

INAIL

Quaderni di ricerca

Criticità delle reti di sicurezza di piccole dimensioni

Francesca Maria Fabiani, Luca Rossi

19
luglio 2020

INAIL
Quaderni di ricerca

Criticità delle reti di sicurezza di piccole dimensioni

Francesca Maria Fabiani, Luca Rossi

numero **19** - luglio 2020

I *Quaderni di ricerca* dell’Inail sono lo strumento a disposizione dei ricercatori e dei ruoli professionali dell’Istituto per rendere pubblici i risultati più rilevanti delle loro attività; accolgono anche contributi di ricercatori esterni, che partecipano ai progetti dell’Inail.

Gli autori hanno la piena responsabilità delle opinioni espresse nei *Quaderni*, che non vanno intese come posizioni ufficiali dell’Inail.

I *Quaderni* sono disponibili online all’indirizzo www.inail.it.

Comitato di redazione: Paolo Bragatto, Franco Bettoni,
Benedetta Persechino, Patrizio Rossi

Segreteria di redazione: Toni Saracino

Inail - Piazzale Giulio Pastore, 6 | 00144 Roma

ISBN 978-88-7484-636-8

Stampato presso la Tipografia Inail - Milano, luglio 2020

Criticità delle reti di sicurezza di piccole dimensioni

Francesca Maria Fabiani, Luca Rossi

Sommario - La norma UNI EN 1263-1: 2015 si applica alle reti di sicurezza per la protezione dei lavoratori nei lavori in quota.

In base ad essa le reti di sicurezza vengono classificate in base a due parametri, la classe ed il sistema. La classe definisce le dimensioni della maglia e la capacità di assorbimento di energia della rete, mentre il sistema indica la tipologia del supporto della rete e la diversa modalità d'impiego. I sistemi sono quattro e sono denominati S, T, U e V.

Il sistema S, in particolare, è la rete di sicurezza con fune sul bordo che incornicia e rinforza la zona perimetrale della rete alla quale vengono collegati le corde di sollevamento e ancoraggio. Essa viene messa in opera per proteggere il lavoratore da cadute in una zona ampia generalmente interna alla struttura da proteggere. Tale sistema è quello avente superficie maggiore di 35 m² e, se rettangolare, lato corto almeno pari a 5 m.

Ci sono tantissime situazioni di lavoro che richiederebbero l'utilizzo di reti analoghe al tipo S ma con dimensioni non contemplate dalla UNI EN 1263:2015, per esempio con lato corto inferiore a 5 m, cosiddette piccole reti.

Il loro comportamento a seguito della caduta del lavoratore non è molto conosciuto a livello scientifico interazionale; non risulta, dalla documentazione attualmente disponibile sulle reti di sicurezza, che siano stati effettuati studi specifici sulle piccole reti.

Il fatto che le piccole reti siano escluse dal campo di applicazione della UNI EN 1263-1: 2015, testimonia incertezza sulla conoscenza del loro comportamento e pone dei dubbi sulla sicurezza del loro impiego.

Il presente studio, basato su test dinamici di simulazione della caduta, fornisce informazioni sul comportamento di piccole reti, quadrate e rettangolari, di diverse dimensioni, fabbricate con diversi materiali (polietilene o polipropilene) e con diversa manifattura (con e senza nodi).

L'attività sperimentale ha permesso di stabilire requisiti e caratteristiche delle reti di piccole dimensioni con fune sul bordo, indipendentemente dal materiale e dalla manifattura, escluse dalla UNI EN 1263-1:2015, per permetterne l'uso in sicurezza.

I risultati di tale sperimentazione sono stati utilizzati a supporto della stesura dei due progetti di norma UNI:

- Attrezzature provvisionali - Reti di sicurezza di piccole dimensioni con fune sul bordo - Parte 1: Reti con lato corto da 3 m a 5 m - Requisiti di sicurezza, metodi di prova e condizioni di utilizzo.
- Attrezzature provvisionali - Reti di sicurezza di piccole dimensioni con fune sul bordo - Parte 2: Reti rettangolari con lato corto da 2 m a 3 m - Requisiti di sicurezza, metodi di prova e condizioni di utilizzo ed è dedicato alle reti rettangolari avente lato corto fra 2 e 3 m e lato lungo non inferiore a 4 m.

Gli autori svolgono la propria attività presso l'Inail nel Dipartimento innovazioni tecnologiche e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici. Questo *Quaderno* fa riferimento ai risultati relativi al Programma di Ricerca *Approcci integrati e metodologie innovative per la prevenzione del fenomeno infortunistico anche attraverso l'analisi dei "near miss"* nel quale è inserito il progetto *Misure innovative di prevenzione e protezione nei settori ad alto rischio infortunistico: costruzioni e agricoltura (P1 O3)* (Responsabile scientifico Luca Rossi) del Dipartimento innovazioni tecnologiche e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici dell'Inail. Le attività sperimentali sono state eseguite in collaborazione con i fabbricanti di reti di sicurezza presenti nell'ambito del Gruppo di Lavoro UNI GL15 'Attrezzature provvisionali' presso la sede di Montisola (BS).

