2 - n\, d_e^2)}{4\, n\, s_{t0}\, (d_e - s_{t0})} \leq f$$

6.2. La sollecitazione longitudinale di compressione deve soddisfare la relazione seguente:

$$\frac{p_t\, \left[D_e^2 - n\, (d_e - 2\, s_{t0})^2\right]}{4\, n\, s_{t0}\, (d_e - s_{t0})} \leq f$$

6.3. Il carico massimo di compressione sui tubi deve soddisfare la relazione seguente:

$$\frac{\pi p_t \left[D_e{}^2 - n\left(d_e - 2s_{t0}\right)^2\right]}{4n} \leq f\frac{\pi^2 I E_{tt}}{3l^2}$$

Regola VSR.1.N.5.: *Verifica di stabilità delle zone flangiate della piastra tubiera*

1. Questa regola è applicabile solamente quando i tiranti trasmettono il carico alla zona esterna della piastra funzionante come flangia.

2. Lo spessore minimo s_r della zona periferica deve essere calcolato nelle condizioni di progetto e di prova idraulica ed è dato dalle seguenti formule:

2.1. $$s_r = 0,98\sqrt{\frac{M(r^2 - 1 + 3.72\, r^2 \ln r)}{f(D_p - D_G)(1 + 1.8\, r^2)}}$$

per piastre tubiere a testa fissa o testa flottante con:

D_G diametro medio della guarnizione, in mm;

D_p diametro esterno della piastra tubiera, in mm;

$r = \frac{D_p}{D_g}$

$\ln r$ = logaritmo naturale di r

M il valore più grande tra M_1 e M_2 come definiti in VSR.1.N.2.

2.2. $$s_r = 1,38\sqrt{\frac{M^* + M + 0.39\, p\, D_G^2\, \beta}{(D_p - D_G) f}}$$

per piastre tubiere con tubi ad U, con:

$$M^* = \frac{\frac{0.069}{\eta}\beta F^3 p D_G^3 \left(\frac{s_r}{s_o}\right)^3 - M D_G - 0.39\, \beta p D_G^3}{D_g + \frac{1.37}{\eta}\left(\frac{s_r}{s_o}\right)^3 \beta}$$

$\beta = \frac{(D_p - D_G)}{2}$

M il valore più grande tra M_1 e M_2 come definiti in VSR.1.N.2.;

F come definito in VSR.1.N.2.;

η come definito in VSR.1.N.2.;

p p_m oppure p_t oppure la massima pressione differenziale.

Regola VSR.1.N.6.: *Piastre tubiere di scambiatori-generatori di vapore a recupero*

1. *Generalità.*

1.1. La presente regola si applica alle piastre tubiere di scambiatori-generatori di vapore a recupero in cui il vapore venga prodotto per mezzo di calore sensibile di gas caldi aventi pressione superiore a 0,49 bar.

1.2. Le temperature di parete delle piastre e dei tubi devono essere indicate nel progetto con riferimento alle condizioni più gravose ed in relazione alle particolari soluzioni costruttive dello scambiatore-generatore.

1.3. Le piastre tubiere ed i tubi degli scambiatori-generatori di vapore a recupero che siano realizzati secondo schemi analoghi a quelli previsti nelle tabelle 1, 2 e 3 per gli scambiatori di calore devono essere verificati secondo le precedenti regole da VSR.1.N.1 a VSR.1.N.4., salvo quanto specificato nel successivo punto 2.

2. *Piastre tubiere fisse.*

2.1. Le seguenti verifiche possono essere applicate alle piastre tubiere ed ai tubi degli scambiatori-generatori di vapore a recupero in alternativa a quelle previste nelle precedenti regole da VSR.1.N.1 a VSR.1.N.4., purché siano rispettate le condizioni di cui ai successivi punti da 2.1.1. a 2.1.5.

2.1.1. Gli scambiatori-generatori di vapore a recupero siano del tipo a piastre tubiere fisse, cioè collegate insieme da tubi, tiranti o tubi-tiranti, e siano privi di compensatore di dilatazione sul mantello.

2.1.2. I tubi, tiranti o tubi-tiranti siano saldati alle piastre tubiere.

2.1.3. Le piastre tubiere siano collegate al mantello secondo uno degli schemi previsti nella figura 1.N.6.1., il tipo C non puo essere impiegato per spessori di piastra e di mantello superiori a 20 mm e per pressioni di progetto su uno dei due lati superiori a 14,7 bar.

2.1.4. La distanza tra i bordi di due fori contigui non sia inferiore a 0,125 d + 5, essendo d il diametro dei fori, o del foro maggiore in casi di diametri diversi, in mm.

2.1.5. Le temperature medie di parete del mantello e degli elementi che collegano tra loro le due piastre tubiere non differiscano le une dalle altre di oltre 30 °C, in qualunque condizione di esercizio.

2.2. Se sono verificate le condizioni di cui ai punti precedenti, lo spessore delle piastre tubiere può essere calcolato con riferimento alle zone non forate comprese tra i tubi, tiranti o tubi-tiranti ed il bordo della piastra, intendendo per bordo della piastra il cerchio di diametro D (v. figura 1.N.6.1.). Lo spessore minimo di calcolo della piastra s_0 in mm, è dato dalla formula seguente applicata sia dal lato tubi sia dal lato mantello:

$$s_0 = 0,5\, D_i \sqrt{\frac{p}{f}}$$

essendo D_i il diametro del massimo cerchio inscrivibile nelle porzioni di piastra non forata compreso fra i tubi, fra i tubi ed i tiranti o tubi-tiranti, fra i tubi (o i

Tabella 1 (segue)

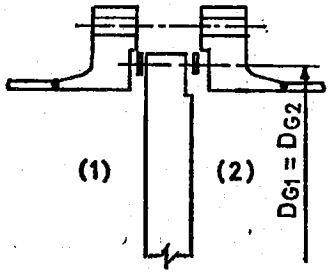
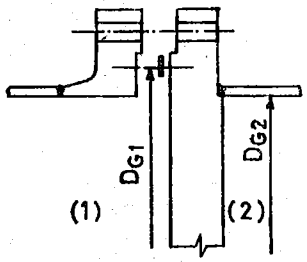
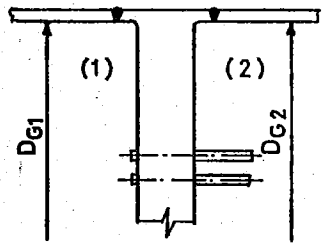
PIASTRE TUBIERE STAZIONARIE DI SCAMBIATORI CON TUBI A DILATAZIONE LIBERA			
A) SCAMBIATORI A TESTA FLOTTANTE			
Tipo di collegamento	Designazione	Verifica secondo le formule 3.1. e 3.2. di VSR.1.N.3.	
		Verifica lato (1)	Verifica lato (2)
A 	Piastra tubiera stazionaria con guarnizione da entrambi i lati per accoppiamento con teste flottanti tipo G, H, K	D_{G1} = diametro medio guarnizione $F_1 = 1$ $p_c = p_1$	D_{G2} = diametro medio guarnizione $F_2 = 1$ $p_c = p_2$
	idem, per accoppiamento con teste flottanti tipo L, M	Spessore non inferiore a quello risultante per le rispettive piastre flottanti	
B 	Piastra tubiera stazionaria con guarnizione dal lato (1) e integrale dal lato (2) per accoppiamento con teste flottanti tipo G, H, K	D_{G1} = diametro medio guarnizione $F_1 = 1$ $p_c = p_1 + p_{Bt}$	D_{G2} = diametro interno lato (2) F_2 = vedi figura1.N.2. curva H $p_c = p_{Bo}$ $p_c = p_2 - p_{Bo}$
	idem, per accoppiamento con teste flottanti tipo L, M	Spessore non inferiore a quello risultante per le rispettive piastre flottanti	
C 	Piastra tubiera stazionaria integrale da entrambi i lati per accoppiamento con teste flottanti tipo G, H, K	D_{G1} = diametro interno lato (1) F_1 = vedi figura 1.N.2. curva H $p_c = p_1$	D_{G2} = diametro interno lato (2) F_2 = vedi figura 1.N.2. curva H $p_c = p_2$
	idem, per accoppiamento con teste flottanti tipo L, M	Spessore non inferiore a quello risultante per le rispettive piastre flottanti	

Tabella 1

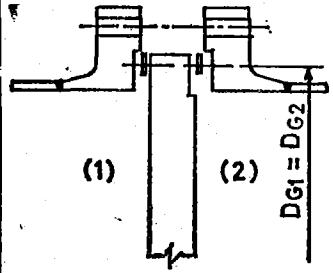
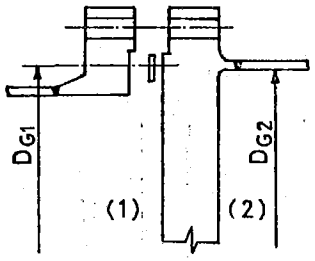
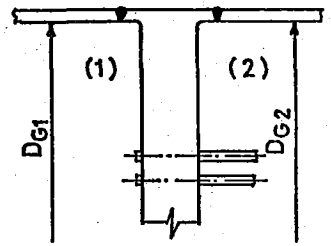
PIASTRE TUBIERE STAZIONARIE DI SCAMBIATORI CON TUBI A DILATAZIONE LIBERA			
B) SCAMBIATORI CON TUBI A « U »			
Tipo di collegamento	Designazione	Verifica secondo le formule 3.1. e 3.2. di VSR.1.N.3.	
		Verifica lato (1)	Verifica lato (2)
D 	Piastra tubiera stazionaria con guarnizione da entrambi i lati	D_{G1} = diametro medio guarnizione F_1 = 1,25 $p_c = p_1$	D_{G2} = diametro medio guarnizione F_2 = 1,25 $p_c = p_2$
E 	Piastra tubiera stazionaria con guarnizione da un lato e integrale dall'altro	D_{G1} = diametro medio guarnizione F_1 = 1,25 $p_c = p_1 + p_{Bt}$	D_{G2} = diametro interno lato (2) F_2 = vedi figura 1.N.2. curva U $p_c = p_2 - p_{Bo}$ $p_c = p_{Bo}$
F 	Piastra tubiera integrale da entrambi i lati	D_{G1} = diametro interno lato (1) F_1 = vedi figura 1.N.2. curva U $p_c = p_1$	D_{G2} = diametro interno lato (2) F_2 = vedi figura 1.N.2. curva U $p_c = p_2$

Tabella 2

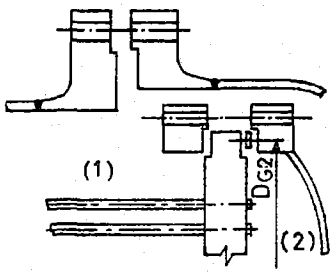
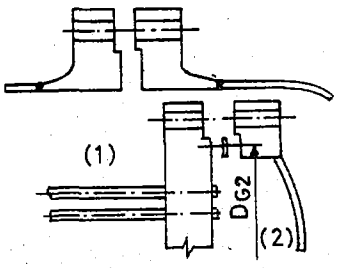
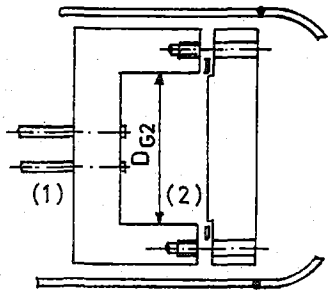
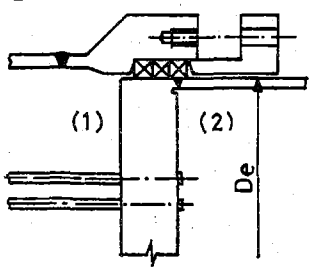
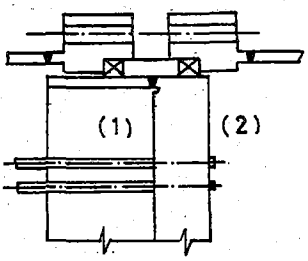
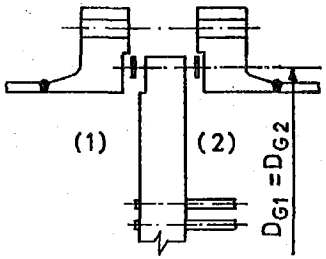
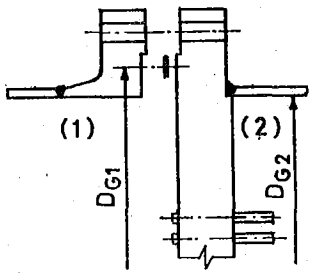
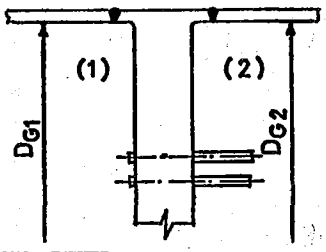
PIASTRE TUBIERE FLOTTANTI DI SCAMBIATORI CON TUBI A DILATAZIONE LIBERA			
Tipo di collegamento	Designazione	Verifica lato (1)	Verifica lato (2)
G 	Piastra tubiera flottante interna con guarnizione	$D_{G1} = D_{G1}$ della piastra tubiera stazionaria all'altra estremità dei tubi $F_1 = 1$ $p_c = p_1$	D_{G2} = diametro medio guarnizione $F_2 = 1$ $p_c = p_2$
H 	Piastra tubiera flottante interna flangiata con guarnizione	$D_{G1} = D_{G1}$ della piastra tubiera stazionaria all'altra estremità dei tubi $F_1 = 1$ $p_c = p_1 - p_{Bo}$	D_{G2} = diametro medio guarnizione $F_2 = 1$ $p_c = p_2 + p_{Bt}$ $p_c = p_{Bo}$
K 	Piastra tubiera flottante interna integrale	$D_{G1} = D_{G1}$ della piastra tubiera stazionaria all'altra estremità dei tubi F_1 = vedi figura 1.N.2. curva H $p_c = p_1$	D_{G2} = diametro interno lato (2) F_2 = vedi figura 1.N.2. curva H $p_c = p_2$
L 	Piastra tubiera flottante esterna a premistoppa. Tipo la cui accettazione è subordinata a casi particolari debitamente motivati e adottabile con limitazioni riguardanti le condizioni di esercizio e di impianto	Per il lato (1) non si eseguono verifiche	D_{G2} = diametro di calcolo lato (2) della piastra stazionaria all'altra estremità dei tubi $F_2 = 1$ $p_c = p_t + p_m \dfrac{D_e^2 - D_L^2}{D_i^2}$
M 	Piastra tubiera flottante a premistoppa e anello lanterna	Per il lato (1) non si eseguono verifiche	D_{G2} = diametro di calcolo lato (2) della piastra stazionaria all'altra estremità dei tubi $F_2 = 1$ $p_c = p_2$

Tabella 3

PIASTRE TUBIERE CON TUBI A DILATAZIONE IMPEDITA (Teste fisse)

Tipo di collegamento	Designazione	Verifica secondo le formule 3.1. e 3.2. di VSR.1.N.3. — Verifica lato (1) — In esercizio	Verifica lato (1) — In prova idraulica	Verifica lato (2) — In esercizio	Verifica lato (2) — In prova idraulica
N 	Piastra tubiera con guarnizione da entrambi i lati senza compensatore di dilatazione	D_{G1} = diametro medio guarnizione $F_1 = 1$ $p'_m \geqslant 0$ $p_c = \frac{p'_t + p_d}{2}$ $p_c = p'_t$ $p'_m < 0$ $p_c = \frac{p'_t - p'_m + p_d}{2}$ $p_c = p'_t - p'_m$	D_{G1} = diametro medio guarnizione $F_1 = 1$ $p'_m \geqslant 0$ $p_c = p'_t$ $p'_m < 0$ $p_c = p'_t - p'_m$	D_{G2} = diametro medio guarnizione $F_2 = 1$ $p_c = \frac{p'_m - p_d}{2}$ $p_c = p'_m$ $p_c = \frac{p_d}{2}$	D_{G2} = diametro medio guarnizione $F_2 = 1$ $p_c = p'_m$
P 	Piastra tubiera flangiata lato (1) e integrale lato (2) senza compensatore di dilatazione	D_{G1} = diametro medio guarnizione $F_1 = 1$ $p'_m \geqslant 0$ $p_c = \frac{p'_t + p_{Bt} + p_d}{2}$ $p_c = p'_t + p_{Bt}$ $p'_m < 0$ $p_c = \frac{p'_t - p'_m + p_{Bt} + p_d}{2}$ $p_c = p'_t - p'_m + p_{Bt}$	D_{G1} = diametro medio guarnizione $F_1 = 1$ $p'_m \geqslant 0$ $p_c = p'_t + p_{Bt}$ $p'_m < 0$ $p_c = p'_t - p'_m + p_{Bt}$	D_{G2} = diametro interno lato (2) F_2 = vedi figura 1.N.2. curva H $p_c = \frac{p'_m - p_d}{2}$ $p_c = p'_m$ $p_c = p_{Bo}$ $p_c = \frac{p'_m - p_d - p_{Bo}}{2}$ $p_c = \frac{p_{Bo} + p_d}{2}$ $p_c = p'_m - p_{Bo}$	D_{G2} = diametro interno lato (2) F_2 = vedi figura 1.N.2. curva H $p_c = p'_m$ $p_c = p_{Bo}$ $p_c = p'_m - p_{Bo}$
Q 	Piastra tubiera integrale da entrambi i lati senza compensatore di dilatazione	D_{G1} = diametro interno lato (1) F_1 = vedi figura 1.N.2. curva H p_c = come tipo di collegamento N	D_{G1} = diametro interno lato (1) F_1 = vedi figura 1.N.2. curva H p_c = come tipo di collegamento N	D_{G2} = diametro interno lato (2) F_2 = vedi figura 1.N.2. curva H p_c = come tipo di collegamento N	D_{G2} = diametro interno lato (2) F_2 = vedi figura 1.N.2. curva H p_c = come tipo di collegamento N

tiranti o tubi-tiranti) ed il bordo della piastra, in mm; si noti che il diametro D di tale bordo non entra nella verifica ma serve a delimitare il diametro di calcolo D_i e può essere diverso se visto dal lato tubi anziché dal lato mantello (v. i tipi B e D della figura 1.N.6.1.); i cerchi di diametro D_i vanno ordinariamente tracciati passanti per il centro dei tubi, ma possono essere tangenti al bordo di eventuali tubi con diametro esterno maggiore di 100 mm, purché questi ultimi siano saldati sulla piastra a piena penetrazione (v. figura 1.N.6.2.).

2.3. Lo spessore della piastra non può comunque essere inferiore a 10 mm.

2.4. Verifica dei tubi e dei tiranti o tubi-tiranti alla sollecitazione longitudinale.

2.4.1. L'area della sezione trasversale del tubo o del tirante o tubo-tirante, in mm^2 non deve essere inferiore al valore dato dalla formula seguente:

$$\frac{pA}{f}$$

in cui:

- p pressione lato mantello, in MPa;
- A superficie della zona della piastra tubiera competente al tubo o tirante o tubo-tirante, in mm^2;
- f sollecitazione massima ammissibile per i tubi alla temperatura di parete della piastra tubiera più calda, in MPa.

2.5. Verifica dei tubi alla compressione

2.5.1. Il carico massimo effettivo di compressione per tubo W_t dovuto alla pressione lato tubi deve soddisfare la seguente relazione:

$$W_t = \frac{p A_D}{\Sigma S_t} S_t \leq \frac{\pi^2 E_t I}{3l^2}$$

in cui:

- p la pressione lato tubi, in MPa;
- A_D area della piastra, compresa entro il cerchio di diametro D lato (2) detratta l'area dei fori dei tubi, in mm^2;
- ΣS_t sezione resistente totale dei tubi, in mm^2;
- S_t sezione resistente del tubo che si considera, in mm^2;
- E_t modulo di elasticità del materiale del tubo, tirante o tubo-tirante alla temperatura media di parete considerata, in MPa.

2.6. Le verifiche di cui ai punti 2.2. e 2.5. possono essere effettuate, anziché sulla base della pressione lato tubi, sulla base di un valore di pressione pari a 1,5 volte la massima pressione differenziale prevista per l'esercizio tra il lato tubi ed il lato mantello, purché in sede di esame del progetto sia dichiarato che le condizioni di installazione ed operative escludano che tale pressione differenziale possa essere superata.

Non è ammessa la verifica per una pressione differenziale del lato mantello verso il lato tubi.

2.7. Nell'esecuzione delle prove idrauliche si deve tener conto del valore della pressione considerato nella verifica.

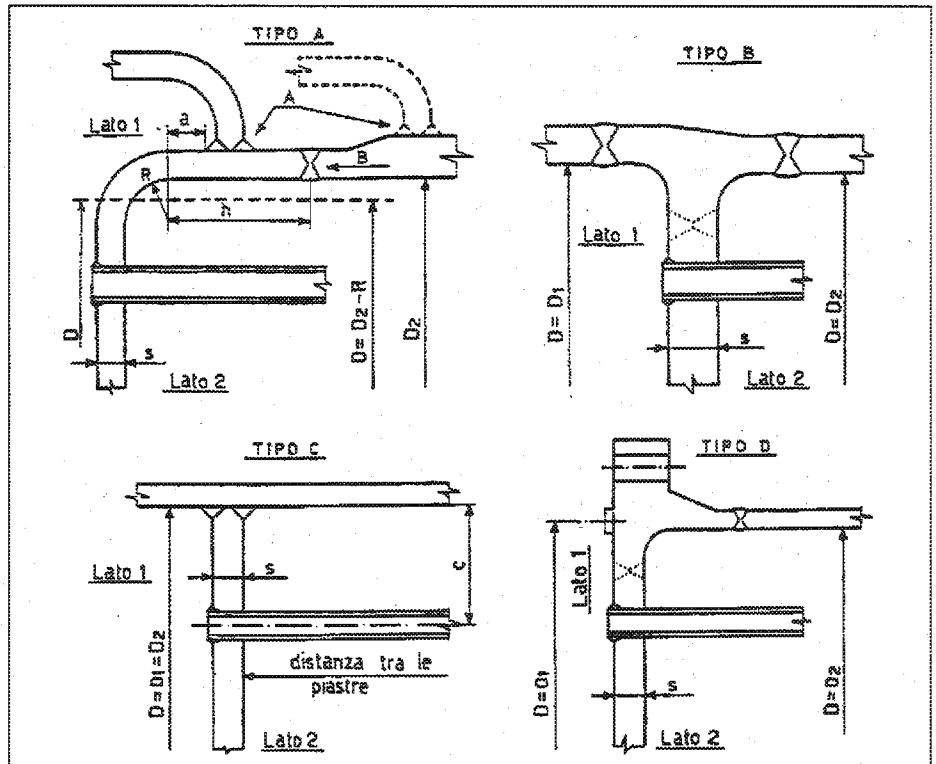


Figura 1.N.6.1. – Piastre tubiere di scambiatori-generatori di vapore a recupero

3. *Modalità di esecuzione e controlli sulle saldature dei tipi previsti nella figura 1.N.6.1.*

3.1. Piastra tipo A - Il fasciame della cassa deve essere di diametro maggiore di quello esterno del mantello e deve essere collegato al codolo della piastra tubiera o al mantello stesso con saldatura «A» a piena penetrazione. La preparazione dei lembi e le dimensioni dei cordoni di tale saldatura, nonché la sua posizione rispetto a quella «B» della piastra tubiera al mantello, devono essere conformi a quanto previsto nella Raccolta S; inoltre su di essa deve essere eseguito, ad ogni passata, un controllo magnetoscopico o con liquidi penetranti. La saldatura «B» della piastra al mantello deve essere radiografata totalmente con classe I di accettabilità dei difetti.

La soluzione di attacco della cassa al codolo della piastra è ammessa purché la distanza a, in mm, del bordo della saldatura «A» dalla fine della curvatura della piastra sia almeno uguale allo spessore della piastra stessa.

Le dimensioni indicate con R ed h, in mm, devono inoltre soddisfare le relazioni:

$$3 \cdot s \leq R \leq 8 \cdot s \quad \text{ed} \quad s \leq h \leq 0,5\sqrt{D_2 \cdot s}$$

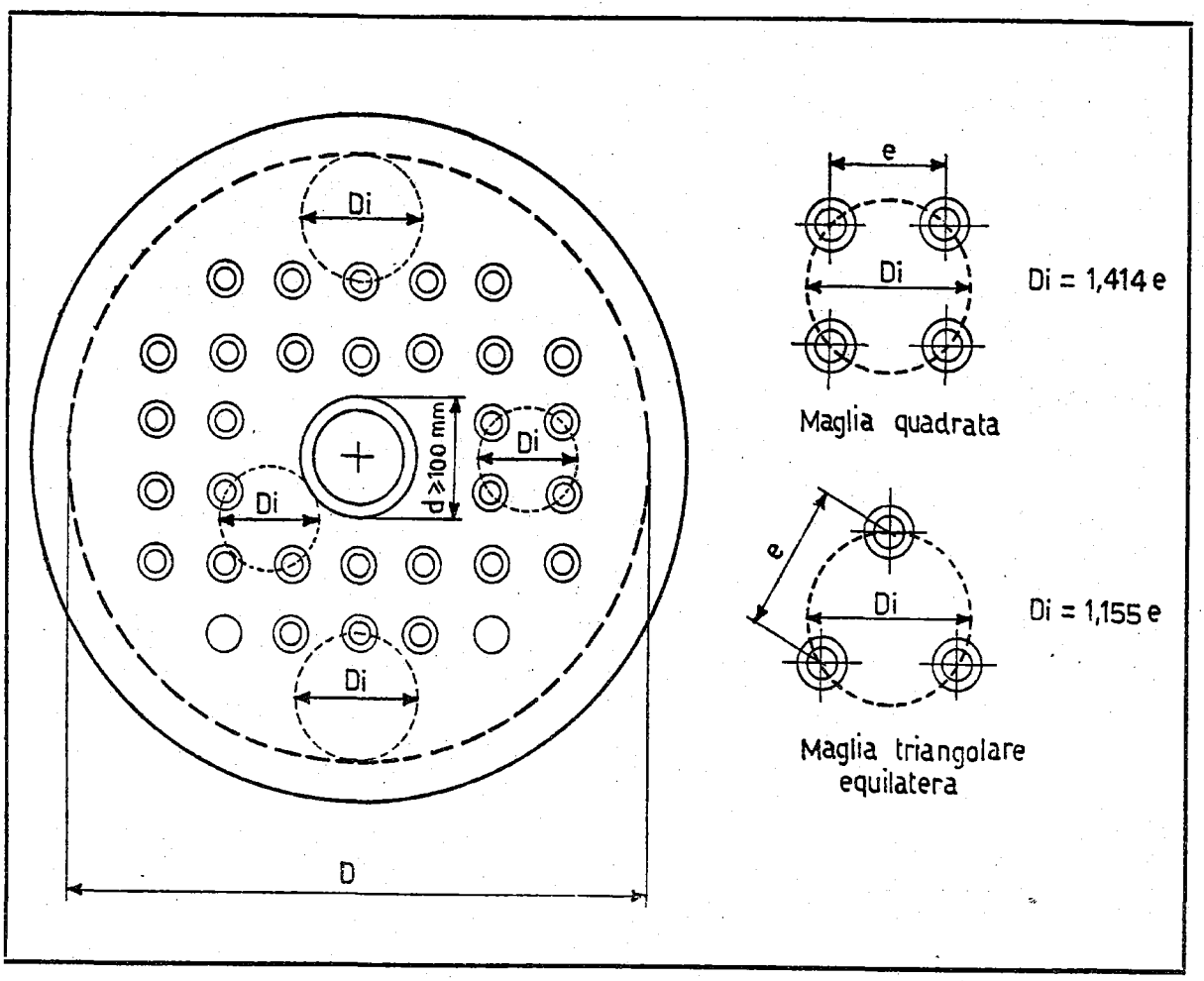


Figura 1.N.6.2. – Massimo diametro D_i del cerchio inscrivibile in porzione di piastra non forata

essendo s lo spessore della piastra e D_2 il diametro interno del mantello, in mm.

3.2. Piastre tipi B e D - La piastra tubiera deve essere ricavata da un fucinato oppure saldando un anello fucinato ad una piastra piana ricavata da fucinato o da lamiera; la saldatura di collegamento del fucinato alla piastra deve essere radiografata totalmente con classe I di accettabilita dei difetti.

3.3. Piastra tipo C - La preparazione dei lembi e le dimensioni dei cordoni della saldatura di collegamento tra piastra e mantello devono essere conformi a quanto previsto nella Raccolta S.; tale saldatura deve comunque essere a piena penetrazione. Su di essa deve essere eseguito ad ogni passata un controllo magnetoscopico o con liquidi penetranti. La distanza c, in mm, tra l'asse del tubo più esterno ed il diametro interno del mantello deve soddisfare le relazioni seguenti:

$$c \geq 1,5\,d$$

$$c \geq 3,48\sqrt{\frac{s \cdot L}{f}}$$

in cui:

d diametro esterno del tubo, in mm;

L distanza tra le piastre, in mm;

s spessore della piastra, in mm;

f sollecitazione massima ammissibile del materiale della piastra nelle condizioni di progetto, in MPa.

Regola VSR.1.N.7.: *Calcolo della rigidezza assiale del compensatore di dilatazione monoparete*

1. Lo scopo della presente regola è quello di determinare la rigidezza di un compensatore di dilatazione monoparete in condizioni di progetto e/o di prova idraulica.

2. *Simbologia (figg. 1.N.7.1. e 1.N.7.2.).*

s spessore nominale del compensatore monoparete, in mm;
r raggio interno di raccordo dell'onda, in mm;
D diametro esterno del compensatore, in mm;
d diametro interno del compensatore, in mm;
E modulo elastico del materiale del compensatore alla temperatura di progetto, in MPa;
E_i modulo elastico del materiale del compensatore alla temperatura di prova idraulica, in MPa;
c sovraspessore di corrosione, se presente, in mm;
S_j rigidezza del compensatore, in N/mm, in condizioni di progetto per onda;
S_{ji} rigidezza del compensatore, in N/mm, in condizioni di prova idraulica per onda;
S_{jt} rigidezza totale del compensatore, in N/mm;
n numero di onde;
v coefficiente di Poisson.

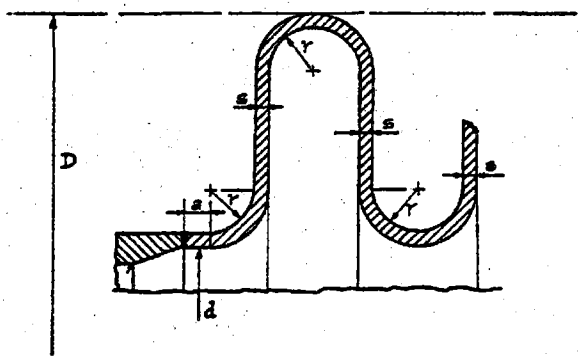


Figura 1.N.7.1.

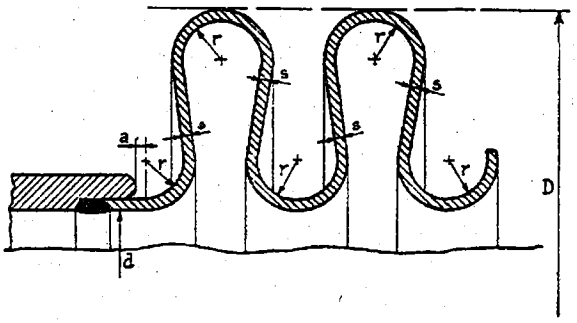


Figura 1.N.7.2.

3. *Regole di calcolo.*

Le rigidezze per un'onda in condizioni di progetto (S_j) ed in condizioni di prova idraulica (S_{ji}) sono date dalle seguenti formule:

3.1. $$S_i = \frac{1}{K_2} \frac{2E}{3(1-v^2)} \frac{1}{F} \frac{s^3}{r_1^2}$$

3.2. $$S_{ji} = \frac{1}{K_2} \frac{2E_i}{3(1-v^2)} \frac{1}{F} \frac{s^3}{r_1^2}$$

dove:

$$r_1 = 0.5 \cdot (D - (r + c))$$

$$r_2 = 0.5 \cdot ((d + 2c) + r)$$

$$F = 1 - \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2 - \frac{4\left(\ln\frac{r_1}{r_2}\right)^2}{\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 - 1}$$

$$K_2 = 2.2 - 10^{-3} \cdot (d + 2c) + 1.2 \cdot 10^{-7} \cdot (d + 2c)^2$$

Nel caso in cui il compensatore sia costituito da più onde la rigidezza totale vale:

3.3. $$S_{jt} = \frac{S_j}{n}$$

3.4. $$S_{jit} = \frac{S_{ji}}{n}$$

ELENCO DELLE REGOLE CONTENUTE NEL CAPITOLO VSR.1.P.

Regola VSR.1.P.1: *Simboli*

1. Nelle regole del presente capitolo VSR.1.P. sono impiegati i seguenti simboli in aggiunta a quelli definiti in VSR.0.6:

s spessore nominale risultante in progetto del compensatore monoparete, in mm;

D diametro esterno del compensatore, in mm;

d diametro interno del compensatore, in mm;

r raggio interno di raccordo, in mm;

a dimensione assiale della parte cilindrica al vertice o alla base della semionda, in mm;

n numero delle onde;

w_t deformazione assiale ammissibile alla temperatura *t*, in mm;

WN deformazione assiale nominale, ossia deformazione assiale massima ammissibile a temperatura ambiente, in mm;

PN pressione nominale, ossia pressione di progetto a temperatura ambiente, in *MPa*.

Regola VSR.1.P.2: *Compensatori monoparete: condizioni di applicazione delle regole*

1. I compensatori monoparete devono avere forma geometrica simile a quella indicata negli schemi riportati nelle figure 1.P.2.1., 1.P.2.2., 1.P.2.3. e 1.P.2.4. ed un numero massimo di onde contigue pari a 3.

Lo spessore *s* non deve essere maggiore dello spessore nominale della membratura sulla quale il compensatore monoparete va applicato.

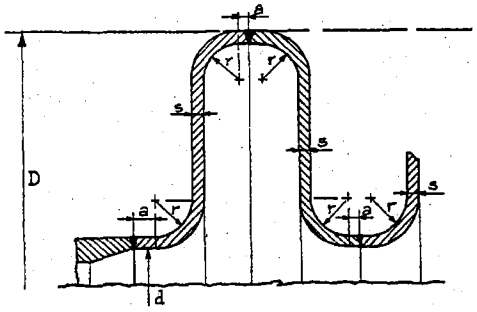


Figura 1.P.2.1. – Compensatore monoparete in due semionde

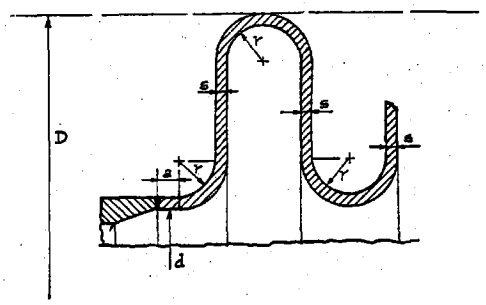


Figura 1.P.2.2. – Compensatore monoparete in un sol pezzo

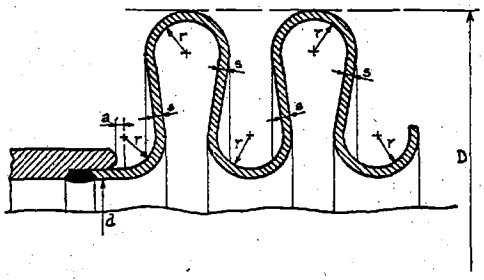


Figura 1.P.2.3. – Compensatore monoparete in un sol pezzo

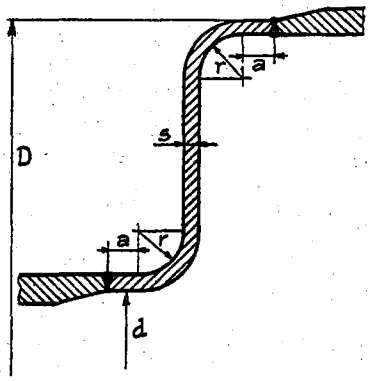


Figura 1.P.2.4. – Compensatore monoparete a semionda

2. I compensatori monoparete che non soddisfano il precedente punto 1. e le regole contenute in VSR.1.P.3 e VSR.1.P.4 possono essere accettati applicando la procedura prevista in VSR.1.P.5.

3. Il costruttore è tenuto a dichiarare il numero massimo di cicli di deformazione cui il compensatore sarà assoggettato in esercizio, se questo risulti maggiore di 5.000, nonché il valore massimo previsto della deformazione assiale ed il valore della temperatura corrispondente.

Regola VSR.1.P.3: *Compensatori monoparete: verifica della stabilità*

1. La stabilita dei compensatori monoparete destinati a sopportare un numero di cicli non superiore a 5.000 deve essere accertata mediante le verifiche di cui alla presente regola.

2. Lo spessore s_o, è dato dal maggior valore risultante dalle seguenti formule:

2.1. $$s_o = \frac{D - d - 3r}{4}\sqrt{\frac{p}{f}}$$

2.2. $$s_o = \frac{p}{f}\,\frac{r(D+d)}{2,3r + D - d}$$

3. La deformazione assiale ammissibile w_t, alla condizione per cui tale deformazione è massima, si determina con la formula seguente:

3.1. $$w_t = n\,K\,\frac{f}{E_t}\,\frac{D^2}{s}$$

in cui K è un ciefficiente dato da:

$$K = 1,25\left\{\frac{x+1}{(x-y)^2} - \frac{1}{(x+1)}\left[\frac{2\,(1+y)}{x-2y-1}\,ln\frac{x-y}{1+y}\right]^2\right\}$$

con $x = D/d$ e $y = r/d$

e f e E_t, sono valutati alla temperatura per la quale la deformazione assiale è massima.

4. Nel caso di compensatori monoparete costituiti da semionda collegata ad un tratto cilindrico (figura 1.P.2.4.), la deformazione w, risultante dalla formula 3.1. va dimezzata.

Regola VSR.1.P.4: *Compensatori monoparete: regole costruttive*

1. I compensatori monoparete devono essere realizzati per formatura o stampaggio; le parti formate o stampate costituenti il compensatore devono essere unite mediante saldature del tipo testa a testa, disposte circonferenzialmente al vertice o alla base dell'onda oppure giacenti in un piano contenente l'asse del compensatore.

2. Il raggio interno di raccordo deve essere superiore o uguale a 3.5 s. Detto limite può essere ridotto al valore di 3 s nel caso in cui il numero di cicli dichiarato non superi 1000, nel rispetto di quanto disposto dalla Raccolta M in merito allo stiramento.

In ogni caso i compensatori in acciaio non legato o debolmente legato devono essere preferibilmente formati a caldo; se formati a freddo devono essere sottoposti a trattamento termico di normalizzazione.

3. In corrispondenza delle saldature circonferenziali la dimensione in mm del tratto cilindrico al vertice o alla base della semionda non deve essere inferiore allo spessore del compensatore e non superiore a 3 volte lo spessore stesso.

4. È consentita l'esecuzione di fori per l'attacco di manicotti di sfiato o spurgo situati al vertice dell'onda, purché tali fori siano compresi nel tratto cilindrico o al massimo fuoriescano dallo stesso di non più di 0.1 r.

5. Tutti i giunti di saldatura interessanti il compensatore, compresi quelli circonferenziali, devono essere effettuati secondo le norme vigenti per la categoria più elevata prevista per la costruzione saldata degli apparecchi a pressione, ad eccezione delle prove meccaniche sui talloni che non sono richieste. Per i giunti circonferenziali di attacco del tipo di cui in figura 1.P.2.3., il controllo radiografico può essere sostituito con altri esami non distruttivi.

6. A costruzione ultimata i compensatori devono essere assoggettati a visita interna, a controllo dimensionale – con particolare riguardo al valori dei raggi di raccordo – ed a prova idraulica; tale prova può essere effettuata in occasione della prova idraulica della membratura alla quale va collegato il compensatore.

Regola VSR.1.P.5: *Compensatori multistrati: condizioni per l'accettazione*

1. I compensatori multistrati devono essere realizzati mediante sovrapposizione di piu strati di lamiera e devono avere forma geometrica simile a quella indicata negli schemi riportati nelle figure 1.P.2.2. e 1.P.2.3.

Il materiale impiegato deve essere dei tipi ammessi per la costruzione degli apparecchi a pressione.

I compensatori multistrati devono essere realizzati per formatura da elementi cilindrici, la cui saldatura sia stata effettuata con procedimento qualificato.

2. Per l'accettazione dei compensatori multistrati devono essere effettuate, su prototipi degli stessi, le prove di cui al successivo paragrafo 3.

Le singole richieste di benestare alla costruzione di compensatori multistrati devono essere corredate dei seguenti elementi:

a) nominativo e sede della ditta costruttrice del compensatore;

b) disegno costruttivo del compensatore;

c) tipo del materiale da impiegare per la costruzione del compensatore;

d) condizioni limite di impiego del compensatore;

e) valore della deformazione assiale massima prevista per l'esercizio del compensatore;

f) valore del massimo numero di cicli di deformazione previsti per l'esercizio del compensatore;

g) la classe del compensatore così come definita al punto 3. seguente.

3. Su ciascun prototipo di compensatore multistrati devono essere eseguite le seguenti prove:

a) prova a pressione spinta fino a rottura da eseguirsi a temperatura ambiente; la pressione minima da raggiungere nella prova è quella che soddisfa la

condizione 1.1. della regola VSR.6.A.2. in cui p è la pressione nominale del prototipo ed f è la sollecitazione massima ammissibile a temperatura ambiente;

b) prova di fatica, da eseguirsi a temperatura ambiente ed alla pressione nominale su n. 4 esemplari uguali, con deformazione assiale ciclica totale pari a quella nominale. Detta prova è intesa ad accertare che i compensatori rappresentati dal prototipo, raggruppati nelle classi indicate in Tabella 1.P.1. in funzione del numero massimo di cicli di deformazione per cui sono previsti, mantengano la loro integrità fino al numero di cicli indicato per ciascuna classe.

Nel caso in cui uno dei 4 compensatori non raggiunga il numero prescritto di cicli, la prova deve essere ripetuta con esito favorevole su altri 2 compensatori; non è ammesso che la prova fallisca per più di uno dei 4 compensatori;

TABELLA 1.P.1.

Classi	Numero massimo di cicli di deformazione previsti per l'esercizio	Numero minimo di cicli di deformazione per cui ciascuno dei n. 4 prototipi risulta ancora integro
A	1.000	5.000
B	3.000	15.000
C	10.000	50.000
D	30.000	150.000

c) rilievo, in compressione, della curva caratteristica carico-deformazione. Detta verifica è intesa ad accertare che lo scatto massimo tta il valore del carico rilevato dalla curva dichiarata dal costruttore, di cui al successivo punto 5. *i)*, e quello rilevato sperimentalmente non sia maggiore del 10%.

4. Il prototipo su cui saranno effettuate le prove di cui al punto 3. rappresenterà l'insieme dei compensatori costruiti con lo stesso materiale o materiali equivalenti e con lo stesso metodo di costruzione; l'insieme suddetto può tuttavia comprendere compensatori non tutti uguali per dimensioni e condizioni di funzionamento, purché sia le prime che le seconde siano comprese entro limiti determinati in relazione al tipo di materiale impiegato, al metodo di fabbricazione, alle condizioni di esercizio più sfavorevoli alla deformazione massima ammissibile dichiarata, al tipo di giunzioni previste, al numero massimo ammissibile dichiarato di cicli di deformazione.

5. Per la scelta dei prototipi rappresentanti un determinato insieme di compensatori, raggruppati eventualmente per serie o tipo di normale produzione, le ditte costruttrici devono fornire, per ciascun tipo di compensatore per il quale viene richiesta l'accettazione, i seguenti elementi:

a) la pressione nominale interna e/o esterna;

b) il diametro nominale;

c) il diametro interno ed esterno con le relative tolleranze;

d) lo spessore ed il numero degli strati per i compensatori multistrati, ovvero lo spessore dell'onda per il caso di monoparete, con le relative tolleranze;

e) il raggio di raccordo alla base ed al vertice dell'onda, con le relative tolleranze;

f) il numero delle onde;

g) la deformazione assiale nominale;

h) la classe di appartenenza secondo la tabella di cui al punto 3. *b)* in funzione del numero massimo di cicli di deformazione previsti;

i) la curva caratteristica carico-deformazione estesa all'intervallo di deformazione assiale nominale di cui alla lettera *g)*.

6. Dopo esito soddisfacente delle prove su prototipo indicate al punto 3., per l'accettazione dei singoli compensatori devono essere effettuate su ciascuno le prove indicate ai punti 1., 6. e 8. della VSR. 1.P.4. e, per il controllo della produzione, la prova di cui al precedente punto 3. *c)* su alcuni esemplari di ciascuna serie.

7. Dopo esito soddisfacente delle prove di cui al punto 6., i singoli compensatori vengono accettati, nelle singole classi, per deformazioni e pressioni massime di esercizio legate a quelle nominali dalle espressioni seguenti:

7.1. $$w_t = WN \frac{R_{p(0.2)/t}}{R_{p(0.2)}} \frac{E_{20}}{E_t}$$

7.2. $$p = PN \frac{R_{p(0.2)/t}}{R_{p(0.2)}}$$

ELENCO DELLE REGOLE CONTENUTE NEL CAPITOLO VSR.1.Q.

Regola VSR.1.Q.1: *Generalità*

1. Nel presente capitolo sono considerati canali quelli con profilo semicircolare (figura 1.Q.1.1.) e le forme indicate nelle figure da 1.Q.1.2. a 1.Q.1.5., percorsi all'interno da fluido in pressione.

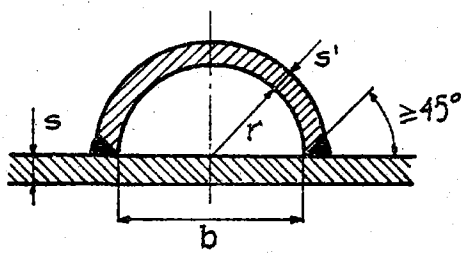


Figura 1.Q.1.1. – Canale a sezione semicircolare

2. I canali possono essere ricavati da nastro o strisce di lamiera, da tubo, da profilato.

La formatura dei canali, ricavati sia da tubo sia da lamiera, deve essere tale da non compromettere le caratteristiche di duttilità e di saldabilità del materiale; se necessario, dopo formatura devono essere effettuati idonei trattamenti termici volti a ripristinare le caratteristiche originarie del materiale.

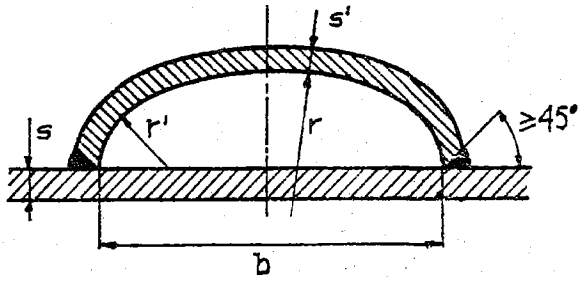


Figura 1.Q.1.2. – Canale a sezione semiellittica

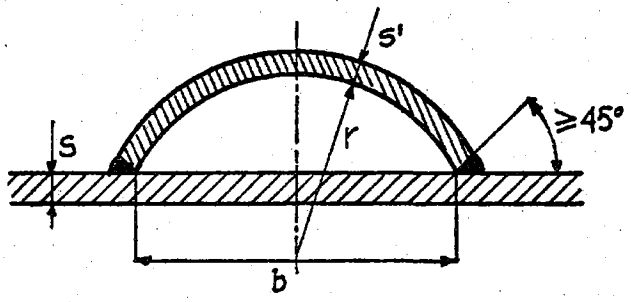


Figura 1.Q.1.3. – Canale a sezione di segmento circolare

Regola VSR.1.Q.2: *Tecnologia costruttiva*

1. I canali devono essere saldati a piena penetrazione al recipiente previo smusso degli orli con angolo tale che l'angolo del cianfrino risulti uguale o maggiore di 45°.

La distanza tra i lembi esterni dei cordoni di saldatura di due canali adiacenti deve essere non inferiore a 15 mm.

Tale distanza può essere limitata a 10 mm per i canali di cui alla figura 1.Q.1.5. e per i canali di cui alle figure 1.Q.1.2 e 1.Q.1.3. soltanto nel caso in cui l'altezza estema dei canali stessi sia inferiore od uguale a 0,30 b.

2. Qualora le saldature dei recipiente debbano subire un trattamento di distensione, questo deve essere eseguito dopo l'applicazione dei canali.

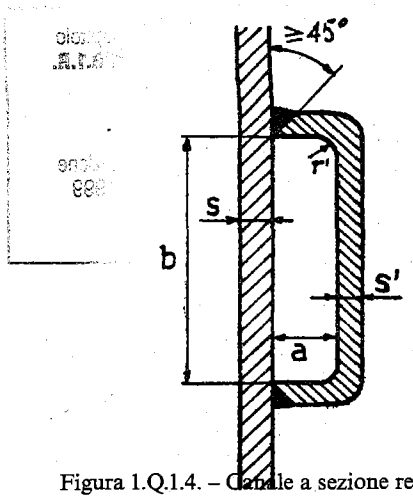


Figura 1.Q.1.4. – Canale a sezione rettangolare

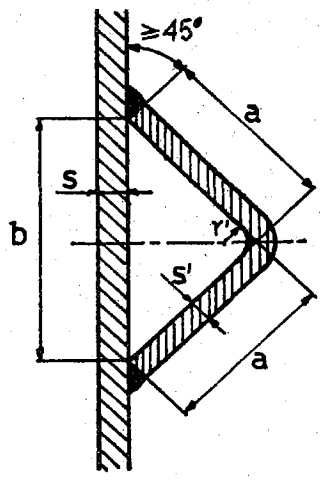


Figura 1.Q.1.5. – Canale a sezione triangolare

Regola VSR.1.Q.3: *Calcolo dell'involucro avvolto dai canali*

1. Lo spessore s della parete su cui sono applicati i canali, oltre a soddisfare la stabilità per l'eventuale pressione all'interno del recipiente, non deve essere inferiore allo spessore s' dei canali stessi ed inoltre non deve essere inferiore al valore dato dalla seguente formula:

$$1.1. \qquad s_o = b\sqrt{\frac{p}{2fz}}$$

in cui:

b larghezza del canale, in mm;
p pressione all'interno dei canali, in MPa;
z modulo di efficienza della saldatura della parete.

Va tenuto conto di z soltanto nel caso in cui le saldature della parete siano ricoperte dal canale per una lunghezza maggiore di 1,5 b.

Regola VSR.1.Q.4: *Calcolo dello spessore della parete dei vari tipi di canali - Raggio minimo di raccordo dei profili dei canali*

1. Lo spessore minimo s'_o, in mm, dei canali aventi sezione semicircolare, semiellittica o di segmento circolare si determina con la formula seguente:

$$1.1. \qquad s'_o = \frac{2pr}{f}$$

in cui:

r raggio di curvatura interno massimo del profilo del canale, in mm.

2. Lo spessore minimo s'_o, in mm, dei canali aventi sezione di forma rettangolare di lati a e b, con $b > a$, si determina con la formula seguente:

$$2.1. \qquad s'_o = b\sqrt{\frac{4p}{3f}}$$

3. Lo spessore minimo s'_o, in mm, dei canali aventi sezione di forma triangolare di larghezza a dell'ala dell'angolare si determina con la formula seguente:

$$3.1. \qquad s'_o = a\sqrt{\frac{p}{f}}$$

4. Il raggio minimo di raccordo r' dei profili dei canali di cui alle figure 1.Q.1.2., 1.Q.1.4. e 1.Q.1.5. non deve essere inferiore a $3s'$.

ELENCO DELLE REGOLE CONTENUTE NEL CAPITOLO VSR.1.R.

Regola VSR.1.R.1: *Generalità*

1. Il presente capitolo si applica nei casi di accoppiamento di parti di forma circolare, quadrata, rettangolare ed elliitica realizzato con l'impiego di bulloni, tiranti o viti uguali ed equidistanti fra loro.

1.1. I bulloni, tiranti e viti di accoppiamento flangiati circolari di cui al Capitolo VSR.1.U. vanno verificati secondo quanto previsto in tale capitolo.

2. Non è ammesso l'impiego di bulloni, tiranti o viti di diametro esterno inferiore a 8 mm.

3. I bulloni, tiranti o viti devono avere un raccordo graduale fra la parte filettata e quella non filettata quanto quest'ultima sia di diametro inferiore al diametro della prima.

Regola VSR.1.R.2: *Verifica alla trazione*

1. I bulloni, tiranti e viti vanno verificati alla trazione nelle seguenti 3 condizioni:

a) progetto;
b) prova idraulica;
c) serraggio a freddo della guarnizione.

2. I carichi F_m, F_{mi} in N, sopportati da ciascun bullone, tirante e vite rispettivamente nelle condizioni di progetto e di prova idraulica si determinano con le seguenti formule:

2.1. $$F_m = p\left[\frac{A}{n} + \frac{2\,L\,b\,m}{N}\right]$$

2.2. $$F_{mi} = p_i\left[\frac{A}{n} + \frac{2\,L\,b\,m}{N}\right]$$

in cui:

p, p_i pressione, in Mpa, rispettivamente alle condizioni di progetto e di prova idraulica;

A area, in mm^2, compresa nel perimetro passante per la mezzeria della guarnizione;

b larghezza utile di assetto della guarnizione, in mm, da assumere come segue:

$$b = b_o \qquad \text{se } b_o \leq 6,25\ mm;$$

$$b = 2,5\sqrt{b_o} \qquad \text{se } b_o > 6,25\ mm;$$

b_o valore convenzionale della larghezza di assetto della guarnizione, in mm, da calcolare come indicato nella tabella 1.U.3.3. del Capitolo VSR.1.U.;

L lunghezza, in mm, del perimetro passante per la mezzeria della guarnizione;

m coefficiente relativo al materiale e tipo della guarnizione;

N numero totale dei bulloni, tiranti e viti;

n numero che dipende dalla forma delle parti accoppiate e si assume come segue:

a) per parti di forma circolare, $n = N$;

b) per parti di forma quadrata, $n = 1/2\ N$;

c) per parti di forma rettangolare, n è il numero di bulloni, tiranti e viti disposti sui lati maggiori;

d) per parti di forma ellittica, $n = 2 \cdot \pi \cdot r/e$ essendo e il passo, in mm, ed r la distanza, in mm, fra il bullone, tirante e vite più vicino al centro dell'ellisse ed il centro stesso.

3. Il carico F_{mo}, in N, sopportato da ciascun bullone, tirante e vite nelle condizioni di serraggio a freddo della guarnizione si determina con la seguente formula:

3.1. $$F_{mo} = \frac{b\,L\,y}{N}$$

in cui b, L, N sono definiti come nella regola precedente, mentre y è il carico specifico di assetto della guarnizione, in MPa.

I valori di m e y sopra definiti e relativi alle guarnizione utilizzata sono dichiarati dal progettista; in assenza di essi tali valori vanno assunti come indicati nella tabella 1.U.3.2. del Capitolo VSR 1.U.

4. L'area a_b, in mm^2, della sezione di ciascun bullone, tirante o vite, si determina con la formula:

4.1. $$a_b = \frac{\pi}{4} d^2$$

essendo d, in mm, il minor valore tra il diametro del nocciolo e quello della parte non filettata. L'area a_b non deve essere inferiore al maggiore dei valori seguenti:

4.2. $$a_{m1} = \frac{F_m}{f_B}$$

4.3. $$a_{mo} = \frac{F_{mo}}{f_{Bo}}$$

4.4. $$a_{mi} = \frac{F_{mi}}{f_{Bi}}$$

I valori di f_B, f_{Bo}, f_{Bi}, in MPa, vanno calcolati come previsto dalla regola VSR.1.B.5. del Capitolo VSR.1.B.

ELENCO DELLE REGOLE CONTENUTE NEL CAPITOLO VSR.1.S.

Regola VSR.1.S.1: *Campo di applicazione - Simboli*

1. Le regole del presente capitolo VSR.1.S. si applicano ai collettori a sezione quadrangolare, a pareti piane raccordate o saldate di spigolo, senza o con elementi interni piani di rinforzo e di ripartizione.

2. Nelle regole del presente capitolo VSR.1.S. sono impiegati i seguenti simboli in aggiunta a quelli definiti alla regola VSR.0.6.:

$2m$ larghezza della parete maggiore, in mm (figura 1.S.1.);

s_m spessore della parete di larghezza 2m, in mm;

$2n$ larghezza della parete minore, in mm (figura 1.S.1.);

s_n spessore della parete di larghezza 2n, in mm;

x fattore di moltiplicazione per collettori a pareti piane saldate di spigolo, da assumere pari a 1,5;

y coefficiente di collaborazione plastica del materiale, da assumere pari a 1,5 (per gli acciai);

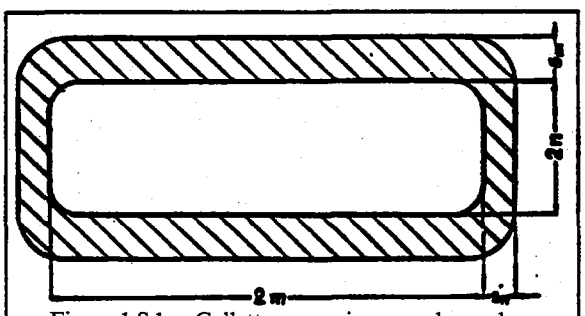


Figura 1.S.1. – Collettore a sezione quadrangolare

z *a)* per verifiche secondo linee di forature: modulo di efficienza riferito alle sollecitazioni di trazione, da calcolare con le formule 6.1. o 7.1. della regola VSR.1.S.2.;

b) per verifiche in zone saldate: modulo di efficienza dei giunti saldati, da assumere come indicato in VSR.1.D.3. e per i giunti saldati di spigolo come indicato al punto 4. della VSR.1.S.3.;

z_1 *a)* per verifiche secondo linee di forature: modulo di efficienza riferito alle sollecitazioni di flessione, da calcolare con le formule 8.1., 8.2., 9.1. o 9.2. della regola VSR.1.S.2.;

b) per verifiche in zone saldate: modulo di efficienza dei giunti saldati, da assumere come indicato in VSR.1.D.3. e per i giunti saldati di spigolo come indicato al punto 4. della VSR.1.S.3.;

M momento flettente per unità di lunghezza del collettore, in N mm/mm.

J momento d'inerzia della parete considerata.

Regola VSR.1.S.2: *Collettori a sezione quadrangolare a pareti piane raccordate*

1. Per la verifica della stabilità si deve determinare lo spessore minimo di calcolo in corrispondenza della mezzeria delle pareti e di tutte le linee di minore resistenza, assumendo il maggiore dei valori risultanti.

Nel caso di fori sfalsati la verifica deve essere eseguita anche in corrispondenza delle diagonali passanti per i centri dei fori.

2. Lo spessore minimo di calcolo s_{om} della parete di larghezza $2m$ (in assenza di forature) si determina con la formula seguente:

2.1.
$$s_{om} = \frac{p\,n}{2 \cdot f\,z} + \sqrt{\frac{6M}{y f z_1}}$$

assumendo:

2.2.
$$M = \left(A - \frac{m^2}{2}\right) p$$

(trascurando il segno se risulta negativo)

2.3. $$A = \frac{1}{3} \frac{m^2 + kn^2}{k+1}$$

($A = m^2/3$ per i collettori a sezione quadrata)

2.4. $$k = \frac{J_m}{J_n} \frac{n}{m} = \frac{s_m{}^3}{s_n{}^3} \frac{n}{m}$$

3. Lo spessore di calcolo s_{on} della parete di larghezza $2n$ (in assenza di forature) si determina con la formula seguente:

3.1. $$s_{on} = \frac{p\,m}{2 \cdot f\,z} + \sqrt{\frac{6M}{yfz_1}}$$

assumendo:

3.2. $$M = \left(A - \frac{n^2}{2}\right) p$$

ed A e k in base alle formule 2.3. e 2.4.

4. Lo spessore delle pareti di larghezza $2m$ o $2n$ con file di fori parallele all'asse del collettore si determina con le formule 2.1. o 3.1. assumendo, per la parete $2m$:

4.1. $$M = \left(A - \frac{m^2 - c^2}{2}\right) p$$

e per la parete $2n$:

4.2. $$M = \left(A - \frac{n^2 - c^2}{2}\right) p$$

ed assumendo per A il valore dato dalla formula 2.3. e per c la distanza in mm dei fori dalla mezzeria della parete (figure 1.S.2.1. e 1.S.2.2.).

5. Lo spessore delle pareti $2m$ o $2n$ con due file di fori equidistanti dalla mezzeria, si determina in corrispondenza delle diagonali con le formule 2.1. e 3.1. assumendo, per la parete $2m$:

5.1. $$M = \left(A - \frac{m^2}{2}\right) p \cos\alpha$$

e per la parete $2n$:

5.2. $$M = \left(A - \frac{n^2}{2}\right) p \cos\alpha$$

ed assumendo per A il valore dato dalla formula 2.3 e per α l'angolo indicato in figura 1.S.2.2.

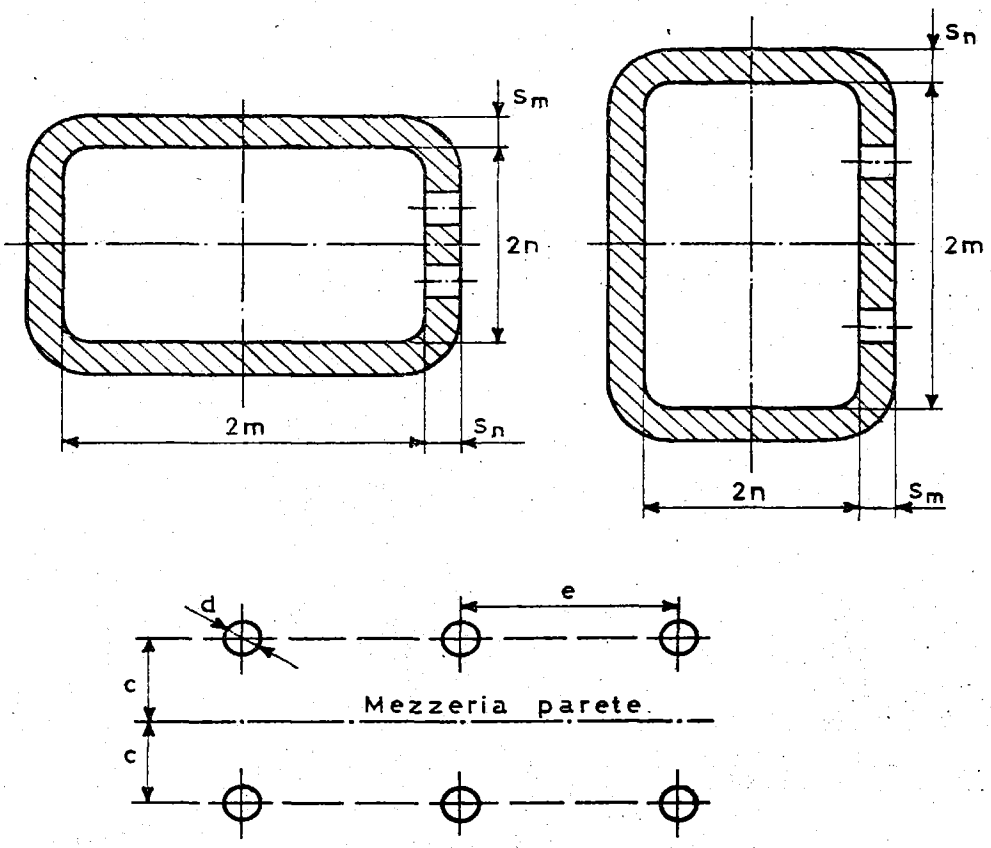


Figura 1.S.2.1. – Collettori con fori a maglia rettangolare

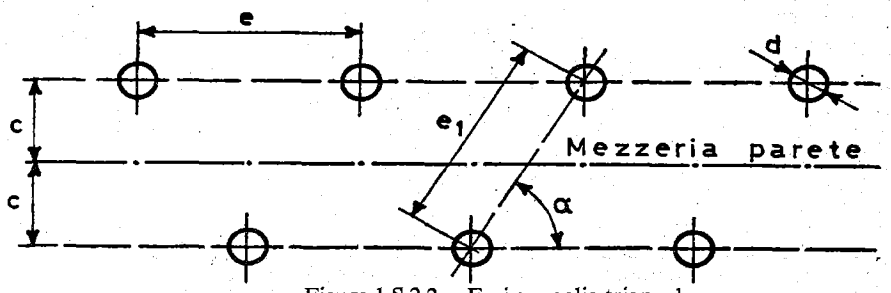


Figura 1.S.2.2. – Fori a maglia triangolare

6. Il modulo di efficienza z nel caso di una fila di fori parallela all'asse del collettore è dato da (figure 1.S.2.1. e 1.S.2.2.):

6.1. $$z = \frac{e - d}{e}$$

7. Il modulo di efficienza z da considerare nel calcolo relativo alle diagonali è dato da (figura 1.S.2.2.):

7.1. $$z = \frac{e_1 - d}{e_1}$$

8. Il modulo di efficienza z_1 nel caso di una fila di fori parallela all'asse del collettore è dato da (figure 1.S.2.1. e 1.S.2.2.):

– per fori sulla parete $2m$ con $d < 0,6m$ oppure per fori sulla parete $2n$ con $d < 0,6n$:

8.1. $$z_1 = \frac{e - d}{e}$$

– per fori sulla parete $2m$ con $d < 0,6m$:

8.2. $$z_1 = \frac{e - 0,6m}{e}$$

– per fori sulla parete $2n$ con $d < 0,6n$:

8.3. $$z_1 = \frac{e - 0,6n}{e}$$

9. Il modulo di efficienza z_1 da considerare nel calcolo relativo alle diagonali è dato da (figura 1.S.2.2.):

– per fori sulla parete $2m$ con $d < 0,6m$, oppure per fori sulla parete $2n$ con $d < 0,6n$:

9.1. $$z_1 = \frac{e_1 - d}{e_1}$$

– per fori sulla parete $2m$ con $d \geq 0,6m$:

9.2. $$z_1 = \frac{e_1 - 0,6m}{e_1}$$

– per fori sulla parete $2n$ con $d \geq 0,6n$:

9.3. $$z_1 = \frac{e_1 - 0,6n}{e_1}$$

10. Per fori circolari di uguale diametro, d è il diametro del foro; nel caso di diametri diversi, d è il valore medio dei due fori contigui lungo la cui congiungente si calcola il valore di z o z_1

Nel caso di fori ellittici si deve assumere come valore di d nelle formule di calcolo di z e di z_1 la dimensione interna del foro nella direzione longitudinale del collettore.

Per la valutazione dei due valori limiti per d, di cui alle formule 8.1., 8.2 e 8.3, 9.1., 9.2 e 9.3., bisogna invece fare riferimento alla larghezza interna del foro in direzione perpendicolare.

11. *Prescrizioni dimensionali.*

11.1. Per considerare raccordate le pareti piane dei collettori (figura 1.S.1.), deve essere soddisfatta la condizione:

11.1.1. $r \geq s/3$ con un minimo di 8 mm essendo r il raggio interno di raccordo ed s la media degli spessori nominali delle due pareti.

Regola VSR.1.S.3: *Collettori a sezione quadrangolare a pareti piane saldate di spigolo*

1. Nei collettori a sezione quadrangolare a pareti piane sono ammesse le saldature di spigolo delle pareti purché:

a) siano adottate le soluzioni indicate nelle figure 1.S.3.1., 1.S.3.2. 1.S.3.3. e 1.S.3.4.;

b) i collettori non siano destinati a funzionare a bassa temperatura;

c) siano realizzati con acciai non legati o ad alto limite di snervamento aventi carico di rottura minimo tabellare non maggiore di 485 MPa, nonché con acciai al Mo o al Cr-Mo; per questi ultimi è sempre richiesto il trattamento termico del collettore;

d) le saldature siano eseguite secondo le prescrizioni delle pertinenti disposizioni della Raccolta S e con l'osservanza delle altre prescrizioni particolari indicate al successivo punto 3.

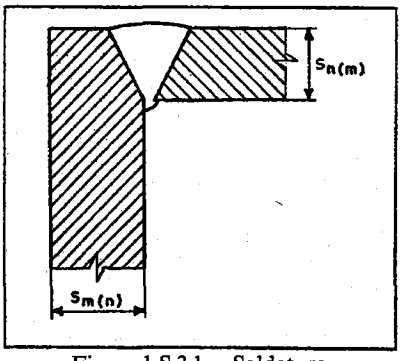


Figura 1.S.3.1. – Saldatura a V con ripresa

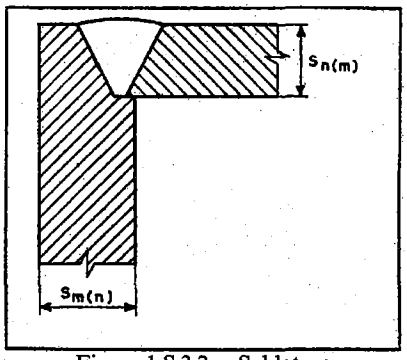


Figura 1.S.3.2. – Saldatura a V con sostegno

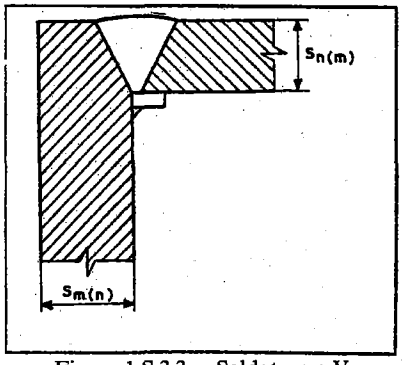


Figura 1.S.3.3. – Saldatura a V con sostegno o senza sostegno e con 1ª passata TIG

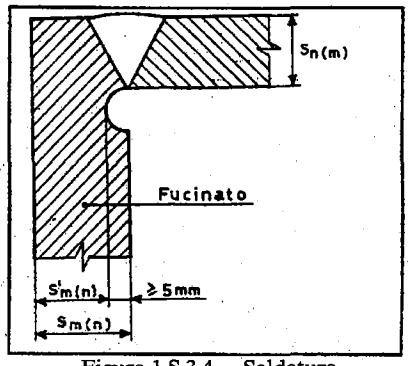


Figura 1.S.3.4. – Saldatura a V di un fucinato

2. Gli spessori minimi di calcolo s_{om} e s_{on} delle pareti piane saldate di spigolo dei collettori a sezione quadrangolare si determinano applicando sia le formule della regola VSR.1.S.2., sia – per la verifica della stabilità in corrispondenza degli spigoli – le formule seguenti:

2.1. $$s_{om} = x\left(\frac{p\,n}{2 \cdot f\,z} + \sqrt{\frac{6M}{f\,z_1}}\right)$$

2.2. $$s_{on} = x\left(\frac{p\,m}{2 \cdot f\,z} + \sqrt{\frac{6M}{f\,z_1}}\right)$$

assumendo:

2.3. $$M = A\,p$$

e per A il valore dato dalla formula 2.3. della regola VSR.1.S.2.

3. *Controlli.*

3.1. Il lembo della parete di spessore s_m o s_n (cfr. figure 1.S.3.1., 1.S.3.2., 1.S.3.3., 1.S.3.4.) deve essere controllato al fine di accertare l'assenza di sfogliature o segregazioni importanti, tale controllo da effettuare alla presenza di un tecnico dell'ISPESL, può essere:

a) ultrasonoro su lembo della lamiera prima che esso venga preparato per la saldatura;

b) magnetoscopico, impiegando corrente continua (raddrizzata 1/2 onda) di intensità da 4 a 6 A per ogni mm di distanza dei puntali, preferibilmente con uso di rivelatori liquidi fluorescenti, dopo l'eventuale preparazione per la saldatura.

3.2. Lo slivellamento dei lembi al vertice del cianfrino non deve superare i mm nel caso di saldatura TIG e 1,5 mm negli altri casi.

3.3. La prima passata di saldatura deve essere controllata a cura del costruttore con liquidi penetranti o esame magnetoscopico.

3.4. A giunto ultimato deve essere ripetuto il controllo con liquidi penetranti o magnetoscopico sulla superficie del cordone e sul bordo adiacente della parete di spessore s_m o s_n alla presenza di un tecnico dell'ISPESL.

4. *Moduli di efficienza.*

4.1. I moduli di efficienza z e z_1 si assumono pari a 0,7 nei seguenti casi:

a) saldatura eseguita dai due lati (la passata dal lato interno, successiva molatura al vertice e saldatura dall'esterno); tale soluzione deve essere adottata ogni qualvolta sia possibile, in base alle dimensioni ed alle attrezzature disponibili;

b) saldatura da un lato solo, su sostegno scanalato di rame da asportare dopo saldatura oppure con prima passata TIG effettuata da operatore qualificato; in tal caso il vertice della prima passata deve essere sottoposto ad accurato esame visivo (endoscopio) al fine di accertare la piena penetrazione.

4.2. I valori dei moduli di efficienza z e z_1 si assumono pari a 0,6 se la saldatura è eseguita su sostegno (figura 1.S.3.3.).

4.3. I valori dei moduli di efficienza z e z_1 si assumono secondo quanto previsto nella Raccolta S a seconda dell'estensione dei controlli e della classe di accettabilità dei difetti, qualora per la parete di spessore s_m o s_n vengano usate piastre fucinate provvisorie di opportuno scarico tale che la saldatura possa essere trasformata in giunto testa a testa efficacemente radiografabile (figura 1.S.3.4.).

Sull'estremità della parete di spessore s_m o s_n fucinata può essere omesso l'esame di cui al punto 3.1.

Regola VSR.1.S.4: *Collettori a sezione quadrangolare a pareti piane con elementi interni piani di rinforzo e di ripartizione*

1. Qualora nel calcolo di stabilità si voglia tener conto del contributo degli elementi piani di ripartizione, per i collettori con uno o due di tali elementi il calcolo dei momenti flettenti in corrispondenza degli spigoli ed all'unione con i rinforzi può effettuarsi con le formule riportate ai punti seguenti.

1.1. Collettori con un elemento di ripartizione o rinforzo (figura 1.S.4.1.).

$$M_3 = \frac{a_{o3} - a_{32} \cdot b_{o2}}{a_{33} - a_{32} \cdot b_{23}}$$

$$M_2 = b_{o2} - b_{23} \cdot M_3$$

$$M_1 = b_{o1} - b_{12} \cdot M_2$$

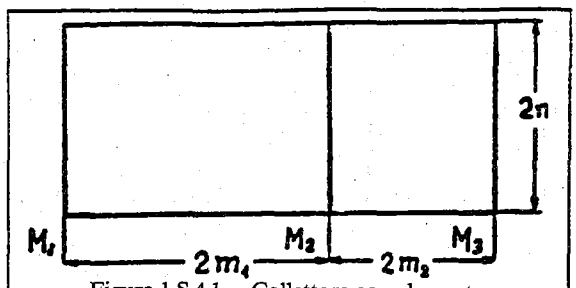


Figura 1.S.4.1. – Collettore con elemento di ripartizione

essendo:

$$a_{o1} = -\,p\left(\frac{n^3}{J_n} + \frac{m_1{}^3}{J_m}\right)$$

$$a_{o2} = -\,p\,(m_1{}^3 + m_2{}^3)$$

$$a_{o3} = -\,p\left(\frac{m_2{}^3}{J_m} + \frac{n^3}{J_n}\right)$$

$$a_{11} = \frac{3n}{J_n} + \frac{2m_1}{J_m}$$

$$a_{22} = 2\,(m_1 + m_2)$$

$$a_{32} = \frac{m_2}{J_m}$$

$$a_{33} = \frac{3n}{J_n} + \frac{2m_2}{J_m}$$

$$b_{o1} = \frac{a_{o1}}{a_{11}}$$

$$b_{12} = \frac{m_1}{J_m\, a_{11}}$$

$$b_{o2} = \frac{a_{o2} - m_1 \cdot b_{o1}}{a_{22} - m_1 \cdot b_{12}}$$

$$b_{23} = \frac{m_2}{a_{22} - m_1 \cdot b_{12}}$$

1.2. Collettori con due elementi di ripartizione o rinforzo (figura 1.S.4.2.).

$$M_4 = \frac{a_{o4} - b_{o3} \cdot a_{43}}{c_{44}}$$

$$M_3 = b_{o3} - \frac{m_3}{c_{33}}\, M_4$$

$$M_2 = b_{o2} - b_{23} \cdot M_3$$

$$M_1 = b_{o1} - b_{12} \cdot M_2$$

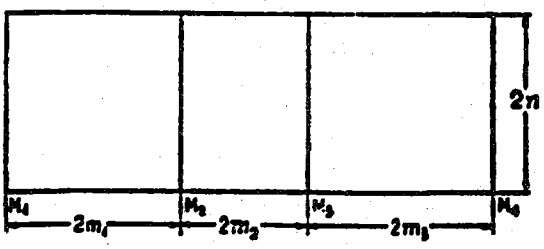


Figura 1.S.4.2. – Collettore con due elementi di ripartizione

essendo:

$$a_{o1} = -\,p\left(\frac{n^3}{J_n} + \frac{m_1{}^3}{J_m}\right)$$

$$a_{o2} = -\,p\,(m_1{}^3 + m_2{}^3)$$

$$a_{o3} = -\,p\,(m_2{}^3 + m_3{}^3)$$

$$a_{o4} = -\,p\left(\frac{m_3{}^3}{J_m} + \frac{n^3}{J_n}\right)$$

$$a_{11} = \frac{3n}{J_n} + \frac{2m_1}{J_m}$$

$$a_{22} = 2\,(m_1 + m_2)$$

$$a_{33} = 2\,(m_2 + m_3)$$

$$a_{43} = \frac{m_3}{J_m}$$

$$a_{44} = \frac{3n}{J_n} + \frac{2m_3}{J_m}$$

$$b_{o1} = \frac{a_{o1}}{a_{11}}$$

$$b_{12} = \frac{m_1}{J_m\, a_{11}}$$

$$b_{o2} = \frac{a_{o2} - m_1 \cdot b_{o1}}{a_{22} - m_1 \cdot b_{12}}$$

$$b_{23} = \frac{m_2}{a_{22} - m_1 \cdot b_{12}}$$

$$b_{o3} = \frac{a_{o3} - b_{o2} \cdot m_2}{c_{33}}$$

$$c_{33} = a_{33} - b_{23} \cdot m_2$$

$$c_{44} = a_{44} - \frac{m_3 \cdot a_{43}}{c_{33}}$$

1.3. I momenti flettenti nei punti intermedi dei lati possono calcolarsi con le seguenti formule nelle quali c è computato dalla mezzeria dei lati $2n$, $2m_1$, $2m_2$ e $2m$, ed i momenti M_1, M_2, M_3, o M_4 vanno introdotti con il proprio segno.

– per i lati $2n$

in corrispondenza dello spigolo 1:

$$M = M_1 + p\,\frac{n^2 - c^2}{2}$$

in corrispondenza dello spigolo 3 o 4, a seconda che vi siano uno o due elementi di ripartizione:

$$M = M_{3(4)} + p\,\frac{n^2 - c^2}{2}$$

– per i lati $2m_1$

se il punto considerato è compreso fra la mezzeria ed il punto di momento M_1:

$$M = M_1\,\frac{m_1 + c}{2m_1} + M_2\,\frac{m_1 - c}{2m_1} + p\,\frac{m_1{}^2 - c^2}{2}$$

se il punto considerato è compreso fra la mezzeria ed il punto di momento M_2:

$$M = M_1 \frac{m_1 - c}{2m_1} + M_2 \frac{m_1 + c}{2m_1} + p \frac{m_1^2 - c^2}{2}$$

– per i lati $2m_2$ e $2m_3$

si procede come per $2m_1$, considerando M_2 ed M_3 o M_3 ed M_4 in luogo di M_1, ed M_2.

Gli spessori di calcolo si determinano con le formule delle regole VSR.1.S.2. ed 1.S.3. assumendo per M i valori indicati nel presente paragrafo e, per le verifiche in corrispondenza degli spigoli, i valori M_1, e M_3 o M_4.

1.4. Nel caso che gli elementi di ripartizione e di rinforzo siano più di due e che si voglia tener conto nel calcolo del loro contributo, il costruttore deve presentare all'ISPESL i relativi calcoli.

2. Gli elementi interni di rinforzo e di ripartizione devono risultare idonei a sopportare l'intero carico esercitato dalla pressione sulle porzioni di pareti adiacenti (fino alle mezzerie delle zone comprese fra due rinforzi).

3. Le saldature degli elementi di rinforzo e di ripartizione con le pareti devono essere calcolate assumendo come sezioni utili quelle indicate nella figura 1.S.4.3. e considerando i seguenti valori del modulo di efficienza delle saldature stesse:

– per saldature eseguite da un solo lato senza piatto di sostegno: $z = 0{,}5$;
– per saldature eseguite da un solo lato con piatto di sostegno: $z = 0{,}6$;
– per saldature eseguite dai due lati: $z = 0{,}7$.

La dimensione effettiva del cordone di saldatura da considerare nella verifica a trazione è:

– per saldatura da un solo lato: $a + b$
– per saldatura dai due lati: $a + 2b$.

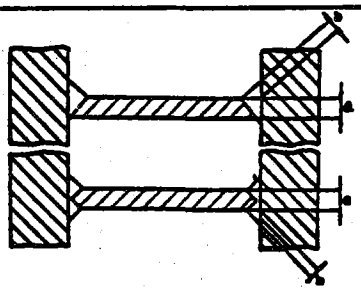


Figura 1.S.4.3. – Saldatura degli elementi di ripartizione

ELENCO DELLE REGOLE CONTENUTE NEL CAPITOLO VSR.1.T.

Regola VSR.1.T.1: *Generalità*

1. Le regole del presente capitolo si applicano ai vasi di espansione pressurizzati con aria o gas inerte destinati ad impianti ad acqua calda o surriscaldata aventi pressione di bollo non superiore a 0,49 MPa e prodotto della pressione in MPa per il volume in litri non superiore a 98.

2. Ai vasi di espansione aventi pressione o prodotto della pressione per il volume superiori ai valori fissati nel punto precedente si applicano le disposizioni vigenti per gli apparecchi a pressione.

3. Per la costruzione dei vasi di espansione di cui al punto 1., oltre alle giunzioni saldate, sono consentite anche giunzioni aggraffate.

4. Gli spessori di parete dei vasi di espansione non devono essere inferiori ai valori minimi indicati nel capitolo VSR.1.C.

Regola VSR.1.T.2.: *Verifiche di costruzione*

1. Ai vasi di espansione aventi membrature saldate si applicano le disposizioni in vigore per i recipienti di gas.

2. Ai vasi di espansione aventi membrature con giunzioni aggraffate si applicano le disposizioni seguenti.

2.1. Il progetto da presentare all'ISPESL secondo le modalità di cui al fascicolo VSR.0. deve essere corredato da una relazione esplicativa del sistema di aggraffatura;

2.2. Il benestare alla costruzione viene rilasciato previo buon esito sia della verifica di stabilità di cui al presente fascicolo sia di una prova idraulica spinta fino a rottura, da effettuarsi alla presenza di un tecnico dell'ISPESL, su un prototipo identico ai recipienti da costruire.

Nella prova non devono verificarsi perdite o rotture ad una pressione inferiore a 4 volte la pressione massima di esercizio.

2.3. Oltre alle regolamentari verifiche di costruzione previste per i recipienti di gas, deve essere eseguita per ogni lotto, presso il costruttore ed alla presenza di un tecnico dell'ISPESL, una prova idraulica spinta fino a rottura.

Nella prova non devono verificarsi perdite o rotture ad una pressione inferiore a 4 volte la pressione massima di esercizio.

Per lotto si intende un quantitativo di 400 recipienti o frazione di 400 costruiti secondo lo stesso progetto approvato e presentati contemporaneamente al collaudo.

Il lotto può comprendere recipienti realizzati con materiale della stessa qualità ma proveniente da colate diverse.

2.4. Sul libretto matricolare dei recipienti devono essere annotati l'avvenuta esecuzione delle prove su prototipo e su lotto ed il relativo esito.

ELENCO DELLE REGOLE CONTENUTE NEL CAPITOLO VSR.1.U.

Regola VSR.1.U.1.: *Generalità*

1. *Oggetto delle regole.*

Le regole del presente capitolo consentono la verifica di resistenza delle giunzioni flangiate imbullonate, per le sollecitazioni determinate dal carico trasmesso dai bulloni o dalla pressione. La verifica non riguarda invece le sollecitazioni di flessione o torsione, determinate da effetti di dilatazioni termiche impedite né altre sollecitazioni dovute a carichi aggiuntivi diversi.

2. *Corrosione.*

Se in progetto è previsto un sovraspessore di corrosione, di esso si tiene conto, nella verifica delle condizioni di assestamento guarnizione e di progetto, detraendo il sovraspessore dalla superficie interna cilindrica della flangia, se lambita dal fluido.

3. *Verifiche.*

Le regole appresso riportate consentono la verifica, per i carichi indicati al punto 1., nelle tre condizioni di seguito definite:

a) Condizioni di assetto guarnizione.

Sono le condizioni di carico che si producono quando si serra la guarnizione montando il giunto flangiato in condizioni di pressione e temperatura atmosferiche. Il carico trasmesso dai bulloni è quello che bisogna esercitare per deformare plasticamente la guarnizione facendola assestare sulle superfici con le quali è a contatto.

In queste condizioni il valore minimo del carico dei bulloni è funzione del materiale della guarnizione e della effettiva superficie di contatto della stessa.

b) Condizioni di progetto.

Sono le condizioni che si producono in esercizio per effetto della pressione, che tende a separare le due parti del giunto, e del carico dei bulloni che deve invece esercitare sulla guarnizione una compressione tale da assicure, alla temperatura di progetto, la tenuta del giunto.

Infatti, quando l'apparecchio è in pressione, questa tende a separare le due parti del giunto facendo diminuire la compressione inizialmente applicata sulla guarnizione in fase di assestamento della stessa. La tenuta del giunto non potrebbe essere assicurata se non si mantenesse sulla guarnizione una compressione che deve naturalmente essere proporzionale alla pressione del fluido interno. Il carico dei bulloni, in queste condizioni, è funzione della pressione di progetto, del materiale della guarnizione e della effettiva area reagente della guarnizione stessa.

c) Condizioni di prova idraulica.

Sono le condizioni che si hanno quando l'apparecchio è sottoposto a prova idraulica. La pressione idrostatica tende a separare le due parti del giunto mentre i bulloni devono esercitare sulla guarnizione una compressione che garantisca la tenuta del giunto a temperatura ambiente. Queste condizioni si differenziano da quelle di esercizio per il diverso valore della pressione ed il diverso valore di temperatura.

4. *Requisiti generali di fabbricazione.*

Le flange a codolo possono essere ricavate da lamiera solo se realizzate partendo da una striscia longitudinale di essa le cui superfici di laminazione, dopo formatura, coincidono con le superfici cilindriche interne ed esterne dell'anello. Tali superfici possono essere successivamente lavorate meccanicamente.

Per le saldature si devono seguire le disposizioni contenute nella Raccolta S. Le superfici esterne del codolo e la superficie dell'anello adiacente alla parte conica del codolo stesso devono essere controllate con metodi non distruttivi.

5. *Classificazione.*

In relazione alle verifiche da effettuare secondo quanto indicato ai punti precedenti, le connessioni flangiate possono essere distinte in tre categorie :

a) Flange con superficie di contatto parziale.

Sono le flange per le quali tutta l'area delle superfici di contatto metallo-guarnizione è contenuta entro la circonferenza racchiusa dai fori dei bulloni. Queste flange si verificano secondo la regola VSR.1.U.3.

b) Flange con superficie di contatto integrale.

Sono le flange per le quali le aree delle superfici di contatto metallo-guarnizione si estendono oltre la circonferenza che racchiude i fori dei bulloni. Queste flange si verificano secondo la regola VSR.1.U.4.

c) Flange rovesce.

Sono flange la cui configurazione è riportata nella figura 1.U.5.1.