Indice degli argomenti

Premessa	7
1. Definizioni	8
2. Legislazione	10
3. Normativa tecnica	11
3.1 UNI EN 1263-1	11
3.2 UNI EN 1263-2	16
3.3 Applicazione delle norme e criticità connesse	17
4. Prove sperimentali	18
4.1 Obiettivi	18
4.2 Disposizione e procedimento di prova	19
4.2.1 Descrizione delle prove	19
4.2.2 Descrizione delle attrezzature e delle apparecchiature di prova	21
4.2.2.1 Massa di prova	21
4.2.2.2 Reti di sicurezza utilizzate	22
4.2.2.3 Sistema di misura, acquisizione, registrazione e analisi dei dati	24
4.2.2.4 Struttura metallica rigida	26
4.2.2.5 Sistema di sollevamento e sgancio	28
4.3 Acquisizione dei dati	31
4.3.1 Sistema di acquisizione	31
4.3.2 Convenzioni	32
4.4 Risultati sperimentali	32
4.4.1 Generalità	32
4.4.2 Grafici relativi alle azioni agli ancoraggi	34
4.4.3 Grafici relativi alla deformazione della rete	46
4.4.4 Sintesi dei risultati	51
4.4.5 Analisi dei risultati	56
4.4.6 Considerazioni sull'utilizzo e il posizionamento delle reti di sicurezza di piccole dimensioni	67
5. Nuove norme UNI	68
6. Conclusioni	69
Riferimenti bibliografici	71

Premessa - La UNI EN 1263-1: 2015 classifica le reti di sicurezza in base a due parametri, la classe ed il sistema. La classe definisce le dimensioni della maglia e la capacità di assorbimento di energia della rete, mentre il sistema indica la tipologia del supporto della rete e la diversa modalità d'impiego. I sistemi sono quattro e sono denominati S, T, U e V.

Il sistema S, in particolare, è la rete di sicurezza con fune sul bordo che incornicia e rinforza la zona perimetrale della rete alla quale vengono collegati le corde di sollevamento e ancoraggio. Utilizzando diversi metodi di installazione [Fas-GPG], essa viene messa in opera per proteggere il lavoratore da cadute in una zona ampia generalmente interna alla struttura da proteggere.

Per il sistema S, la UNI EN 1263-1: 2015 esclude dal campo di applicazione le reti di sicurezza di piccole dimensioni che non abbiano contemporaneamente superficie maggiore di 35 m² e lato corto maggiore di 5 m, come per esempio reti con dimensioni 8,00 m x 4,90 m (39,20 m²) oppure 7,00 m x 4,90 m (34,30 m²).

La scelta di una rete di sicurezza [RFS-020] [Osa-007] dipende da tanti fattori fra cui figurano: l'altezza di caduta, lo spazio libero disponibile sotto la rete di sicurezza [Fas-SN23], le caratteristiche della struttura alla quale viene ancorata la rete, gli ancoraggi e loro tipologia, il posizionamento della rete di sicurezza che non deve ostacolare il movimento dei lavoratori e delle macchine per permettere lo svolgimento delle attività lavorative senza l'introduzione di rischi aggiuntivi.

Ci sono tantissime situazioni di lavoro che prevedono l'utilizzo di reti di piccole dimensioni in quanto in alcuni contesti non è utilizzabile il sistema S di cui al campo di applicazione della UNI EN 1263-1: 2015.

Queste reti di sicurezza di piccole dimensioni possono essere ricondotte essenzialmente a tre tipi:

- quadrate con lato compreso fra 3 m e 5 m;
- rettangolari con lato minore compreso fra 3 m e 5 m;
- rettangolari con lato minore compreso tra 2 m e 3 m e lato maggiore molto più lungo di quello minore.

Il comportamento di queste reti a seguito della caduta del lavoratore non è molto conosciuto a livello scientifico internazionale [Osa-007] [Mc-011], nè risulta, dalla documentazione attualmente disponibile sulle reti di sicurezza, che siano stati effettuati studi specifici sulle piccole reti come quello oggetto del presente quaderno.