Regola VSR.1.U.2.: *Definizioni e simboli*

Nelle formule per la verifica delle flange vengono usati i simboli che seguono:

A diametro esterno della flangia oppure, nel caso di fori asolati che si estendono fino all'esterno della flangia (cfr. figura 1.U.2.), diametro al fondo delle asole, in mm;

A_b area totale della sezione dei bulloni prevista in progetto, calcolata con riferimento al diametro del nocciolo, o al diametro della parte non filettata se di diametro minore, in mm^2;

A_{m1} area totale della sezione dei bulloni che deriva dal calcolo nelle condizioni di progetto, in mm^2:

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{f_B}$$

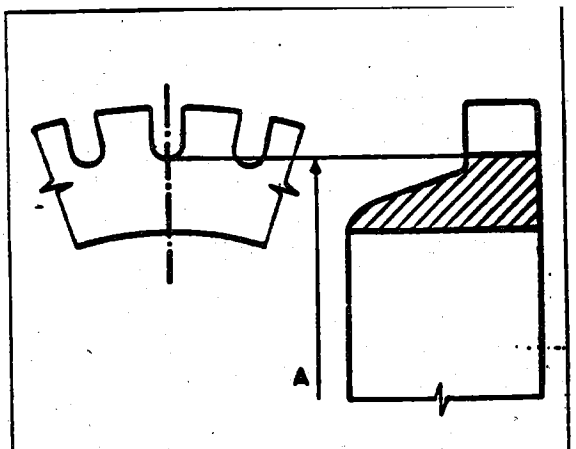


Figura 1.U.2. – Fori asolati

A_{m0} area totale della sezione dei bulloni che deriva dal calcolo in condizioni di assetto guarnizione, in mm^2:

$$A_{mo} = \frac{W_{mo}}{f_{Bo}}$$

A_{mi} area totale della sezione dei bulloni che deriva dal calcolo in condizioni di prova idraulica, in mm^2:

$$A_{mi} = \frac{W_{mi}}{f_{Bi}}$$

B diametro interno della flangia, in mm;

b larghezza utile di assetto guarnizione calcolata con:

$b = b_0$ per $b_0 \leq 6{,}25$ mm

$b = 2{,}5\sqrt{b_0}$ *per* $b_0 > 6{,}25$ mm

b_0 larghezza convenzionale di assetto guarnizione ricavata dalla tabella 1.U.3.3., in mm;

C diametro della circonferenza passante per gli assi dei bulloni, in mm;

C_F fattore di correzione relativo al passo dei bulloni:

$$C_F = \sqrt{\frac{\pi \cdot C}{n\left(2\,d_b + \frac{6 \cdot s}{m + 0{,}5}\right)}}$$

da assumere, comunque, non inferiore a 1;

d fattore che vale:

– per flange tipo integrale:

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_0 \cdot g_0^2$$

– per flange libere:

$$d = \frac{U}{V_L} \cdot h_0 \cdot g_0^2$$

d_b diametro nominale dei bulloni, in mm;

e fattore che vale:

– per flange tipo integrale $e = F/h_0$

– per flange libere $e = F_L/h_0$

F fattore per flange tipo integrale ricavato dalla figura 1.U.3.4. oppure dalle formule in tabella 1.U.3.5.

f_{Bo} sollecitazione massima ammissibile del materiale dei bulloni alla temperatura ambiente, in MPa;

f_B sollecitazione massima ammissibile del materiale dei bulloni alla temperatura di progetto, in MPa;

f_{Bi} sollecitazione massima ammissibile del materiale dei bulloni in condizioni di prova idraulica, in MPa;

f_{Fo}, f_{co} sollecitazione massima ammissibile, rispettivamente per il materiale della flangia e per il materiale del collare a temperatura ambiente, in MPa;

f_F, f_c sollecitazione massima ammissibile, rispettivamente per il materiale della flangia e per il materiale del collare alla temperatura di progetto, in MPa;

f_{Fi}, f_{ci} sollecitazione massima ammissibile, rispettivamente per il materiale della flangia e per il materiale del collare in condizioni di prova idraulica, in MPa;

F_L fattore per flange libere con codolo ricavato dalla figura 1.U.3.6. oppure dalle formule in tabella 1.U.3.5.;

F_c fattore di correzione della sollecitazione nel codolo per flange tipo integrale ricavato dalla figura 1.U.3.8. oppure dalle formule in tabella 1.U.3.5. (F_c rappresenta il rapporto della sollecitazione nell'estremità più stretta del codolo rispetto alla sollecitazione nell'estremità più larga. Quando F_c è uguale o inferiore all'unità la sollecitazione massima si ha in corrispondenza della estremità più larga del codolo. In questo caso si assume per F_c il valore di 1);

G diametro della circonferenza che passa per il punto di applicazione della reazione della guarnizione. Salvo quanto indicato nel particolare della figura 1.U.3.1.a., G, in mm, è definito come segue:

– per $b_0 \leq 6{,}25$ mm: G = diametro medio della superficie di contatto della guarnizione;

– per $b_0 > 6{,}25$ mm: G = diametro esterno della superficie di contatto della guarnizione meno $2b$;

g_0 spessore del codolo in corrispondenza dell'estremità più stretta, in mm;

g_1 spessore del codolo in corrispondenza dell'attacco dell'anello, in mm;

H, H_i forza totale dovuta alla spinta della pressione rispettivamente in condizioni di progetto e di prova idraulica, in N;

H_D, H_{Di} forza dovuta alla spinta della pressione sulla sezione di diametro B, in N;

H_G, H_{Gi} carico dato dalla guarnizione. È uguale ad H_p nelle condizioni di progetto ed a W nelle condizioni di assetto guarnizione, in N (cfr. figura 1.U.3.1.d.);

H_p, H_{pi} carico totale di compressione agente sulla flangia necessario per assicurare la tenuta, in N;

H_T, H_{Ti} spinta dovuta alla pressione sulla superficie anulare compresa tra il diametro G ed il diametro interno della flangia B, in N;

h altezza del codolo, in mm;

h_D distanza radiale tra la circonferenza passante per l'asse dei bulloni e la circonferenza su cui agisce H_D, come indicato nella tabella 1.U.3.1., in mm;

h_G distanza radiale tra la circonferenza passante per il punto di applicazione della reazione della guarnizione e la circonferenza passante per l'asse dei bulloni, come indicato nella tabella 1.U.3.1., in mm;

h_0 in mm, pari a $\sqrt{B \cdot g_0}$;

h_T distanza radiale tra la circonferenza passante per l'asse dei bulloni e la circonferenza su cui agisce H_T, come indicato nella tabella 1.U.3.1., in mm;

K $= A/B$

L fattore pari a:

$$\frac{s \cdot e + 1}{T} + \frac{s^3}{d}$$

M_{0w} momento totale agente sulla flangia nelle condizioni di assetto guarnizione, in N.mm;

M_{0p} momento totale agente sulla flangia in condizioni di progetto, in N.mm;

M_{0i} momento totale agente sulla flangia in condizioni di prova idraulica, in N.mm;

m coefficiente dipendente dalle caratteristiche della guarnizione, da assumere come riportato nella tabella 1.U.3.2. o da tabelle del fabbricante, riportato sul disegno costruttivo;

N dimensione utilizzata per la determinazione della larghezza convenzionale di assetto guarnizione basata sulla larghezza probabile di contatto della guarnizione, da assumere come indicato nella tabella 1.U.3.3., in mm;

n numero dei bulloni;

p pressione di progetto in MPa;

p_i pressione di prova idraulica, in MPa;

R distanza misurata in direzione radiale tra la circonferenza passante per gli assi dei bulloni e la circonferenza corrispondente al diametro esterno grande del codolo (vale per flange integrali e con codolo, cfr. figura 1.U.3.1.c.), in mm:

$$R = \frac{C - B}{2} - g_1$$

s spessore minimo previsto in progetto dell'anello della flangia, in mm;

σ_H sollecitazione longitudinale di calcolo nel codolo, in MPa;

σ_R sollecitazione radiale di calcolo nella flangia, in MPa;

σ_T sollecitazione circonferenziale di calcolo nella flangia, in MPa;

T coefficiente dato in funzione del rapporto K (cfr. figura 1.U.3.3. o tabella 1.U.3.4.);

U coefficiente dato in funzione del rapporto K (cfr. figura 1.U.3.3. o tabella 1.U.3.4.);

V coefficiente da impiegare nella verifica delle flange integrali (cfr. figura 1.U.3.5. oppure formule di tabella 1.U.3.5.);

V_L coefficiente da impiegare nella verifica delle flange libere con codolo (cfr. figura 1.U.3.7 oppure formule di tabella 1.U.3.5.);

W carico trasmesso dai bulloni, in N;

W_{m1} valore minimo di calcolo del carico sui bulloni nelle condizioni di progetto, in N;

W_{m0} valore minimo di calcolo del carico sui bulloni nelle condizioni di serraggio, in N;

W_{mi} valore minimo di calcolo del carico sui bulloni nelle condizioni di prova idraulica, in N;

Y coefficiente dato in funzione del rapporto K (cfr. figura 1.U.3.3. o tabella 1.U.3.4.);

y carico unitario di assetto guarnizione, da assumere come riportato nella tabella 1.U.3.2. o da tabelle del fabbricante, riportato sul disegno costruttivo, in MPa;

Z coefficiente dato in funzione del rapporto K (cfr. figura 1.U.3.3. o tabella 1.U.3.4.).

Regola VSR.1.U.3.: *Flange con guarnizione entro la circonferenza dei bulloni*

1. *Generalità.*

Il metodo di verifica di seguito riportato si applica alla flange circolari per le quali le guarnizioni e/o le superfici di contatto sono contenute per l'intera larghezza entro la circonferenza passante per il centro dei fori dei bulloni. I tipi di flange contemplati sono:

1.1. Flange libere.

Sono le flange per le quali il sistema di giunzione al corpo cilindrico è tale da non potersi considerare equivalente ad un collegamento integrale e rigido con resistenza meccanica paragonabile a quella di un blocco unico (cfr. figura 1.U.3.1.a. particolari 1, 2, 3, 4 e 5).

Le saldature e gli altri dettagli di costruzione devono essere tali da soddisfare i requisiti dimensionali indicati nei particolari 2, 3, 4 e 5 della citata figura 1.U.3.1.a.

1.2. Flange integrali.

Sono classificate flange integrali le flange che (per forgiatura o saldatura piena) formano un tutto unico con il corpo cilindrico o il tronchetto al quale sono assiemate formando con esso una struttura integrale continua (cfr. figura 1.U.3.1.b. per i casi tipici di flange da considerare integrali e per il posizionamento delle forze e dei momenti).

Le saldature e gli altri dettagli di costruzione devono essere tali da soddisfare i requisiti dimensionali indicati nei particolari 2, 3, 4 e 5 della citata figura 1.U.3.1.b.

1.3. Flange del tipo «a opzione».

In questa categoria rientrano le flange per le quali la giunzione al corpo cilindrico, al tronchetto o al collare è tale da formare un collegamento che può essere considerato integrale. Esse vanno calcolate come flange integrali ma, per semplicità, possono essere calcolate come flange libere purché non venga superata alcuna delle condizioni sotto riportate:

g_0 = 16mm	B/g_0 = 300
pressione di progetto = 20 bar	temperatura di progetto = 370 °C

(cfr. figura 1.U.3.1.c. particolari 1, 2, 3 e 4 per i casi tipici di flange a opzione).

Le saldature e gli altri particolari costruttivi devono essere tali da soddisfare i requisiti dimensionali indicati nei particolari 1, 2, 3 e 4 della citata figura 1.U.3.1.c.

Se il materiale costituente il codolo ha caratteristiche meccaniche inferiori a quelle dell'anello della flangia, bisogna verificare anche la sollecitazione longitudinale σ_H nel codolo adottando il calcolo delle flange integrali.

2. *Carichi sui bulloni.*

Nelle diverse condizioni di verifica [1] i carichi che si esercitano sui bulloni sono dati da:

a) condizioni di progetto

$$W_{m1} = H + H_p$$

dove:

$$H = \frac{\pi}{4} G^2 p$$

$$H_p = 2 \pi b G m p$$

b) condizioni di assetto guarnizione

$$W_{m0} = \pi b G y$$

c) condizioni di prova idraulica

$$W_{mi} = H_i + H_{pi}$$

dove:

$$H_i = \frac{\pi}{4} G^2 p_i$$

$$H_{pi} = 2 \pi b G m p_i$$

3. *Area complessiva dei bulloni.*

L'area totale della sezione dei bulloni A_b (calcolata con riferimento al diametro del nocciolo, o al diametro della parte non filettata se minore) deve essere almeno uguale al più alto valore A_m derivante dai seguenti rapporti:

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{f_B}$$

$$A_{m0} = \frac{W_{m0}}{f_{B0}}$$

$$A_{mi} = \frac{W_{mi}}{f_{Bi}}$$

L'area complessiva così calcolata garantisce, per quanto riguarda l'assetto della guarnizione, il carico minimo necessario ad ottenere l'assestamento.

Un carico maggiore può essere ottenuto aumentando l'area complessiva dei bulloni; tale carico però deve essere di entità tale da non danneggiare la guarnizione stessa.

[1] Per le coppie di flange con interposta piastra tubiera, o per altri casi analoghi nei quali le due flange accoppiate o le relative guarnizioni non sono uguali, occorre calcolare i valori W_{m1}, W_{m0}, W_{mi}, separatamente per ognuna delle due flange con relativa guarnizione; i calcoli di verifica devono essere eseguiti per entrambe le flange, con riferimento ai valori maggiori di W_{m1}, W_{m0}, W_{mi}.

È compito del progettista scegliere il tipo, il materiale e le dimensioni della guarnizione in modo tale da evitare che un eccessivo schiacciamento realizzato in fase di serraggio iniziale possa poi compromettere la tenuta della guarnizione in condizioni di prova e di esercizio.

Per guarnizioni piane su sedi piane con gradino su una sola superficie («raised face») la verifica contro l'eccessivo schiacciamento della guarnizione si realizza imponendo la seguente condizione:

$$A_b \leq \frac{2 \pi y G N}{f_{B0}}$$

4. *Carico dei bulloni sulla flangia.*

I carichi trasmessi dai bulloni, da considerare nel calcolo di verifica della flange, sono i seguenti:

a) per le condizioni di progetto

4.1. $$W = W_{m1}$$

b) per le condizioni di assetto guarnizione

4.2. $$W = \frac{A_m + A_b}{2} f_{B0}$$

c) per le condizioni di prova idraulica

4.3. $$W = W_{mi}$$

La formula 4.2. prevede, in aggiunta al carico minimo richiesto, un margine aggiuntivo per il caso in cui i bulloni vengono serrati più del dovuto. Poiché questo margine a garanzia contro eventuali eccessivi serraggi è soprattutto importante per l'assetto guarnizione fatto a temperatura e pressione atmosferica, detto carico aggiuntivo si calcola solo in queste condizioni. Qualora da parte del progettista venga ravvisata l'opportunità di incrementare il margine di sicurezza contro l'eccessivo serraggio, o di verificare la flangia per il carico complessivo che i bulloni sono in grado di trasmettere, si assume:

$$W = A_b \cdot f_{B0}$$

5. *Momenti sulla flangia.*

I momenti sulla flangia, nelle diverse condizioni di verifica, sono dati da:

a) condizioni di progetto:

$$M_{0p} = M_D + M_T + M_G = H_D \cdot h_D + H_T \cdot h_T + H_G \cdot h_G$$

dove:

$$H_D = \frac{\pi}{4} B^2 p$$

$$H_T = H - H_D$$

$$H_G = W_{m1} - H$$

mentre, h_D, h_T e h_G sono riportati nella tab. 1.U.3.1.;

b) condizioni di assetto guarnizione:

$$M_{0w} = W \cdot \frac{C - G}{2}$$

c) condizioni di prova idraulica:

$$M_{0i} = M_{Di} + M_{Ti} + M_{Gi} = H_{Di} \cdot h_D + H_{Ti} \cdot h_T + H_{Gi} \cdot h_G$$

dove:

$$H_{Di} = \frac{\pi}{4} B^2 p_i; \quad H_{Ti} = H_i - H_{Di}; \quad H_{Gi} = W_{mi} - H_i$$

6. *Sollecitazioni sulla flangia.*

Posto M_0 uguale a:

$M_0 = M_{0p}$ per la verifica nelle condizioni di progetto

$M_0 = M_{0W}$ per la verifica delle condizioni di assetto guarnizione

$M_0 = M_{0i}$ per la verifica nelle condizioni di prova idraulica

ed

$$M = \frac{M_0 \cdot C_F}{B}$$

le sollecitazioni agenti sulla flangia devono essere calcolate di volta in volta nelle verifiche nelle tre condizioni di progetto, di assetto guarnizione e di prova idraulica, con le formule che seguono:

a) Per le flange integrali, per le flange a opzione calcolate come integrali e per le flange libere con codolo:

– sollecitazione longitudinale sul codolo

$$\sigma_H = \frac{F_c \cdot M}{L \cdot g_1^2}$$

– sollecitazione radiale sull'anello

$$\sigma_R = \frac{(1,33 \cdot s \cdot e + 1) \cdot M}{L \cdot s^2}$$

– sollecitazione tangenziale sull'anello

$$\sigma_T = \frac{Y \cdot M}{s^2} - Z \cdot \sigma_R$$

b) Per le flange libere ad anello (incluse quelle di tipo ad opzione calcolate come quelle di tipo libero ad anello) con sezione trasversale rettangolare:

– sollecitazione tangenziale sulla flangia

$$\sigma_T = \frac{Y \cdot M}{s^2}$$

– sollecitazione radiale e longitudinale

$$\sigma_R = \sigma_H = 0$$

7. *Sollecitazioni ammissibili.*

7.1. Le sollecitazioni relative alla flangia, calcolate nel precedente punto 6, non devono superare i seguenti limiti:

7.1.1. $\sigma_H \leq$ al minor valore tra $1,5 f_F$ e $1,5 f_c$ per:

– flange integrali con codolo saldato al collare, al tronchetto o tubo, alla parete del cilindro (cfr. figura 1.U.3.1.b. part. 1. 2 e 3);

– flange del tipo a opzione calcolate come integrali (cfr. figura 1.U.3.1.c. e part. 1, 2, 3, 4);

– flange di tipo integrale per le quali il materiale del collare costituisce il codolo della flangia (cfr. figura 1.U.3.1.b. part. 4 e 5.).

7.1.2. $\sigma_H \leq 1,5 f_F$ per tutti gli altri tipi precedentemente non menzionati per i quali si calcola il valore di σ_H (flange di cui alla figura 1.U.3.1.a., se dotate di codolo).

7.1.3. $\sigma_H \leq f_F$ per flange in ghisa

7.2. $\sigma_R \leq f_F$

7.3. $\sigma_T \leq f_F$

7.4. $0,5\,(\sigma_H + \sigma_R) \leq f_F$

7.5. $0,5\,(\sigma_H + \sigma_T) \leq f_F$

7.6. Nel presente punto 7, f_F e f_c di volta in volta assumono i valori f_F, f_{F0}, f_{Fi} e f_c, f_{c0}, f_{ci}.

7.7. Nel caso di flange di tipo libero a cartella (figura 1.U.3.1.a. part. 1 e 3) in cui la guarnizione è posta in modo tale che la cartella risulta soggetta a sollecitazione di taglio, tale sollecitazione non può superare 0,8 volte la sollecitazione massima ammissibile del materiale della cartella stessa a temperatura ambiente ed a temperatura di progetto rispettivamente per le condizioni di assetto guarnizione e di progetto.

Nel caso di flange saldate del tipo di quelle mostrate in figura 1.U.3.1.a. part. 2, 4 e 5, in figura 1.U.3.1.b. part. 5 e in figura 1.U.3.1.c. part 1, 2 e 3, per le quali il tronchetto, il tubo o la parte cilindrica si estendono fino alla superficie superiore della flangia contribuendo a formare la superficie di contatto della flangia con la guarnizione, la sollecitazione di taglio trasmessa dalla saldatura non deve superare $0,8 f_c$.

Il valore della sollecitazione di taglio deve essere calcolato in funzione dei valori di carico W_{m1}, W_{m0}, W_{mi}.

8. *Flange sottoposte a pressione esterna.*

8.1. *Area complessiva dei bulloni.*

Per le flange sottoposte a pressione esterna i carichi W_{m1} e W_{mi} sono nulli per cui l'area dei bulloni deve essere almeno uguale al valore:

$$A_{m0} = \frac{W_{m0}}{f_{B0}}$$

8.2. La verifica delle flange con superfici di contatto contenute entro la circonferenza dei fori dei bulloni si esegue secondo le formule indicate ai punti 5, 6 e 7 ponendo:

– in condizioni di progetto

$$M_{0p} = H_D \cdot (h_D - h_G) + H_T \cdot (h_T - h_G)$$

– in condizioni di assetto guarnizione

$$M_{0W} = W \cdot h_G$$

– in condizioni di prova idraulica

$$M_{0i} = H_{Di} \cdot (h_D - h_G) + H_{Ti} \cdot (h_T - h_G)$$

dove:

$$W = \frac{A_{m0} + A_b}{2} \cdot f_{B0}; \qquad H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot p$$

$$H_D = \frac{\pi}{4} \cdot B^2 \cdot p; \qquad H_T = H - H_D$$

$$H_i = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot p_i; \qquad H_{Di} = \frac{\pi}{4} \cdot B^2 \cdot p_i$$

$$H_{Ti} = H_i - H_{Di}$$

Tabella 1.U.3.1. - Bracci dei carichi agenti sulla flangia

TIPO DI FLANGE	h_D	h_T	h_G
Flange tipo integrale - Fig. 1.U.3.1.b., particolari 1, 2, 3, 4, 5	$R + 0,5\,g_1$	$\frac{R + g_1 + h_G}{2}$	$\frac{C - G}{2}$
Flange libere, salvo le flange con giunti a sovrapposizione - Fig. 1.U.3.1.a., particolari 2, 4, 5	$\frac{C - B}{2}$	$\frac{h_D + h_G}{2}$	$\frac{C - G}{2}$
Flange per giunti a sovrapposizione (a cartella) - Fig. 1.U.3.1.a., particolari 1 e 3	$\frac{C - B}{2}$	$\frac{C - G}{2}$	$\frac{C - G}{2}$

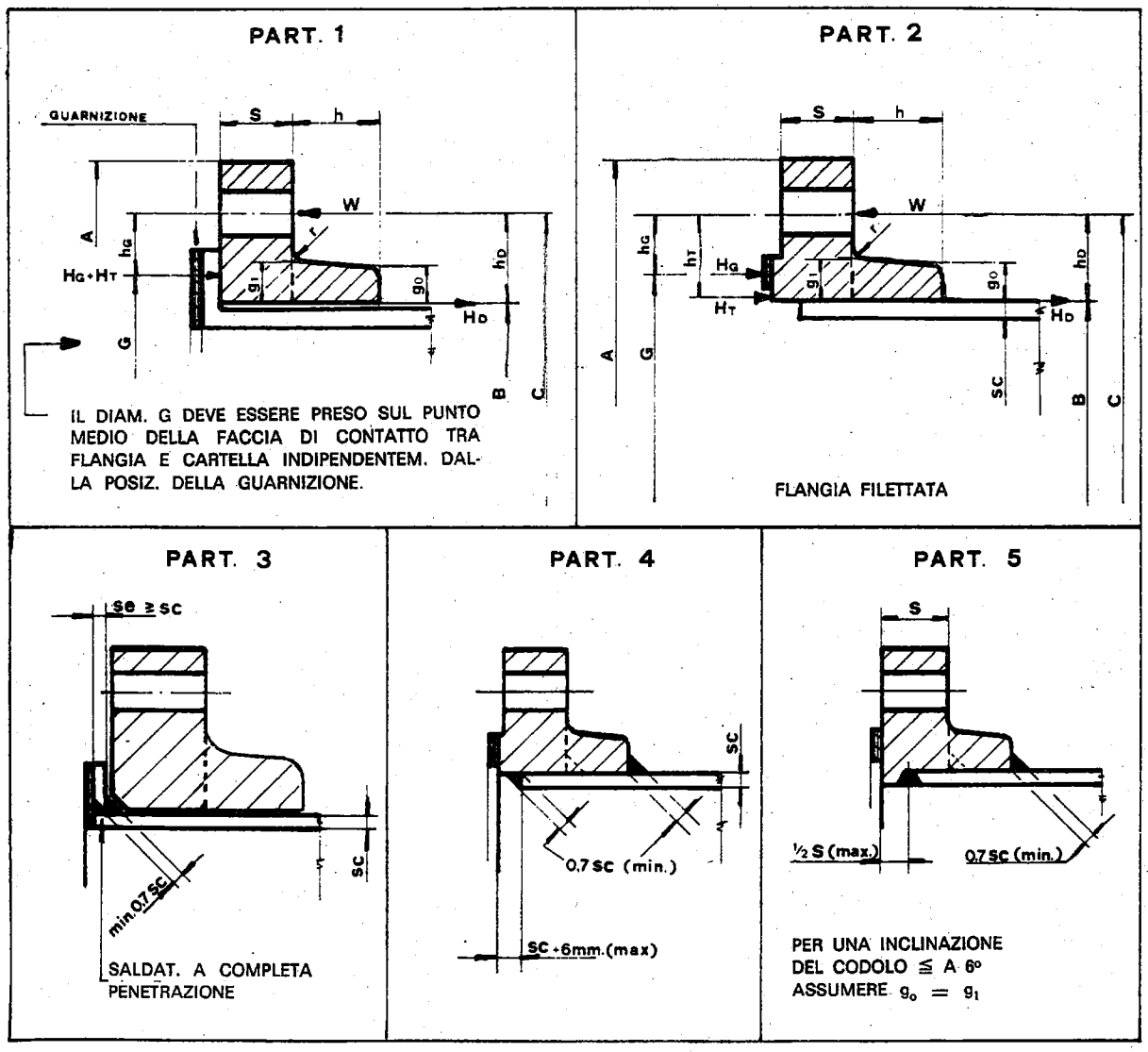


Figura 1.U.3.1.(a) – Flange libere

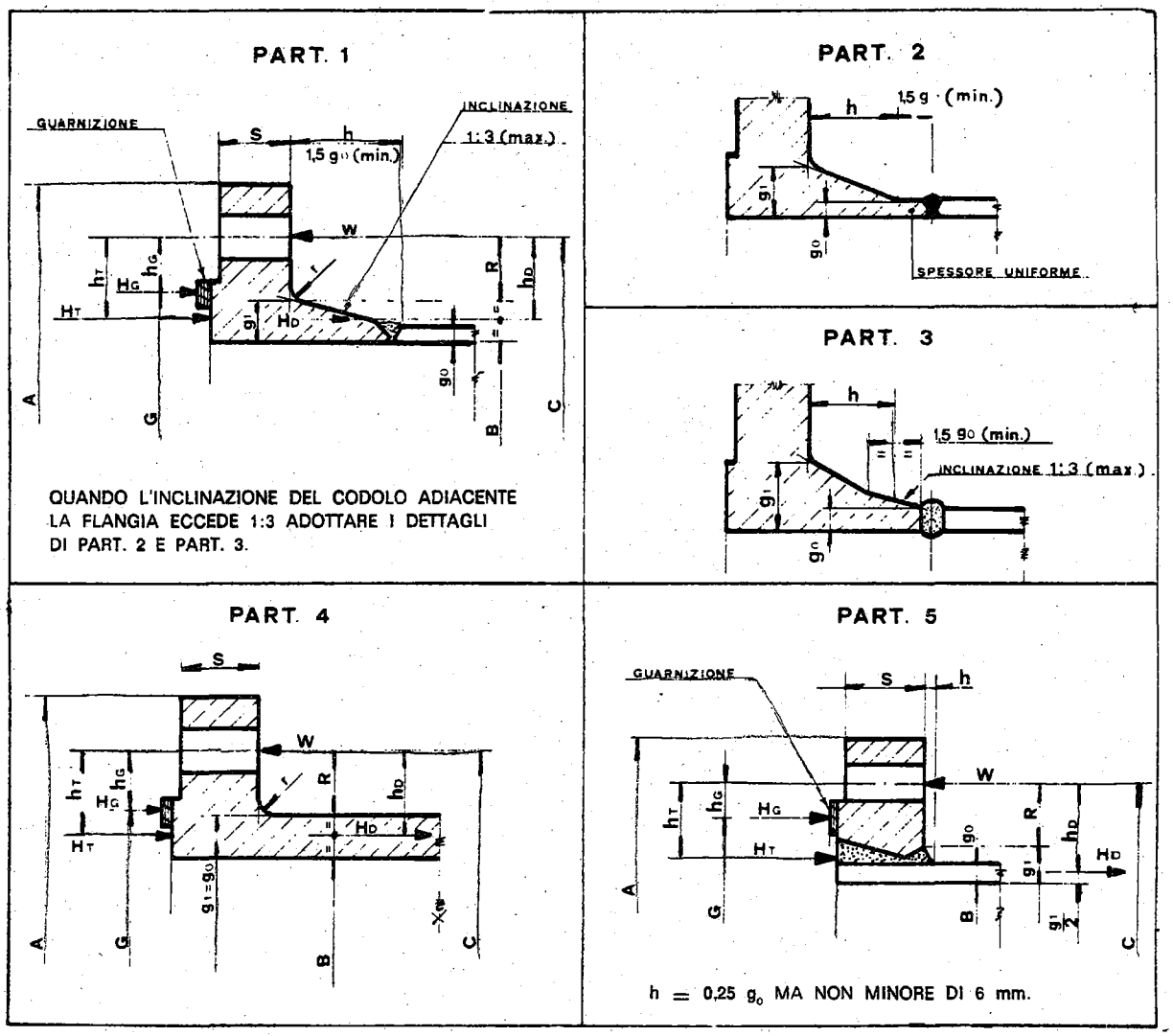


Figura 1.U.3.1.(b) – Flange integrali

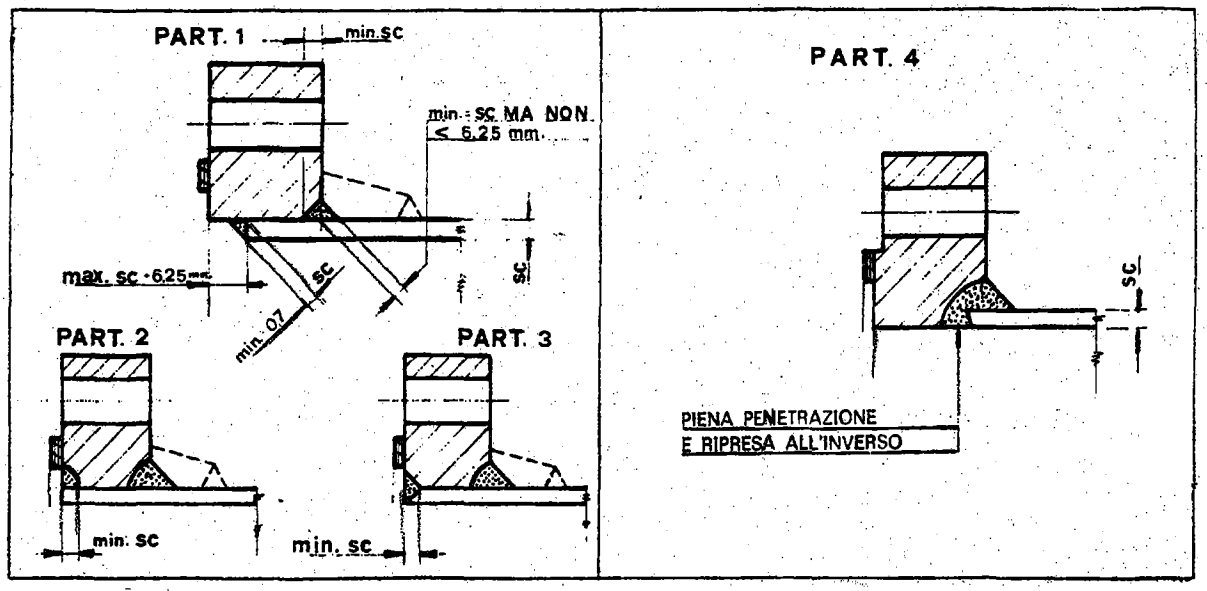


Figura 1.U.3.1.(c) – Flange del tipo "a opzione"

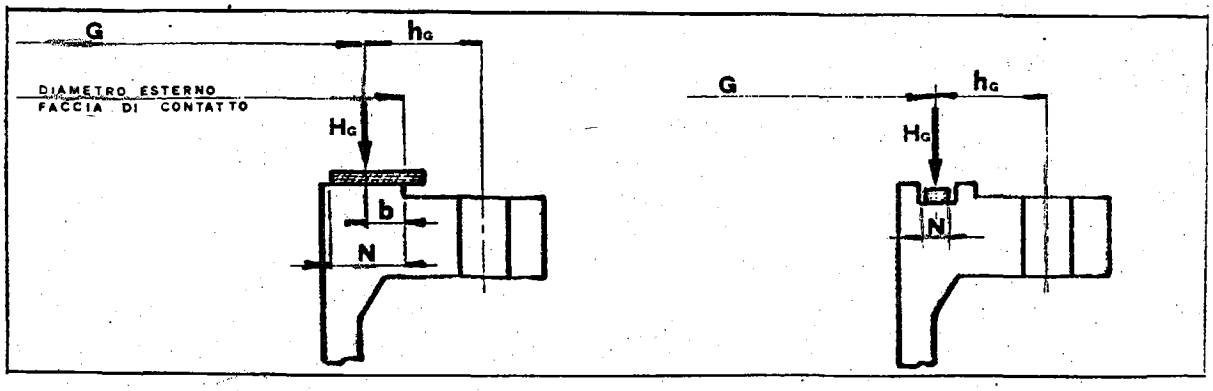


Figura 1.U.3.2. – Posizione della forza di reazione della guarnizione (H_G)

Tabella 1.U.3.2. - Guarnizioni: materiali e tipi

Tipo e materiale guarnizione (**)			Coefficiente m	Carico unitario di assetto y MPa	Dettaglio guarnizione	Riferim. Tabella 1.U.3.3. Superfici di contatto da usare	Riferim. Tabella 1.U.3.3. colonna da usare
Ad autotenuta Metalliche o in elastomero (es. O ring)			0	0	-	-	-
Elastomeri non telati con bassa percentuale in fibra sintetica Durezza shore < 75 Durezza shore ≥ 75			 0.50 1.00	 0 1,37		1a, 1b, 1c, 1d, 4.5 * *	II
Fibre sintetiche con legante, teflon	Spess. (mm)	3	2	11,02			
		2	2.75	25,5			
		0,8	3.50	44,8			
Elastomeri con inserzione di tessuto di cotone			1.25	2,8			
Elastomeri con inserzione di tessuto in fibra sintetiche con o senza rete di rinforzo		3 strati	2.25	15,2			
		2 strati	2.50	20,0			
		1 strato	2.75	25,5			
Fibra vegetale			1.75	7,6			
A spirale: spire alternate in fibre zsintetiche e metallo	acc al carb.		2.50	68,9		1a, 1b,	
	monel o acc. inox		3.00	68,9			
Fibre sintetiche rivestite in metallo ondulato	alluminio ricotto rame ricotto ferro o acciaio dolce monel o acc. al 4-6% Cr acciai inox		2.50 2.75 3.00 3.25 3.50	20,0 25,5 31,0 37,9 44,8			
Metallo ondulato	alluminio ricotto rame ricotto o ottone ferro o acciaio dolce monel o acc. al 4-6% Cr acciai inox		2.75 3.00 3.25 3.50 3.75	25,5 31,0 37,9 44,8 52,4		1a, 1b, 1c, 1d,	
Fibre sintetiche rivestite in metallo piano	alluminio ricotto rame ricotto o ottone ferro o acciaio dolce monel acc. al 4-6% Cr acciai inox		3.25 3.50 3.75 3.50 3.75 3.75	37,9 44,8 52,4 55,1 62,0 62,0		1a, 1b, 1c*, 1d*, 2*	
Metallo pieno scanalato	alluminio ricotto rame ricotto o ottone ferro o acciaio dolce monel o acc. al 4-6% Cr acciai inox		3.25 3.50 3.75 3.75 4.25	37,9 44,8 52,4 62,0 69,6		1a, 1b, 1c, 1d, 2,3	
Piana in metallo pieno	alluminio ricotto rame ricotto o ottone ferro o acciaio dolce monel o acc. al 4-6% Cr acciai inox		4.00 4.75 5.50 6.00 6.50	60,6 89,6 124,0 150,0 179,0		1a, 1b, 1c, 1d, 2,3, 4,5	I
In metallo ad anello (Ring Joint) Lenticolare in metallo	ferro o acciaio dolce monel o acc. al 4-6% Cr acciai inox		5.50 6.00 6.50	124,0 150,0 179,0		6,7	

NOTE:

* La superficie della guarnizione sulla quale il rivestimento metallico si interrompe o si sovrappone non deve essere posta in contatto col risalto («nubbin»).

** Per fibra sintetica deve intendersi un materiale avente caratteristiche equivalenti a quelle dell'amianto con legante, proibito dalle disposizioni attualmente vigenti.

Tabella 1.U.3.3. - Guarnizioni: larghezza di assetto

Dettaglio superifici di contatto		Valore convenzionale della larghezza di assetto della guarnizione b	
		colonna I	colonna II
1a		$\frac{N}{2}$	$\frac{N}{2}$
1b*			
1c	$\frac{N}{2} < W \leq N$	$\frac{W+T}{2}$	$\frac{W+T}{2}$
1d*	$\frac{N}{2} < W \leq N$	$\left(\frac{W+N}{4}\ max\right)$	$\left(\frac{W+N}{4}\ max\right)$
2	$W \leq \frac{N}{2}$	$\frac{W+N}{4}$	$\frac{W+3N}{8}$
3	$W \leq \frac{N}{2}$	$\frac{N}{4}\ min.$	$\frac{3N}{8}\ min.$
4*		$\frac{3N}{8}$	$\frac{7N}{16}$
5*		$\frac{N}{4}$	$\frac{3N}{8}$
6		$\frac{W}{8}$	
7		$\frac{W}{8}$	

Larghezza utile di assetto della guarnizione b

$b = b_o$ quando $b_o \leq 6,25\ mm$

$b = 2.5\sqrt{b_o}$ quando $b_o > 6,25\ mm$

NOTE:

* Quando la profondità delle rigature non eccede 0,4 mm e il passo è inferiore a 0,8 mm, la larghezza di assetto della guarnizione deve essere determinata come da dettagli 1b e 1d.

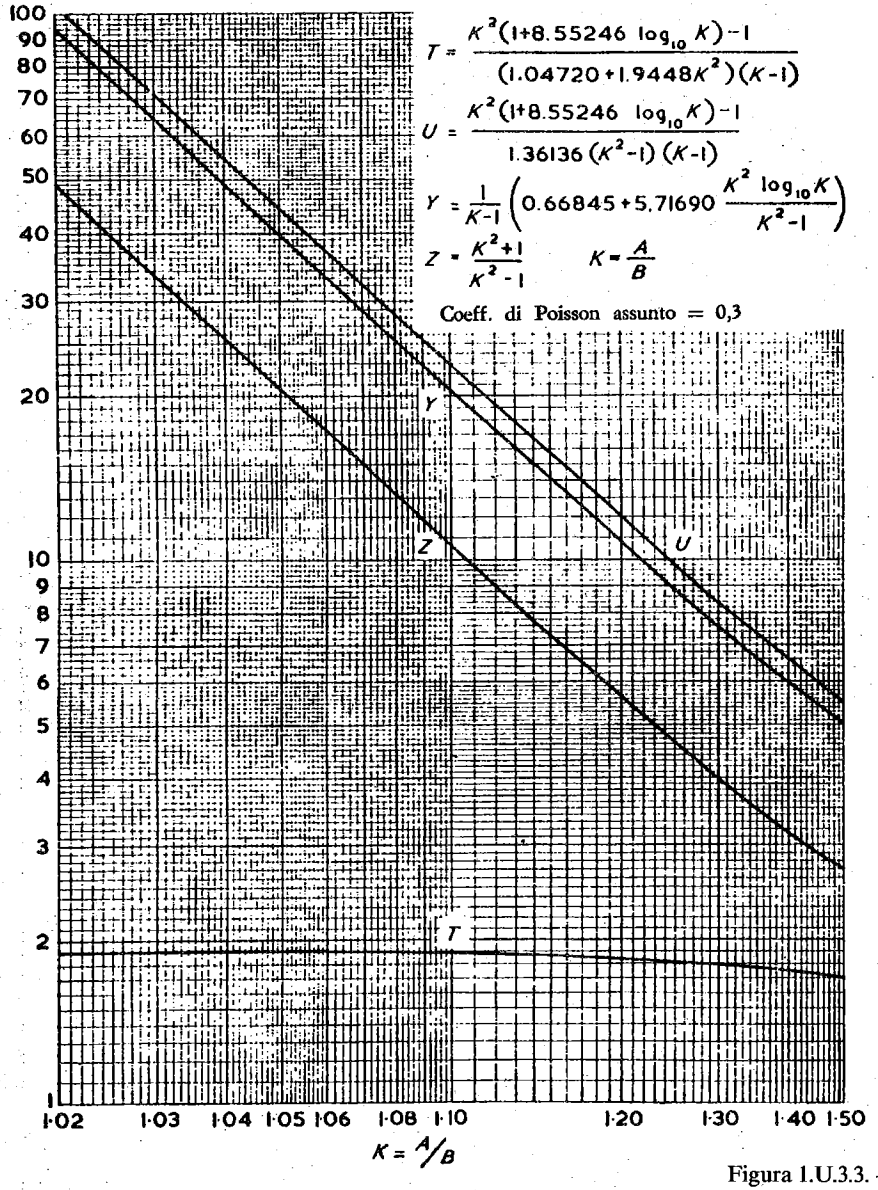
$$T = \frac{K^2(1+8.55246\ \log_{10} K)-1}{(1.04720+1.9448K^2)(K-1)}$$

$$U = \frac{K^2(1+8.55246\ \log_{10} K)-1}{1.36136\,(K^2-1)\,(K-1)}$$

$$Y = \frac{1}{K-1}\left(0.66845+5.71690\ \frac{K^2\ \log_{10} K}{K^2-1}\right)$$

$$Z = \frac{K^2+1}{K^2-1} \qquad K = \frac{A}{B}$$

Coeff. di Poisson assunto = 0,3



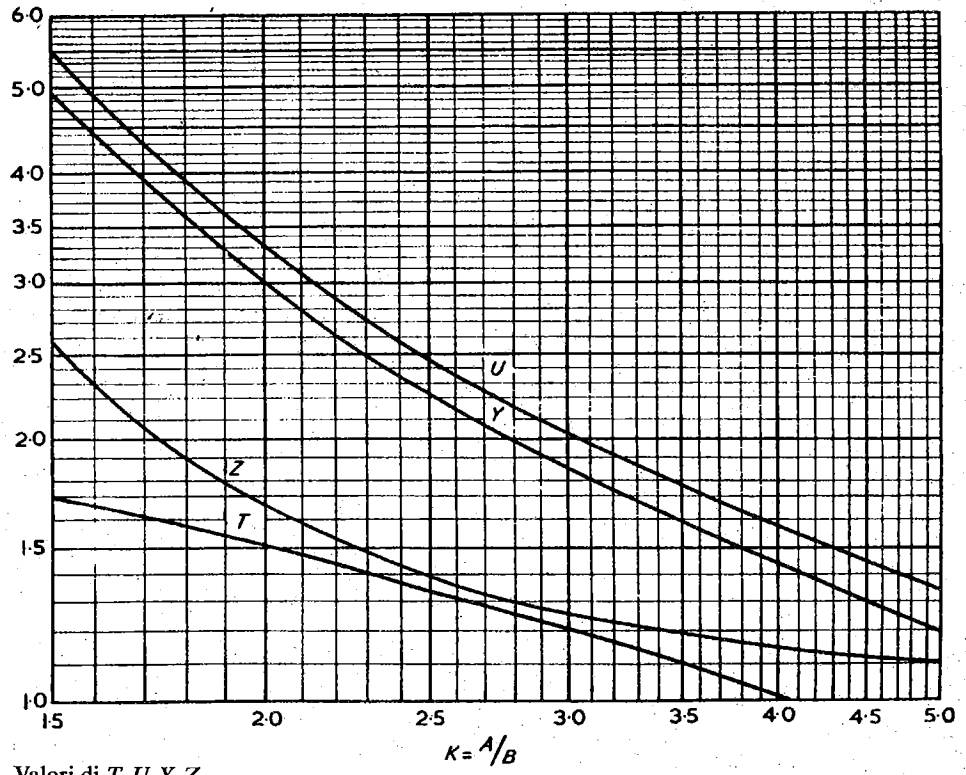


Figura I.U.3.3. – Valori di *T, U, Y, Z*

Tabella 1.U.3.4. – Valori di *T, U, Y, Z* in funzione di K

K	T	Z	Y	U	K	T	Z	Y	U	K	T	Z	Y	U
1.020	1.90	50.50	96.73	106.30	1.060	1.89	17.18	33.06	36.33	1.100	1.88	10.52	20.32	22.33
1.021	1.90	48.12	92.18	101.30	1.061	1.89	16.91	32.54	35.76	1.101	1.88	10.43	20.13	22.12
1.022	1.90	45.96	88.05	96.76	1.062	1.89	16.64	32.03	35.20	1.102	1.88	10.33	19.94	21.92
1.023	1.90	43.98	84.27	92.61	1.063	1.89	16.39	31.54	34.66	1.103	1.88	10.23	19.76	21.72
1.024	1.90	42.17	80.81	88.81	1.064	1.89	16.14	31.07	34.14	1.104	1.88	10.14	19.58	21.52
1.025	1.90	40.51	77.63	85.31	1.065	1.89	15.90	30.61	33.64	1.105	1.88	10.05	19.41	21.33
1.026	1.90	38.97	74.69	82.08	1.066	1.89	15.67	30.17	33.15	1.106	1.88	9.96	19.24	21.14
1.027	1.90	37.54	71.97	79.09	1.067	1.89	15.44	29.73	32.67	1.107	1.87	9.87	19.07	20.95
1.028	1.90	36.22	69.44	76.31	1.068	1.89	15.22	29.31	32.21	1.108	1.87	9.78	18.90	20.77
1.029	1.90	34.99	67.09	73.73	1.069	1.89	15.01	28.91	31.77	1.109	1.87	9.70	18.74	20.59
1.030	1.90	33.84	64.90	71.32	1.070	1.89	14.80	28.51	31.33	1.110	1.87	9.62	18.58	20.42
1.031	1.90	32.77	62.84	69.06	1.071	1.89	14.60	28.13	30.91	1.111	1.87	9.54	18.42	20.25
1.032	1.90	31.76	60.92	66.94	1.072	1.89	14.41	27.75	30.50	1.112	1.87	9.46	18.27	20.08
1.033	1.90	30.81	59.11	64.95	1.073	1.89	14.22	27.39	30.10	1.113	1.87	9.38	18.12	19.91
1.034	1.90	29.92	57.41	63.08	1.074	1.89	14.03	27.04	29.71	1.114	1.87	9.30	17.97	19.75
1.035	1.90	29.08	55.80	61.32	1.075	1.89	13.85	26.69	29.33	1.115	1.87	9.22	17.83	19.59
1.036	1.90	28.29	54.29	59.65	1.076	1.89	13.68	26.36	28.96	1.116	1.87	9.15	17.68	19.43
1.037	1.90	27.54	52.85	58.08	1.077	1.89	13.51	26.03	28.60	1.117	1.87	9.07	17.54	19.28
1.038	1.90	26.83	51.49	56.59	1.078	1.89	13.34	25.71	28.25	1.118	1.87	9.00	17.40	19.12
1.039	1.90	26.15	50.20	55.17	1.079	1.88	13.18	25.40	27.91	1.119	1.87	8.93	17.27	18.97
1.040	1.90	25.51	48.98	53.82	1.080	1.88	13.02	25.10	27.58	1.120	1.87	8.86	17.13	18.83
1.041	1.90	24.90	47.81	52.54	1.081	1.88	12.87	24.80	27.26	1.121	1.87	8.79	17.00	18.68
1.042	1.90	24.32	46.71	51.32	1.082	1.88	12.71	24.52	26.94	1.122	1.87	8.73	16.87	18.54
1.043	1.90	23.77	45.65	50.16	1.083	1.88	12.57	24.23	26.63	1.123	1.87	8.66	16.74	18.40
1.044	1.90	23.24	44.64	49.05	1.084	1.88	12.42	23.96	26.33	1.124	1.87	8.59	16.62	18.26
1.045	1.90	22.73	43.67	47.99	1.085	1.88	12.29	23.69	26.04	1.125	1.87	8.53	16.49	18.13
1.046	1.90	22.25	42.75	46.98	1.086	1.88	12.15	23.43	25.75	1.126	1.87	8.47	16.37	17.99
1.047	1.90	21.79	41.87	46.01	1.087	1.88	12.02	23.18	25.47	1.127	1.87	8.40	16.25	17.86
1.048	1.90	21.35	41.02	45.08	1.088	1.88	11.88	22.93	25.19	1.128	1.87	8.34	16.14	17.73
1.049	1.89	20.92	40.21	44.18	1.089	1.88	11.76	22.68	24.93	1.129	1.87	8.28	16.02	17.60
1.050	1.89	20.51	39.43	43.33	1.090	1.88	11.63	22.44	24.66	1.130	1.87	8.22	15.91	17.48
1.051	1.89	20.12	38.68	42.50	1.091	1.88	11.51	22.21	24.41	1.131	1.87	8.16	15.79	17.36
1.052	1.89	19.74	37.96	41.71	1.092	1.88	11.39	21.98	24.16	1.132	1.87	8.11	15.68	17.23
1.053	1.89	19.38	37.27	40.95	1.093	1.88	11.27	21.76	23.91	1.133	1.87	8.05	15.57	17.11
1.054	1.89	19.03	36.60	40.22	1.094	1.88	11.16	21.54	23.67	1.134	1.86	7.99	15.47	17.00
1.055	1.89	18.70	35.95	39.51	1.095	1.88	11.05	21.33	23.43	1.135	1.86	7.94	15.36	16.88
1.056	1.89	18.37	35.33	38.83	1.096	1.88	10.94	21.12	23.20	1.136	1.86	7.88	15.26	16.77
1.057	1.89	18.06	34.74	38.17	1.097	1.88	10.83	20.91	22.98	1.137	1.86	7.83	15.15	16.65
1.058	1.89	17.76	34.16	37.54	1.098	1.88	10.73	20.71	22.76	1.138	1.86	7.78	15.05	16.54
1.059	1.89	17.46	33.60	36.92	1.099	1.88	10.62	20.51	22.54	1.139	1.86	7.73	14.95	16.43

(segue)

Tabella 1.U.3.4. – Valori di *T, U, Y, Z* in funzione di K (segue)

K	T	Z	Y	U	K	T	Z	Y	U	K	T	Z	Y	U
1.140	1.86	7.68	14.85	16.32	1.180	1.85	6.10	11.81	12.98	1.220	1.83	5.10	9.88	10.85
1.141	1.86	7.63	14.76	16.22	1.181	1.85	6.07	11.76	12.92	1.221	1.83	5.07	9.84	10.81
1.142	1.86	7.58	14.66	16.11	1.182	1.85	6.04	11.70	12.85	1.222	1.83	5.05	9.80	10.77
1.143	1.86	7.53	14.57	16.01	1.183	1.85	6.01	11.64	12.79	1.223	1.83	5.03	9.76	10.73
1.144	1.86	7.48	14.47	15.91	1.184	1.85	5.98	11.58	12.73	1.224	1.83	5.01	9.72	10.68
1.145	1.86	7.43	14.38	15.81	1.185	1.84	5.95	11.53	12.67	1.225	1.83	5.00	9.68	10.64
1.146	1.86	7.38	14.29	15.71	1.186	1.84	5.92	11.47	12.61	1.226	1.83	4.98	9.65	10.60
1.147	1.86	7.34	14.20	15.61	1.187	1.84	5.89	11.42	12.55	1.227	1.83	4.96	9.61	10.56
1.148	1.86	7.29	14.12	15.51	1.188	1.84	5.86	11.36	12.49	1.228	1.83	4.94	9.57	10.52
1.149	1.86	7.25	14.03	15.42	1.189	1.84	5.83	11.31	12.43	1.229	1.83	4.92	9.53	10.48
1.150	1.86	7.20	13.94	15.32	1.190	1.84	5.81	11.25	12.37	1.230	1.83	4.90	9.50	10.44
1.151	1.86	7.16	13.86	15.23	1.191	1.84	5.78	11.20	12.31	1.231	1.83	4.88	9.46	10.40
1.152	1.86	7.11	13.77	15.14	1.192	1.84	5.75	11.15	12.25	1.232	1.83	4.86	9.43	10.36
1.153	1.86	7.07	13.69	15.05	1.193	1.84	5.73	11.10	12.19	1.233	1.83	4.84	9.39	10.32
1.154	1.86	7.03	13.61	14.96	1.194	1.84	5.70	11.05	12.14	1.234	1.83	4.83	9.36	10.28
1.155	1.86	6.99	13.53	14.87	1.195	1.84	5.67	11.00	12.08	1.235	1.82	4.81	9.32	10.24
1.156	1.86	6.95	13.45	14.78	1.196	1.84	5.65	10.95	12.03	1.236	1.82	4.79	9.29	10.20
1.157	1.86	6.91	13.37	14.70	1.197	1.84	5.62	10.90	11.97	1.237	1.82	4.77	9.25	10.17
1.158	1.86	6.87	13.30	14.61	1.198	1.84	5.60	10.85	11.92	1.238	1.82	4.75	9.22	10.13
1.159	1.86	6.83	13.22	14.53	1.199	1.84	5.57	10.80	11.87	1.239	1.82	4.74	9.18	10.09
1.160	1.85	6.79	13.15	14.45	1.200	1.84	5.55	10.75	11.81	1.240	1.82	4.72	9.15	10.05
1.161	1.85	6.75	13.07	14.36	1.201	1.84	5.52	10.70	11.76	1.241	1.82	4.70	9.12	10.02
1.162	1.85	6.71	13.00	14.28	1.202	1.84	5.50	10.65	11.71	1.242	1.82	4.69	9.08	9.98
1.163	1.85	6.67	12.92	14.20	1.203	1.84	5.47	10.61	11.66	1.243	1.82	4.67	9.05	9.95
1.164	1.85	6.64	12.85	14.12	1.204	1.84	5.45	10.56	11.61	1.244	1.82	4.65	9.02	9.91
1.165	1.85	6.60	12.78	14.05	1.205	1.84	5.42	10.52	11.56	1.245	1.82	4.64	8.99	9.88
1.166	1.85	6.56	12.71	13.97	1.206	1.84	5.40	10.47	11.51	1.246	1.82	4.62	8.95	9.84
1.167	1.85	6.53	12.64	13.89	1.207	1.84	5.38	10.43	11.46	1.247	1.82	4.60	8.92	9.81
1.168	1.85	6.49	12.58	13.82	1.208	1.84	5.35	10.38	11.41	1.248	1.82	4.59	8.89	9.77
1.169	1.85	6.46	12.51	13.74	1.209	1.84	5.33	10.34	11.36	1.249	1.82	4.57	8.86	9.74
1.170	1.85	6.42	12.44	13.67	1.210	1.83	5.31	10.29	11.31	1.250	1.82	4.56	8.83	9.70
1.171	1.85	6.39	12.37	13.60	1.211	1.83	5.29	10.25	11.26	1.251	1.82	4.54	8.80	9.67
1.172	1.85	6.35	12.31	13.53	1.212	1.83	5.26	10.21	11.22	1.252	1.82	4.52	8.77	9.64
1.173	1.85	6.32	12.25	13.46	1.213	1.83	5.24	10.16	11.17	1.253	1.82	4.51	8.74	9.60
1.174	1.85	6.29	12.18	13.39	1.214	1.83	5.22	10.12	11.12	1.254	1.82	4.49	8.71	9.57
1.175	1.85	6.25	12.12	13.32	1.215	1.83	5.20	10.08	11.08	1.255	1.82	4.48	8.68	9.54
1.176	1.85	6.22	12.06	13.25	1.216	1.83	5.18	10.04	11.03	1.256	1.82	4.46	8.65	9.50
1.177	1.85	6.19	12.00	13.18	1.217	1.83	5.16	10.00	10.99	1.257	1.82	4.45	8.62	9.47
1.178	1.85	6.16	11.93	13.11	1.218	1.83	5.14	9.96	10.94	1.258	1.82	4.43	8.59	9.44
1.179	1.85	6.13	11.87	13.05	1.219	1.83	5.12	9.92	10.90	1.259	1.81	4.42	8.56	9.41

(segue)

Tabella 1.U.3.4. – Valori di *T, U, Y, Z* in funzione di K (segue)

K	T	Z	Y	U	K	T	Z	Y	U	K	T	Z	Y	U
1.260	1.81	4.40	8.53	9.38	1.300	1.80	3.90	7.55	8.29	1.340	1.78	3.51	6.79	7.46
1.261	1.81	4.39	8.51	9.35	1.301	1.80	3.89	7.53	8.27	1.341	1.78	3.51	6.77	7.44
1.262	1.81	4.37	8.48	9.32	1.302	1.80	3.88	7.50	8.25	1.342	1.78	3.50	6.76	7.42
1.263	1.81	4.36	8.45	9.29	1.303	1.80	3.87	7.48	8.22	1.343	1.78	3.49	6.74	7.41
1.264	1.81	4.35	8.42	9.25	1.304	1.80	3.86	7.46	8.20	1.344	1.78	3.48	6.72	7.39
1.265	1.81	4.33	8.39	9.22	1.305	1.80	3.84	7.44	8.18	1.345	1.78	3.47	6.71	7.37
1.266	1.81	4.32	8.37	9.19	1.306	1.79	3.83	7.42	8.15	1.346	1.78	3.46	6.69	7.35
1.267	1.81	4.30	8.34	9.16	1.307	1.79	3.82	7.40	8.13	1.347	1.78	3.46	6.67	7.33
1.268	1.81	4.29	8.31	9.14	1.308	1.79	3.81	7.38	8.11	1.348	1.78	3.45	6.66	7.32
1.269	1.81	4.28	8.29	9.11	1.309	1.79	3.80	7.36	8.09	1.349	1.78	3.44	6.64	7.30
1.270	1.81	4.26	8.26	9.08	1.310	1.79	3.79	7.34	8.06	1.350	1.78	3.43	6.63	7.28
1.271	1.81	4.25	8.23	9.05	1.311	1.79	3.78	7.32	8.04	1.351	1.78	3.42	6.61	7.27
1.272	1.81	4.24	8.21	9.02	1.312	1.79	3.77	7.30	8.02	1.352	1.78	3.42	6.60	7.25
1.273	1.81	4.22	8.18	8.99	1.313	1.79	3.76	7.28	8.00	1.353	1.77	3.41	6.58	7.23
1.274	1.81	4.21	8.16	8.96	1.314	1.79	3.75	7.26	7.98	1.354	1.77	3.40	6.56	7.21
1.275	1.81	4.20	8.13	8.93	1.315	1.79	3.74	7.24	7.96	1.355	1.77	3.39	6.55	7.20
1.276	1.81	4.18	8.10	8.91	1.316	1.79	3.73	7.22	7.93	1.356	1.77	3.38	6.53	7.18
1.277	1.81	4.17	8.08	8.88	1.317	1.79	3.72	7.20	7.91	1.357	1.77	3.38	6.52	7.16
1.278	1.81	4.16	8.05	8.85	1.318	1.79	3.71	7.18	7.89	1.358	1.77	3.37	6.50	7.15
1.279	1.81	4.15	8.03	8.82	1.319	1.79	3.70	7.16	7.87	1.359	1.77	3.36	6.49	7.13
1.280	1.81	4.13	8.01	8.80	1.320	1.79	3.69	7.14	7.85	1.360	1.77	3.35	6.47	7.11
1.281	1.81	4.12	7.98	8.77	1.321	1.79	3.68	7.13	7.83	1.361	1.77	3.35	6.46	7.10
1.282	1.81	4.11	7.96	8.74	1.322	1.79	3.67	7.11	7.81	1.362	1.77	3.34	6.44	7.08
1.283	1.80	4.10	7.93	8.72	1.323	1.79	3.67	7.09	7.79	1.363	1.77	3.33	6.43	7.06
1.284	1.80	4.08	7.91	8.69	1.324	1.79	3.66	7.07	7.77	1.364	1.77	3.32	6.41	7.05
1.285	1.80	4.07	7.88	8.66	1.325	1.79	3.65	7.05	7.75	1.365	1.77	3.32	6.40	7.03
1.286	1.80	4.06	7.86	8.64	1.326	1.79	3.64	7.03	7.73	1.366	1.77	3.31	6.39	7.02
1.287	1.80	4.05	7.84	8.61	1.327	1.79	3.63	7.02	7.71	1.367	1.77	3.30	6.37	7.00
1.288	1.80	4.04	7.81	8.59	1.328	1.79	3.62	7.00	7.69	1.368	1.77	3.30	6.36	6.99
1.289	1.80	4.02	7.79	8.56	1.329	1.78	3.61	6.98	7.67	1.369	1.77	3.29	6.34	6.97
1.290	1.80	4.01	7.77	8.54	1.330	1.78	3.60	6.96	7.65	1.370	1.77	3.28	6.33	6.95
1.291	1.80	4.00	7.75	8.51	1.331	1.78	3.59	6.94	7.63	1.371	1.77	3.27	6.31	6.94
1.292	1.80	3.99	7.72	8.49	1.332	1.78	3.58	6.93	7.61	1.372	1.77	3.27	6.30	6.92
1.293	1.80	3.98	7.70	8.46	1.333	1.78	3.57	6.91	7.59	1.373	1.77	3.26	6.29	6.91
1.294	1.80	3.97	7.68	8.44	1.334	1.78	3.57	6.89	7.57	1.374	1.77	3.25	6.27	6.89
1.295	1.80	3.95	7.66	8.41	1.335	1.78	3.56	6.87	7.55	1.375	1.77	3.25	6.26	6.88
1.296	1.80	3.94	7.63	8.39	1.336	1.78	3.55	6.86	7.54	1.376	1.76	3.24	6.24	6.86
1.297	1.80	3.93	7.61	8.36	1.337	1.78	3.54	6.84	7.52	1.377	1.76	3.23	6.23	6.85
1.298	1.80	3.92	7.59	8.34	1.338	1.78	3.53	6.82	7.50	1.378	1.76	3.22	6.22	6.83
1.299	1.80	3.91	7.57	8.32	1.339	1.78	3.52	6.81	7.48	1.379	1.76	3.22	6.20	6.82

(segue)

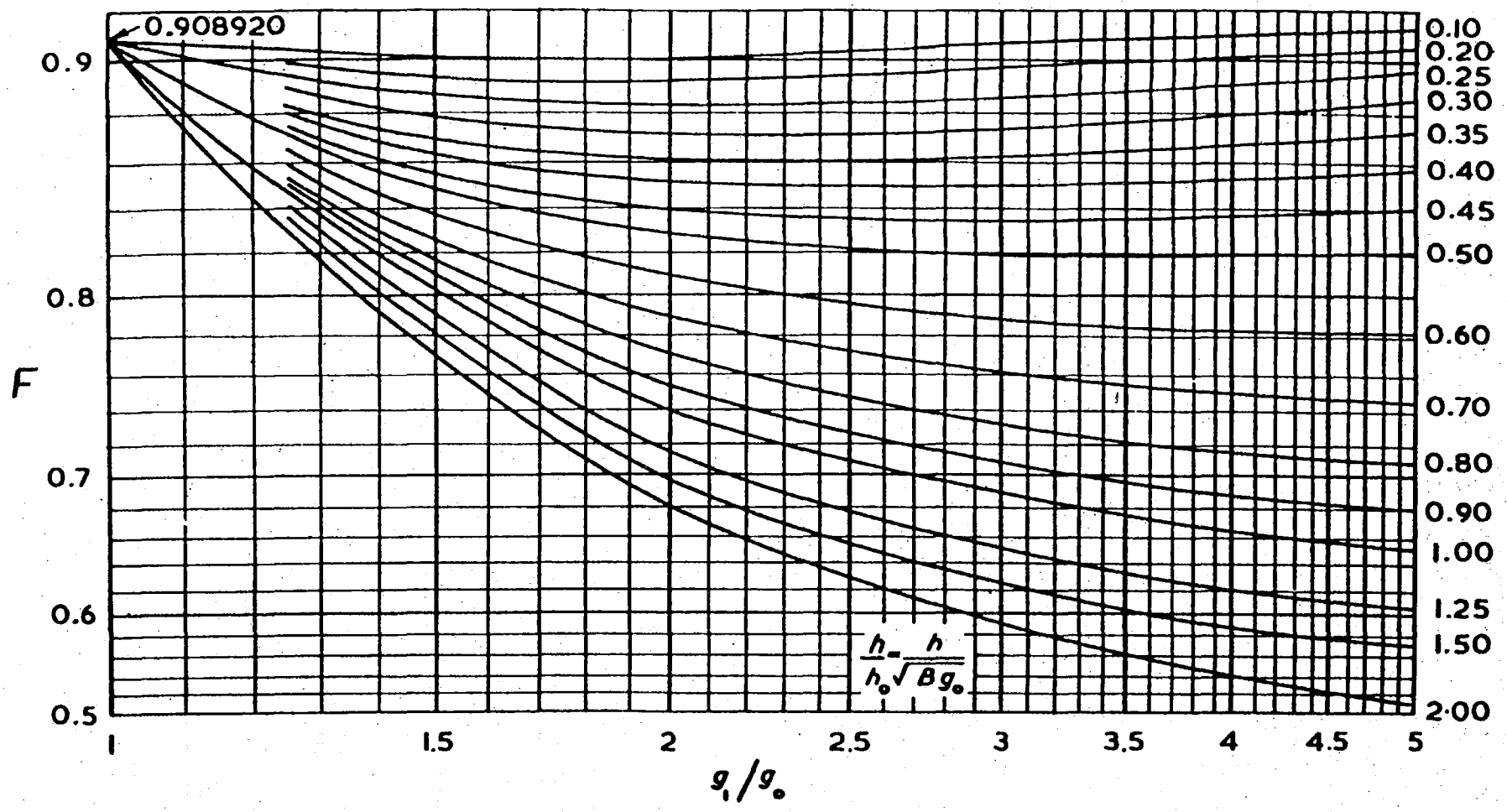
Tabella 1.U.3.4. – Valori di *T, U, Y, Z* in funzione di K (segue)

K	T	Z	Y	U	K	T	Z	Y	U	K	T	Z	Y	U
1.380	1.76	3.21	6.19	6.80	1.420	1.75	2.97	5.70	6.27	1.460	1.73	2.77	5.30	5.83
1.381	1.76	3.20	6.18	6.79	1.421	1.75	2.96	5.69	6.26	1.461	1.73	2.76	5.29	5.81
1.382	1.76	3.20	6.16	6.77	1.422	1.74	2.96	5.68	6.24	1.462	1.73	2.76	5.28	5.80
1.383	1.76	3.19	6.15	6.76	1.423	1.74	2.95	5.67	6.23	1.463	1.73	2.75	5.27	5.79
1.384	1.76	3.18	6.14	6.74	1.424	1.74	2.95	5.66	6.22	1.464	1.73	2.75	5.26	5.78
1.385	1.76	3.18	6.12	6.73	1.425	1.74	2.94	5.65	6.21	1.465	1.73	2.74	5.26	5.77
1.386	1.76	3.17	6.11	6.72	1.426	1.74	2.94	5.64	6.20	1.466	1.73	2.74	5.25	5.77
1.387	1.76	3.17	6.10	6.70	1.427	1.74	2.93	5.63	6.18	1.467	1.73	2.74	5.24	5.76
1.388	1.76	3.16	6.09	6.69	1.428	1.74	2.92	5.62	6.17	1.468	1.72	2.73	5.23	5.75
1.389	1.76	3.15	6.07	6.67	1.429	1.74	2.92	5.61	6.16	1.469	1.72	2.73	5.22	5.74
1.390	1.76	3.15	6.06	6.66	1.430	1.74	2.91	5.60	6.15	1.470	1.72	2.72	5.21	5.73
1.391	1.76	3.14	6.05	6.64	1.431	1.74	2.91	5.59	6.14	1.471	1.72	2.72	5.20	5.72
1.392	1.76	3.13	6.03	6.63	1.432	1.74	2.90	5.58	6.13	1.472	1.72	2.71	5.19	5.71
1.393	1.76	3.13	6.02	6.62	1.433	1.74	2.90	5.56	6.12	1.473	1.72	2.71	5.18	5.70
1.394	1.76	3.12	6.01	6.60	1.434	1.74	2.89	5.55	6.10	1.474	1.72	2.71	5.18	5.69
1.395	1.76	3.11	6.00	6.59	1.435	1.74	2.89	5.54	6.09	1.475	1.72	2.70	5.17	5.68
1.396	1.76	3.11	5.98	6.58	1.436	1.74	2.88	5.53	6.08	1.476	1.72	2.70	5.16	5.67
1.397	1.76	3.10	5.97	6.56	1.437	1.74	2.88	5.52	6.07	1.477	1.72	2.69	5.15	5.66
1.398	1.76	3.10	5.96	6.55	1.438	1.74	2.87	5.51	6.06	1.478	1.72	2.69	5.14	5.65
1.399	1.75	3.09	5.95	6.54	1.439	1.74	2.87	5.50	6.05	1.479	1.72	2.68	5.13	5.64
1.400	1.75	3.08	5.94	6.52	1.440	1.74	2.86	5.49	6.04	1.480	1.72	2.68	5.12	5.63
1.401	1.75	3.08	5.92	6.51	1.441	1.74	2.86	5.48	6.03	1.481	1.72	2.68	5.12	5.62
1.402	1.75	3.07	5.91	6.50	1.442	1.74	2.85	5.47	6.01	1.482	1.72	2.67	5.11	5.61
1.403	1.75	3.07	5.90	6.48	1.443	1.74	2.85	5.46	6.00	1.483	1.72	2.67	5.10	5.60
1.404	1.75	3.06	5.89	6.47	1.444	1.74	2.84	5.45	5.99	1.484	1.72	2.66	5.09	5.59
1.405	1.75	3.05	5.88	6.46	1.445	1.73	2.84	5.44	5.98	1.485	1.72	2.66	5.08	5.58
1.406	1.75	3.05	5.86	6.44	1.446	1.73	2.83	5.43	5.97	1.486	1.72	2.66	5.07	5.58
1.407	1.75	3.04	5.85	6.43	1.447	1.73	2.83	5.42	5.96	1.487	1.72	2.65	5.07	5.57
1.408	1.75	3.04	5.84	6.42	1.448	1.73	2.82	5.41	5.95	1.488	1.72	2.65	5.06	5.56
1.409	1.75	3.03	5.83	6.40	1.449	1.73	2.82	5.40	5.94	1.489	1.72	2.64	5.05	5.55
1.410	1.75	3.02	5.82	6.39	1.450	1.73	2.81	5.39	5.93	1.490	1.72	2.64	5.04	5.54
1.411	1.75	3.02	5.81	6.38	1.451	1.73	2.81	5.39	5.92	1.491	1.71	2.64	5.03	5.53
1.412	1.75	3.01	5.79	6.37	1.452	1.73	2.80	5.38	5.91	1.492	1.71	2.63	5.02	5.52
1.413	1.75	3.01	5.78	6.35	1.453	1.73	2.80	5.37	5.90	1.493	1.71	2.63	5.02	5.51
1.414	1.75	3.00	5.77	6.34	1.454	1.73	2.80	5.36	5.89	1.494	1.71	2.62	5.01	5.50
1.415	1.75	3.00	5.76	6.33	1.455	1.73	2.79	5.35	5.88	1.495	1.71	2.62	5.00	5.50
1.416	1.75	2.99	5.75	6.32	1.456	1.73	2.79	5.34	5.87	1.496	1.71	2.62	4.99	5.49
1.417	1.75	2.98	5.74	6.30	1.457	1.73	2.78	5.33	5.86	1.397	1.71	2.61	4.98	5.48
1.418	1.75	2.98	5.73	6.29	1.458	1.73	2.78	5.32	5.85	1.498	1.71	2.61	4.98	5.47
1.419	1.75	2.97	5.71	6.28	1.459	1.73	2.77	5.31	5.84	1.499	1.71	2.60	4.97	5.46

(segue)

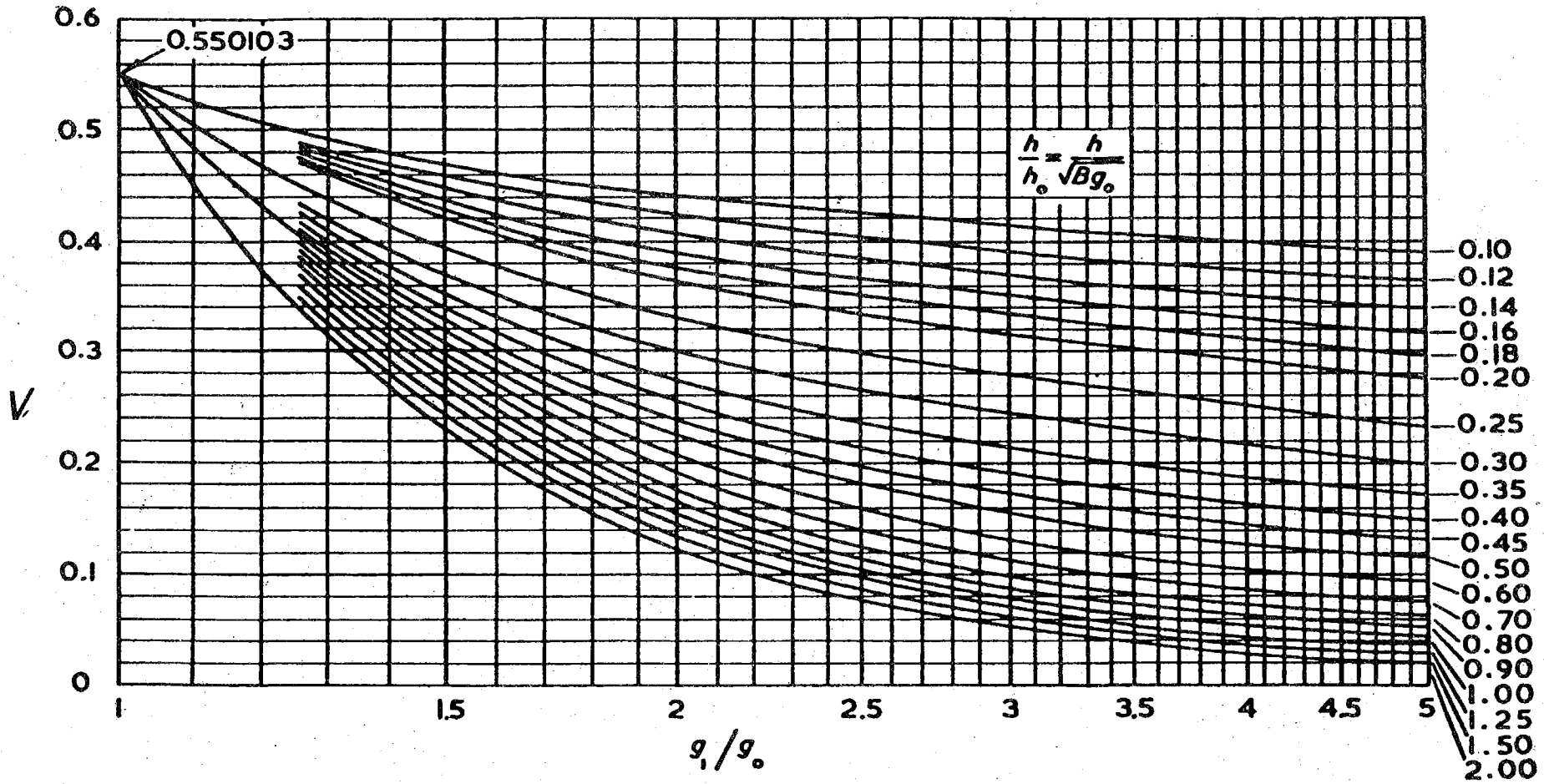
Tabella 1.U.3.4. – Valori di *T, U, Y, Z* in funzione di K (segue)

K	T	Z	Y	U	K	T	Z	Y	U	K	T	Z	Y	U
1.500	1.71	2.60	4.96	5.45	3.000	1.21	1.25	1.87	2.05	4.500	0.94	1.10	1.31	1.44
1.600	1.67	2.28	4.31	4.73	3.100	1.18	1.23	1.81	1.99	4.600	0.92	1.10	1.29	1.42
1.700	1.63	2.06	3.83	4.21	3.200	1.16	1.22	1.76	1.93	4.700	0.91	1.09	1.27	1.39
1.800	1.58	1.89	3.47	3.82	3.300	1.14	1.20	1.71	1.88	4.800	0.90	1.09	1.25	1.37
1.900	1.54	1.77	3.19	3.51	3.400	1.12	1.19	1.66	1.83	4.900	0.88	1.09	1.23	1.35
2.000	1.51	1.67	2.96	3.26	3.500	1.10	1.18	1.62	1.78	5.000	0.87	1.08	1.21	1.33
2.100	1.47	1.59	2.77	3.05	3.600	1.08	1.17	1.58	1.74					
2.200	1.44	1.52	2.61	2.87	3.700	1.06	1.16	1.55	1.70					
2.300	1.40	1.47	2.40	2.72	3.800	1.04	1.15	1.51	1.66					
2.400	1.37	1.42	2.36	2.59	3.900	1.03	1.14	1.48	1.62					
2.500	1.34	1.38	2.25	2.47	4.000	1.01	1.13	1.45	1.59					
2.600	1.31	1.35	2.16	2.37	4.100	0.99	1.13	1.42	1.56					
2.700	1.28	1.32	2.07	2.28	4.200	0.98	1.12	1.39	1.53					
2.800	1.26	1.29	2.00	2.20	4.300	0.96	1.11	1.36	1.50					
2.900	1.23	1.27	1.93	2.12	4.400	0.95	1.11	1.34	1.47					



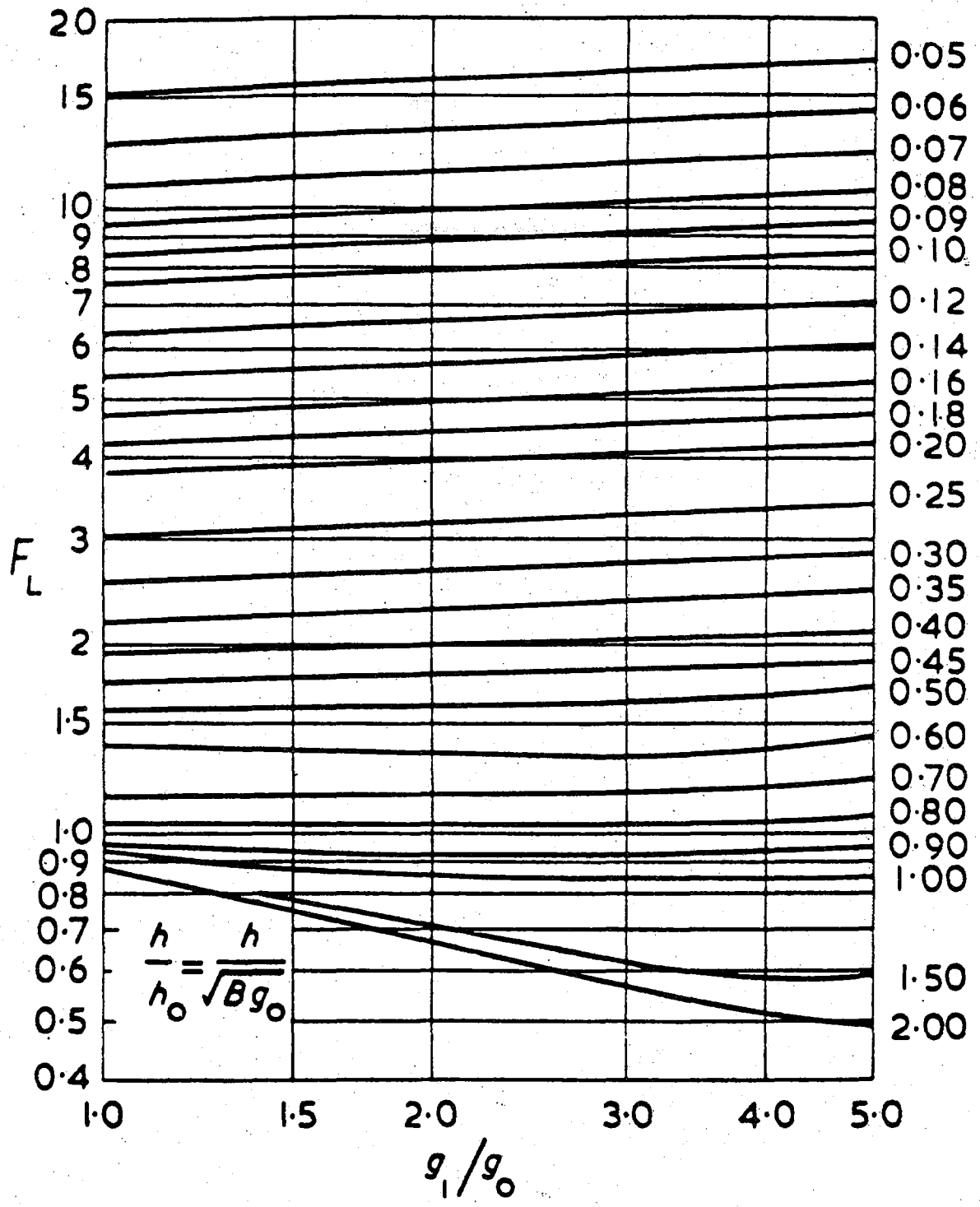
NOTA: per valori di $g_1/g_0 > 5$, usare i valori per $g_1/g_0 = 5$; per valori di $h/h_0 > 2$, usare i valori per $h/h_0 = 2$;

Figura 1.U.3.4. – Valori di F



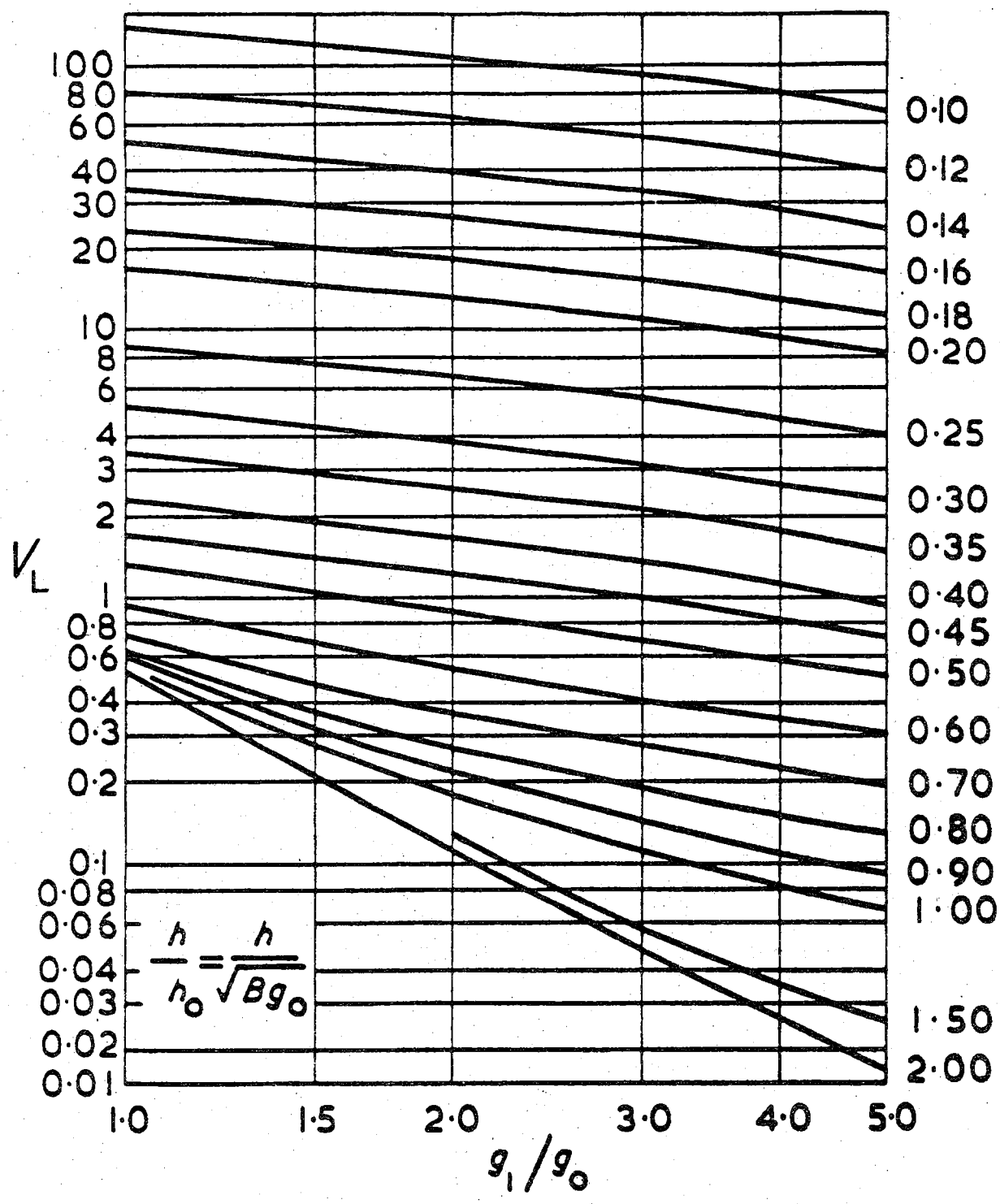
NOTA: per valori di $g_1/g_0 > 5$, usare i valori per $g_1/g_0 = 5$; per valori di $h/h_0 > 2$, usare i valori per $h/h_0 = 2$;

Figura 1.U.3.5. – Valori di V



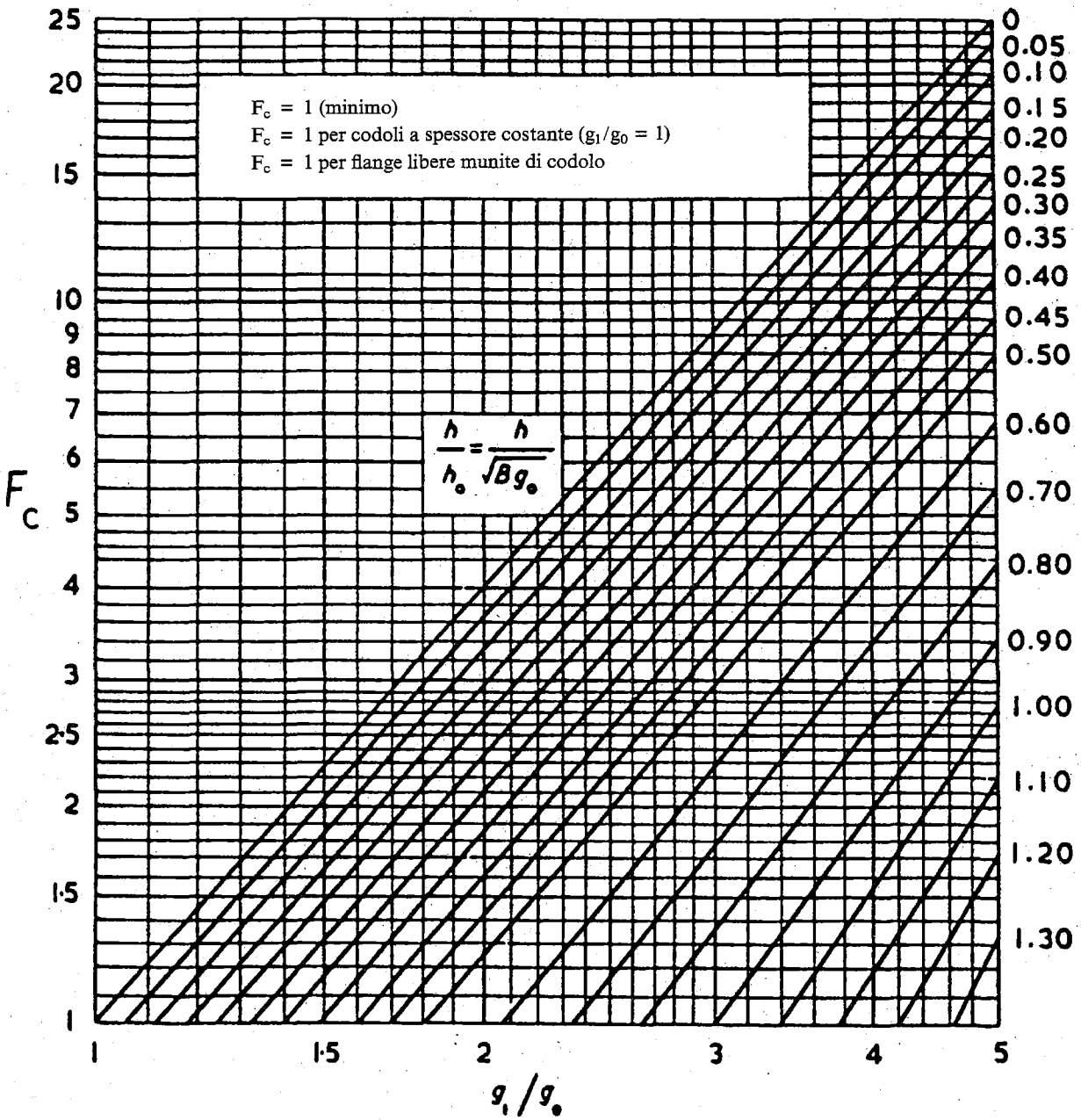
NOTA: per valori di $g_1/g_0 > 5$, usare i valori per $g_1/g_0 = 5$;
per valori di $h/h_0 > 2$, usare i valori per $h/h_0 = 2$;

Figura 1.U.3.6. – Valori di F_L



NOTA: per valori di $g_1/g_0 > 5$, usare i valori per $g_1/g_0 = 5$;
per valori di $h/h_0 > 2$, usare i valori per $h/h_0 = 2$;

Figura 1.U.3.7. – Valori di V_L



NOTA: per valori di $g_1/g_0 > 5$, usare i valori per $g_1/g_0 = 5$;

Figura 1.U.3.8. – Valori di F_c

Tabella 1.U.3.5. – Formule per il calcolo dei coefficienti F, V, F_c

Flange integrali	
Fattore F (cfr. figura 1.U.3.4.):	$F = -\dfrac{E_6}{\left(\dfrac{C}{2{,}73}\right)^{\frac{1}{4}} \dfrac{(1+A)^3}{C}}$
Fattore V (cfr. figura 1.U.3.5.):	$V = \dfrac{E_4}{\left(\dfrac{2{,}73}{C}\right)^{\frac{1}{4}} (1+A)^3}$
Fattore F_c (cfr. figura 1.U.3.8.):	$F_c = \dfrac{C_{36}}{(1+A)}$
I coefficienti che compaiono nelle espressioni di F, V, F_c sono calcolabili con le equazioni da (1) a (45) della presente tabella. Nel caso $g_1 = g_0$ non è necessario risolvere queste equazioni essendo: $F = 0{,}908920;\ V = 0{,}550103;\ F_c = 1$	
Flange libere	
Fattore F_L (cfr. figura 1.U.3.6.):	$F_L = -\dfrac{C_{18}\left(\dfrac{1}{2}+\dfrac{A}{6}\right) + C_{21}\left(\dfrac{1}{4}+\dfrac{11A}{84}\right) + C_{24}\left(\dfrac{1}{70}+\dfrac{A}{105}\right) - \left(\dfrac{1}{40}+\dfrac{A}{72}\right)}{\left(\dfrac{C}{2{,}73}\right)^{\frac{1}{4}} \dfrac{(1+A)^3}{C}}$
Fattore V_L (cfr. figura 1.U.3.7.):	$V_L = \dfrac{\dfrac{1}{4} - \dfrac{C_{24}}{5} - \dfrac{3C_{21}}{2} - C_{18}}{\left(\dfrac{2{,}73}{C}\right)^{\frac{1}{4}} (1+A)^3}$
Fattore F_c (cfr. figura 1.U.3.8.):	$F_c = 1$
I coefficienti che compaiono nelle espressioni di F_L, V_L, F_c sono calcolabili con le equazioni da (1) a (5), (7), (9), (10), (12), (14), (16), (18), (20), (23), (26) della presente tabella. Nelle formule suddette il rapporto g_1/g_0 non dovrà mai superare 5 ed il rapporto h/h_0 non dovrà mai superare 2.	