Nel Regno Unito, l'Health and Safety Executive (HSE) [Mc-011], ha effettuato una ricerca per valutare l'efficacia delle reti di sicurezza di tipo S conformi alla BS EN 1263 nelle reali condizioni di utilizzo, per identificare la eventuale presenza di situazioni che potrebbero determinarne il danneggiamento prematuro. A tal fine sono state individuate alcune variabili, tra le quali:

- il tipo di rete (materiale e manifattura, con o senza nodi);

- le diverse posizioni di impatto (ad es. in prossimità dei bordi e/o degli angoli);
- la distanza fra gli ancoraggi;
- il numero di cadute ripetute in uno stesso punto;
- lo spanciamento (*sag*) iniziale della rete;
- la presenza di difetti;
- la forma degli oggetti in caduta;
- il grado di invecchiamento e di degrado dovuto all'utilizzo continuativo.-

Nei test sono state utilizzate reti di tipo S conformi alla BS EN 1263-1 con dimensioni nominali di 7,5 x 15 m.

Lo studio non ha esaminato la situazione di utilizzo di reti di piccole dimensioni, fuori dal campo di applicazione della norma, e quindi l'effetto delle piccole dimensioni della rete sulle sue prestazioni.

I risultati della ricerca dell'Health and Safety Executive (HSE) hanno sottolineato che le reti di sicurezza provate non hanno mostrato gravi problemi di sicurezza, hanno generalmente resistito a prove multiple e che lo sfondamento si è verificato solo in "*unusual circumstances*".

Un recentissimo studio cinese [CHHZ-019] ha analizzato gli effetti di diversi fattori sull'efficacia delle reti di sicurezza come protezione dalle cadute, attraverso simulazioni di caduta effettuate col metodo agli elementi finiti, proponendo un modello dinamico corpo umano - rete. Lo studio ha mostrato che la *performance* della rete migliora all'aumentare delle dimensioni della rete e al diminuire delle dimensioni della maglia.

Il fatto che le piccole reti siano escluse dal campo di applicazione della UNI EN 1263-1: 2015, testimonia incertezza sulla conoscenza del loro comportamento e pone dei dubbi sulla sicurezza del loro impiego.

Ciò ha indotto l'Inail, in collaborazione con i fabbricanti di reti di sicurezza presenti nell'ambito del Gruppo di Lavoro UNI GL15 'Attrezzature provvisoriale', ad effettuare una campagna di sperimentazione, che non risulta essere stata eseguita in altri paesi della Comunità Europea, con lo scopo di definire i requisiti e le caratteristiche che queste 'piccole reti' debbono possedere come protezione dei lavoratori in quota.

1 Definizioni

Ancoraggio

Insieme comprendente la struttura di supporto, l'ancorante e l'elemento da fissare

Nota: Esempi di strutture di supporto sono: edifici, ponti, viadotti

Nota: All'elemento da fissare (ad esempio un connettore) viene collegato l'oggetto da ancorare costituito dalla rete di sicurezza

Classe

Classificazione della rete rispetto alla capacità di assorbimento dell'energia e alle dimensioni della maglia

Connettore

Elemento di collegamento o componente della rete di sicurezza dotato di sistema di chiusura automatico e sistema di bloccaggio automatico o manuale.

Nota: Il connettore viene utilizzato normalmente per collegare la fune sul bordo all'elemento da fissare

Datore di lavoro

Soggetto titolare del rapporto di lavoro con il lavoratore o, comunque, soggetto che, secondo il tipo e l'assetto dell'organizzazione nel cui ambito il lavoratore presta la propria attività, ha la responsabilità dell'organizzazione stessa o dell'unità produttiva, in quanto esercita i poteri decisionali e di spesa.

Dimensione della maglia

Distanza fra due nodi o punti di connessione di funi per maglia misurata dal centro al centro di tali connessioni.

Fune per maglia

Fune con la quale vengono costruite le maglie della rete.

Fune sul bordo

Fune che congiunge ogni maglia nel perimetro della rete e ne determina la dimensione.

Fune tirante

Fune utilizzata per fissare la fune sul bordo ad un supporto appropriato.

Fune di accoppiamento

Fune che unisce insieme più reti di sicurezza.

Installatore

Persona qualificata che effettua il montaggio e lo smontaggio della rete di sicurezza.

Lavoratore

Persona alla quale è destinata la rete di sicurezza.

Lavoro in quota

Attività lavorativa che espone il lavoratore al rischio di caduta da una quota posta ad altezza maggiore di 2 m rispetto ad un piano stabile.

Maglia

Serie di funi disposte con un motivo geometrico (quadri o losanghe) con quattro nodi o punti di connessione, che formano una rete.

Maglia di prova

Sezione di maglia che fa parte della rete di sicurezza e che può essere rimossa per determinare qualsiasi deterioramento dovuto all'invecchiamento, senza pregiudicare la prestazione della rete.