(segue)

Tabella 1.U.3.5. – Formule per il calcolo dei coefficienti F, V, F_c (segue)

(1) $A = \left(\frac{g_1}{g_0}\right) - 1$

(2) $C = 43{,}68 \left(\frac{h}{h_0}\right)^4$

(3) $C_1 = \frac{1}{3} + \frac{A}{12}$

(4) $C_2 = \frac{5}{42} + \frac{17A}{336}$

(5) $C_3 = \frac{1}{210} + \frac{A}{360}$

(6) $C_4 = \frac{11}{360} + \frac{59A}{5040} + \frac{1 + 3A}{C}$

(7) $C_5 = \frac{1}{90} + \frac{5A}{1008} - \frac{(1 + A)^3}{C}$

(8) $C_6 = \frac{1}{120} + \frac{17A}{5040} + \frac{1}{C}$

(9) $C_7 = \frac{215}{2772} + \frac{51A}{1232} + \frac{\frac{60}{7} + \frac{225A}{14} + \frac{75A^2}{7} + \frac{5A^3}{2}}{C}$

(10) $C_8 = \frac{31}{6930} + \frac{128A}{45045} + \frac{\frac{6}{7} + \frac{15A}{7} + \frac{12A^2}{7} + \frac{5A^3}{11}}{C}$

(11) $C_9 = \frac{533}{30240} + \frac{653A}{73920} + \frac{\frac{1}{2} + \frac{33A}{14} + \frac{39A^2}{28} + \frac{25A^3}{84}}{C}$

(12) $C_{10} = \frac{29}{3780} + \frac{3A}{704} - \frac{\frac{1}{2} + \frac{33A}{14} + \frac{81A^2}{28} + \frac{13A^3}{12}}{C}$

(13) $C_{11} = \frac{31}{6048} + \frac{1763A}{665280} + \frac{\frac{1}{2} + \frac{6A}{7} + \frac{15A^2}{28} + \frac{5A^3}{42}}{C}$

(14) $C_{12} = \frac{1}{2925} + \frac{71A}{300300} + \frac{\frac{8}{35} + \frac{18A}{35} + \frac{156A^2}{385} + \frac{6A^3}{55}}{C}$

(15) $C_{13} = \frac{761}{831600} + \frac{937A}{1663200} + \frac{\frac{1}{35} + \frac{6A}{35} + \frac{11A^2}{70} + \frac{3A^3}{70}}{C}$

(16) $C_{14} = \frac{197}{415800} + \frac{103A}{332640} - \frac{\frac{1}{35} + \frac{6A}{35} + \frac{17A^2}{70} + \frac{A^3}{10}}{C}$

(17) $C_{15} = \frac{233}{831600} + \frac{97A}{554400} + \frac{\frac{1}{35} + \frac{3A}{35} + \frac{A^2}{14} + \frac{2A^3}{105}}{C}$

(18) $C_{16} = C_1 C_7 C_{12} + C_2 C_8 C_3 + C_3 C_8 C_2 - \left(C_3^2 C_7 + C_8^2 C_1 + C_2^2 C_{12}\right)$

(segue)

Tabella 1.U.3.5. – Formule per il calcolo dei coefficienti F, V, F_c (segue)

(19) $$C_{17} = \frac{C_4\,C_7\,C_{12} + C_2\,C_8\,C_{13} + C_3\,C_8\,C_9 - \left(C_{13}\,C_7\,C_3 + C_8^2\,C_4 + C_{12}\,C_2\,C_9\right)}{C_{16}}$$

(20) $$C_{18} = \frac{C_5\,C_7\,C_{12} + C_2\,C_8\,C_{14} + C_3\,C_8\,C_{10} - \left(C_{14}\,C_7\,C_3 + C_8^2\,C_5 + C_{12}\,C_2\,C_{10}\right)}{C_{16}}$$

(21) $$C_{19} = \frac{C_6\,C_7\,C_{12} + C_2\,C_8\,C_{15} + C_3\,C_8\,C_{11} - \left(C_{15}\,C_7\,C_3 + C_8^2\,C_6 + C_{12}\,C_2\,C_{11}\right)}{C_{16}}$$

(22) $$C_{20} = \frac{C_1\,C_9\,C_{12} + C_4\,C_8\,C_3 + C_3\,C_{13}\,C_2 - \left(C_3^2\,C_9 + C_{13}\,C_8\,C_1 + C_{12}\,C_4\,C_2\right)}{C_{16}}$$

(23) $$C_{21} = \frac{C_1\,C_{10}\,C_{12} + C_5\,C_8\,C_3 + C_3\,C_{14}\,C_2 - \left(C_3^2\,C_{10} + C_{14}\,C_8\,C_1 + C_{12}\,C_5\,C_2\right)}{C_{16}}$$

(24) $$C_{22} = \frac{C_1\,C_{11}\,C_{12} + C_6\,C_8\,C_3 + C_3\,C_{15}\,C_2 - \left(C_3^2\,C_{11} + C_{15}\,C_8\,C_1 + C_{12}\,C_6\,C_2\right)}{C_{16}}$$

(25) $$C_{23} = \frac{C_1\,C_7\,C_{13} + C_2\,C_9\,C_3 + C_4\,C_8\,C_2 - \left(C_3\,C_7\,C_4 + C_8\,C_9\,C_1 + C_2^2\,C_{13}\right)}{C_{16}}$$

(26) $$C_{24} = \frac{C_1\,C_7\,C_{14} + C_2\,C_{10}\,C_3 + C_5\,C_8\,C_2 - \left(C_3\,C_7\,C_5 + C_8\,C_{10}\,C_1 + C_2^2\,C_{14}\right)}{C_{16}}$$

(27) $$C_{25} = \frac{C_1\,C_7\,C_{15} + C_2\,C_{11}\,C_3 + C_6\,C_8\,C_2 - \left(C_3\,C_7\,C_6 + C_8\,C_{11}\,C_1 + C_2^2\,C_{15}\right)}{C_{16}}$$

(28) $$C_{26} = -\left(\frac{C}{4}\right)^{\frac{1}{4}}$$

(29) $$C_{27} = C_{20} - C_{17} - \frac{5}{12} + C_{17}\,C_{26}$$

(30) $$C_{28} = C_{22} - C_{19} - \frac{1}{12} + C_{19}\,C_{26}$$

(31) $$C_{29} = -\left(\frac{C}{4}\right)^{\frac{1}{2}}$$

(32) $$C_{30} = -\left(\frac{C}{4}\right)^{\frac{3}{4}}$$

(33) $$C_{31} = \frac{3A}{2} - C_{17}\,C_{30}$$

(34) $$C_{32} = \frac{1}{2} - C_{19}\,C_{30}$$

(35) $$C_{33} = 0{,}5\,C_{26}\,C_{32} + C_{28}\,C_{31}\,C_{29} - \left(0{,}5\,C_{30}\,C_{28} + C_{32}\,C_{27}\,C_{29}\right)$$

(36) $$C_{34} = \frac{1}{12} + C_{18} - C_{21} - C_{18}\,C_{26}$$

(37) $$C_{35} = -\,C_{18}\left(\frac{C}{4}\right)^{\frac{3}{4}}$$

(38) $$C_{36} = \frac{C_{28}\,C_{35}\,C_{29} - C_{32}\,C_{34}\,C_{29}}{C_{33}}$$

(segue)

Tabella 1.U.3.5. – Formule per il calcolo dei coefficienti F, V, F_c (segue)

(39) $$C_{37} = \frac{0{,}5\, C_{26}\, C_{35} + C_{34}\, C_{31}\, C_{29} - (0{,}5\, C_{30}\, C_{34} + C_{35}\, C_{27}\, C_{29})}{C_{33}}$$

(40) $$E_1 = C_{17}\, C_{36} + C_{18} + C_{19}\, C_{37}$$

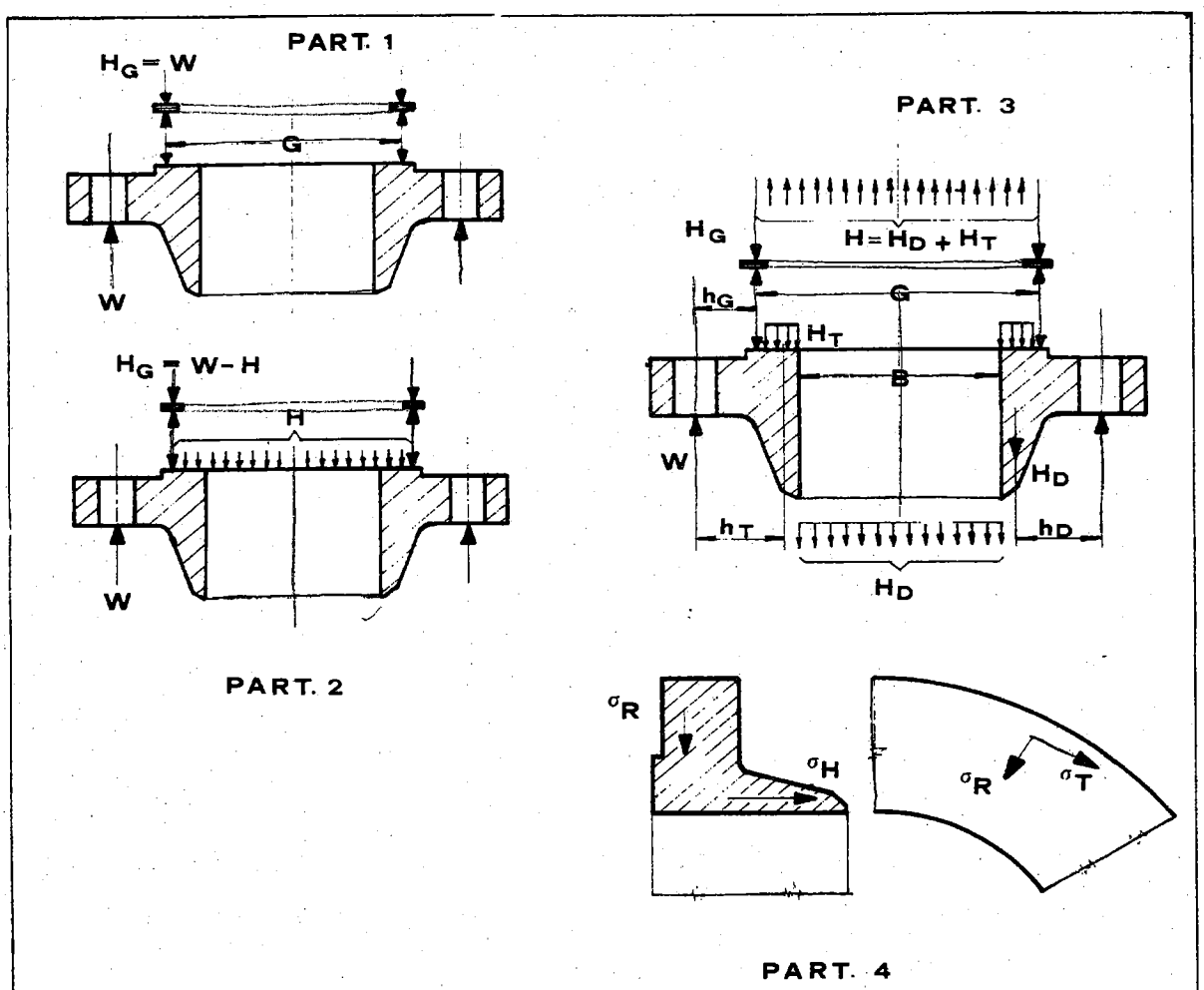
(41) $$E_2 = C_{20}\, C_{36} + C_{21} + C_{22}\, C_{37}$$

(42) $$E_3 = C_{23}\, C_{36} + C_{24} + C_{25}\, C_{37}$$

(43) $$E_4 = \frac{1}{4} + \frac{C_{37}}{12} + \frac{C_{36}}{4} - \frac{E_3}{5} - \frac{3E_2}{2} - E_1$$

(44) $$E_5 = E_1\left(\frac{1}{2} + \frac{A}{6}\right) + E_2\left(\frac{1}{4} + \frac{11A}{84}\right) + E_3\left(\frac{1}{70} + \frac{A}{105}\right)$$

(45) $$E_6 = E_5 - C_{36}\left(\frac{7}{120} + \frac{A}{36} + \frac{3A}{C}\right) - \frac{1}{40} - \frac{A}{72} - C_{37}\left(\frac{1}{60} + \frac{A}{120} + \frac{1}{C}\right)$$



PART. 1. - Reazione della guarnizione (fase di serraggio)
2. - Reazione della guarnizione e carico dovuto alla pressione
3. - Forza e momenti agenti sulla flangia
4. - Sollecitazioni delle flange

Figura 1.U.3.9. – Forze e sollecitazioni agenti sulla flangia

Regola VSR.1.U.4: *Flange con guarnizione anulare morbida che si estende oltre i fori dei bulloni*

1. *Generalità.*

Il metodo di verifica che segue si riferisce alle flange circolari per le quali le guarnizioni si estendono oltre la circonferenza dei fori dei bulloni.

2. *Definizioni e simboli.*

In aggiunta ai simboli riportati alla regola VSR.1.U.2. si definiscono i seguenti parametri (cfr. figura 1.U.4.1):

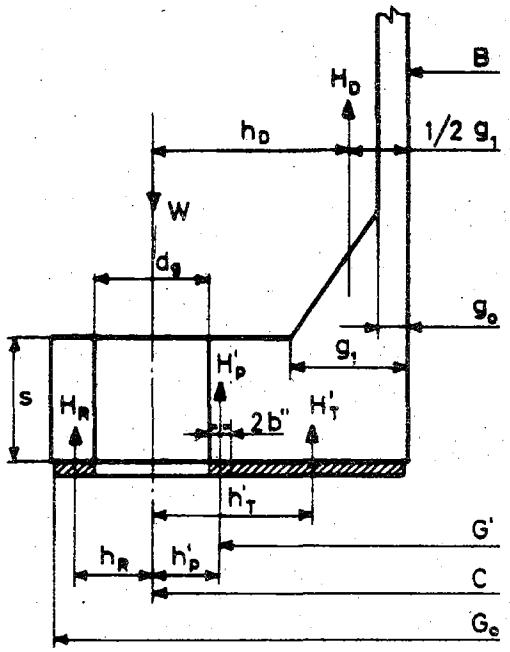


Figura 1.U.4.1.

b'_0 larghezza convenzionale di assetto guarnizione, al serraggio iniziale, considerata simmetricamente disposta rispetto alla circonferenza del centro fori, in mm:

$$b'_0 = G_0 - C$$

b' larghezza utile di assetto guarnizione per il calcolo del carico minimo di serraggio in funzione del fattore y (cfr. tabella 1.U.3.2.), in mm:

$$b' = 4\sqrt{b'_0}$$

$2b''$ larghezza effettiva di contatto della guarnizione in presenza della pressione, da assumere sempre pari a 5 mm:

$$2b'' = 5 \text{ mm}$$

d_g diametro dei fori dei bulloni, in mm;

G' diametro della circonferenza passante per il punto di applicazione della reazione H'_p della guarnizione, in mm:

$$G' = C - d_g - 2b''$$

G_0 diametro esterno della flangia se la guarnizione si estende fino al bordo esterno di essa, in caso contrario è il diametro esterno della guarnizione, in mm;

H' carico totale dovuto alla pressione nelle condizioni di progetto, in N:

$$H' = \frac{\pi}{4} \cdot (C - d_g)^2 \cdot p$$

H'_i carico totale dovuto alla pressione in condizioni di prova idraulica, in N:

$$H'_i = \frac{\pi}{4} \cdot (C - d_g)^2 \cdot p_i$$

H'_T carico totale dovuto alla pressione in condizioni di progetto agente sulla faccia della flangia, in N:

$$H'_T = H' - H_D$$

H'_{Ti} carico totale dovuto alla pressione in condizioni di prova idraulica agente sulla faccia della flangia, in N:

$$H'_{Ti} = H'_i - H_{Di}$$

H'_p carico totale di compressione agente [1] sulla guarnizione per assicurare la tenuta, in N:

$$H'_p = \pi \cdot G' \cdot m \cdot p \cdot 2b''$$

H'_{pi} carico totale di compressione agente [1] sulla guarnizione per assicurare la tenuta in condizioni di prova idraulica, in N:

$$H'_{pi} = \pi \cdot G' \cdot m \cdot p_i \cdot 2b''$$

H_R reazione di equilibrio che agisce oltre il cerchio dei bulloni in opposizione ai momenti dovuti ad H_D, H'_p e H'_T, in N;

H_{Ri} reazione di equilibrio che agisce oltre il cerchio dei bulloni in opposizione ai momenti dovuti ad H_{Di}, H'_{pi} e H'_{Ti} in condizioni di prova idraulica, in N;

h'_T distanza radiale tra la circonferenza passante per l'asse dei bulloni e quella sulla quale agisce il carico H'_T, in mm:

$$h'_T = \frac{C + d_g + 2b'' - B}{4}$$

h'_p distanza radiale tra la circonferenza passante per l'asse dei bulloni e quella sulla quale agisce il carico H'_p, in mm:

$$h'_p = \frac{d_g + 2b''}{2}$$

h_R distanza radiale tra la circonferenza passante per l'asse dei bulloni e quella sulla quale agisce il carico H_R, in mm:

$$h_R = \frac{G_0 - (C + d_g)}{4} + \frac{d_g}{2}$$

[1] Per le coppie di flange con interposta piastra tubiera, o per altri casi analoghi nei quali le due flange accoppiate o le relative guarnizioni non sono uguali, occorre calcolare i valori di W_{m1}, W_{m0}, W_{mi}, separamente per ognuna delle due flange con relativa guarnizione; i calcoli di verifica devono essere eseguiti per entrambe le flange, con riferimento ai valori maggiori di W_{m1}, W_{m0}, W_{mi}; in funzione di tali valori andranno poi ricavati i valori di H'_p, H'_{pi} da usare nella verifica.

3. *Carichi e sezioni dei bulloni.*

Nelle diverse condizioni di verifica i carichi [1] che si esercitano sui bulloni sono dati da:

a) condizioni di progetto [2]:

$$W_{m1} = H' + H'_p + H_R$$

$$con: \quad H_R = \frac{H_D \cdot h_D + H'_T \cdot h'_T + H'_p \cdot h'_p}{h_R}$$

b) condizioni di assetto guarnizione:

$$W_{m0} = \pi \cdot C \cdot b' \cdot y = \pi \cdot C \cdot 4\sqrt{b'_0 \cdot y}$$

c) condizioni di prova idraulica: [2]

$$W_{mi} = H'_i + H'_{pi} + H_{Ri}$$

$$con: \quad H_{Ri} = \frac{H_{Di} \cdot h_D + H'_{Ti} \cdot h'_T + H'_{pi} \cdot h'_p}{h_R}$$

Le verifiche delle sezioni minime dei bulloni si effettuano come indicato al punto 3 della regola VSR.1.U.3 ponendo al posto di W_{m1}, W_{m0}, W_{mi} i valori risultanti dalle precedenti formule.

4. *Verifica dello spessore della flangia.*

Lo spessore della flangia non deve risultare inferiore al valore dato da:

$$s = \sqrt{\frac{6 \cdot M}{f \cdot (\pi G - n\, d_g)}}$$

ponendo:

– in condizioni di progetto:

$$M = H_R \cdot h_R; \qquad f = f_F$$

– in condizioni di prova idraulica:

$$M = H_{Ri} \cdot h_R; \qquad f = f_{Fi}$$

5. *Passo dei bulloni.*

Il passo dei bulloni non deve superare il valore

$$p = 3\, d_b + 2\, s$$

Regola VSR.1.U.5.: *Flange rovesce*

1. *Generalità.*

Le flange aventi la configurazione indicata in figura 1.U.5.1. dovranno essere verificate come flange rovesce in conformità con le regole VSR.1.U.1, VSR.1.U.2. e VSR.1.U.3. fatta eccezione per le modifiche qui di seguito riportare.

L'uso delle seguenti regole si intende obbligatorio per $K \leq 2$. Quando $K > 2$ la verifica va effettuata secondo la regola VSR.1.L.3.

2. *Definizioni e simboli.*

I simboli e le definizioni usati nella presente regola si riferiscono specificatamente alle flange rovesce. Fatta eccezione per quanto qui di seguito riportato, i simboli usati nelle equazioni della presente regola sono definiti nella regola VSR.1.U.2 (cfr. figura 1.U.5.1.).

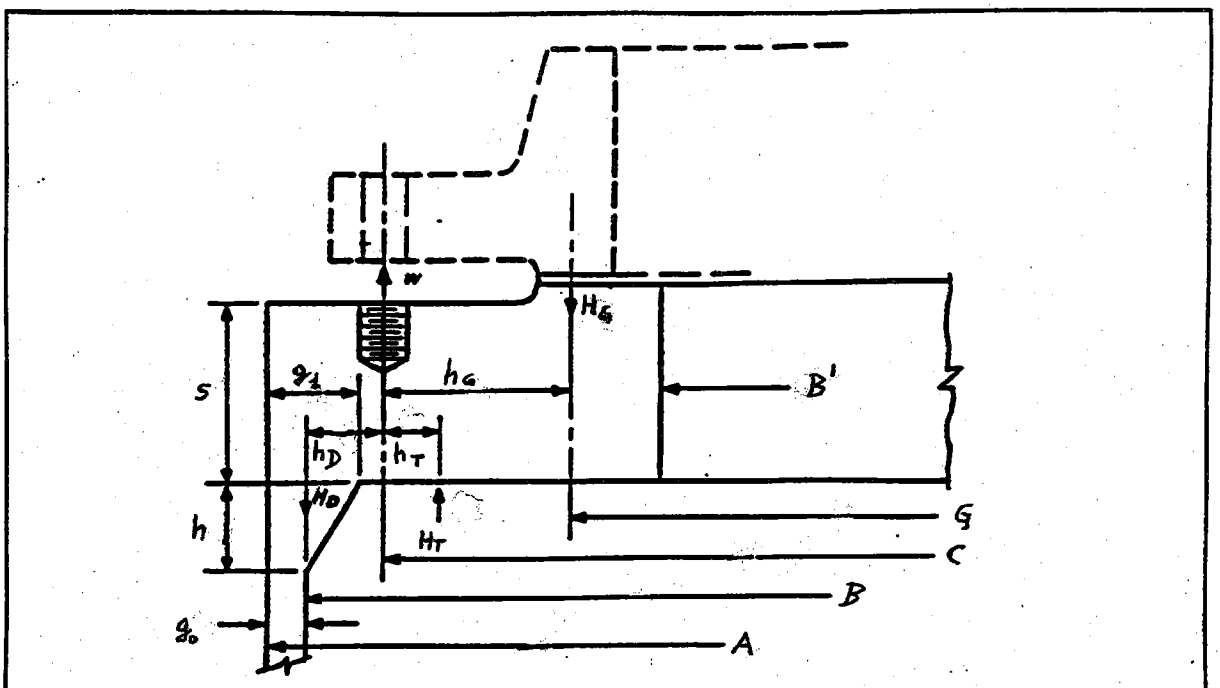


Figura 1.U.5.1. – Flangia rovescia

[1] Per le coppie di flange con interposta piastra tubiera, o per altri casi analoghi nei quali le due flange accoppiate o le relative guarnizioni non sono uguali, occorre calcolare i valori di W_{m1}, W_{m0}, W_{mi}, separamente per ognuna delle due flange con relativa guarnizione; i calcoli di verifica devono essere eseguiti per entrambe le flange, con riferimento ai valori maggiori di W_{m1}, W_{m0}, W_{mi}; in funzione di tali valori andranno poi ricavati i valori di H'_p, H'_{pi} da usare nella verifica.

[2] Nel caso di flange con interposta una piastra tubiera, i valori di H_R e H_{Ri} andranno calcolati sulla base degli effettivi valori dei carichi di compressione sulla guarnizione.

B diametro interno del fasciame cilindrico, in mm;

B' diametro interno della flangia rovescia, in mm;

d_r fattore pari a: $\dfrac{U_r\, h_{0r}\, g_0^2}{V}$

e_r fattore pari a: $\dfrac{F}{h_{0r}}$

F fattore per flange rovesce ricavato dalla figura 1.U.3.4. oppure dalle formule in tabella 1.U.3.5. ponendo h_{0r} al posto di h_0;

F_c fattore di correzione della sollecitazione nel codolo per flange rovesce ricavato dalla figura 1.U.3.8. oppure dalle formule in tabella 1.U.3.5. ponendo h_{0r} al posto di h_0;

H, H_i forza totale dovuta alla spinta della pressione rispettivamente in condizioni di progetto e prova idraulica, N;

H_D, H_{Di} forza dovuta alla spinta della pressione sulla sezione di diametro B, in N;

H_T, H_{Ti} forza dovuta alla spinta della pressione sulla superficie anulare compresa tra la guarnizione ed il diametro interno della flangia, in N;

h_D distanza radiale tra la circonferenza passante per l'asse dei bulloni e la circonferenza su cui agisce H_D, in mm:

$$h_D = \frac{C + g_1 - 2g_0 - B}{2}$$

h_{0r} pari a $\sqrt{A \cdot g_0}$, in mm;

h_T distanza radiale tra la circonferenza passante per l'asse dei bulloni e la circonferenza su cui agisce H_T, in mm:

$$h_T = \frac{1}{2}\left(C - \frac{B + G}{2}\right)$$

K pari a: $\dfrac{A}{B'}$

L_r pari a: $\dfrac{s\, e_r + 1}{T_r} + \dfrac{s^3}{d_r}$

T_r pari a: $\dfrac{Z + 0,3}{Z - 0,3}\, \alpha_r\, T$

U_r pari a: $\alpha_r\, U$

V coefficiente da impiegare nella verifica delle flange rovesce ricavato dalla figura 1.U.3.5. oppure dalle formule in tabella 1.U.3.5. ponendo h_{0r} al posto di h_0;

Y_r pari a: $\alpha_r\, Y$

α_r pari a: $\dfrac{1 + 0,668\, \dfrac{K + 1}{Y}}{K^2}$

3. *Momenti sulla flangia.*

I momenti sulla flangia, nelle diverse condizioni di verifica, sono dati dalle formule di cui alla regola VSR.1.U.3.5. con h_T e h_D ridefiniti nella presente regola.

4. *Sollecitazioni sulla flangia rovescia.*

Posto:

$M_0 = M_{0p}$ per la verifica nelle condizioni di progetto [1]

$M_0 = M_{0w}$ per la verifica nelle condizioni di assetto guarnizione [1]

$M_0 = M_{0i}$ per la verifica nelle condizioni di prova idraulica [1]

ed

$M = M_0/B'$

le sollecitazioni agenti sulla flangia devono essere calcolate di volta in volta nelle verifiche nelle tre condizioni di progetto, di assetto guarnizione e di prova idraulica, con le formule che seguono:

– sollecitazione longitudinale sul codolo:

$$\sigma_H = \frac{F_c\, M}{L_r\, g_1^2}$$

– sollecitazione radiale all'esterno dell'anello:

$$\sigma_R = \frac{(1,33 \cdot s \cdot e_r + 1)\, M}{L_r \cdot s^2}$$

– sollecitazione tangenziale all'esterno dell'anello:

$$\sigma_{T_1} = \frac{Y_r\, M}{s^2} - \frac{Z \cdot \sigma_R \cdot (0,67 \cdot s \cdot e_r + 1)}{1,33 \cdot s \cdot e_r + 1}$$

– sollecitazione tangenziale all'interno dell'anello:

$$\sigma_{T_2} = \frac{M}{s^2} \cdot \left[Y - \frac{2\, K^2 \left(1 + \dfrac{2}{3} \cdot s \cdot e_r\right)}{(K^2 - 1) \cdot L_r} \right]$$

Regola VSR.1.U.6.: *Metodi particolari di calcolo dei collegamenti flangiati*

1. Nei casi in cui i carichi sulla guarnizione non siano determinabili a mezzo dellla tabella 1.U.3.2., o qualora il progettista lo ritenga necessario, è ammessa la presentazione di una dettagliata analisi di calcolo che, partendo dalla considerazione della deformazione delle flange e dei relativi tiranti nonché del comportamento elasto-plastico della guanizione, permetta la determinazione dei carichi effettivamente agenti sui tiranti stessi durante le tre fasi di serraggio, esercizio e prova idraulica. Tali carichi devono comunque essere applicati con idonee apparecchiature di serraggio che ne consentano il controllo.

I carichi da considerare per le condizioni di progetto e di prova idraulica non devono essere comunque inferiori ai seguenti valori:

1.1. $$W_{m1} = 1,1\, \frac{p}{4}\, \pi\, G^2$$

1.2. $$W_{mi} = 1,1\, \frac{p_i}{4}\, \pi\, G^2$$

[1] Se M_0 risulta negativo, deve essere assunto in valore assoluto.

ELENCO DELLE REGOLE CONTENUTE NEL CAPITOLO VSR.1.V.

Regola VSR.1.V.1: *Generalità*

Le regole riportate nel presente capitolo riguardano le modalità per la determinazione del fattore di forma delle viti a morsetto (vedi esempio in fig. 1.V.1.) mediante prove sperimentali da eseguirsi sul prototipo e da verificare per lotti.

La determinazione del fattore di forma ha lo scopo di ricondurre il calcolo di verifica del collegamento a morsetto, al calcolo di verifica dei bulloni.

Regola VSR.1.V.2: *Prove sul prototipo*

Per ogni prototipo, individuato dalla forma, dalle dimensioni e dal materiale, ai fini della determinazione del fattore di forma, devono essere sottoposti a prova almeno sei morsetti per la determinazione delle grandezze di cui al successivi capoversi I e II e almeno sei provini, ricavati da altrettanti gambi filettati, per la determinazione delle grandezze di cui al successivo capoverso III.

Attraverso le prove sui prototipi si determinano:

I

P_s = carico in corrispondenza del quale l'allungamento percentuale permanente della distanza l_1 compresa tra i due punti di appoggio dei morsetti raggiunge lo 0,2%.

$\bar{P}_s = \frac{\Sigma P_s}{n}$ = valore medio dei carichi in corrispondenza dei quali si presentano le deformazioni precedentemente definite.

$S_{(Ps)} = \sqrt{\frac{\Sigma (P_s - \bar{P}_s)^2}{n-1}}$ = dispersione dei valori dei carichi in corrispondenza dei quali si presentano le deformazioni permanenti prima dette, rispetto al valore medio.

$S_{(\bar{P}s)} = \frac{S_{(Ps)}}{\sqrt{n}}$ = variabilità relativa dei carichi in corrispondenza dei quali si presentano le deformazioni permanenti prima dette, rispetto al valore medio.

$P_{Smin} = \bar{P}_s - 3S_{(\bar{P}s)}$ = valore medio minimo del gruppo per il carico P_s.

II

P_R = carico in corrispondenza del quale si ha la rottura di una parte del morsetto o uno scivolamento dei morsetti.

$\bar{P}_R = \frac{\Sigma P_R}{n}$ = valore medio dei carichi di rottura P_R dei morsetti calcolato come per P_s

$S_{(PR)} = \sqrt{\frac{\Sigma (P_R - \bar{P}_R)^2}{n-1}}$ = dispersione dei valori dei carichi P_R di rottura dei morsetti.

$S_{(\overline{PR})} = \frac{S_{(PR)}}{\sqrt{n}}$ = variabilità relativa dei carichi P_R di rottura dei morsetti rispetto al valore medio.

$P_{Rmin} = \bar{P}_R - 3S_{(\overline{PR})}$ = valore medio minimo del gruppo per il carico P_R

III

σ_s e σ_R = valore del limite di snervamento e del limite di rottura del materiale del gambo filettato ottenuti durante le prove sperimentali.

$\bar{\sigma}_s = \frac{\Sigma \sigma_s}{n}$ = valore medio del limite di snervamento del materiale del gambo filettato

$\bar{\sigma}_R = \frac{\Sigma \sigma_R}{n}$ = valore medio del limite di rottura del materiale del gambo filettato

$S_{(\sigma_s)} = \sqrt{\frac{\Sigma(\sigma_s - \bar{\sigma}_s)^2}{n-1}}$ = dispersione del valore del limite di snervamento

$S_{(\sigma_R)} = \sqrt{\frac{\Sigma(\sigma_R - \bar{\sigma}_R)^2}{n-1}}$ = dispersione del valore del limite di rottura

$S_{(\bar{\sigma}_s)} \frac{S(\sigma_s)}{\sqrt{n}}$ = variabilità relativa del limite di snervamento rispetto al valor medio

$S_{(\bar{\sigma}_R)} \frac{S(\sigma_R)}{\sqrt{n}}$ = variabilità relativa del limite di rottura rispetto al valor medio

$\sigma_{s\,max} = \bar{\sigma}_s + 3S(\bar{\sigma}_s)$ = massimo valore medio del gruppo per il limite di snervamento

$\sigma_{R\,max} = \bar{\sigma}_R + 3S(\bar{\sigma}_R)$ = massimo valore medio del gruppo per il limite di rottura

Dai valori ottenuti dalle prove si determinano i fattori di forma di quel tipo di collegamento a morsetto con le formule:

$$\Psi_S = \frac{P_{(s\,min)}}{\sigma_{s\,max} \frac{\pi d^2}{4}};$$

$$\Psi_R = \frac{P_{(R\,min)}}{\sigma_{R\,max} \frac{\pi d^2}{4}};$$

Il fattore di forma del tipo di collegamento viene assunto uguale al minore tra i valori precedentemente indicati; d è il diametro di nocciolo della vite del morsetto.

Il valore di ψ fornisce, a seconda del tipo di morsetto, il rapporto tra il carico di cedimento del morsetto e il carico di cedimento di una vite dello stesso materiale ma sottoposta a sollecitazione di trazione semplice. Non sono ammessi morsetti con valori di ψ inferiori a 0,7.

Regola VSR.1.V.3: *Calcolo di verifica dei collegamenti a morsetto*

Il calcolo di verifica delle viti dei morsetti viene eseguito secondo le formule contenute nel capitolo VSR.1.R. ponendo:

$$a_b = \frac{\pi d^2}{4} \Psi$$

Anche per la verifica della flangia relativa deve essere assunto, nella formula 4.2. della regola VSR.1.U.3.

$$A_b = n \frac{\pi d^2}{4} \Psi$$

Regola VSR.1.V.4.: *Verifica per lotti*

Per la verifica dei morsetti a vite destinati all'impiego, i morsetti corrispondenti ad uno stesso prototipo vanno suddivisi in lotti; per la loro suddivisione in lotti e per la scelta del numero dei campioni dovranno osservarsi le disposizioni della Raccolta M relative alla bulloneria.

In materia di esoneri dall'obbligo della presenza del tecnico dell'ISPESL, limitatamente ai collaudi per lotti, i morsetti vanno assimilati ai tiranti. In questi collaudi per lotti il valore minimo del carico in corrispondenza del quale si raggiungono le deformazioni permanenti precedentemente indicate allo 0,2% deve essere:

$$P_s \geq \frac{\pi d^2}{4} \cdot R_s \cdot \Psi$$

in cui:

Ψ fattore di forma attribuito al tipo di morsetto in base alle prove eseguite su prototipo;

R_s valore minimo tabellare o garantito del carico di snervamento per il materiale del gambo filettato.

Il valore minimo del carico in corrispondenza del quale si ha la rottura del morsetto deve essere:

$$P_r \geq \frac{\pi d^2}{4} \cdot R_m \cdot \Psi$$

in cui:

ψ fattore di forma attribuito al tipo di morsetto in base alle prove eseguite su prototipo;

R_m valore minimo tabellare o garantito del carico di rottura per il materiale del gambo filettato.

Regola VSR.1.V.5.: *Certificazione delle prove eseguite*

1. Sui certificati di prove del prototipo devono essere riportati in particolare i seguenti dati:

– fabbricante, tipo, dimensione, schizzo quotato (vedi figura 1.V.1.), materiale e sigla della vite a morsetto;

– i risultati delle prove di cui alla regola VSR.1.V.2., e i valori ψ_s e ψ_R;

– il carico ammissibile sopportabile da un morsetto, tenendo conto del fattore di forma determinato secondo la regola VSR.1.V.2;

– i carichi minimi di prova stabiliti per la fornitura, in corrispondenza dei quali appaiono deformazioni permanenti o si ha il cedimento dei morsetti, secondo quanto stabilito alla regola VSR.1.V.4.

2. Sui certificati di collaudo delle forniture devono essere in particolare riportati i seguenti dati:

– fabbricante, tipo, dimensione, materiale e sigla della vite a morsetto;

– i carichi determinati in corrispondenza di deformazioni permanenti e di rottura dei morsetti, oltre alla constatazione che questi valori corrispondono alle esigenze minime fissate durante la prova per prototipo;

– gli estremi del relativo certificato di prova sul prototipo.

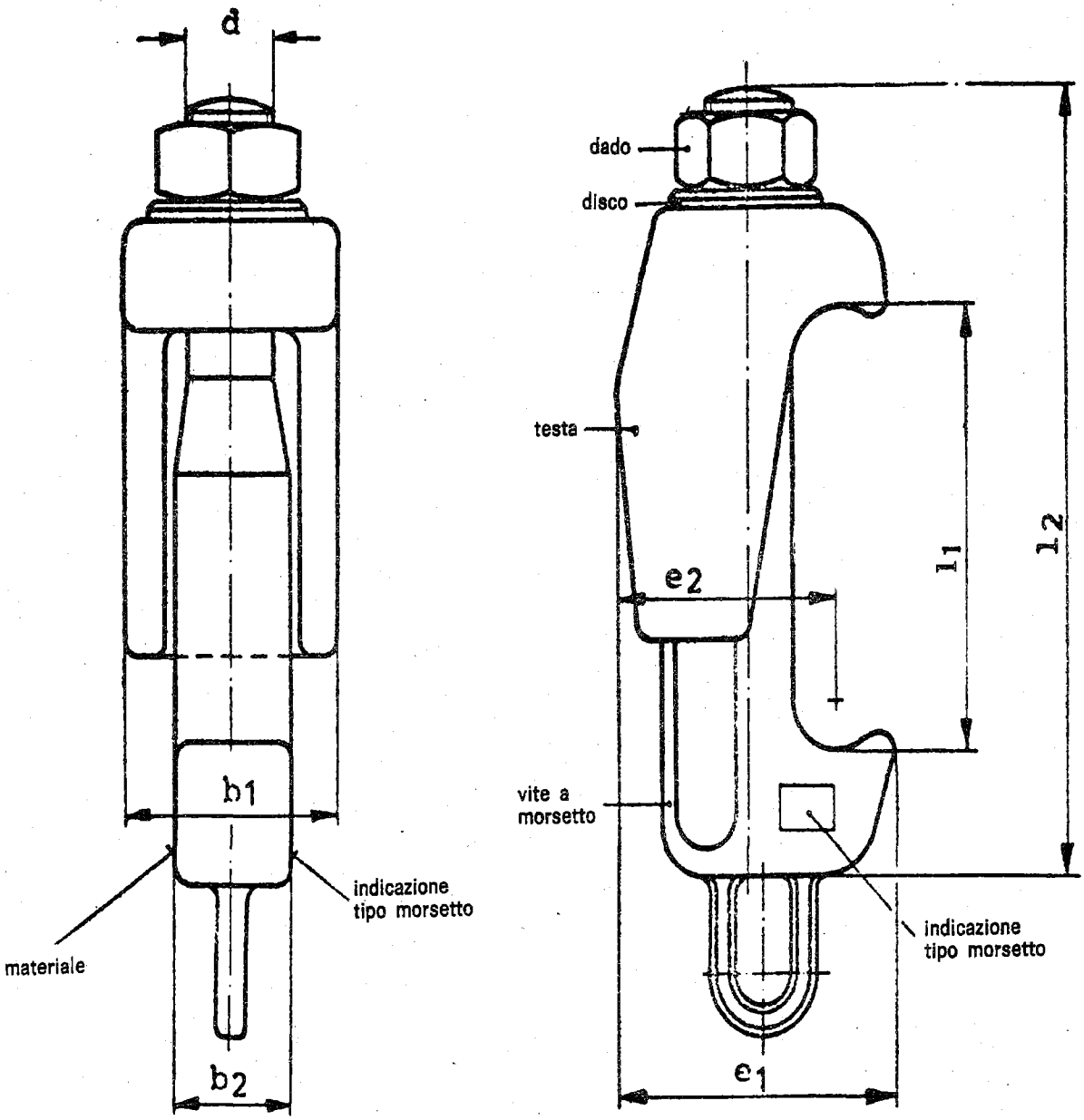


Figura 1.V.1.

Per la verifica di stabilità dei recipienti a pressione costruiti con acciai inossidabili austenitici Nickel, Titanio, Zirconio e loro leghe si applicano le regole riportate nel fascicolo VSR.1., ad eccezione delle regole VSR.1.A.1., VSR.1.B.2., VSR.1.B.3., VSR.1.B.5., VSR.1.B.6., VSR.1.C.1., VSR.1.E.6., VSR.1.L.2. punto 2, VSR.1.M.2., VSR.1.M.3., VSR.1.S.3. punti 1 e 4 che sono sostituite rispettivamente dalle seguenti:

VSR.2.A.1. - *Campo di applicazione*
VSR.2.B.2. - *Sollecitazione massima ammissibile alle condizioni di progetto per laminati, fucinati, trafilati*
VSR.2.B.3. - *Sollecitazione massima ammissibile alle condizioni di prova idraulica per laminati, fucinati, trafilati esclusa la bulloneria*
VSR.2.B.5. - *Sollecitazione massima ammissibile per la bulloneria*
VSR.2.B.6. - *Sollecitazione massima ammissibile per temperatura media di parete inferiore a -10 °C*
VSR.2.C.1. - *Valori minimi ammessi degli spessori*
VSR.2.E.6. - *Fondi a calotta sferica saldati a flange*
VSR.2.L.2. - *Pareti piane e fondi piani circolari non rinforzati e senza aperture: punto 2*
VSR.2.M.2. - *Tubi senza saldatura sottoposti a pressione interna*
VSR.2.M.3. - *Tubi senza saldatura sottoposti a pressione esterna*
VSR.2.M.5. - *Tubi saldati longitudinalmente sottoposti a pressione interna e/o esterna*
VSR.2.S.3. - *Collettori a sezione quadrangolare a pareti piane saldate di spigolo: punti 1. e 3.*

Regola VSR.2.A.1: *Campo di applicazione*

1. Le presenti norme si applicano ai recipienti di vapor d'acqua, di vapori diversi dal vapor d'acqua, di gas compressi liquefatti o disciolti ed agli apparecchi per la preparazione rapida del caffè, da realizzare con acciai inossidabili austenitici, Nickel, Titanio, Zirconio e loro leghe.

Regola VSR.2.B.2: *Sollecitazione massima ammissibile alle condizioni di progetto per laminati, fucinati, trafilati*

1. La sollecitazione massima ammissibile f nella verifica alle condizioni di progetto viene determinata applicando adeguati coefficienti di sicurezza alle caratteristiche meccaniche del materiale alla temperatura media di parete t, dichiarata in progetto, della membratura considerata.

2. *Sollecitazione massima ammissibile per temperatura media di parete da -10°C fino a 50°C.*

2.1. Per gli acciai soggetti a temperatura media di parete da -10°C fino a 50°C, si assume quale sollecitazione massima ammissibile il valore:

2.1.1. $$f = \frac{R_{p\,(0,2)}}{1,5}$$

Qualora sia disponibile il valore di $R_{p(1)}$, può essere assunto:

2.1.2. $$f = \frac{R_{p\,(1)}}{1,5}$$

2.2. In ogni caso il carico ammissibile non dovrà superare il valore di $f = R_m/2,4$.

3. *Sollecitazione massima ammissibile per temperatura media di parete superiore a 50°C.*

3.1. Per gli acciai soggetti a temperatura media di parete t superiore a 50°C, si assume quale sollecitazione massima ammissibile il valore:

3.1.1. $$f = \frac{R_{p\,(0,2)/t}}{1,5}$$

Qualora sia disponibile il valore di $R_{p(1)/t}$, può essere assunto:

3.1.2. $$f = \frac{R_{p\,(1)/t}}{1,5}$$

3.2. In ogni caso il carico ammissibile non dovrà superare il valore di $f = R_m$ / 2,4.

3.3. Qualora non sia noto il valore tabellare di $R_{p(0,2)/t}$ o di $R_{p(1)/t}$ a 50°C, si assume per $R_{p(0,2)/t}$ o $R_{p(1)/t}$, a $t > 50$°C il valore ottenuto per interpolazione lineare tra $R_{p(0,2)}$ o $R_{p(1)}$, assunti convenzionalmente come $R_{p(0,2)/50}$ o $R_{p(1)/50}$, ed il primo valore tabellare noto di $R_{p(0,2)/t}$ o $R_{p(1)/t}$.

4. *Sollecitazione massima ammissibile per temperatura media di parete alla quale si verificano apprezzabili fenomeni di scorrimento viscoso.*

4.1. Per gli acciai soggetti a temperatura media di parete t alla quale si verificano apprezzabili fenomeni di scorrimento viscoso, si assume quale sollecitazione massima ammissibile il minore tra i valori che si ottengono dalle formule 4.1.1. e 4.1.2. oppure dalle due formule 4.1.1. e 4.1.3. a scelta del progettista in funzione del massimo numero di ore di funzionamento previste:

4.1.1. $$f = \frac{R_{p\,(0,2)/t}}{1,5}$$

oppure, qualora venga assunto il valore di $R_{p(1)/t}$

$$f = \frac{R_{p\,(1)/t}}{1,5}$$

4.1.2. $$f = \frac{\sigma_{R/100.000/t}}{1,5}$$

4.1.3. $$f = \frac{\sigma_{R/200.000/t}}{1,25}$$

In mancanza di valori tabellari, il valore di $\sigma_{R/200.000/t}$ viene assunto pari a $\sigma_{R/100.000/t'}$, ove:

$$t' = a \cdot t + b$$

con:

$a = 1,020$; $b = 5,5$;
t e t' espressi in gradi centigradi

I valori di $R_{p(0,2)/t}$ o $R_{p(1)/t}$ non devono essere presi in considerazione nel campo di temperature in cui detti valori non sono tabellati in quanto, già a temperature inferiori, risultano superiori a $\sigma_{R/100.000/t}$[1]

Il valore di $\sigma_{R/200.000/t}$ non può essere calcolato se il valore di t' supera il massimo valore di t a cui risulta tabellato $\sigma_{R/100.000/t}$.

5. *Interpolazione.*

5.1. Per valori di temperatura intermedi fra due valori tabellari di $R_{p(0,2)/t}$ o di $R_{p(1)/t}$ o di $\sigma_{R/100.000/t}$, si assume il valore di $R_{p(0,2)/t}$ o $R_{p(1)/t}$ o $\sigma_{R/100.000/t}$, ottenuto per interpolazione lineare.

Regola VSR.2.B.3: *Sollecitazione massima ammissibile alle condizioni di prova idraulica per laminati, fucinati trafilati, esclusa la bulloneria*

1. Nella verifica di stabilità alle condizioni di prova idraulica, salvo quanto previsto al punto 2, si assume quale sollecitazione massima ammissibile il valore:

1.1. $$f_i = \frac{R_{p\,(0,2)}}{1,1}$$

oppure

1.2. $$f_i = \frac{R_{p\,(1)}}{1,25}$$

a seconda che nella verifica alle condizioni di progetto sia stato assunto $R_{p(0,2)}$ oppure $R_{p(1)}$

2. Nella verifica di stabilità alle condizioni di prova idraulica dei corpi sferici, di cui alle regole VSR.1.G.1., si assume quale sollecitazione massima ammissibile, il valore:

2.1. $$f_i = \frac{R_{p\,(0,2)}}{1,3}$$

oppure

2.2. $$f_i = \frac{R_{p\,(1)}}{1,5}$$

a seconda che nella verifica alle condizioni di progetto sia stato assunto $R_{p(0,2)}$ oppure $R_{p(1)}$

Regola VSR.2.B.5: *Sollecitazione massima ammissibile per la bulloneria*

1. Per la sollecitazione massima ammissibile nella verifica alle condizioni di progetto, oltre la regola VSR.2.B.2., deve in ogni caso essere soddisfatta anche la seguente limitazione:

$$f_B \leq \frac{R_m}{4}$$

non è tuttavia consentito l'uso dei valori di $R_{p(1)/t}$ al posto dei valori $R_{p(0,2)/t}$.

2. La sollecitazione massima ammissibile nella verifica alle condizioni di prova idraulica è data da:

$$f_{Bi} = \frac{R_{p\,(0,2)}}{1,5}$$

3. La sollecitazione massima ammissibile f_{B0} in condizioni di serraggio a freddo della guarnizione va determinata con le stesse modalità previste per quella in condizioni di progetto, considerando però i valori delle caratteristiche meccaniche a temperatura ambiente.

Regola VSR.2.B.6: *Sollecitazione massima ammissibile per temperatura media di parete inferiore a - 10°C.*

1. Per le membrature soggette a temperatura media di parete dichiarata in progetto inferiore a -10°C, nella verifica di stabilità alle condizioni di pressione alla minima temperatura di progetto, si assume quale sollecitazione massima ammissibile il valore dato dalle formule pertinenti indicate nelle regole VSR.2.B.2. punto 2., VSR.2.B.3., VSR.2.B.4. e VSR.2.B.5., e con le condizioni di cui al capitolo M.14. della Raccolta M dell'ISPESL.

[1] Vedi Circolare ISPESL 24-5-1989, n. 31/89

Regola VSR.2.C.1.: *Valori minimi ammessi degli spessori*

1. Lo spessore di una parete, al netto degli eventuali sovraspessori imposti da esigenze di impiego o di lavorazione, non deve essere inferiore ai seguenti minimi:

– pareti ricavate da lamiera oppure da tubo per fasciami cilindrici: 1,5 mm;

– pareti ricavate per fusione: 5 mm.

Eventuali tolleranze negative di fabbricazione dei semilavorati possono essere ammesse sugli spessori minimi sopra indicati, purché vengano considerate nei calcoli di stabilità e rientrino nei limiti ammessi dalle disposizioni per l'impiego dei materiali.

2. I predetti valori minimi valgono in generale, salvo quanto previsto in particolare per specifici tipi di membrature.

Regola VSR.2.E.6.: *Fondi a calotta sferica saldati a flange: punto 5.2.a)*

Nel punto 5.2.a) della regola VSR.1.E.6 il controllo magnetoscopico viene sostituito con il controllo con liquidi penetranti.

Regola VSR.2.L.2.: *Pareti piane e fondi piani circolari non rinforzati e senza aperture: punto 2.*

Il punto 2. della regola VSR.1.L.2. non si applica agli acciai inossidabili austenitici.

Regola VSR.2.M.2.: *Tubi senza saldatura sottoposti a pressione interna*

1. Lo spessore s_0 dei tubi della prima classe di cui alla VSR.1.M.1. (tubi destinati a scambio termico con diametro esterno non superiore a 30 mm) si determina con la formula seguente:

1.1. $$s_o = \frac{pD_e}{2f + p}$$

2. Lo spessore s_0 dei tubi della 2ª classe, di cui alla VSR.1.M.1. (tubi destinati a scambio termico con diametro esterno superiore a 30 mm e tubi non destinati a scambio termico), deve essere determinato con la stessa formula 1.1., ma in ogni caso lo spessore adottato non deve essere inferiore al seguente valore minimo:

2.1. $$s_{min} = 0,5mm$$

Regola VSR.2.M.3.: *Tubi senza saldatura sottoposti a pressione esterna*

1. Lo spessore s_0 dei tubi della 1ª classe, di cui alla VSR.1.M.1. (tubi destinati a scambio termico con diametro esterno non superiore a 30 mm), si determina con la formula seguente:

1.1. $$s_o = 1,2\,\frac{pD_e}{2f + p}$$

2. Lo spessore s_0 dei tubi della 2ª classe, di cui alla VSR.1.M.1., (tubi destinati a scambio termico con diametro esterno superiore a 30 mm e tubi non destinati a scambio termico), deve essere determinato con la stessa formula 1.1., ma in ogni caso lo spessore adottato non deve essere inferiore al seguente valore minimo:

2.1. $$s_{min} = 0,5mm$$

Regola VSR.2.M.5.: *Tubi saldati longitudinalmente sottoposti a pressione interna e/o esterna*

1. Lo spessore s_0 si determina con le formule seguenti:

– tubi sottoposti a pressione interna

1.1. $$s_o = \frac{pD_e}{2fz + p}$$

in cui z è il modulo di efficienza della saldatura da assumere pari ad 1, con i controlli previsti nella Raccolta M.

– tubi sottoposti a pressione esterna

1.2. $$s_o = 1,2\,\frac{pD_e}{2f + p}$$

2. In ogni caso lo spessore adottato non deve essere inferiore a 0,70 mm.

Regola VSR.2.S.3.: *Collettori a sezione quadrangolare a pareti piane saldate di spigolo: punti 1. e 3.*

1. Nei collettori a sezione quadrangolare a pareti piane sono ammesse le saldature di spigolo delle pareti purché:

a) siano adottate le soluzioni indicate nelle figure 1.S.3.1., 1.S.3.2., 1.S.3.3. e 1.S.3.4;

b) le saldature siano eseguite secondo le prescrizioni delle pertinenti disposizioni della Raccolta S e con l'osservanza delle altre prescrizioni particolari indicate al successivo punto 4.

3. *Controlli.*

3.1. Il lembo della parete di spessore s_m o s_n (v. figure 1.S.3.1., 1.S.3.2., 1.S.3.3., 1.S.3.4.) deve essere controllato al fine di accertare l'assenza di difetti o segregazioni importanti; tale controllo, da effettuare alla presenza di un tecnico dell'ISPESL, può essere:

a) ultrasonico su lembo della lamiera prima che esso venga preparato per la saldatura;

b) con liquidi penetranti dopo l'eventuale preparazione per la saldatura.

3.2. Lo slivellamento dei lembi al vertice del cianfrino non deve superare 1 mm nel caso di saldatura TIG e 1,5 mm negli altri casi.

3.3. La prima passata di saldatura deve essere controllata a cura del costruttore con liquidi penetranti.

3.4. A giunto ultimato deve essere ripetuto il controllo con liquidi penetranti sulla superficie del cordone e sul bordo adiacente della parete di spessore s_m o s_n alla presenza di un tecnico dell'ISPESL.

Per la verifica di stabilità dei recipienti a pressione costruiti con ghisa si applicano le regole riportate nel fascicolo VSR.1., ad eccezione delle regole VSR.1.A.1., VSR.1.B.2., VSR.1.B.3., VSR.1.C.1., VSR.1.D.1., VSR.1.E.2., VSR.1.S.1. che sono sostituite rispettivamente dalle seguenti:

VSR.3.A.1. - *Campo di applicazione*
VSR.3.B.2. - *Sollecitazione massima ammissibile per la ghisa alle condizioni di progetto*
VSR.3.B.3. - *Sollecitazione massima ammissibile per la ghisa alle condizioni di prova idraulica*
VSR.3.C.1. - *Valore minimo ammesso dello spessore*
VSR.3.D.1. - *Condizione di applicazione delle formule di calcolo dei fasciami cilindrici sottoposti a pressione interna costruiti in ghisa lamellare e con De/Di ≥ 1,2*
VSR.3.E.2. - *Verifica di stabilità dei fondi curvi sottoposti a pressione sulla superficie di intradosso*
VSR.3.S.1. - *Simboli*

Regola VSR.3.A.1: *Campo di applicazione*

1. Le regole del presente fascicolo VSR.3. si applicano ai recipienti di vapore d'acqua, di vapori diversi dal vapor d'acqua, di gas compressi liquefatti o disciolti da realizzare con ghisa grigia a grafite lamellare per getti o con grafite sferoidale per getti.

2. L'impiego della ghisa grigia a grafite lamellare e della ghisa a grafite sferoidale è limitato ai tipi ed alle pressioni e temperature massime di progetto indicati nella Raccolta M dell'ISPESL.

VSR.3.B.2.: *Sollecitazione massima ammissibile per la ghisa alle condizioni di progetto*

1. La sollecitazione massima ammissibile alle condizioni di progetto f della ghisa grigia a grafite lamellare è data da:

$$f = \frac{R_m}{8}$$

1.1. Qualora i getti di ghisa siano sottoposti a trattamento termico (ricottura di distensione), f è data da:

$$f = \frac{R_m}{6,5}$$

2. La sollecitazione massima ammissibile alle condizioni di progetto f della ghisa a grafite sferoidale è data da:

– per la ghisa del tipo GS 370 con $R_m \leq 400\ MPa$:

$$f = \frac{R_{p\,(0,2)}}{4,0}$$

– per la ghisa del tipo GS 400 con $400\ MPa < R_m \leq 500\ MPa$:

$$f = \frac{R_{p\,(0,2)}}{4,5}$$

– per la ghisa del tipo GS 500 con $500\ MPa < R_m \leq 600\ MPa$:

$$f = \frac{R_{p\,(0,2)}}{5,0}$$

– per la ghisa del tipo GS 600 e GS 700 con $R_m > 600\ MPa$:

$$f = \frac{R_{p\,(0,2)}}{5,5}$$

2.1. Qualora i getti di ghisa siano sottoposti a trattamento termico (ricottura di distensione), f è data da:

– per la ghisa del tipo GS 370:

$$f = \frac{R_{p\,(0,2)}}{3,0}$$

– per la ghisa del tipo GS 400:

$$f = \frac{R_{p\,(0,2)}}{3,5}$$

– per la ghisa del tipo GS 500:

$$f = \frac{R_{p\,(0,2)}}{4,0}$$

– per la ghisa del tipo GS 600 e GS 700:

$$f = \frac{R_{p\,(0,2)}}{4,5}$$

Regola VSR.3.B.3.: *Sollecitazione massima ammissibile per la ghisa alle condizioni di prova idraulica*

1. La sollecitazione massima ammissibile alle condizioni di prova idraulica f_i della ghisa grigia a grafite lamellare è data da:

$$f_i = \frac{R_m}{3,5}$$

2. La sollecitazione massima ammissibile alle condizioni di prova idraulica f_i della ghisa a grafite sferoidale è data da:

– per la ghisa del tipo GS 370:

$$f_i = \frac{R_{p\,(0,2)}}{1,5}$$

– per la ghisa del tipo GS 400:

$$f_i = \frac{R_{p\,(0,2)}}{1,7}$$

– per la ghisa del tipo GS 500:

$$f_i = \frac{R_{p\,(0,2)}}{2,0}$$

– per la ghisa del tipo GS 600 e GS 700:

$$f_i = \frac{R_{p\,(0,2)}}{2,5}$$

Regola VSR.3.C.1: *Valore minimo ammesso dello spessore*

1. Lo spessore di una parete cilindrica o di un fondo a pianta circolare, al netto degli eventuali sovraspessori imposti da esigenze di impiego o di lavorazione, non deve essere inferiore a 6 mm.

Regola VSR.3.D.1.: *Condizioni di applicazione delle formule di calcolo dei fasciami cilindrici sottoposti a pressione interna costruiti in ghisa lamellare e con De/Di ≥ 1,2.*

1. Nella verifica di resistenza dei fasciami cilindrici con rapporto $De/Di \geq 1,2$ in ghisa grigia a grafite lamellare, sottoposti a pressione interna, devono essere prese in considerazione, sulla superficie interna ed esterna, le sollecitazioni dovute alla pressione (σ_{pi} e σ_{pe}) ed al flusso termico centrifugo (σ_{fi} e σ_{fe}). La verifica deve essere effettuata in condizioni di prova idraulica, di pressione di progetto e di massimo valore di Δt.

1.1. I simboli adottati, oltre a quelli già definiti in VSR.0.6., sono i seguenti:

$a = D_e / D_i$;

E = modulo di elasticità della ghisa, in MPa;

m = inverso del coefficiente di Poisson = $1/\nu = 4$;

α = coefficiente di dilatazione termica lineare in m/m°C;

$\Delta t = (t_i - t_e)$ differenza fra la temperatura della fibra interna e la fibra esterna. Il valore deve essere fornito dal progettista;

σ_{pi} = sollecitazione alla fibra interna determinata dalla pressione:

$$\sigma_{(pi)} = p\,\frac{a^2+1}{a^2-1}$$

σ_{pe} = sollecitazione alla fibra esterna determinata dalla pressione:

$$\sigma_{(pe)} = p\,\frac{2}{a^2-1}$$

σ_{fi} = sollecitazione alla fibra interna determinata dal flusso termico:

$$\sigma_{(fi)} = \frac{-m \cdot E \cdot \alpha \cdot \Delta t}{4(m-1)}\left(1+\frac{2a}{1+a}\right)$$

σ_{fe} = sollecitazione alla fibra esterna determinata dal flusso termico:

$$\sigma_{(fe)} = \frac{m \cdot E \cdot \alpha \cdot \Delta t}{4(m-1)}\left(1+\frac{2a}{1+a}\right)$$

1.2. La verifica deve essere fatta componendo algebricamente le sollecitazioni dovute alla pressione e quelle dovute al gradiente termico.

Devono quindi essere soddisfatte le seguenti condizioni:

1.2.1. $\sigma_{fi} + \sigma_{pi} \leq f$

1.2.2. $\sigma_{pe} + \sigma_{fe} \leq 1,3 f$

2. Per i recipienti in ghisa a grafite sferoidale si applicano le formule di cui in VSR.1.D.2 con i limiti ivi previsti.

Regola VSR.3.E.2.: *Verifica di stabilità dei fondi curvi sottoposti a pressione sulla superficie di intradosso*

1. La pressione di progetto dei fondi curvi premuti sulla superficie di intradosso può essere determinata seguendo uno dei criteri di cui ai seguenti punti 1.1., 1.2. e 1.3.

1.1. Effettuazione del calcolo di verifica come appresso indicato:

a) nel caso di fondi con tiranti:

– i tiranti devono sopportare tutta la forza agente sul fondo dovuta alla pressione di progetto; il mozzo centrale, se collegante i due fondi, può essere considerato un tirante e come tale va calcolato;

– il fondo deve avere spessore pari a quello di una parete piana avente diametro massimo uguale a quello del massimo cerchio inscrivibile al di fuori dei tiranti, calcolato secondo le regole del capitolo VSR.1.L;

b) nel caso di fondi senza tiranti, la verifica può essere eseguita adottando le formule delle pareti piane di cui al capitolo VSR.1.L.

1.2. Effettuazione di una prova di scoppio su prototipo secondo le disposizioni contenute nel capitolo VSR.6.A.

1.3. Effettuazione di prove sperimentali estensimetriche, allo scopo di verificare che le tensioni alla pressione di progetto non superino la sollecitazione massima ammissibile del tipo di ghisa impiegato.

Regola VSR.3.S.1.: *Simboli*

Al punto 2 la definizione del coefficiente y è sostituita con la seguente, nella Regola VSR.1.S.1:

y = coefficiente di collaborazione plastica del materiale, da assumere pari a 1,3 per la ghisa a grafite sferoidale, e pari a 1 per la ghisa grigia a grafite lamellare.

Per la verifica di stabilità dei recipienti a pressione costruiti con rame e sue leghe si applicano le regole riportate nel fascicolo VSR.1., ad eccezione delle regole VSR.1.A.1., VSR.1.B.1., VSR.1.B.2., VSR.1.B.3., VSR.1.C.1., VSR.1.M.2., VSR.1.M.3., VSR.1.Q.4. che sono sostituite rispettivamente dalle seguenti:

VSR.4.A.1. - *Campo di applicazione*
VSR.4.B.1. - *Valori delle caratteristiche meccaniche da assumere per la determinazione della sollecitazione massima ammissibile*
VSR.4.B.2. - *Sollecitazione massima ammissibile alle condizioni di progetto per laminati, fucinati, trafilati*
VSR.4.B.3. - *Sollecitazione massima ammissibile alle condizioni di prova idraulica per laminati, fucinati, trafilati*
VSR.4.C.1. - *Valori minimi ammessi dello spessore*
VSR.4.M.2. - *Tubi sottoposti a pressione interna*
VSR.4.M.3. - *Tubi sottoposti a pressione esterna*
VSR.4.Q.4. - *Calcolo dello spessore della parete dei vari tipi di canali - Raggio minimo di raccordo dei profili dei canali*

Regola VSR.4.A.1.: *Campo di applicazione*

1. Le regole del presente fascicolo VSR.4. si applicano ai recipienti di vapore d'acqua, di vapori diversi dal vapor d'acqua, di gas compressi liquefatti o disciolti, nonché agli apparecchi per la preparazione rapida del caffè, da realizzare con rame e sue leghe.

2. L'impiego del rame e sue leghe è limitato ai tipi ed alle pressioni e temperature massime di progetto indicate nella Raccolta M dell'ISPESL.

Regola VSR.4.B.1.: *Valori delle caratteristiche meccaniche da assumere per la determinazione della sollecitazione massima ammissibile*

1. Per la determinazione della sollecitazione massima ammissibile alle condizioni di progetto per temperatura media di parete fino a 50°C ed alle condizioni di prova idraulica, si assume per le costruzioni saldate quale valore di R_m il carico di rottura minimo tabellare a temperatura ambiente allo stato ricotto.

Per le costruzioni non saldate si assume il valore di R_m pertinente allo stato di impiego.

2. In alternativa a quanto previsto al punto 1., è ammesso assumere quale valore di R_m il valore della resistenza minima effettiva del giunto saldato alla temperatura ambiente.

Il valore della resistenza minima effettiva del giunto, che non deve essere assunto superiore al carico di rottura minimo tabellare a temperatura ambiente del materiale allo stato di impiego, deve essere garantito dal costruttore sulla base di sue esperienze o di documentazioni tecniche e deve essere verificato con le prove di trazione trasversale del giunto saldato in sede di qualifica del procedimento e, per i giunti di categoria I e II, con le prove di trazione trasversale sul tallone di verifica delle saldature.

Regola VSR.4.B.2.: *Sollecitazione massima ammissibile alle condizioni di progetto per laminati, fucinati, trafilati*

1. La sollecitazione massima ammissibile f nella verifica alle condizioni di progetto viene determinata in funzione delle caratteristiche meccaniche del materiale alla temperatura media di parete t, dichiarata in progetto, della membratura considerata.

2. *Sollecitazione massima ammissibile per temperatura media di parete inferiore a 50°C.*

2.1. Per il rame e sue leghe da lavorazione plastica - laminati, fucinati, trafilati - soggetti a temperatura media di parete inferiore a 50°C, si assume quale sollecitazione massima ammissibile il valore:

2.1.1. $f = \frac{R_m}{4}$

3. *Sollecitazione massima ammissibile per temperatura media di parete superiore od uguale a 50°C.*

3.1. Per il rame e sue leghe da lavorazione plastica - laminati, fucinati, trafilati - soggetti a temperatura media di parete superiore od uguale a 50°C, si assume quale sollecitazione massima ammissibile il valore:

3.1.1 $f_t = y\, f$

dove:

y = coefficiente di riduzione di R_m per temperatura media di parete superiore od uguale a 50°C; i valori del coefficiente di riduzione y in funzione della temperatura sono riportati per i vari tipi di leghe di rame nella Tabella 4.B.2.1.;

f = sollecitazione massima ammissibile, in MPa, come definita al precedente punto 2, riferita alle condizioni di progetto per temperatura media di parete inferiore a 50°C.

Regola VSR.4.B.3.: *Sollecitazione massima ammissibile alle condizioni di prova idraulica per laminati, fucinati, trafilati*

1. Nella verifica di stabilità alle condizioni di prova idraulica si assume quale sollecitazione massima ammissibile il valore:

$$1.1. \qquad f_i = \frac{R_m}{2{,}5}$$

che non deve comunque superare il valore di $R_{p(0,2)}$.

Regola VSR.4.C.1.: *Valori minimi ammessi dello spessore*

1. Lo spessore di una parete, al netto degli eventuali sovraspessori imposti da esigenze di impiego o di lavorazione, non deve essere inferiore ai seguenti minimi:

– pareti ricavate da lamiera per fasciami cilindrici, corpi conici o sferici e fondi a pianta circolare oppure da tubo per fasciami cilindrici:
1,5 mm

Eventuali tolleranze negative di fabbricazione dei semilavorati possono essere ammesse sullo spessore minimo citato, purché vengano considerate nei calcoli di stabilità e rientrino nei limiti ammessi dalle disposizioni per l'impiego dei materiali.

– pareti ricavate per fusione:
5 mm

2. I predetti valori minimi valgono in generale, salvo quanto previsto in particolare per specifici tipi di membrature di cui alla presente Raccolta.

Regola VSR.4.M.2.: *Tubi sottoposti a pressione interna*

1. Lo spessore s_0 dei tubi della 1ª classe di cui alla VSR.1.M.1. (tubi destinati a scambio termico con diametro esterno non superiore a 30 mm) si determina con la formula seguente:

$$1.1. \qquad s_0 = \frac{p D_e}{2 f z + p}$$

2. Lo spessore s_0 dei tubi della 2ª classe di cui alla VSR.1.M.1. (tubi destinati a scambio termico con diametro esterno superiore a 30 mm e tubi non destinati a scambio termico) deve essere determinato con la stessa formula 1.1., ma in ogni caso lo spessore adottato non deve essere inferiore a 0,5 mm.

Regola VSR.4.M.3.: *Tubi sottoposti a pressione esterna*

1. Lo spessore s_0 dei tubi della 1ª classe di cui alla VSR.1.M.1. (tubi destinati a scambio termico con diametro esterno non superiore a 30 mm) si determina con la formula seguente:

$$1.1. \qquad s_0 = 1{,}2 \frac{p D_e}{2 f + p}$$

2. Lo spessore s_0 dei tubi della 2ª classe di cui alla VSR.1.M.1. (tubi destinati a scambio termico con diametro esterno superiore a 30 mm e tubi non destinati a scambio termico) deve essere determinato con la stessa formula 1.1., ma in ogni caso lo spessore adottato non deve essere inferiore a 0,5 mm.

Regola VSR.4.Q.4.: *Calcolo dello spessore della parete dei vari tipi di canali - Raggio minimo di raccordo dei profili dei canali*

1. Lo spessore minimo s_0' dei canali aventi sezione semicircolare, semiellittica o di segmento circolare si determina con la formula seguente:

$$1.1. \qquad s_0' = \frac{2\,p\,r}{f}$$

in cui:

r raggio di curvatura interno massimo del profilo del canale, in mm.

2. Lo spessore minimo s_0' dei canali aventi sezione di forma rettangolare di lati a e b, con $b > a$, si determina con la formula seguente:

$$2.1. \qquad s_0' = b\sqrt{\frac{4\,p}{3\,f}}$$

3. Lo spessore minimo s_0' dei canali aventi sezione di forma triangolare di larghezza a dell'ala dell'angolare si determina con la formula seguente:

$$3.1. \qquad s_0' = a\sqrt{\frac{p}{f}}$$

4. Il raggio minimo di raccordo r' dei profili dei canali di cui alle figure 1.Q.1.2., 1.Q.1.4. e 1.Q.1.5. non deve essere inferiore a s'.

Tabella 4.B.2.1.

Coefficienti di riduzione del carico di rottura alle varie temperature (*)

MATERIALE RAME E SUE LEGHE	Stato di fornitura	Temperatura di esercizio: °C											
		20	50	100	150	175	200	225	250	275	300	350	375
P-Cu DHP	R	1	0,96	0,91	0,85	0,81	0,78	—	—	—	—	—	—
	H2 (**)	1	0,94	0,89	0,84	0,82	0,81	—	—	—	—	—	—
	H4 (**)	1	0,95	0,90	0,88	0,84	0,83	—	—	—	—	—	—
P-Cu ETP	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
P-Cu Ag	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
P-Cu As	R	1	0,93	0,87	0,82	0,78	0,77	—	—	—	—	—	—
	H2 (**)	1	0,94	0,90	0,87	0,85	0,81	—	—	—	—	—	—
	H4 (**)	1	0,95	0,91	0,87	0,84	0,82	—	—	—	—	—	—
P-Cu S	R	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
P-Cu Cr1	R	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
P-Cu Be	R	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
P-Cu Co 2 Be	R	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
P-Cu Si3 Mn1	R	1	0,96	0,92	0,89	0,86	—	—	—	—	—	—	—
P-Cu Zn15	R	1	0,93	0,89	0,85	0,83	0,82	0,80	—	—	—	—	—
P-Cu Zn30	R	1	0,95	0,91	0,88	0,87	0,82	0,76	—	—	—	—	—
P-Cu Zn37	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
P-Cu Zn40	R	1	1	0,96	0,92	0,90	0,89	—	—	—	—	—	—
P-Cu Al5	R	1	0,98	0,92	0,90	0,89	0,89	0,89	0,89	—	—	—	—
P-Cu Al8	R	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
P-Cu Al8 Fe3	R	1	0,97	0,92	0,85	0,82	0,79	0,76	0,72	0,68	0,64	0,58	0,54
P-Cu Al10 Fe3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
P-Cu Al10 Fe5 Ni5	R	1	0,98	0,92	0,89	0,86	0,86	0,83	0,81	0,80	0,77	0,67	0,60
P-Cu Zn21 Al2	R	1	0,97	0,95	0,94	0,94	0,93	0,91	—	—	—	—	—
P-Cu Zn28 Sn1	R	1	0,97	0,95	0,94	0,94	0,93	0,91	—	—	—	—	—
P-Cu Zn39 Sn1	R	1	0,98	0,98	0,94	0,93	0,90	—	—	—	—	—	—
P-Cu Zn39 Al1	R	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
P-Cu Zn32 Mn3 Al2 Fe1 Ni	R	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
P-Cu Zn39 Al1 Fe1 Mn1	R	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
P-Cu58 Zn40 Pb2	R	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
P-Cu59 Zn39 Pb2	R	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
P-Cu63 Zn35 Pb2	R	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
P-Cu Ni 25	R	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
P-Cu Ni30	R	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
P-Cu Ni5 Fe1 Mn	R	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
P-Cu Ni10 Fe1 Mn	R	1	0,96	0,92	0,89	0,86	0,85	0,83	0,82	0,80	0,79	—	—
P-Cu Ni20 Mn1 Fe	R	1	0,95	0,90	0,85	0,83	0,81	0,79	0,78	0,77	0,73	0,73	0,72
P-Cu Ni30 Mn1 Fe	R	1	0,98	0,91	0,87	0,85	0,84	0,82	0,81	0,80	0,78	0,77	0,76
P-Cu Ni30 Mn2 Fe2	R	1	0,98	0,91	0,87	0,85	0,84	0,82	0,81	0,80	0,78	0,77	0,76
P-Cu Ni44 Mn1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

(*) Per valori intermedi è consentita l'interpolazione lineare.
(**) Secondo UNI 4244.

Per la verifica di stabilità dei recipienti a pressione costruiti con alluminio e sue leghe si applicano le regole riportate nel fascicolo VSR.1., ad eccezione delle regole VSR.1.A.1., VSR.1.B.1., VSR.1.B.2., VSR.1.B.3., VSR.1.C.1., VSR.1.M.2., VSR.1.M.3. che sono sostituite rispettivamente dalle seguenti:

VSR.5.A.1. - *Campo di applicazione*
VSR.5.B.1. - *Valori delle caratteristiche meccaniche da assumere per la determinazione della sollecitazione massima ammissibile*
VSR.5.B.2. - *Sollecitazione massima ammissibile alle condizioni di progetto per laminati, fucinati, trafilati*
VSR.5.B.3. - *Sollecitazione massima ammissibile alle condizioni di prova idraulica per laminati, fucinati, trafilati*
VSR.5.C.1. - *Valori minimi ammessi dello spessore*
VSR.5.M.2. - *Tubi sottoposti a pressione interna*
VSR.5.M.3. - *Tubi sottoposti a pressione esterna*

Regola VSR.5.A.1.: *Campo di applicazione*

1. Le regole del presente fascicolo VSR.5. si applicano ai recipienti di vapore d'acqua, di vapori diversi dal vapor d'acqua, di gas compressi liquefatti o disciolti, alle bombole fisse di capacità superiore ad 80 litri da realizzare con alluminio e sue leghe.

2. L'impiego dell'alluminio e sue leghe è limitato ai tipi ed alle pressioni e temperature massime di progetto indicate nella Raccolta M dell'ISPESL.

Regola VSR.5.B.1.: *Valori delle caratteristiche meccaniche da assumere per la determinazione della sollecitazione massima ammissibile*

1. Per la determinazione della sollecitazione massima ammissibile alle condizioni di progetto per temperatura media di parete fino a 50°C ed alle condizioni di prova idraulica, si assume per le costruzioni saldate quale valore di R_m il carico di rottura minimo tabellare a temperatura ambiente allo stato ricotto.

Per le costruzioni non saldate si assume il valore di R_m pertinente allo stato di impiego.

2. In alternativa a quanto previsto al punto 1., è ammesso assumere quale valore di R_m il valore della resistenza minima effettiva del giunto saldato alla temperatura ambiente.

Il valore della resistenza minima effettiva del giunto, che non deve essere assunto superiore al carico di rottura minimo tabellare a temperatura ambiente del materiale allo stato di impiego, deve essere garantito dal costruttore sulla base di sue esperienze o di documentazioni tecniche e deve essere verificato con le prove di trazione trasversale del giunto saldato in sede di qualifica del procedimento e, per i giunti di categoria I e II, con le prove di trazione trasversale sul tallone di verifica delle saldature.

Regola VSR.5.B.2.: *Sollecitazione massima ammissibile alle condizioni di progetto per laminati, fucinati, trafilati*

1. La sollecitazione massima ammissibile f nella verifica alle condizioni di progetto viene determinata in funzione delle caratteristiche meccaniche del materiale alla temperatura media di parete t, dichiarata in progetto, della membratura considerata.

2. *Sollecitazione massima ammissibile per temperatura media di parete fino a 50°C.*

2.1. Per l'alluminio e sue leghe da lavorazione plastica – laminati, fucinati, trafilati - soggetti a temperatura media di parete fino a 50°C, si assume quale sollecitazione massima ammissibile il valore:

2.1.1. $$f = \frac{R_m}{4}$$

3. *Sollecitazione massima ammissibile per temperatura media di parete superiore a 50°C.*

3.1. Per l'alluminio e sue leghe da lavorazione plastica – laminati, fucinati, trafilati - soggetti a temperatura media di parete superiore a 50°C, si assume quale sollecitazione massima ammissibile il valore:

3.1.1 $$f_t = y\, f$$

dove:

y = coefficiente di riduzione di R_m per temperatura media di parete superiore od uguale a 50°C; i valori del coefficiente di riduzione y in funzione della tempertura sono riportati per i vari tipi di leghe di alluminio nella Tabella 5.B.2.1.;

f = sollecitazione massima ammissibile, in MPa, come definita al precedente punto 2, riferita alle condizioni di progetto per temperatura media di parete non superiore a 50°C.

Regola VSR.5.B.3.: *Sollecitazione massima ammissibile alle condizioni di prova idraulica per laminati, fucinati, trafilati*

1. Nella verifica di stabilità alle condizioni di prova idraulica si assume quale sollecitazione massima ammissibile il valore:

1.1. $$f_i = \frac{R_m}{2{,}5}$$

che non deve comunque superare il valore di $R_{p(0,2)}$.

Regola VSR.5.C.1.: *Valori minimi ammessi dello spessore*

1. Lo spessore di una parete, al netto degli eventuali sovraspessori imposti da esigenze di impiego o di lavorazione, non deve essere inferiore ai seguenti minimi:

– pareti ricavate da lamiera per fasciami cilindrici, corpi conici o sferici e fondi a pianta circolare oppure da tubo per fasciami cilindrici:

1,5 mm

Eventuali tolleranze negative di fabbricazione dei semilavorati possono essere ammesse sullo spessore minimo citato, purché vengano considerate nei calcoli di stabilità e rientrino nei limiti ammessi dalle disposizioni per l'impiego dei materiali.

– pareti ricavate per fusione:

5 mm

2. I predetti valori minimi valgono in generale, salvo quanto previsto in particolare per specifici tipi di membrature di cui alla presente Raccolta.

Regola VSR.5.M.2.: *Tubi sottoposti a pressione interna*

1. Lo spessore s_0 dei tubi della 1ª classe di cui alla VSR.1.M.1. (tubi destinati a scambio termico con diametro esterno non superiore a 30 mm) si determina con la formula seguente:

1.1. $$s_0 = \frac{p D_e}{2 f z + p}$$

2. Lo spessore s_0 dei tubi della 2ª classe di cui alla VSR.1.M.1, (tubi destinati a scambio termico con diametro esterno superiore a 30 mm e tubi non destinati a scambio termico) deve essere determinato con la stessa formula 1.1., ma in ogni caso lo spessore adottato non deve essere inferiore a 0,5 mm,

Regola VSR.5.M.3.: *Tubi sottoposti a pressione esterna*

1. Lo spessore s_0 dei tubi della 1ª classe di cui alla VSR.1.M.1. (tubi destinati a scambio termico con diametro esterno non superiore a 30 mm) si determina con la formula seguente:

1.1. $$s_0 = 1{,}2 \frac{p D_e}{2 f + p}$$

2. Lo spessore s_0 dei tubi della 2ª classe di cui alla VSR.1.M.1. (tubi destinati a scambio termico con diametro esterno superiore a 30 mm e tubi non destinati a scambio termico) deve essere determinato con la stessa formula 1.1., ma in ogni caso lo spessore adottato non deve essere inferiore a 0,5 mm.

Tabella 5.B.2.1.

Coefficiente di riduzione dei valori del carico di rottura in funzione della temperatura

Materiale ALLUMINIO E SUE LEGHE	Stato	Coefficiente di riduzione del carico di rottura per temperature in °C				
		≤ 50	100	150	200	260
P-ALP99,8-99,7-99,5-99,0	R H15 H30	1 1 1	0,77 0,89 0,89	0,61 0,78 0,73	0,46 0,57 0,53	0,31 0,22 0,22
P-AlMn1,2	R H25	1 1	0,81 0,92	0,69 0,83	0,53 0,72	0,37 0,56
P-AlMn1,2Mg P-AlMn1,2Cu	R H25	1 1	1 1	0,85 0	0,54 0,95	0,38 0,75
P-AlMg1,5	R H25	1 1	1 1	0,90 1	0,67 0,94	0,43 0,75
P-AlMg2,5	R H20	1 1	1 1	0,82 1	0,60 0,85	0,43 0,56
P-AlMg3,5	R H20	1 1	1 1	0,83 1	0,63 0,85	0,48 0,56
P-AlMg4,4	R H15	1 1	0,95 1	0,74 0,88	0,52 0,77	0,41 0,54
P-AlMg4,5	R H10	1 1	0,95 1	0,74 0,88	0,52 0,77	0,41 0,54
P-AlSiMgMn P-AlMg1SiCu	TA16	1	0,93	0,75	0,42	0,16
P-AlZn4,5Mg	TA	1	0,88	0,75	0,53	

ELENCO DELLE REGOLE CONTENUTE NEL CAPITOLO VSR.6.A.

Regola VSR.6.A.1.: *Generalità*

1. Il presente capitolo fissa i criteri di valutazione dei risultati della prova a pressione spinta fino a rottura condotta, ai sensi del D.M. 21 novembre 1972 art. 7, al fine di verificare il coefficiente di sicurezza globale di apparecchi o loro parti.

L'esecuzione della prova a pressione spinta fino a rottura è ammessa peraltro solo nei casi in cui le sollecitazioni determinanti siano dovute alla pressione.

2. La prova a pressione spinta fino a rottura è ammessa solamente per quelle membrature o soluzioni costruttive per le quali non sono previste o alle quali non sono applicabili le disposizioni per la verifica di stabilità contenute nella presente Raccolta.

3. La membratura da assoggettare alla prova di cui al presente capitolo non deve essere stata sottoposta in precedenza ad una pressione di prova idraulica maggiore di quella regolamentare.

4. Per le membrature di cui al punto 2., si procede con una prova su un campione spinta fino alla pressione che determina la rottura o manifestazioni di cedimento o instabilità.

E' considerata equivalente alla prova spinta fino a rottura la prova che, su richiesta del costruttore venga limitata alla pressione p_r per la quale è soddisfatta la condizione di cui al successivo punto 1. della regola VSR.6.A.2. purché fino a tale valore di pressione non si verifichino gli effetti di cui sopra.

Dopo la prova il campione o parti di esso non possono essere utilizzati per la costruzione di membrature soggette al controllo ISPESL a meno che non sia dimostrato mediante prove estensimetriche che il campione non ha subito deformazioni permanenti.

5. Il campione sul quale viene eseguita la prova deve essere conforme al progetto dell'apparecchio di cui si chiede l'approvazione.

Per più progetti di apparecchi o parti di essi che differiscono per particolari irrilevanti ai fini della prova, oppure di apparecchi o parti di essi per i quali il costruttore dimostri, attraverso cautelative assunzioni e criteri di similitudine, che i risultati delle prove sono a priori correlabili, la prova su un solo campione può essere ritenuta rappresentativa di più progetti nei limiti di cui sopra.

Regola VSR.6.A.2.: *Pressione di rottura*

1. La pressione minima p_r in MPa, da raggiungere nella prova è quella che soddisfa la seguente condizione:

$$1.1. \qquad p_r \geq \frac{R}{f}\,\frac{s_2}{s_1}\,\frac{K}{z}\,p$$

Nel caso in cui il rapporto R/f risulti inferiore a 5 nella formula deve introdursi per R/f il valore 5.

I simboli che compaiono nelle formule 1.1., in aggiunta a quelli definiti in VSR.0.6., indicano:

- R carico unitario di rottura del materiale, in MPa, determinato con i criteri di cui al successivo punto 2.;
- s_2 spessore nominale del campione incrementato della tolleranza positiva, o spessore effettivo rilevato sperimentalmente nel campione, in mm;
- s_1 spessore risultante dal disegno di progetto, diminuito della tolleranza di fabbricazione e degli eventuali sovraspessori imposti da esigenze di impiego e di lavorazione, in mm;
- K fattore di qualità pari a:
  1,2 per materiali in getti
  1 per altri materiali;
- z modulo di efficienza dei giunti saldati che interessano la membratura sottoposta a prova.

2. Il carico di rottura R da introdurre nella formula 1.1. deve essere desunto con uno dei seguenti criteri:

a) valore ricavato da determinazione diretta, con prova di trazione a temperatura ambiente eseguita, alla presenza di tecnici dell'ISPESL, su provetta prelevata da appendice del campione da sottoporre a prova oppure da materiale proveniente dallo stesso semilavorato del campione che abbia subito lo stesso ciclo di fabbricazione e trattamento termico; non è ammesso eseguire la prova di trazione su provetta prelevata dal campione già sottoposto alla prova di pressione;

b) valore ricavato dalla specifica di appartenenza del materiale come appresso:

– valore massimo tabellare del carico di rottura a temperatura ambiente, qualora la specifica riporti sia il valore inferiore sia quello superiore di detto carico di rottura;

– valore pari a 1,3 volte il valore minimo tabellare del carico di rottura a temperatura ambiente, qualora la specifica riporti soltanto il valore inferiore di detto carico di rottura.

3. Nel caso la membratura sia costituita da materiali di diverso tipo, deve essere assunto per p_r il maggiore tra i valori risultanti dall'applicazione della formula 1.1. a ciascun tipo di materiale.

Regola VSR.6.A.3.: *Modalità di esecuzione della prova*

1. La prova consiste nel sottoporre la membratura a pressione di liquido; l'incremento di pressione deve essere graduale e l'attrezzatura deve consentire sicure rilevazioni delle pressioni.

2. Durante l'esecuzione della prova vanno adottate tutte le cautele atte ad assicurare l'incolumità del personale.

Regola VSR.6.A.4.: *Riprove*

Nel caso di risultato non soddisfacente in quanto chiaramente attribuibile ad errori od irregolarità nella prova è ammessa la ripetizione della prova stessa su altro identico campione.

ELENCO DELLE REGOLE CONTENUTE NEL CAPITOLO VSR.6.B.

Regola VSR.6.B.1.: *Generalità*

1. Le presenti disposizioni stabiliscono i criteri per la predisposizione, esecuzione, elaborazione e valutazione dei risultati delle prove estensimetriche da eseguire, nei casi previsti dall'art. 7 del D.M. 21 novembre 1972 e successive modifiche, su particolari membrature di apparecchi a pressione.

2. Scopo delle prove è la determinazione dello stato tensionale in zone critiche di una membratura o sull'intera membratura.

3. Il numero, la disposizione e l'orientamento degli estensimetri devono essere stabiliti dal progettista dell'apparecchio sulla base delle indicazioni ricavabili da una preliminare analisi teorica delle sollecitazioni oppure - in assenza di tali analisi - da prove con vernici fragili. L'ISPESL valuta i criteri di scelta adottati.

4. L'esecuzione di prove su modelli in scala è ammessa purché sia dimostrata dal progettista la validità della similitudine.

5. Per l'esecuzione delle prove estensimetriche devono essere presentate:

– una copia del disegno dell'apparecchio e del dettaglio della membratura da sottoporre alle prove con l'indicazione dei punti di misura sulla superficie esterna ed eventualmente su quella interna, opportunamente numerati e con relative quote di riferimento, tipo di estensimetri proposto e loro orientamento, sequenza dei valori della pressione, e/o di eventuali altri carichi, per i quali debbono effettuarsi i rilievi;

– la relazione esplicativa della metodologia di calcolo seguita con i relativi risultati, considerazioni sul presumibile comportamento statico e conseguente scelta dei punti di misura oppure - in assenza di calcolo - indicazione delle zone e modalità di applicazione delle vernici fragili. Devono comunque essere indicati per il materiale costituente le membrature, oggetto delle prove, il modulo di Young e il coefficiente di Poisson.

Regola VSR.6.B.2.: *Approntamento dell'apparecchiatura di prova*

1. L'apparecchio o membratura deve essere sottoposto a prove in ambienti non polverosi e con umidità relativa del 40÷70%, al riparo dalle intemperie, da sorgenti di calore o da irraggiamento solare.

2. Preliminarmente devono effettuarsi le prove necessarie per accertare il regolare funzionamento della attrezzatura di prova.

3. La preparazione delle superfici nelle zone di applicazione degli estensimetri deve essere effettuata secondo le buone regole suggerite dall'esperienza in relazione anche al tipo di supporto e di collante da impiegare.

Il tempo intercorrente fra l'applicazione delle rosette e l'inizio della prova deve essere non minore di quello indicato caso per caso dal produttore del collante.

4. Per le rosette estensimetriche devono essere noti il tipo, la disposizione e resistenza degli estensimetri, il fattore di taratura ed eventuali altre caratteristiche essenziali in relazione alle modalità e finalità delle prove; anche per gli altri elementi di completamento dell'apparecchiatura devono essere note le caratteristiche ed i dati necessari.

Regola VSR.6.B.3.: *Modalità di esecuzione della prova*

1. Dopo l'applicazione degli estensimetri, l'apparecchio deve essere sottoposto a un ciclo di pressurizzazione con fluidi idonei rilevando i valori delle deformazioni che si verificano in corrispondenza della pressione di progetto (ed eventualmente di prova idraulica) e di una serie di valori intermedi di pressione (almeno uno), in fase di carico e di scarico.

I valori delle deformazioni residue, ottenuti riportando la pressione a zero, devono essere non superiori a 50 micro deformazioni (milionesimi di millimetro per millimetro).

Se tale limite è superato in qualche punto di misura si possono eseguire ulteriori cicli di pressurizzazione al fine di ottenere, nel ciclo in esame, deformazioni

residue inferiori al limite predetto in tutti i punti di misura. Le deformazioni ottenute nell'ultimo ciclo vengono utilizzate per il calcolo in campo elastico delle relative sollecitazioni da eseguire secondo la scienza delle costruzioni.

2. Ai fini anche di una eventuale applicazione di coefficienti correttivi, devono essere valutati gli effetti dovuti all'azione della pressione sugli estensimetri interni, le variazioni di temperatura della membratura, l'umidità, la resistenza dei contatti dell'eventuale commutatore, le imperfezioni del ponte di misura e la sua instabilità per variazioni di tensione, le variazioni di temperatura dei cavi l'influenza della loro lunghezza ed altri particoiari aventi rilevanza sulla regolarità ed esattezza delle misure.

Regola VSR.6.B.4.: *Certificazioni*

1. I risultati delle prove estensimetriche debbono essere contenuti in una relazione con i seguenti elementi:

– oggetto delle prove e posizionamento degli estensimetri;

– condizioni generali di prova e descrizione degli elementi essenziali delle apparecchiature utilizzate;

– caratteristiche degli estensimetri, sistemi di trasmissione e registrazione dei dati.

2. Le deformazioni nelle diverse condizioni e posizioni debbono essere espresse preferibilmente in microdeformazioni e devono essere accompagnate dai coefficienti di taratura, correzione o altri dati necessari per i calcoli.

3. Per i risultati (angolo fra la direzione iniziale di riferimento e quella principale corrispondente, deformazioni e sollecitazioni principali, sollecitazioni ideali) devono indicarsi le rispettive unità di misura e le formule adottate per i calcoli.

Regola VSR.6.B.5.: *Interpretazione e valutazione dei risultati*

1. Se per la membratura sottoposta a prove non è stata indicata dal progettista una giustificata attribuzione delle sollecitazioni alle diverse categorie, in nessun punto la sollecitazione ideale alla pressione di progetto può essere superiore a quella ammissibile stabilita dalle disposizioni alla temperatura di progetto, per le sollecitazioni primarie generali di membrana.

2. Nei casi in cui è stato analizzato teoricamente, con metodi appropriati, il comportamento statico della membratura (e quindi sono state suddivise nelle diverse categorie previste le sollecitazioni nei vari punti, e calcolate le sollecitazioni ideali per i carichi presenti durante la prova), se l'andamento delle sollecitazioni calcolate è qualitativamente concordante con quello delle sollecitazioni risultanti dalle prove estensimetriche, possono accettarsi sollecitazioni fino ai valori massimi previsti per le diverse categorie.

Tali valori possono essere ammessi anche nel caso in cui, essendo stata fornita una giustificata attribuzione delle sollecitazioni alle diverse categorie, venga effettuata una preliminare indagine con l'applicazione di vernici fragili onde individuare i punti di maggiore sollecitazione.

3. La correlazione tra i risultati teorici e quelli sperimentali deve essere verificata a cura e responsabilità del progettista che provvederà ad istituire per ogni categoria di sollecitazioni, un confronto quando è possibile, fra i valori teorici e quelli desunti in base ai risultati delle prove oppure a mettere in evidenza la misura in cui le diverse categorie di sollecitazioni concorrono a determinare il valore delle sollecitazioni misurate sperimentalmente.

4. Le eventuali discordanze tra risultati di calcolo e sperimentali verranno valutate tenendo conto dell'affidabilità dei calcoli, degli errori di misura e di altre condizioni da considerare caso per caso quali eventuali differenze, accertate, fra le caratteristiche della membratura di prova e quelle considerate nei calcoli dovute a tolleranze o particolari di esecuzione.

5. Le valutazioni di cui ai punti precedenti possono essere limitate ai soli punti critici nei quali sono massime le sollecitazioni ideali complessive e quelle delle diverse categorie sempreché l'individuazione dei suddetti punti sia possibile e certa.

6. L'ISPESL valuta le considerazioni e conclusioni alle quali è pervenuto il progettista e si esprime in ordine all'accettazione della membratura, motivandone l'eventuale giudizio negativo in caso di mancata accettazione.

7. Se l'andamento delle sollecitazioni risultanti dalle prove estensimetriche non è qualitativamente concordante con quello delle sollecitazioni risultanti dall'analisi di calcolo, la sollecitazione ideale deve risultare in tutti i punti non superiore a quella ammissibile stabilita dalle norme per le sollecitazioni primarie generali di membrana.

ELENCO DELLE REGOLE CONTENUTE NEL CAPITOLO VSR.7.A.

Regola VSR.7.A.1.: *Generalità*

1. Il presente capitolo definisce i criteri generali per la valutazione delle sollecitazioni, di cui indica i limiti ammissibili, per membrature in acciaio al carbonio legati e non legati, in acciaio al Cr-Ni o con altri materiali a questi assimilabili per comportamento elasto-plastico.

Questi criteri sono da impiegare nella valutazione di sollecitazioni ricavate dallo studio per via analitica e/o sperimentale, dello stato di tensione di apparecchiature o membrature non previste nella presente Raccolta ed hanno lo scopo di assicurare, per quegli elementi, basi di verifica coerenti con quelle sulle quali si fondano le regole contenute nella Raccolta stessa.

L'uso dei metodi contenuti in questo capitolo è accettabile per la risoluzione di problemi per i quali essi risultano chiaramente applicabili; in alternativa possono (e se del caso devono) essere applicate tecniche analitiche o principi diversi purché più cautelativi.

2. Esulano dalle considerazioni contenute in questo capitolo le membrature o le configurazioni sottoposte a sollecitazioni di compressione per le quali sono da prevedere fenomeni di instabilità elastica che dovranno essere studiati a parte.

3. I criteri riportati in questo capitolo valgono per temperature per le quali non sono presenti fenomeni di scorrimento viscoso e per le quali pertanto la sollecitazione di riferimento f è determinata da una delle due caratteristiche meccaniche di snervamento (R_s, $R_{p(0,2)}$, $R_{p(0,2)/t}$) e di rottura a temperatura ambiente (R_m) indicate nel capitolo VSR.1.B.

4. I metodi di analisi indicati in questo capitolo sono applicabili integralmente quando non sono richieste verifiche a fatica; quando invece tale verifica è richiesta occorre effettuare le necessarie integrazioni.

5. Le considerazioni contenute in questo capitolo si basano sull'analisi elastica delle tensioni.

6. La teoria di resistenza a cui si fa riferimento in questo capitolo è quella che individua nella massima sollecitazione di taglio la grandezza indice di pericolo (Teoria di Guest-Tresca).

Pertanto la sollecitazione ideale equivalente in ogni punto è data dalla differenza tra il più grande ed il più piccolo valore algebrico delle tre sollecitazioni principali σ_1, σ_2, σ_3.

Regola VSR.7.A.2.: *Classificazione delle sollecitazioni*

1. *Premesse.*

In un recipiente a pressione, le sollecitazioni agenti su un elemento o membratura possono essere raggruppate in categorie in relazione al diverso livello di pericolosità rispetto al collasso.

È possibile quindi fissare per le diverse categorie limiti ammissibili diversi.

Per carico di collasso si intende quel carico o quella combinazione di carichi per cui la deformazione di una struttura di materiale elastico perfettamente plastico aumenta senza limiti.

Le sollecitazioni vengono suddivise nelle seguenti tre categorie:

– sollecitazioni primarie;
– sollecitazioni secondarie;
– sollecitazioni di picco.

2. *Sollecitazioni primarie.*

Sono le sollecitazioni prodotte da carichi esterni e corrispondono alle forze ed ai momenti interni generati da quei carichi.

Poiché dipendono dai carichi esterni, e quindi il loro valore è imposto dalla legge dell'equilibrio tra forze e momenti interni e carichi esterni, queste sollecitazioni non sono influenzate da eventuali deformazioni plastiche; se cioè la membratura ha dei cedimenti la sollecitazione non diminuisce. Pertanto, in una struttura in materiale elastoplastico, se le sollecitazioni primarie superano il limite di snervamento le conseguenti deformazioni proseguono fino al collasso o alla rottura.

Questo si sintetizza dicendo che le sollecitazioni primarie non sono autolimitanti.

Le sollecitazioni primarie sono inoltre raggruppate nelle seguenti tre sottocategorie:

a) sollecitazioni primarie generali di membrana;
b) sollecitazioni primarie locali di membrana;
c) sollecitazioni primarie di flessione.

2.1. Sollecitazioni primarie generali di membrana (f_m).

Sono primarie, e quindi derivanti da carichi esterni, che producono un effetto generalizzato (non solo attraverso lo spessore ma anche in zone molto vaste, come ad esempio per la pressione) ed hanno caratteristiche di sollecitazioni membranali cioè sono sollecitazioni « normali » alla sezione considerata uniformemente distribuite attraverso lo spessore. Interessando tutta la sezione, se viene raggiunto il limite di snervamento, con un ulteriore incremento del carico si ha il collasso della membratura.

Il loro valore si ottiene come media delle sollecitazloni primarie attraverso lo spessore della sezione considerata.

2.2. Sollecitazioni primarie locali di membrana (f_l).

In alcuni casi una sollecitazione di membrana prodotta da pressione o da altri carichi meccanici ed associata con effetti primari e/o di una discontinuità può produrre una eccessiva deformazione nel trasferimento delle sollecitazioni ad altre parti della membratura.

In tal caso la sollecitazione derivante è cautelativamente classificata come una sollecitazione locale primaria di membrana sebbene abbia alcune caratteristiche di una sollecitazione secondaria. Una sollecitazione può essere considerata localizzata se la zona nella quale la sollecitazione ideale supera $1{,}1\, f_m$ non si estende per più di $0{,}5\sqrt{R \cdot s}$ e se la zona interessata non è più vicina di $2{,}5\sqrt{R \cdot s}$ ad un'altra zona in cui sono superati i limiti della sollecitazione generale primaria di membrana (R è il raggio medio del recipiente ed s è lo spessore di parete nel punto in cui viene superato il limite f_m della sollecitazione generale primaria di membrana).

Un esempio di sollecitazione locale primaria di membrana è la sollecitazione di membrana prodotta in una membratura da forze e momenti esterni per effetto di un supporto permanente o dell'attacco di un bocchello.

2.3. Sollecitazioni primarie di flessione (f_b).

Sono date dalla componente variabile linearmente o linearizzata di una sollecitazione primaria. Essa è massima sulle superfici esterne ed interne di una membratura e nulla al centro della sezione per cui, raggiunto il limite elastico nei punti più lontani dell'asse neutro non si ha il collasso per giungere al quale i carichi debbono aumentare fino a determinare la plasticizzazione totale della sezione.

Esempio di sollecitazione primaria di flessione è la sollecitazione di flessione al centro di un fondo piano sottoposto a pressione.

3. *Sollecitazioni secondarie (g).*

Sono le sollecitazioni che insorgono per l'esistenza di un vincolo tra la membratura in esame e altre membrature ad essa collegate e derivano dalla imposizione della congruenza delle deformazioni delle membrature vincolate.

Piccole deformazioni plastiche locali possono far variare le condizioni e le reazioni dei vincoli, e quindi il regime statico della struttura la cui geometria si adegua alla causa che ha provocato le reazioni stesse.

Questo comportamento si sintetizza affermando che le sollecitazioni di questo tipo sono autolimitanti.

E' evidente che queste sollecitazioni, ai fini del collasso della membratura, sono assai meno pericolose delle sollecitazioni primarie in quanto non sono in grado di provocare il collasso della struttura in assenza di fenomeni di fatica.

Esempi di sollecitazioni secondarie sono la sollecitazione termica generale e la sollecitazione di flessione in corrispondenza di una discontinuità (vincolo) strutturale.

4. *Sollecitazioni di picco (p).*

Sono le sollecitazioni o concentrazioni di sollecitazioni dovute soltanto a singolarità di forma (ad esempio raggi di raccordo tra bocchelli e fasciami, piccoli fori, ecc.) oppure a differenza di temperatura o di coefficienti di dilatazione tali da non provocare deformazioni apprezzabili.

Queste sollecitazioni sono comunque da prendere in considerazione solo nel caso di membrature soggette a fatica (v. punto 4. della Regola VSR.7.A.1.). Esempi di sollecitazioni di picco sono la sollecitazione termica nella placcatura di acciaio austenitico di un recipiente in acciaio al carbonio e la sollecitazione termica nella parete di un recipiente o tubazione provocata da un repentino cambiamento di temperatura del fluido contenuto.

5. *Sollecitazione termica.*

È una sollecitazione autoequilibrata prodotta da una distribuzione di temperatura non uniforme o da coefficienti termici di dilatazione differenti; essa si determina in una membratura quando questa è vincolata e non può assumere la forma e le dimensioni che normalmente avrebbe a causa del cambiamento di temperatura o quando la distribuzione di temperatura determina una condizione di non congruenza delle deformazioni delle varie fibre della membratura.

Allo scopo di stabilire le sollecitazioni ammissibili è opportuno considerare due tipi di sollecitazione termica che dipendono dal volume n dall'area in cui avviene la deformazione.

5.1. La sollecitazione termica generale è associata alla deformazione della struttura in cui avviene;

perciò questa sollecitazione è classificata come secondaria perché se una sollecitazione di questo tipo, trascurando la concentrazione di sollecitazione, supera il doppio della sollecitazione di snervamento del materiale, l'analisi elastica può non essere valida e cicli successivi possono produrre un aumento della deformazione.

Esempi di sollecitazione termica generale sono:

– la sollecitazione prodotta da una distribuzione di temperatura assiale in un fasciame cilindrico;

– la sollecitazione prodotta dalla differenza di temperatura tra un bocchello ed il fasciame al quale è fissato;

– la sollecitazione lineare equivalente prodotta dalla distribuzione di temperatura radiale in un fasciame cilindrico.

5.2. La sollecitazione termica locale è associata con la quasi completa soppressione della dilatazione differenziale per cui non produce alcuna importante deformazione; queste sollecitazioni debbono essere considerate solo dal punto di vista della fatica e sono quindi classificate come sollecitazioni di picco (*p*).

Esempi di sollecitazioni termiche locali sono:

– la sollecitazione in una piccola zona ad alta temperatura nella parete di un recipiente;

– la differenza tra la sollecitazione effettiva e la sollecitazione lineare equivalente (1) derivante da una distribuzione di temperatura radiale in un fasciame cilindrico;

– la sollecitazione termica nel materiale di una placcatura avente il coefficiente di dilatazione diverso da quello del metallo di base.

6. Esempi di categorizzazione di sollecitazioni in funzione della loro origine sono riportati nella tabella 1.

Regola VSR.7.A.3.: *Calcolo delle sollecitazioni ideali di confronto*

1. L'analisi del comportamento statico di una membratura ha lo scopo di determinare, per ogni categoria definita alla Regola precedente, le sollecitazioni ideali relative alla membratura stessa.

1.1. Qualora non sia possibile stabilire a priori e con certezza i punti maggiormente sollecitati, l'indagine dovrà essere sufficientemente estesa onde stabilire il carattere delle variazioni ed individuare conseguentemente i punti di massima sollecitazione per ogni categoria considerata in relazione ai carichi esterni ed alle azioni derivanti da vincoli con le membrature adiacenti.

1.2. La valutazione separata per categorie è imposta dalla necessità di considerare le sollecitazioni non solo in base alla loro entità ma anche in relazione al diverso grado di pericolosità agli effetti del collasso della struttura (rottura o grandi deformazioni). In sede di valutazione dei risultati vengono pertanto ammessi valori massimi diversi per ogni categoria, o insiemi di categorie, come stabilito al successivo punto 5.

2. Le sollecitazioni debbono sempre essere determinate nelle condizioni di progetto ed eventualmente di prova idraulica, in taluni casi può essere richiesta anche l'analisi delle sollecitazioni che si determinano nell'effettivo esercizio allorché le condizioni risultano più gravose come può verificarsi, ad esempio, in presenza di dilatazioni termiche differenziali fra due pareti.

3. Lo studio dello stato di tensione generato da un insieme di carichi nell'intorno di un punto viene normalmente condotto con le teorie elementari della Scienza delle Costruzioni classica o con la teoria dell'elasticità fondate sull'ipotesi di un comportamento perfettamente elastico dei materiali e quindi nei limiti di validità della Legge di Hooke. Sono ammesse tuttavia, solo per il caso di sollecitazioni secondarie, sollecitazioni superiori allo snervamento (1,5 *f* ma comunque non superiori a 3*f*) il cui valore è convenzionale ed è giustificato dalla presenza di deformazioni plastiche localizzate; in effetti tali valori delle sollecitazioni corrispondono al prodotto delle deformazioni autolimitanti per il modulo di elasticità.

3.1. È ammesso applicare, in conseguenza di quanto precede, il principio di sovrapposizione degli effetti che consente di determinare le sollecitazioni per ogni categoria determinate da più carichi come somma di quelle parziali prodotte dalle singole forze pensate queste ultime agenti separatamente.

3.2. Le eventuali ipotesi semplificative che potrebbero rendersi necessarie nello studio di casi particolari dovranno essere opportunamente valutate e risultare favorevoli alla sicurezza.

4. Per il calcolo delle sollecitazioni ideali relative alle singole categorie la procedura si articola - di massima - nelle fasi di cui ai punti successivi; le relative considerazioni sono riportate a titolo di chiarimento dei criteri suggeriti e di richiamo della Scienza delle Costruzioni.

4.1. Determinazione dei carichi esterni (pressione, spinte addizionali, ecc.) e delle reazioni dei vincoli, con eventuali membrature adiacenti, se - in relazione alla loro distanza - influenzano la statica del sistema nel punto considerato. Il calcolo delle predette reazioni viene normalmente effettuato in base alle condizioni di equilibrio delle forze e di congruenza degli spostamenti in corrispondenza del vincolo.

4.2. Ripartizione degli sforzi interni in gruppi omogenei per categorie di sollecitazioni (primarie generali, locali e secondarie); ogni gruppo di sforzi potrà comprendere forze o momenti (flettenti o torcenti) comunque orientati rispetto ad un piano di riferimento passante per il punto considerato.

4.3. Scomposizione dei diversi sforzi, ripartiti per categorie, nelle rispettive componenti secondo una terna di assi ortogonali passanti per il punto e calcolo, per ciascuna categoria, della somma algebrica delle relative sollecitazioni. In generale, materializzando il punto in un cubo di dimensioni piccolissime orientato con le facce secondo i 3 piani di riferimento determinati dalla terna dei 3 assi ortogonali, si hanno (figure 7.A.1. e 7.A.2.):

– 3 componenti normali σ_x, σ_y, σ_z (positive se di trazione e negative se di compressione), sulle 3 facce ortogonali ed adiacenti del cubo;

– 6 componenti di taglio, uguali due a due, sulle 3 facce ortogonali ed adiacenti del medesimo cubo:

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} \quad \tau_{yz} = \tau_{zy} \quad \tau_{zx} = \tau_{xz}$$

(dove gli indici x, y, z definiscono le direzioni normale e parallela delle sollecitazioni).

L'insieme delle sei sollecitazioni (3 σ e 3 τ) definisce lo stato di tensione nel punto e secondo le direzioni considerate. Variando queste direzioni, assumendo cioè una terna di assi, per lo stesso punto, con diverso orientamento, variano i valori delle σ e τ; per un particolare orientamento della terna (direzioni principali) si annullano le sollecitazioni di taglio mentre quelle normali principali assumono

(1) La sollecitazione lineare equivalente è definita come la distribuzione di sollecitazione relativa allo stesso momento flettente che corrisponde alla distribuzione della sollecitazione effettiva.

valori (σ_1, σ_2, σ_3) uno dei quali è il massimo ed uno è il minimo. Le tensioni tangenziali sono massime in piani a 45° rispetto ai precedenti.

4.4. Calcolo delle sollecitazioni principali σ_1, σ_2, σ_3 per ogni categoria in funzione delle 6 tensioni (σ e τ), precedentemente determinate, operando per via analitica o grafica (cerchio di Mohr per i sistemi piani).

La scelta della terna iniziale di riferimento deve effettuarsi tenendo conto delle particolari caratteristiche della membratura quali l'esistenza di assi di simmetria geometrica e/o dei carichi onde semplificare i calcoli e, quando è possibile, ridurre lo studio ad un sistema piano di tensioni riferibile a 2 anziché a 3 assi ortogonali.

È opportuno assumere come terna iniziale di riferimento quella delle direzioni principali quando queste sono definibili a priori essendo note le direzioni secondo le quali le sollecitazioni normali sono massime o minime oppure quelle di taglio sono nulle. Ad esempio, nei corpi cilindrici a parete sottile soggetti a pressione, la tensione circonferenziale è principale (figura 7.A.3.) su entrambe le superfici interna ed esterna dove gli sforzi di taglio sono nulli.

Nella figura 7.A.4. è riportato un esempio di carichi agenti su di una virola cilindrica facente parte di un recipiente a pressione.

4.5. Calcolo delle sollecitazioni ideali equivalenti σ_{id} assumendo, per ogni categoria, la maggiore in valore assoluto delle seguenti differenze algebriche:

$$\sigma_1 - \sigma_2 \qquad \sigma_2 - \sigma_3 \qquad \sigma_3 - \sigma_1$$

in applicazione della teoria di resistenza di Guest-Tresca. I valori calcolati per ogni categoria di sollecitazioni debbono essere confrontati con quelli limiti ammessi di cui al successivo punto 5.

5. Le condizioni di stabilità della membratura nel punto considerato sono soddisfatte se, per le diverse categorie di sollecitazioni considerate, risulta (v. tabella 2):

$$f_m \leq f$$
$$f_l \leq 1{,}5 f$$
$$f_l + f_b \leq 1{,}5 f$$
$$f_m + f_b \leq 1{,}5 f$$
$$f_l + f_b + g \leq 3\,\mathrm{f}$$
$$f_m + f_b + g \leq 3 f$$

essendo f la sollecitazione massima ammissibile definita dalle norme nelle condizioni di esercizio o di prova idraulica.

Tabella 1 - Classificazione delle sollecitazioni per alcuni casi tipici

Componente	Posizione	Origine della sollecitazione	Tipo di sollecitazione	Classificazione
Fasciame cilindrico o sferico	Lamiera distante da discontinuità	Pressione interna	Generale di membrana Gradiente nello spessore della lamiera	f_m g
		Gradiente termico assiale	Membrana Flessione	g g
	Giunzioni a fondi o flange	Pressione interna	Membrana Flessione	f_l g
Qualsiasi fasciame o fondo	Qualsiasi sezione del recipiente	Forza o momento esterno, o pressione interna	Generale di membrana mediata nella sezione completa Componente della sollecitazione perpendicolare alla sezione trasversale	f_m
		Forza o momento esterno	Flessione nella sezione completa Componente della sollecitazione perpendicolare alla sezione trasversale	f_m
	Presso bocchelli o altre aperture	Carico o momento esterno, o pressione interna	Locale di membrana Flessione Picco (al raccordo o all'angolo)	f_l g p
	Qualsiasi posizione	Differenza di temperatura tra fasciame e fondo	Membrana Flessione	g g
Fondo bombato o conico	Parte centrale	Pressione interna	Membrana Flessione	f_m f_b
	Raccordo o giunzione al fasciame	Pressione interna	Membrana Flessione	f_l (1) g
Fondo piano	Zona centrale	Pressione interna	Membrana Flessione	f_m f_b
	Unione al fasciame	Pressione interna	Membrana Flessione	f_l g

(1) Deve anche considerarsi la possibilità di corrugamenti e di deformazioni eccessive nei recipienti con elevato rapporto diametro-spessore

(segue)

Segue: **Tabella 1 - Classificazione delle sollecitazioni per alcuni casi tipici**

Componente	Posizione	Origine della sollecitazione	Tipo di sollecitazione	Classificazione
Fondo o fasciame forato	Allineamento tipico ed uniforme	Pressione	Membrana (media nella sezione trasversale) Flessione (media lungo il ligament, ma variabile linearmente nella lamiera) Picco	f_m f_b p
	Isolato o allineato non uniformemente	Pressione	Membrana Flessione Picco	g p p
Bocchello	Sezione ortogonale all'asse del bocchello	Pressione interna o forze o momenti esterni	Generale di membrana mediata nella sezione completa Componente della sollecitazione ortogonale alla sezione	f_m
		Forze o momenti esterni	Flessione nella sezione del bocchello	f_m
	Parete del bocchello	Pressione interna	Generale di membrana Locale di membrana Flessione Picco	f_m f_l g p
		Dilatazione differenziale	Membrana Flessione Picco	g g p
Placcatura	Qualsiasi	Dilatazione differenziale	Membrana Flessione	p p
Qualsiasi	Qualsiasi	Distribuzione radiale di temperatura (2)	Sollecitazione lineare equivalente (3) Parte non lineare della distribuzione di sollecitazioni	p
Qualsiasi	Qualsiasi	Qualsiasi	Concentrazione di sollecitazioni (effetto di intaglio)	p

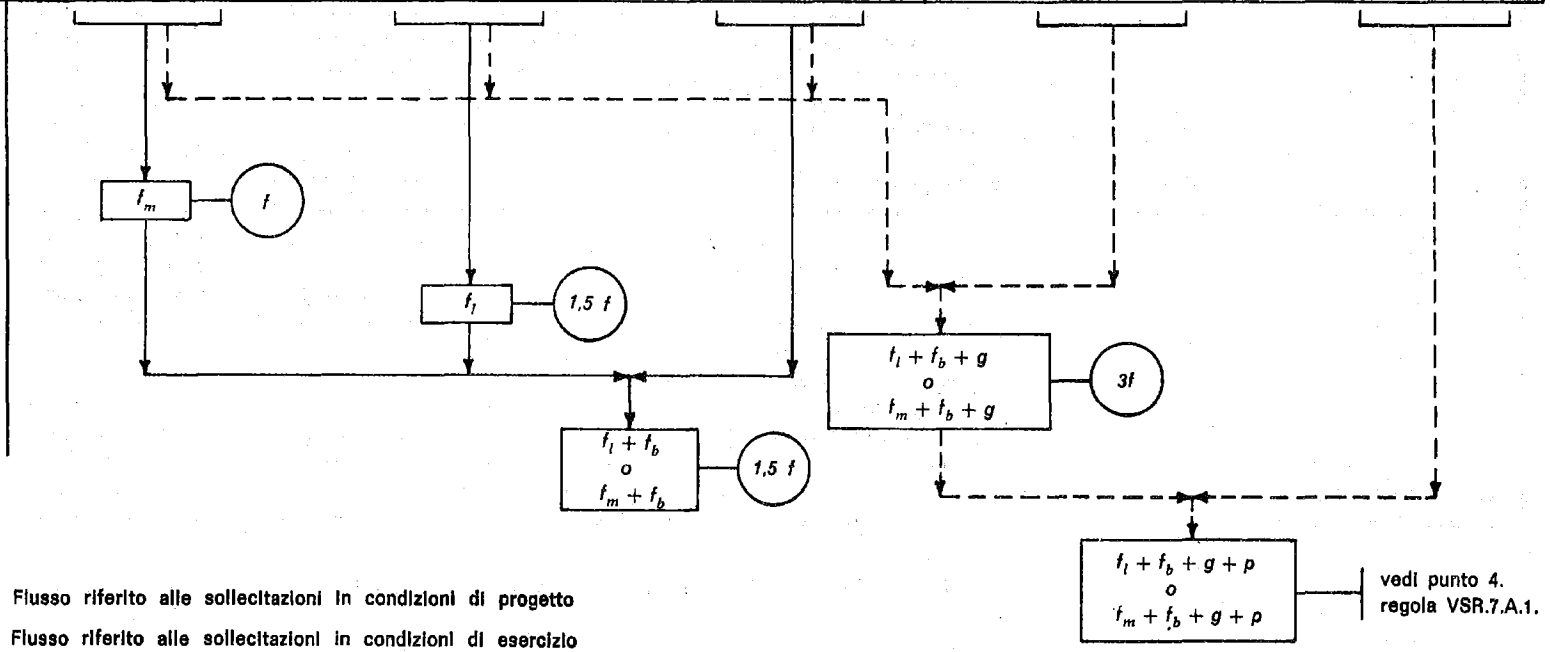
(2) Considerare la possibilità della variabilità della sollecitazione termica.

(3) La sollecitazione lineare equivalente è definita come la distribuzione di sollecitazione relativa allo stesso momento flettente che corrisponde alla distribuzione della sollecitazione effettiva.

Tabella 2 - Categorie delle sollecitazioni e limiti ammissibili

Categoria delle sollecitazioni	Primarie			Secondarie	Picco
	Generali di Membrana	Locali di Membrana	Flessione		
Descrizione (per gli esempi vedere tabella 1)	Sollecitazione primaria media attraverso una sezione piena. Esclude discontinuità e concentrazioni. Prodotta solo da carichi meccanici.	Sollecitazione media attraverso qualsiasi sezione piena. Tiene conto di discontinuità ma non di concentrazioni. Prodotta solo da carichi meccanici.	Componente di sollecitazione primaria proporzionale alla distanza dal baricentro di una sezione piena. Esclude discontinuità e concentrazioni. Prodotta solo da carichi meccanici.	Sollecitazione autoequilibrata necessaria per soddisfare la continuità della struttura. Insorge in corrispondenza di una discontinuità strutturale. Può essere causata da carico meccanico o da dilatazione termica differenziale. Esclude concentrazioni di sollecitazione locali.	1) Incremento aggiunto alla sollecitazione primaria o secondaria da una concentrazione (intaglio). 2) Certe sollecitazioni termiche che possono causare della fatica ma non delle deformazioni del recipiente.
Simboli	f_m	f_l	f_b	g	p

Combinazione delle componenti di sollecitazione e limiti ammissibili per la sollecitazione ideale



——— Flusso riferito alle sollecitazioni in condizioni di progetto

– – – – – Flusso riferito alle sollecitazioni in condizioni di esercizio

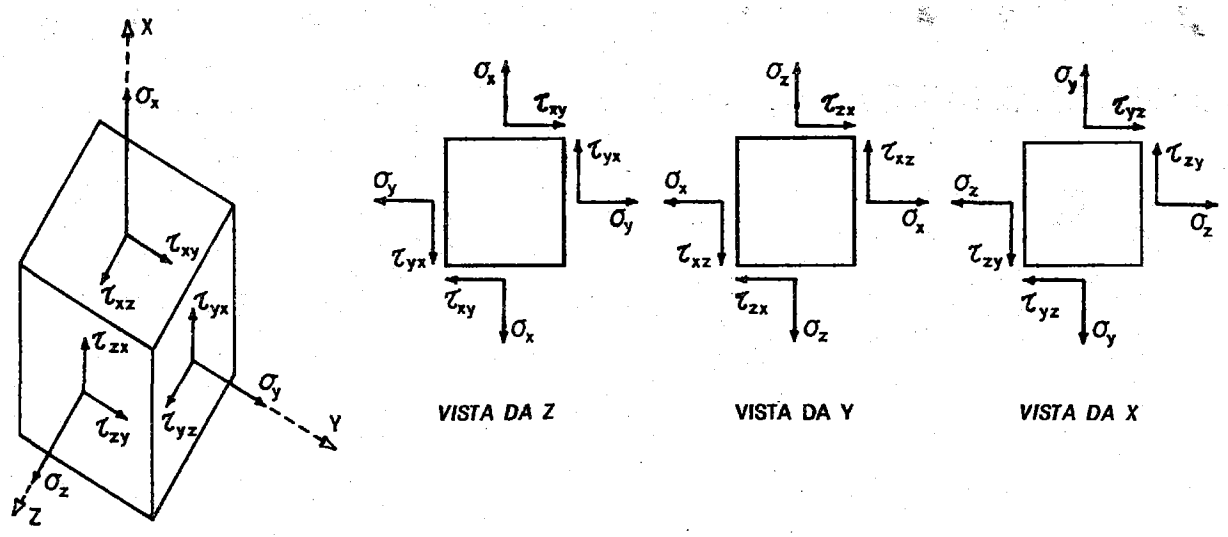


Figura 7.A.1. – Andamento generico delle componenti di tensione su un elemento di materiale comunque orientato in un corpo soggetto a forze esterne (N.B.: per l'equilibrio deve necessariamente aversi: $\tau_{xy} = \tau_{yx}$; $\tau_{xz} = \tau_{zx}$; $\tau_{yz} = \tau_{zy}$.

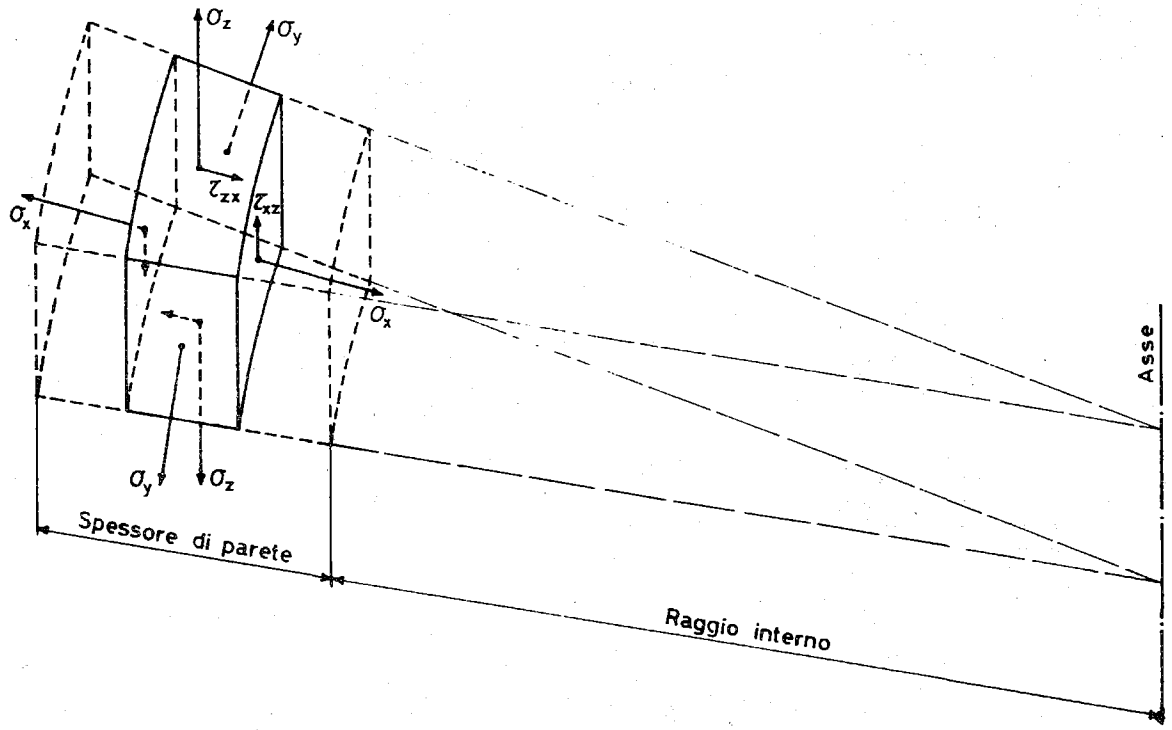


Figura 7.A.2. – Generiche componenti di tensione su un elemento di materiale orientato secondo gli assi radiale, circonferenziale e assiale all'interno della parete di un apparecchio a pressione a simmetria assiale, soggetto a sola pressione interna.

Figura 7.A.3 – Andamento generico delle componenti di tensione su di una sezione qualsiasi di un recipiente a pressione a simmetria assiale soggetto a sola pressione interna e avente spessore sottile rispetto al diametro (si noti che nei punti a e b, essendo nulla la τ, le tensioni principali sono dirette secondo gli assi di riferimento scelti).

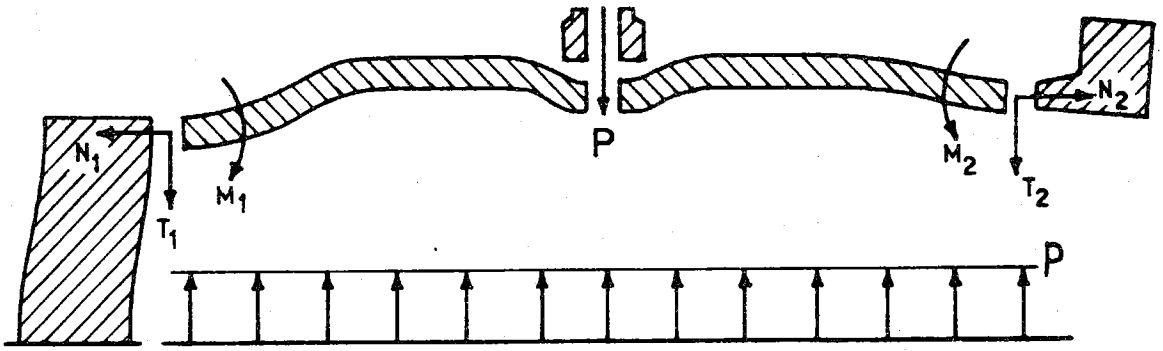


Figura 7.A.4. – esempio di carichi agenti su di una virola cilindrica facente parte di un recipiente a pressione (sono state rappresentate, in scala macroscopica, le deformazioni conseguenti ai carichi).

VSR.8.A.1. - *D.M. 19 marzo 1980: ALLEGATO A «Prescrizioni tecniche per la costruzione e l'impiego dei recipienti contenenti birra e/o bevande gassate sotto pressione e disposizioni transitorie»*

VSR.8.A.2. - *Disposizioni tecniche integrative*

VSR.8.A.3. - *Adempimenti per la costruzione e il rilascio del certificato del prototipo dei recipienti di cui al D.M. 19 marzo 1980*

Regola VSR.8.A.1.: *D.M. 19 marzo 1980: ALLEGATO A «Prescrizioni tecniche per la costruzione e l'impiego dei recipienti contenenti birra e/o bevande gassate sotto pressione e disposizioni transitorie»*

1. *Campo di applicazione.*

1.1. Le presenti prescrizioni tecniche si applicano ai recipienti contenenti birra e/o bevande gassate sottoposti a pressione mediante immissione di anidride carbonica ed aventi capacità non superiore a 60 litri e pressione massima di esercizio non superiore a 5 Kg/cm^2, di seguito indicati con il termine «recipienti».

2. *Requisiti e costruzione.*

2.1. I recipienti debbono essere costruiti con materiali idonei e con validi procedimenti di saldatura riferendosi a tal fine alla Raccolta M e alla Raccolta S della cessata Associazione Nazionale per il Controllo della Combustione.

2.2. I recipienti debbono essere muniti di certificato di conformità alle presenti prescrizioni rilasciate dagli uffici cui sono attribuiti i compiti e le funzioni della cessata A.N.C.C.

2.2.1. Per i recipienti prodotti in serie è sufficiente la certificazione del prototipo.

2.3. I recipienti debbono essere contraddistinti mediante:

a) nominativo del costruttore;
b) numero di identificazione;
c) anno di costruzione;
d) pressione massima di esercizio in Kg/cm.
e) estremi della certificazione del prototipo.

2.3.1. In sostituzione delle indicazioni di cui alle lettere *c)*, *d)*, *e)* può essere rilasciato cumulativamente un attestato del costruttore.

3. *Procedure per la certificazione del prototipo e prove tecniche.*

3.1. La certificazione di conformità alle presenti disposizioni del prototipo è rilasciata al richiedente previa domanda e presentazione del progetto di costruzione agli uffici di cui al punto 2.2., nonché previa prova di pressione del prototipo eseguita a norma dei punti 3.3. e 3.3.1.

3.2. Il progetto del prototipo deve essere sottoscritto da un tecnico abilitato secondo le disposizioni di legge in vigore.

3.3. Il prototipo dei recipienti deve essere sottoposto, alla presenza dei tecnici degli uffici di cui al punto 2.2., a prova di pressione spinta sino a rottura.

3.3.1. La pressione di prova deve essere non inferiore a 5 volte la pressione massima di esercizio dichiarato in progetto.

4. *Costruzione dei recipienti e controlli.*

4.1. Il costruttore dei recipienti è responsabile della rispondenza dei recipienti costruiti al prototipo.

4.1.1. La rispondenza deve, in particolare, attenere:

a) ai procedimenti di lavorazione, che non debbono alterare, ai fini della sicurezza, le caratteristiche dei materiali certificate dal fabbricante;

b) ai procedimenti di saldatura e all'impiego degli elettrodi, riconosciuti idonei dagli uffici di cui al punto 2.2. in sede di esame del progetto e indicati nella certificazione di conformità relativa al prototipo;

c) all'impiego di operai qualificati.

4.2. Gli uffici di cui al punto 2.2. hanno facoltà di disporre la verifica di conformità al prototipo dei recipienti durante la produzione.

5. *Impiego dei recipienti.*

5.1. I recipienti durante il loro impiego debbono essere collegati alle bombole di anidride carbonica, a cura e sotto la responsabilità del proprietario, mediante un gruppo riduttore della pressione.

5.1.1. Il gruppo riduttore, il cui prototipo deve essere preventivamente provato e munito di certificato di idoneità dagli uffici di cui al punto 2.2., deve essere costituito da una valvola riduttrice, una valvola di sicurezza e un manometro.

6. *Disposizioni transitorie.*

6.1. I recipienti già costruiti e in uso e non rispondenti ai requisiti tecnici sopra indicati debbono essere regolarizzati, entro un anno dall'entrata in vigore

---

[1] Pubblicato nella *Gazzetta Ufficiale* n. 16 del 17 gennaio 1981 ed in vigore il giorno successivo alla pubblicazione medesima.

delle presenti norme, mediante verifica su campioni eseguita dai tecnici di cui al punto 2.2. con la sola prova di pressione spinta fino a rottura.

6.1.1. Entro lo stesso termine debbono essere regolarizzati i gruppi riduttori con l'osservanza della norma di cui al punto 5.1.1.

6.2. La pressione di prova deve essere non inferiore a 5 volte la pressione massima di esercizio dichiarata dal costruttore o dal proprietario.

6.3. La verifica su campione per i recipienti in uso è eseguita su un recipiente per ogni produzione non superiore a 5.000 recipienti uguali.

6.4. La richiesta di regolarizzazione deve essere corredata:

a) da una distinta degli apparecchi da regolarizzare con l'indicazione del nominativo o marchio del costruttore, del numero di identificazione e della pressione massima di esercizio in Kg/cm^2;

b) da una dichiarazione di omogeneità dei recipienti costituenti la produzione.

6.4.1. Il marchio del costruttore ed il numero progressivo di identificazione debbono essere riportati sui recipienti.

6.5. La regolarizzazione dei recipienti già in uso è richiesta dal costruttore e, in sua mancanza o impossibilità a provvedere, dal proprietario.

6.6. I recipienti in uso, per i quali sia stato certificato mediante rilascio di libretto matricolare, l'esito positivo delle verifiche di costruzione da parte dell'A.N.C.C., non sono soggetti ad ulteriori prove.

Regola VSR.8.A.2.: *Disposizioni tecniche integrative*

1. *Recipienti già costruiti.*

1.1. Le prove di pressione dei recipienti campione spinte fino a rottura, da eseguire per la regolarizzazione dei recipienti stessi, possono essere effettuate o presso il Centro Sperimentale dell'ISPESL di Roma o presso stabilimenti attrezzati, in presenza di un funzionario dell'ISPESL.

1.2. Alla richiesta di regolarizzazione, da inviare a cura dei costruttori o dei proprietari al Centro Sperimentale o alla Sezione ISPESL competente per territorio, oltre alla documentazione di cui al punto 6.4 dell'Allegato A al Decreto (rif. VSR 8.A.1.6.4.), deve essere allegato un disegno schematico del recipiente tipo del lotto indicante il nome o il marchio del costruttore, le dimensioni principali, la pressione massima d'esercizio, il campo delle temperature d'impiego. Tutta la documentazione deve essere firmata da un tecnico abilitato secondo le norme vigenti.

1.3. In luogo della punzonatura ISPESL sul singolo recipiente, verrà rilasciato per ogni lotto un certificato cumulativo riportante i dati caratteristici dei recipienti del lotto regolarizzato (rif. modello di certificato allegato).

1.4. I recipienti muniti di certificazioni rilasciate dall'ANCC prima dell'entrata in vigore del D.M. 19-3-80, dalle quali risulti la sostanziale conformità alle prescrizioni tecniche del Decreto stesso, non sono soggetti ad ulteriore prova.

1.5. I lotti di fabbricazione estera muniti di certificati di verifiche, ivi compresa la prova di pressione su campione spinta fino a rottura, rilasciati da Enti di controllo riconosciuti dall'ISPESL sono esonerati dall'esecuzione, in presenza di un funzionario dell'ISPESL, di una nuova prova di pressione a condizione che le verifiche suddette siano rispondenti alle prescrizione di cui al D.M. 19-3-1980.

2. *Gruppi riduttori.*

2.1. Gruppi riduttori di nuova produzione.

2.1.1. Per l'omologazione dei gruppi riduttori della pressione - costituiti da valvola riduttrice, valvola di sicurezza e manometro - i fabbricanti dei gruppi stessi dovranno presentare la richiesta al Centro Sperimentale dell'ISPESL o alla Sezione ISPESL competente per territorio, allegando per ogni modello:

- disegni del gruppo riduttore,

- dichiarazione circa l'idoneità del dispositivo in relazione al fluido ed al campo pressioni-temperature d'impiego,

- schema dell'impianto di prova.

Tutta la documentazione dovrà essere firmata da un tecnico abilitato secondo le norme vigenti.

2.1.2. Per l'esecuzione delle prove saranno scelti almeno tre campioni per ciascun modello di riduttore.

2.1.3. Le prove di omologazione saranno condotte alla presenza di un funzionario dell'ISPESL:

- per quanto riguarda le valvole riduttrici della pressione, secondo la tabella UNI 4401-1960; la pressione di prova idraulica sarà pari a 250 ate, valore prescritto dai vigenti regolamenti per le bombole di anidride carbonica sulle quali le valvole vengono montate;

- per quanto riguarda le valvole di sicurezza, saranno eseguite, oltre alle prove di funzionalità di cui alla specificazione E.1.D. della Raccolta "E" - 1979, prove dirette di efflusso per tutta la gamma di capacità e pressione prevista, con la valvola di sicurezza collegata alla bombola di CO_2, al fine di accertare che tutto il fluido sia scaricato senza che la pressione a valle della valvola superi quella massima ammissibile per l'esercizio.

2.1.4. Le relazioni sulle prove saranno inviate al Dipartimento Centrale Omologazione dell'ISPESL che certificherà l'idoneità del dispositivo sulla base dei risultati delle prove.

2.1.5. I fabbricanti esteri dovranno presentare le richieste al Dipartimento Centrale Omologazione dell'ISPESL, tramite i rappresentanti legali in Italia, insieme con la documentazione tradotta in lingua italiana e firmata da un tecnico abilitato secondo le norme italiane vigenti.

2.2. Gruppi riduttori già costruiti.

2.2.1. Per i gruppi riduttori già costruiti si applicano le stesse disposizioni di cui al precedente punto 2.1. valide per i gruppi di nuova produzione. Le domande di omologazione saranno presentate o dal fabbricante o dal proprietario del gruppo.

Regola VSR.8.A.3.: *Adempimenti per la costruzione e il rilascio del certificato del prototipo dei recipienti di cui al D.M. 19 marzo 1980*

1. *Presentazione ed esame del progetto.*

Ai sensi del punto 3.1. dell'Allegato A del D.M. 19 marzo 1980, il richiedente deve presentare domanda al Dipartimento periferico ISPESL nella cui giurisdizione ha sede la Ditta richiedente stessa. Nel caso di recipienti da costruire all'estero, la domanda deve essere inoltrata al Dipartimento Centrale Omologazione dell'ISPESL in Roma, dal legale rappresentante in Italia del costruttore estero o, in mancanza, dall'importatore o dal committente, che assumono la figura di costruttore.

Alla domanda deve essere allegato il progetto firmato da un tecnico italiano abilitato secondo le disposizioni di legge in vigore, comprendente il disegno d'insieme del recipiente e dei suoi particolari costruttivi, in formato e scala tali da consentire una esatta valutazione di tutti gli elementi utili per l'esame (formato minimo A4: 210 x 297 mm, scala minima 1:10).

Nel progetto devono essere indicati almeno i seguenti dati:

– nominativo e sede del costruttore;

– numero distintivo del disegno ed eventuali revisioni;

– nominativo, qualifica e firma del progettista italiano con l'indicazione dell'iscrizione all'albo professionale;

– fluido contenuto;

– pressione massima di esercizio, in kg/cm^2;

– campo di temperatura, in °C;

– capacità totale, in litri;

– elenco dei materiali previsti per le singole membrature, distinti con le relative sigle di unificazione o di marca e con le tolleranze previste sugli spessori nominali. Qualora siano previsti materiali o procedimenti di lavorazione non contemplati nella Raccolta «M», la documentazione di progetto deve includere quanto richiesto nella medesima Raccolta per la preventiva approvazione da parte dell'ISPESL;

– specifica dei procedimenti di saldatura. Per i procedimenti di saldatura non previsti nella Raccolta «S», al progetto deve essere allegato anche quanto previsto nella medesima Raccolta per la preventiva approvazione ISPESL del metodo proposto;

– specifica dei controlli previsti;

– elenco degli eventuali trattamenti termici parziali e finali e relative temperature e tempi.

Per le costruzioni estere tutta la documentazione di progetto deve essere presentata in lingua italiana.

Dell'esito dell'esame progetto l'ISPESL darà comunicazione al richiedente.

2. *Costruzione e prova sul prototipo.*

Il prototipo dei recipienti deve essere realizzato secondo il progetto approvato.

In sede di prova sul prototipo, l'ISPESL deve acquisire:

– la certificazione di origine dei materiali impiegati, rilasciata dal fabbricante;

– la certificazione delle prove meccaniche eseguite sui materiali a cura e sotto la responsabilità del costruttore, secondo l'unificazione di appartenenza o specifica del materiale approvata dall'ISPESL;

– la certificazione delle qualifiche dei procedimenti di saldatura e dei saldatori eseguite a cura e sotto la responsabilità del costruttore;

– la dichiarazione del costruttore relativa ai materiali di apporto;

– la dichiarazione del costruttore relativa alla rispondenza del prototipo al progetto approvato, con particolare riferimento ai procedimenti di lavorazione ed agli eventuali trattamenti termici.

Come previsto nel D.M. 19 marzo 1980 il prototipo deve essere assoggettato, in presenza dell'ISPESL, a prova di pressione spinta fino a rottura allo scopo di accertare che la costruzione abbia un coefficiente di sicurezza globale non inferiore a 5.

Pertanto, la pressione minima p_r in kg/cm^2 da raggiungere nella prova è data dalla seguente relazione:

$$p_r = 5 \cdot \frac{R}{R_m} \cdot \frac{s}{s_m} \cdot p$$

in cui:

R carico di rottura effettivo della lamiera del prototipo, in MPa, desunto dal certificato di prove meccaniche eseguite a cura e sotto la responsabilità del costruttore;

R_m carico di rottura minimo tabellare della lamiera, in MPa;

s spessore effettivo delle lamiere del prototipo, in mm, rilevato sperimentalmente sul prototipo da parte dell'ISPESL prima dell'effettuazione della prova;

s_{min} spessore minimo previsto nel progetto, in mm, pari allo spessore nominale detratto della tolleranza;

p pressione massima di esercizio, in kg/cm^2, prevista nel progetto.

La prova consiste nel sottoporre il prototipo a pressione di liquido; l'incremento di pressione deve essere graduale e l'attrezzatura deve consentire sicure rilevazioni delle pressioni.

Durante l'esecuzione della prova vanno adottate tutte le cautele atte ad assicurare l'incolumità del personale.

3. *Certificazione del prototipo.*

Dopo il buon esito della prova di scoppio, l'ISPESL rilascia il certificato di conformità del prototipo alle disposizioni tecniche di costruzione contenute nell'Allegato A del D.M. 19 marzo 1980, secondo il modello di cui alla pagina seguente.

4. *Controlli durante la costruzione.*

Come previsto nel punto 4.2. del citato Allegato A del D.M. 19 marzo 1980, l'ISPESL ha facoltà di disporre la verifica di conformità al prototipo dei recipienti durante la produzione.

Pertanto, la ditta richiedente deve informare l'ISPESL della data di inizio e di fine produzione dei recipienti in argomento.

I.S.P.E.S.L.

ISTITUTO SUPERIORE PER LA PREVENZIONE E SICUREZZA DEL LAVORO

(D.P.R. 31 luglio 1980, n.619)

Recipienti contenenti birra e/o bevande gassate sotto pressione

(D.M. 19 Marzo 1980 - G.U. n. 16 del 17.1.1981)

CERTIFICATO DI CONFORMITA' DEL PRODOTTO

N.(1) .....

Recipiente per .....

Costruttore ..... Prototipo .....

Località ..... Anno .....

Committente .....

DATI DI PROGETTO

Disegno n. ..... Press. max esercizio ..... kg/cm² Temp. max esercizio .....°C

Diametro esterno ..... mm Lunghezza totale ..... mm Capacità ..... litri

Lamiere ..... Spessore nominale ..... mm Tolleranza ..... mm

R_m ..... MPa Proc. saldatura ..... Elettrodi .....

Note .....

RILIEVI GENERALI E PROVA DI SCOPPIO

Località e data .....

La costruzione ed i materiali impiegati corrispondono al progetto esaminato, a firma:

.....

Spessore effettivo lamiere(2) ..... mm R(3) ..... MPa

Pressione scoppio(4) ..... kg/cm² Pressione effettiva di scoppio ..... kg/cm²

CONCLUSIONI

Vista la nota n.p. ..... del ..... del Dipartimento ..... di esame del progetto; acquisite le certificazioni del Costruttore relative ai materiali, alle saldature ed alla costruzione; visto l'esito favorevole della prova di pressione spinta fino a rottura, si certifica che il prototipo è conforme alle prescrizioni tecniche di costruzione contenute nell'allegato A del D.M. 19 Marzo 1980.

Si rammenta che i recipienti realizzati secondo il presente prototipo dovranno essere collegati durante il loro impiego alle bombole di anidride carbonica mediante un gruppo riduttore della pressione avente i requisiti indicati al punto 5.1.1. dell'Allegato A del citato D.M. 19-3-1980.

Luogo e data	Timbro ISPESL	IL FUNZIONARIO ISPESL
.....		.....

---

(1) Assegnato dal Dipartimento periferico ISPESL e composto nell'ordine da: sigla provincia Dipartimento, numero progressivo e anno del rilascio del certificato.

(2) Da rilevazione diretta sul prototipo

(3) Carico di rottura desunto dal certificato prove meccaniche del costruttore

(4) Valore minimo ricavato dal calcolo

I.S.P.E.S.L.

ISTITUTO SUPERIORE PER LA PREVENZIONE E SICUREZZA DEL LAVORO
(D.P.R. 31 luglio 1980, n.619)

Recipienti contenenti birra e/o bevande gassate sotto pressione
(D.M. 19 Marzo 1980 - G.U. n. 16 del 17.1.1981)

CERTIFICATO DI CONFORMITA' DEL LOTTO

Fluido .....

Costruttore o Proprietario ..... NF. .....

Località ..... Anno .....

Numero del lotto ..... Numero di recipienti del lotto .....

Proprietario .....

Disegno n. ..... Press. max esercizio p_E ..... kg/cm2 Temp. esercizio min .....°C max .....°C

Diametro esterno ..... mm Lunghezza totale ..... mm Capacità ..... litri

Firma del disegno .....

PROVA DI PRESSIONE

Località e data .....

Pressione di rottura p_R = ... kg/cm^2 $\geq 5\ p_E$

CONCLUSIONI

Vista la documentazione del (*)..... e considerato l'esito favorevole della prova di pressione su campione spinta sino a rottura, si certifica che il lotto di recipienti è conforme alle prescrizioni del D.M. 19 Marzo 1980.

Si rammenta che i recipienti durante il loro impiego dovranno essere collegati alle bombole di anidride carbonica mediante un gruppo riduttore della pressione omologato dall'ISPESL

NOTE:.....

.....

Luogo e data	Timbro ISPESL	IL FUNZIONARIO ISPESL
.....		.....

(*) costruttore o proprietario

VSR.8.B.1. - *D.M. 1° dicembre 1980 [1]: ALLEGATO A «Prescrizioni tecniche per la costruzione e l'impiego dei contenitori a pressione di gas con membrature miste di materiale isolante e di materiale metallico, contenenti parti attive di apparecchiature elettriche»*

VSR.8.B.2. - *Adempimenti per la costruzione e il rilascio del certificato del prototipo dei contenitori di cui al D.M. 1° dicembre 1980 [1]*

Regola VSR.8.B.1.: *D.M. 1 dicembre 1980 [1]: ALLEGATO A «Prescrizioni tecniche per la costruzione e l'impiego dei contenitori a pressione di gas con membrature miste di materiale isolante e di materiale metallico, contenenti parti attive di apparecchiature elettriche»*

1. *Campo di applicazione.*

1.1. Le presenti prescrizioni tecniche si applicano ai contenitori a pressione di gas con membrature miste di materiale isolante e di materiale metallico contenenti parti attive di apparecchiature elettriche aventi capacità superiore a 25 litri e pressione di progetto superiore a 0,05 kg/cm^2, di seguito indicati con il termine «contenitori».

1.2. Restano ferme le disposizioni vigenti in tema di costruzione e di installazioni elettriche di cui alla legge 1° marzo 1968, n. 186, pubblicate nella *Gazzetta Ufficiale* n. 77 del 23 marzo 1968.

2. *Requisiti e costruzione.*

2.1. I contenitori debbono essere costruiti con materiali contemplati e con le modalità previste nella Raccolta «M», nonché con i procedimenti di saldatura di cui alla Raccolta «S» emanate come specificazioni tecniche del decreto ministeriale 21 novembre 1972.

2.2. I contenitori debbono essere muniti di certificato di conformità alle presenti prescrizioni rilasciato dagli uffici cui sono attribuiti i compiti e le funzioni della cessata A.N.C.C.

2.2.1. Per i contenitori prodotti in serie è sufficiente la certificazione del prototipo.

2.3. I contenitori debbono essere contraddistinti mediante:

a) nominativo del costruttore;

b) numero di identificazione;

c) anno di costruzione;

d) pressione di progetto in kg/cm^2;

e) estremi della certificazione del prototipo del contenitore.

3. *Procedure per la certificazione del prototipo.*

3.1. La certificazione di conformità alle disposizioni del decreto ministeriale 1° dicembre 1980, del prototipo del contenitore, è rilasciata al richiedente previa domanda e presentazione del progetto di costruzione agli uffici di cui al punto 2.2, nonché previo esito positivo delle prove previste ai punti 3.3., 3.3.1. e 3.3.2. da eseguire alla presenza dei tecnici degli uffici di cui al punto 2.2.

3.2. Il progetto del prototipo del contenitore deve essere sottoscritto da un tecnico abilitato secondo le disposizioni di legge in vigore.

3.3. Ciascun tipo di membratura in materiale isolante del prototipo del contenitore deve essere sottoposto separatamente a prova idraulica spinta fino a rottura; la pressione di rottura deve essere non inferiore a 4,25 volte la pressione dichiarata in progetto.

3.3.1. Ciascun tipo di membratura in materiale metallico del prototipo per la quale non sia prevista una specifica disposizione per la verifica della stabilità, ai sensi dell'art. 3 del D.M. 21 novembre 1972 (pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 1 del 2 gennaio 1973), relativo alle disposizioni particolari per la costruzione degli apparecchi a pressione, deve essere sottoposta a prova sperimentale atta a determinare l'effettivo stato tensionale od a prova di pressione spinta a rottura che dovrà essere non inferiore a 4,25 volte la pressione dichiarata in progetto.

3.3.2. Il prototipo del contenitore assiemato deve essere sottoposto a prova idraulica a pressione pari a 1,5 volte la pressione di progetto.

4. *Costruzione dei contenitori e controlli.*

4.1. Il costruttore dei contenitori è responsabile della rispondenza al prototipo dei contenitori costruiti.

4.1.1. La rispondenza deve, fra l'altro, attenere:

a) ai procedimenti di lavorazione che non debbono alterare, ai fini della sicurezza, le caratteristiche dei materiali impiegati e certificati dal fabbricante;

b) ai procedimenti di saldatura e all'impiego degli elettrodi, riconosciuti idonei dagli uffici di cui al punto 2.2. in sede di esame del progetto e indicati nella certificazione di conformità relativa al prototipo;

c) all'impiego di operai qualificati.

4.1.2. Il costruttore dovrà certificare l'esecuzione di:

- una prova idraulica spinta fino a rottura su una membratura in materiale isolante per ogni lotto omogeneo costituito da un massimo di 100 esemplari; la pressione di rottura deve essere non inferiore a 4,25 volte la pressione di progetto;
- una prova idraulica su ciascuna membratura, a pressione pari a 3 volte la pressione di progetto per le membrature in materiale isolante ed a 1,5 volte per quelle in materiale metallico;

---

[1] Così come modificato con successivo D.M. 10 settembre 1981 pubblicato nella *Gazzetta Ufficiale* n. 285 del 16 ottobre 1981.

- una prova pneumatica su ciascun contenitore assiemato, a pressione pari a 1,1 volte quella di progetto. Tale prova può essere effettuata in officina o sul luogo di installazione.

4.2. Gli uffici di cui al punto 2.2. hanno facoltà di disporre verifiche al fine di accertare la conformità della produzione al prototipo omologato.

5. *Esercizio dei contenitori.*

5.1. Nel caso che i contenitori debbano essere precaricati con gas proveniente da recipiente avente pressione superiore di 2 ate rispetto a quella di progetto del contenitore stesso, si applicano le disposizioni di cui all'art. 39 del regio decreto 12 maggio 1927, n. 824.

5.2. I contenitori corredati di certificazione di rispondenza alle prescrizioni dei precedenti paragrafi sono esclusi da ulteriori verifiche e prove sul luogo d'impianto.

6. *Disposizioni transitorie.*

6.1. I contenitori già in uso o costruiti entro due anni dall'entrata in vigore del decreto ministeriale 1° dicembre 1980 e non rispondenti ai requisiti tecnici sopra indicati, debbono essere regolarizzati entro detto periodo mediante verifica su prototipo eseguita alla presenza dei tecnici degli uffici di cui al punto 2.2 con la sola prova di pressione spinta fino a rottura eseguita su ciascun tipo di membratura.

6.2. La pressione di rottura non deve essere inferiore a 3 volte la pressione massima dichiarata dal costruttore del contenitore o dall'utente. Le prove che hanno dato esito negativo, possono essere ripetute su altre due membrature uguali.

6.3. La verifica su prototipo per i contenitori in uso è eseguita su di un contenitore in esercizio o a magazzino, per ogni produzione non superiore a 2.000 contenitori aventi le stesse caratteristiche costruttive e funzionali.

Ai fini della regolarizzazione si considerano aventi le stesse caratteristiche costruttive le membrature in materiale isolante per le quali sono rispettate le condizioni di omogeneità di produzione del materiale, nonché di uguaglianza del diametro interno e dello spessore minimo di parete.

6.4. La richiesta di regolarizzazione deve essere corredata:

a) da una distinta dei contenitori da regolarizzare con indicazione del nominativo del costruttore, del modello, del numero di identificazione e della pressione di esercizio in kg/cm^2;

b) da una dichiarazione di omogeneità dei contenitori costituenti la produzione.

6.4.1. Il nome del costruttore ed il numero di identificazione debbono essere riportati su ogni contenitore.

6.5. La dichiarazione di cui alla lettera *b)* del punto 6.4. e la prova di cui al punto 6.2. competono al costruttore del contenitore o in mancanza all'utente.

6.6. I contenitori in esercizio o giacenti in magazzino, per i quali sia stata certificata la regolarizzazione con esito positivo delle verifiche di cui al presente allegato da parte della cessata A.N.C.C., non sono soggetti ad ulteriori prove.

6.7. Le membrature di ricambio per i contenitori regolarizzati ai sensi delle presenti norme transitorie possono essere utilizzate o costruite successivamente alla data di cui al precedente punto 6.1..

Regola VSR.8.B.2.: *Adempimenti per la costruzione e il rilascio del certificato del prototipo dei contenitori di cui al D.M. 1° dicembre 1980* [1]

1. *Presentazione ed esame del progetto.*

Ai sensi del punto 3.1. dell'Allegato A del D.M. 1° dicembre 1980, il richiedente deve presentare domanda al Dipartimento periferico ISPESL nella cui giurisdizione ha sede la ditta richiedente stessa. Nel caso di contenitori da costruire all'estero, la domanda deve essere inoltrata al Dipartimento Centrale Omologazione dell'ISPESL in Roma, dal legale rappresentante in Italia del costruttore estero o, in mancanza dall'importatore o dal committente, che assumono la figura di costruttore dei contenitori.

Alla domanda deve essere allegata una documentazione di progetto del prototipo firmata da un tecnico italiano abilitato secondo le disposizioni di legge in vigore, comprendente il disegno d'insieme del contenitore, dei suoi particolari costruttivi, nonché quelli relativi alle varie membrature, anche se fabbricate in officine diverse, ai fini dell'accertamento della rispondenza del progetto alle disposizioni del decreto ministeriale 1° dicembre 1980.

I disegni devono avere formato e scala tali da consentire un'esatta valutazione di tutti gli elementi utili per l'esame (formato minimo A4: 210 x 297 mm, scala minima 1:10).

Sui disegni devono essere indicati almeno i seguenti dati:

- nominativo e sede del costruttore;
- nominativi e sedi dei fabbricanti (subfornitori) delle membrature in materiale isolante ed in materiale metallico costituenti il contenitore;
- numero distintivo del disegno, delle eventuali revisioni e data di compilazione;
- nominativo, qualifica e firma del progettista italiano con l'indicazione dell'iscrizione all'albo professionale;
- fluido contenuto;
- pressione di progetto, in kg/cm^2;
- campo di temperatura, in °C;
- capacità totale, in litri;
- sovraspessore di corrosione, in mm;
- elenco dei materiali previsti per le singole membrature, distinti con le relative sigle di unificazione o di marca e con le tolleranze previste sugli spessori nominali. Qualora siano previsti materiali o procedimenti di lavorazione non contemplati nella Raccolta M, la documentazione di progetto deve includere quanto richiesto nella medesima Raccolta M per la preventiva approvazione da parte dell'ISPESL;
- specifica delle giunzioni saldate con l'indicazione del gruppo e della categoria di appartenenza secondo la Raccolta S e dei relativi procedimenti di saldatura.

Per i procedimenti di saldatura non previsti nella Raccolta S, al progetto deve essere allegato anche quanto previsto nella medesima Raccolta per la preventiva approvazione ISPESL del metodo proposto;

- specifica dei controlli previsti sulle giunzioni saldate e sul contenitore;
- elenco degli eventuali trattamenti termici parziali e finali e relative temperature e tempi.

Alla documentazione di progetto devono inoltre essere allegati i calcoli di verifica della stabilità eseguiti secondo le disposizioni contenute nella Raccolta VSR per ciascun tipo di membratura in materiale metallico del prototipo. Nel caso siano pre-

[1] Così come modificato con successivo D.M. 10 settembre 1981 pubblicato nella *Gazzetta Ufficiale* n. 285 del 16 ottobre 1981.

visti tipi di membrature in materiale metallico per i quali non esista, a giudizio dell'ISPESL, la possibilità di ottenere una adeguata valutazione delle condizioni di stabilità mediante il calcolo, il progettista deve precisare il tipo di prova diretta sperimentale cui sottoporre la membratura, corredata con una proposta di modalità di effettuazione della prova prescelta.

Dell'esito dell'esame della documentazione di progetto l'ISPESL darà comunicazione al richiedente.

2. *Costruzione e prove sul prototipo.*

Il prototipo del contenitore deve essere realizzato secondo il progetto approvato.

Esso deve essere sottoposto ai seguenti esami e prove effettuati in presenza dell'ISPESL:

a) visita interna.

La visita interna consiste nell'esame di tutte le parti del prototipo per accertarne la corrispondenza completa al progetto approvato.

I materiali impiegati devono essere idoneamente contrassegnati per la loro identificazione a cura del costruttore, notificando preventivamente il proprio marchio all'ISPESL.

In sede di prove sul prototipo, l'ISPESL deve esaminare ed acquisire:

- la certificafione di origine dei materiali impiegati, rilasciata dal fabbricante;
- la certificazione del fabbricante o del costruttore relativa all'esame visivo ed al controllo dimensionale dei materiali utilizzati;
- la certificazione delle prove sui materiali eseguite a cura e sotto la responsabilità del costruttore, secondo la Raccolta M o le disposizioni ISPESL per l'ammissione all'impiego di materiali non contemplati nella Raccolta stessa;
- la certificazione delle qualifiche dei saldatori e dei procedimenti di saldatura eseguite a cura e sotto la responsabilità del costruttore, secondo la Raccolta S o le disposizioni particolari ISPESL;
- la dichiarazione del costruttore relativa ai materiali di apporto;
- la certificazione dei controlli sulle giunzioni saldate e sul prototipo;
- la dichiarazione del costruttore relativa alla rispondenza del prototipo al progetto approvato, con particolare riferimento ai procedimenti di lavorazione ed agli eventuali trattamenti termici.

b) Prova idraulica spinta fino a rottura sulla membratura in materiale isolante.

Ai sensi del punto 3.3. del D.M. 1° dicembre 1980, ciascun tipo di membratura in materiale isolante del prototipo deve essere sottoposto separatamente a prova idraulica spinta fino a rottura.

La pressione minima p_r, in kg/cm^2, da raggiungere nella prova è data dalla seguente relazione:

$$p_r = 4,25 \cdot \frac{R}{R_m} \cdot p$$

in cui R ed R_m sono rispettivamente il carico di rottura effettivo desunto dal certificato prove meccaniche effettuate a cura e sotto la responsabilità del costruttore e il carico di rottura minimo tabellare del materiale isolante, in MPa, e p è la pressione di progetto in kg/cm^2.

Nel caso in cui il materiale isolante sia la porcellana la prova idraulica spinta fino a rottura deve essere effettuata sulla membratura precedentemente assoggettata a cura del costruttore alla prova di resistenza alle brusche variazioni di temperatura seguita da prova elettrica, come previsto nella Raccolta M.

c) Prova sperimentale sulla membratura in materiale metallico.

Ai sensi del punto 3.3.1. del D.M. 1° dicembre 1980, ciascun tipo di membratura in materiale metallico del prototipo per la quale non sia prevista una specifica disposizione ISPESL per la verifica della stabilità mediante calcolo, deve essere sottoposta a prova diretta sperimentale.

- Qualora si impieghi il metodo estensimetrico per la determinazione dell'effettivo stato tensionale della membratura, devono essere soddisfatte le disposizioni contenute nella Raccolta VSR.
- Qualora si ricorra alla prova di pressione spinta fino a rottura, la pressione minima p_r, in kg/cm^2 da raggiungere è data dalla seguente relazione:

$$p_r = 4,25 \cdot R/R_m \frac{s}{s_m} \cdot p$$

in cui:

R carico di rottura effettivo del materiale, in MPa, desunto dal certificato di prove meccaniche eseguite a cura e sotto la responsabilità del costruttore;

R_m carico di rottura minimo tabellare del materiale, in MPa;

s spessore effettivo del materiale, in mm, rilevato sperimentalmente da parte dell'ISPESL prima dell'effettuazione della prova;

s_{min} spessore minimo di progetto del materiale, in mm, pari allo spessore nominale detratto della tolleranza di fabbricazione e di corrosione;

p pressione di progetto, in kg/cm^2.

d) Prova idraulica.

Ai sensi del punto 3.3.2. del D.M. 1° dicembre 1980, il prototipo del contenitore assiemato deve essere sottoposto a prova idraulica a pressione pari a 1,5 volte la pressione di progetto da mantenersi per tutto il tempo necessario all'esame del prototipo in ogni sua parte e comunque per un tempo non inferiore a 5 minuti, senza che si rilevino perdite od altre anomalie.

3. *Certificazioni del prototipo.*

Dopo il buon esito delle prove l'ISPESL rilascia il certificato di conformità del prototipo alle prescrizioni tecniche di costruzione contenute nell'Allegato A del D.M. 1° dicembre 1980, secondo il modello di cui alla pagina seguente.

4. *Costruzione dei contenitori e controlli.*

Ogni contenitore deve essere realizzato in conformità al prototipo omologato.

Come previsto nel punto 4.2. del citato Allegato A del D.M. 1° dicembre 1980, l'ISPESL ha facoltà di disporre verifiche al fine di accertare la conformità della produzione al prototipo omologato, con particolare riferimento:

- ai procedimenti di lavorazione;
- all'effettuazione delle prove sui materiali utilizzati nella produzione eseguite a cura e sotto la responsabilità del costruttore, secondo la Raccolta M o le disposizioni particolari ISPESL;
- all'impiego di procedimenti di saldatura, elettrodi e saldatori qualificati, secondo la Raccolta S o le disposizioni particolari ISPESL;
- ai contrassegni previsti per l'identificazione sia dei contenitori che di ciascun materiale impiegato;
- al controllo dell'effettuazione e della certificazione delle prove di cui al punto 4.1.2. del D.M. 1° dicembre 1980.

La ditta richiedente deve pertanto informare l'ISPESL della data di inizio e di fine produzione dei contenitori in argomento.

I.S.P.E.S.L.

ISTITUTO SUPERIORE PER LA PREVENZIONE E SICUREZZA DEL LAVORO

(D.P.R. 31 luglio 1980, n.619)

Contenitori a pressione di gas con membrature mistre di materiale isolante e di materiale metallico, contenenti parti attive di apparecchiature elettriche.

(D.M. 1° dicembre 1980 - G.U. n. 40 dell' 11.2.1981) (*)

CERTIFICATO DI CONFORMITA' DEL PROTOTIPO

N.(1) .....

Recipiente per .....

Costruttore ..... Prototipo .....

Località ..... Anno .....

Committente .....

DATI DI PROGETTO

Disegno n. ..... Press. di progetto p = ... kg/cm^2 Campo di temp. T = ...°C

Diametro est. fasciame D = ... mm Lunghezza totale L = ... mm Capacità totale V = ... litri

Materiali:

membratura	qualità	spessore nominale s_n (mm)	tolleranza t (mm)	sovraspessore di corrosione c (mm)	carico rottura min. tabellare R_m (MPa)

Procedimento di saldatura .....

Elettrodi .....

Trattamento termico .....

Note .....

(*) Modificato con successivo D.M. 10 settembre 1981 pubblicato sulla G.U. n. 285 del 16.10.1981.

(1) Assegnato dal Dipartimento periferico ISPESL e composto nell'ordine da: sigla provincia Dipartimento, numero progressivo e anno del rilascio del certificato.

VERIFICHE E PROVE

Visita interna Località e data .....

La costruzione ed i materiali impiegati corrispondono al progetto esaminato, a firma:

Estremi qualifica procedimento di saldatura .....

Note .....

Prova su membrature in materiale isolante

- Prova idraulica spinta fino a rottura: Località e data .....

Carico di rottura (2) R = ... MPa

Press. min. rottura $p_r = 4{,}25 \frac{R}{R_m} p$ = ... kg/cm² Press. eff. rottura ..... kg/cm²

Note .....

Prova sperimentale su membratura in materiale metallico

- Prova di pressione spinta fino a rottura: Località e data .....

Carico di rottura (2) R = ... MPa Spessore effettivo (3) s_{eff} = ... mm

Press. min. rottura $p_r = 4{,}25 \frac{R}{R_m} \frac{s_{eff}}{(s_n\text{-}t\text{-}c)} p$ = ... kg/cm²

Press. eff. rottura ..... kg/cm²

Note .....

- Prova sperimentale per rilievo stato tensionale: Località e data .....

Metodo adottato e risultati ottenuti .....

Note .....

.....

Prova idraulica sul prototipo assiemato Località e data .....

Press. di prova ..... kg/cm²

Note .....

CONCLUSIONI

Vista la nota n.p. ..... del ..... del Dipartimento ..... di esame del progetto; esaminate le certificazioni del Costruttore relative ai materiali, alle saldature ed alla costruzione; visto l'esito favorevole della prova di idraulica spinta fino a rottura sulla membratura di materiale isolante, della prova ..... sulla membratura di materiale metallico e della prova idraulica sul prototipo assiemato, si certifica che il prototipo è conforme alle prescrizioni tecniche di costruzione contenute nell'allegato A del D.M. 1° dicembre 1980, così come modificato dal D.M. 10 settembre 1981.

Luogo e data	Timbro ISPESL	IL FUNZIONARIO ISPESL
.....		..... (timbro e firma)

(2) Carico di rottura desunto dal certificato prove meccaniche del costruttore
(3) Da rilevazione diretta sul prototipo

APPENDICE

RECIPIENTI CILINDRICI ORIZZONTALI POGGIANTI SU DUE SELLE SIMMETRICHE

VERIFICHE SUPPLEMENTARI

---

1. *Generalità e simboli.*

1.1. I recipienti cilindrici orizzontali poggianti su due selle simmetriche (figura 1.) sono soggetti, oltre che alle verifiche di cui ai capitoli VSR.1.D. e VSR.1.E., alle seguenti verifiche di stabilità supplementari quando le sollecitazioni indotte sul recipiente hanno rilevanza agli effetti della stabilità.

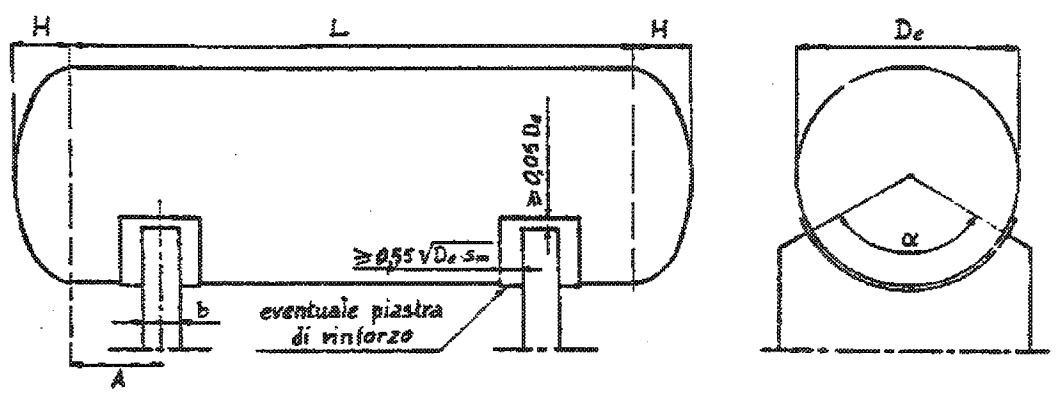


Figura 1

1.2. Le verifiche supplementari devono essere eseguite sia nella più gravosa condizione di esercizio sia nella condizione di prova idraulica, come previsio al punto 1. della VSR.0.3.

1.3. Nelle regole che seguono sono impiegati i seguenti simboli in aggiunta a quelli definiti alla regola VSR.0.6.:

F carico totale gravante su una sella, in N;

L lunghezza del fasciame cilindrico misurata fra le linee di tangenza dei fondi, in mm;

H altezza del fondo dalla linea di tangenza, in mm;

A distanza della mezzeria della sella dalla linea di tangenza del fondo, in mm;

b larghezza della sella, in mm;

α angolo corrispondente all'arco di appoggio della sella, in gradi;

s_m spessore del fasciame cilindrico in corrispondenza della sezione da verificare, in mm;

s_f spessore del fondo, in mm;

s_r spessore della piastra di rinforzo, in mm;

z_c modulo di efficienza della saldatura circonferenziale del fasciame cilindrico;

Y valore del carico, in MPa, assunto per la determinazione della sollecitazione massima ammissibile del materiale impiegato. Esso si identifica, a seconda della verifica da eseguire, con R_s oppure con $R_{p(0,2)}$ oppure con $R_{p(0,2)/t}$, come definiti in VSR.0.6.

2. *Verifica del fasciame cilindrico alla sollecitazione di pressoflessione in corrispondenza dei bordi superiori della sella in assenza di pressione.*

2.1. Deve essere soddisfatta la seguente relazione:

2.1.1. $$\frac{0{,}25 \cdot F}{s_m\left(b + 1{,}1\sqrt{D_e \cdot s_m}\right)} + \frac{\beta \cdot u_2 \cdot k_2 \cdot F}{s_m^2} \leq \frac{Y}{1{,}2}$$

in cui:

s_m deve avere lo stesso valore per una estensione minima di $0{,}55\sqrt{D_e \cdot s_m}$ oltre i bordi laterali della sella;

β coefficiente che per $L \geq 4D_e$ vale 0,25 e per $L < 4D_e$ è pari al rapporto D_e/L;

u_2 coefficiente che assume i valori seguenti:

per $A \leq 0,25D_e$ $\quad u_2 = 1,5$

per $0,25D_e < A < 0,5\,D_e$ $\quad u_2 = 18(A/D_e) - 3$

per $A \geq 0,5D_e$ $\quad u_2 = 6$

k_2 coefficiente che assume i valori seguenti in dipendenza dell'angolo α (v. formula di cui al punto 9.):

α	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°
k_2	0,08261	0,07164	0,06174	0,05286	0,04492	0,03789	0,03168	0,02624	0,02151	0,01744

2.2. Quando sia $A \leq 0,25D_e$ si può tener conto del contributo della piastra di rinforzo, purché saldata al fasciame con cordoni continui ed avente sporgenze dai bordi della sella soddisfacenti alle condizioni indicate in figura 1., in base alla seguente relazione:

2.2.1. $$\frac{0,25 \cdot F}{(s_m + s_r)\left(b + 1,1\sqrt{D_e \cdot s_m}\right)} + \frac{\beta \cdot u_2 \cdot k_2 \cdot F}{(s_m + s_r)^2} \leq \frac{Y}{1,2}$$

in cui i coefficienti β, u_2, k_2 hanno i valori indicati al precedente punto 2.1.

Lo spessore s_r della piastra di rinforzo non può essere maggiore di $1,5s_m$.

Qualora sia superiore, esso va rastremato fino a ridursi a tale valore in corrispondenza della saldatura, con pendenza 1 a 4.

2.3. Si deve evitare che giunti longitudinali del fasciame cilindrico passino ad una distanza dai bordi superiori della sella inferiore a $0,08\,D_e$.

Se non è possibile rispettare tale distanza minima, il giunto deve essere radiografato per una lunghezza almeno pari a $1,5\left(b + 1,1\sqrt{D_e \cdot s_m}\right)$ assumendo per l'accettazione dei difetti la classe relativa alla categoria di appartenenza del giunto stesso.

3. *Verifica del fasciame cilindrico alla sollecitazione di compressione in corrispondenza della sella.*

3.1. Deve essere soddisfatta la seguente relazione:

3.1.1. $$\frac{k_3 \cdot F}{s_m\left(b + 1,1\sqrt{D_e \cdot s_m}\right)} \leq \frac{Y}{2}$$

in cui:

s_m deve avere lo stesso valore per una estensione minima di $0,55\sqrt{D_e \cdot s_m}$ oltre i bordi laterali della sella;

k_3 coefficiente che assume i valori seguenti in dipendenza dell'angolo α (v. formula di cui al punto 9):

α	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°
k_3	0,9134	0,8521	0,8018	0,7603	0,7258	0,6971	0,6733	0,6536	0,6374	0,6243

3.2. Si può tener conto del contributo della piastra di rinforzo, purché avente sporgenze dai bordi laterali della sella pari almeno a $0,55\sqrt{D_e \cdot s_m}$ in base alla seguente relazione:

3.2.1. $$\frac{k_3 \cdot F}{(s_m + s_r)\left(b + 1,1\sqrt{D_e \cdot s_m}\right)} \leq \frac{Y}{2}$$

in cui k_3 ha i valori indicati al precedente punto 3.1.

4. *Verifica del fasciame cilindrico alle sollecitazioni longitudinali.*

4.1. Devono essere soddisfatte, per le sezioni trasversali in corrispondenza sia della sella sia della mezzeria del recipiente, le due seguenti relazioni:

4.1.1. $$\frac{|M|}{W} + \frac{p \cdot D_e}{4 \cdot s_m} \leq z_c \cdot f$$

4.1.2. $$\frac{|M|}{W} \leq \sigma_c$$

in cui:

M momento flettente ($|M|$ = valore assoluto di M) verificantesi nella sezione, da calcolare come indicato ai punti 4.2. e 4.3.;

W modulo di resistenza della sezione, da calcolare come indicato ai punti 4.2. e 4.3.;

σ_c valore ammissibile per la sollecitazione di compressione:

esso vale $\sigma_c = \frac{Y}{2}$ per $\frac{s_m}{D_e} \geq 7,25\frac{Y}{E}$, mentre vale

$$\sigma_c = \frac{E\,s_m}{7,25\,D_e} \cdot \left[1 - \frac{1}{2\,Y} \cdot \frac{E\,s_m}{7,25\,D_e}\right] \text{ per } \frac{s_m}{D_e} < 7,25\,\frac{Y}{E}$$

4.2. Per la verifica delle condizioni di cui al punto 4.1. in corrispondenza della sella, M e W sono dati dalle espressioni seguenti:

4.2.1. $$M = -\frac{2F}{L + \frac{4}{3}H}\left[\frac{A^2}{2} + \frac{2}{3}HA - \frac{D_e^2 - 4H^2}{16}\right]$$

4.2.2. $$W = s_m D_e^2 k_4$$

in cui k_4 è un coefficiente che assume i valori seguenti in dipendenza dell'angolo α (v. formula di cui al punto 9):

α	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°
k_4	0,05143	0,06112	0,07187	0,08373	0,09671	0,1108	0,1262	0,1427	0,1605	0,1795

4.3. Per la verifica delle condizioni di cui al punto 4.1. in corrispondenza della mezzeria, M e W sono dati dalle espressioni seguenti:

4.3.1.
$$M = -\frac{2F}{L+\frac{4}{3}H}\left[\frac{(L-2A)^2}{8}-\frac{A^2}{2}-\frac{2}{3}HA+\frac{D_e^2-4H^2}{16}\right]$$

4.3.2.
$$W = \frac{\pi}{4}s_m D_e^2$$

5. *Verifica del fasciame cilindrico alla sollecitazione di taglio in corrispondenza dei bordi laterali della sella.*

5.1. Quando sia $A > 0,25\,D_e$ deve essere soddisfatta la seguente relazione:

5.1.1.
$$\frac{2\,k_5\,F\,(L-2A-H)}{D_e\,s_m\,(L+H)} \leq 0,8\,\frac{Y}{1,5}$$

in cui k_5 è un coefficiente che assume i valori seguenti in dipendenza dell'angolo α (v. formula di cui al punto 9):

α	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°
k_5	1,8832	1,5858	1,3544	1,1707	1,0223	0,9004	0,7989	0,7133	0,6402	0,5771

5.2. Quando sia $A \leq 0,25\,D_e$ deve essere soddifatta la seguente relazione:

5.2.1.
$$\frac{2k_6F}{D_e\,s_m} \leq 0,8\,\frac{Y}{1,5}$$

in cui k_6, è un coefficiente che assume i valori seguenti in dipendenza dell'angolo α (v. formula di cui al punto 9.):

α	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°
k_6	1,6332	1,3204	1,0754	0,8799	0,7218	0,5922	0,4852	0,3962	0,3219	0,2598

6. *Verifica del fondo alle sollecitazioni di taglio e di trazione.*

6.1. Quando sia A $\leq 0,25\,D_e$ devono essere soddisfatte le due seguenti relazioni:

6.1.1.
$$\frac{2k_6F}{D_e\,s_f} \leq 0,8\,\frac{Y}{1,5}$$

6.1.2.
$$\frac{2k_7F}{D_e\,s_t}+\frac{p\,D_e\,C}{2\,s_f}\,\frac{Y}{x}$$

in cui:

k_6 coefficiente da assumere come indicato al punto 5.2.;

C coefficiente di forma del fondo adottato per la verifica secondo VSR.1.E.;

x 1,2 nella verifica alle condizioni di esercizio e 1,1 nella verifica alle condizioni di prova idraulica;

k_7 coefficiente che assume i valori seguenti in dipendenza dell'angolo α (v. formula di cui al punto 9.):

α	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°
k_7	0,5546	0,4959	0,4453	0,4011	0,3619	0,3269	0,2953	0,2665	0,2401	0,2158

7. *Verifica del fasciame cilindrico irrigidito da anelli.*

7.1. Quando il fasciame cilindrico sia irrigidito da anelli posti in corrispondenza delle selle, esternamente o internamente al recipiente, le verifiche da eseguire sono le seguenti:

7.1.1. verifica del fasciame cilindrico alle sollecitazioni longitudinali secondo il punto 4., ma assumendo $k_4 = \pi/4$;

7.1.2. verifica del fasciame cilindrico alla sollecitazione di taglio secondo il punto 5., ma assumendo $k_5 = 1/\pi$;

7.1.3. verifica del fasciame cilindrico alla sollecitazione di compressione in corrispondenza della sella secondo il punto 3.

7.2. Quando il fasciame cilindrico sia irrigidito da anelli posti adiacenti ai due lati di ogni sella, esternamente o internamente al recipiente, le verifiche da eseguire sono le seguenti:

7.2.1. verifica del fasciame cilindrico alle sollecitazioni longitudinali secondo il punto 4., ma assumendo $k_4 = \pi/4$;

7.2.2. verifica del fasciame cilindrico alla sollecitazione di taglio secondo la formula 5.1.1.;

7.2.3. verifica del fasciame cilindrico alla sollecitazione di compressione in corrispondenza della sella secondo il punto 3.

7.3. Gli anelli adiacenti devono essere posizionati ad una distanza massima da ogni bordo laterale della sella o dell'eventuale piastra di rinforzo pari a $0,55\sqrt{D_e \cdot s_m}$ e ad una distanza massima dalla mezzeria della sella pari a $0,25\,D_e$

8. *Verifica degli anelli di irrigidimento.*

8.1. Gli anelli posti in corrispondenza delle selle, di cui al punto 7.1., devono essere verificati considerandoli soggetti ad un momento flettente circonferenziale M e ad una forza normale N dati dalle espressioni seguenti:

8.1.1. $$M = \frac{k_2 \cdot F \cdot D_e}{2}$$

8.1.2. $$N = k_8 \cdot F$$

in cui:

k_2 coefficiente che ha i valori indicati nel punto 2;

k_8 coefficiente che assume i seguenti valori in dipendenza dell'angolo α (v. formula di cui al punto 9.):

α	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°
k_8	0,3587	0,3552	0,3491	0,3405	0,3296	0,3168	0,3021	0,2859	0,2685	0,2500

8.2. Gli anelli posti adiacenti ai due lati di ogni sella, di cui al punto 7.2., devono essere verificati considerandoli soggetti ciascuno ad un momento flettente circonferenziale e ad una forza normale dati dalle espressioni seguenti:

8.2.1. $$M = \frac{1}{2}\,\frac{k_9 \cdot F \cdot D_e}{2}$$

8.2.2. $$N = \frac{1}{2} k_{10} \cdot F$$

in cui k_9 e k_{10} sono coefficienti che hanno i valori seguenti in dipendenza dell'angolo α (v. punto 9.):

α	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°
k_9	0,08340	0,07127	0,06493	0,05809	0,05082	0,04324	0,03550	0,02785	0,02069	0,01460
k_{10}	0,2955	0,2955	0,2840	0,2709	0,2559	0,2387	0,2190	0,1964	0,1700	0,1391

8.3. Per la verifica degli anelli deve essere soddisfatta la seguente relazione:

8.3.1. $$\frac{M}{W} + \frac{N}{A} \leq f$$

in cui:

M ed N sono rispettivamente il momento flettente circonferenziale e la forza normale agenti sull'anello, da assumere come indicato ai punti 8.1. o 8.2. a seconda della disposizione degli anelli;

W è il modulo di resistenza minimo dell'anello in mm^3, riferito all'asse neutro della sezione parallelo all'asse del fasciame;

A è l'area della sezione dell'anello, in mm^2;

f è la sollecitazione massima ammissibile, in MPa, del materiale costituente gli anelli.

9. *Formule dei coefficienti k_i.*

$$k_2 = -\frac{1}{\pi}\left\{\frac{x\sin x}{2} - \frac{3}{4}\cos x + \frac{3}{4}\frac{\sin x}{x} + \frac{1}{4}\left(\cos x - \frac{\sin x}{x}\right)\frac{4 - 6\left(\frac{\sin x}{x}\right)^2 + 2\cos^2 x}{\frac{\sin x \cos x}{x} + 1 - 2\left(\frac{\sin x}{x}\right)^2}\right\} \qquad x = \pi\left(1 - \frac{\alpha}{360}\right)$$

$$k_3 = \frac{1 + \cos x}{\pi - x + \sin x \cos x} \qquad x = \frac{19}{20}\pi\left(1 - \frac{\alpha}{360}\right)$$

$$k_4 = \frac{1}{4}\,\frac{x + \sin x \cos x - 2\frac{\sin^2 x}{x}}{\frac{\sin x}{x} - \cos x} \qquad x = \pi\left(\frac{1}{6} + \frac{5}{6}\frac{\alpha}{360}\right)$$

$$k_5 = \frac{\sin x}{\pi - x + \sin x \cos x} \qquad x = \frac{19}{20}\pi\left(1 - \frac{\alpha}{360}\right)$$

$$k_6 = \frac{\sin x}{\pi}\,\frac{x - \sin x \cos x}{\pi - x + \sin x \cos x} = k_5 - \frac{\sin x}{\pi} \qquad x = \frac{19}{20}\pi\left(1 - \frac{\alpha}{360}\right)$$

$$k_7 = \frac{3}{8} \frac{\sin^2 x}{\pi - x + \sin x \cos x} \qquad x = \frac{19}{20}\pi\left(1 - \frac{\alpha}{360}\right)$$

$$k_8 = \frac{1}{\pi}\left\{\frac{x \sin x}{2} - \frac{\cos x}{4}\left[9 - \frac{4 - 6\left(\frac{\sin x}{x}\right)^2 + 2\cos^2 x}{\frac{\sin x \cos x}{x} + 1 - 2\left(\frac{\sin x}{x}\right)^2}\right]\right\} \qquad x = \pi\left(1 - \frac{\alpha}{360}\right)$$

Tale espressione può ottenersi semplicemente tenendo presente che la forza normale è pari alla derivata seconda del momento flettente divisa per $D_e/2$.

k_9 e k_{10} non è possibile dare espressioni per tali coefficienti, poiché il momento flettente e la forza normale vanno calcolati dove si annulla il taglio (momento flettente massimo).

Roma, 1999 - Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato - S.