Nota: La maglia di prova dovrebbe consistere di almeno 3 x 3 maglie (vedi punto 7 della UNI EN ISO 1806:2004).

Rete

Connessione di maglie.

Rete di sicurezza

Rete sostenuta da una fune sul bordo, da altri elementi di supporto o da una combinazione di questi, progettata per fermare la caduta dall'alto delle persone.

Sistema

Insieme di componenti di una rete di sicurezza, che costituisce una attrezzatura da utilizzare in conformità al manuale di istruzioni.

Struttura di supporto

Struttura su cui ancorare la rete di sicurezza (ad es. edificio, ponte, viadotto).

2. Legislazione

Le reti di sicurezza non vengono menzionate all'interno del d.lgs. 81/08.

Per esse si può fare riferimento all'art.122 (Ponteggi ed opere provvisionali) "*Nei lavori che sono eseguiti ad un'altezza superiore ai m 2, devono essere adottate, seguendo lo sviluppo dei lavori stessi, adeguate impalcature o ponteggi o idonee opere provvisionali o comunque precauzioni atte ad eliminare i pericoli di caduta di persone e di cose.....*". La rete di sicurezza è certamente una "*precauzione atta ad eliminare i pericoli di caduta di persone e di cose*".

Le reti di sicurezza sono dunque precauzioni atte ad eliminare i pericoli di caduta di persone e di cose ma anche dispositivi di protezione collettiva. Essi sono più volte citati nel d.lgs. 81/08.

Il d.lgs. 81/08 antepone le misure tecniche di prevenzione, i dispositivi di protezione collettiva, le misure, i metodi o i procedimenti di riorganizzazione del lavoro ai dispositivi individuali.

Tale concetto è stabilito negli articoli 15 "*Le misure generali di tutela della salute e della sicurezza dei lavoratori nei luoghi di lavoro sono: i) la prioritaria delle misure di protezione collettiva rispetto alle misure di protezione individuale*", 75 "*I DPI devono essere impiegati quando i rischi non possono essere evitati o sufficientemente ridotti da misure tecniche di*

prevenzione, da mezzi di protezione collettiva, da misure, metodi o procedimenti di riorganizzazione del lavoro” e 111 “Il datore di lavoro, nei casi in cui i lavori temporanei in quota non possono essere eseguiti in condizioni di sicurezza e in condizioni ergonomiche adeguate a partire da un luogo adatto allo scopo, sceglie le attrezzature di lavoro più idonee a garantire e mantenere condizioni di lavoro sicure, in conformita’ ai seguenti criteri: a) priorità alle misure di protezione collettiva rispetto alle misure di protezione individuale”.

Per la individuazione dei dispositivi di protezione collettiva idonei è dunque indispensabile la determinazione preliminare della natura e dell’entità dei rischi residui ineliminabili sul luogo di lavoro, con particolare riguardo ai seguenti elementi: tipologia dei possibili pericoli per i lavoratori, durata e probabilità del rischio, condizioni lavorative.

Adottare dispositivi di protezione collettiva capaci di proteggere dalla totalità o almeno dalla maggior parte dei rischi lavorativi è il presupposto fondamentale per stabilire le necessarie politiche di sicurezza da parte di tutti i soggetti interessati.

Il d.lgs. 81/08 non definisce che cosa siano i dispositivi di protezione collettiva; essi possono essere intesi come prodotti che hanno la funzione di salvaguardare le persone da rischi per la salute e la sicurezza. Non essendo coperti da direttiva specifica, non possono essere marcati CE ma sono soggetti al d.lgs. 6 settembre 2005, n. 206 (Codice del consumo) parte IV, titolo I - Sicurezza dei prodotti.

Il fabbricante può dimostrare che i dispositivi di protezione collettiva da lui prodotti soddisfino i requisiti essenziali di sicurezza previsti dal d.lgs. 206/05 redigendo, ad esempio, una propria specifica tecnica di prodotto o facendo riferimento alle norme tecniche applicabili.

La maggior parte delle reti sicurezza utilizzate sul territorio italiano sono quindi prodotti conformi alle norme tecniche UNI EN 1263-1: 2015 - Attrezzature provvisoriale di lavoro - Reti di Sicurezza Parte 1: Requisiti di sicurezza, metodi di prova e UNI EN 1263-2: 2015 - Attrezzature provvisoriale di lavoro - Reti di Sicurezza Parte 2: Requisiti di sicurezza per i limiti di posizionamento.

L’assenza nel d.lgs. 81/08 di contenuti specifici riguardo le reti di sicurezza ha di fatto agevolato l’utilizzo delle norme tecniche, strumento certamente non cogente, ma paradossalmente ancora più importante in assenza di disposizioni legislative specifiche in quanto condiviso dagli stakeholder che hanno contribuito alla loro scrittura.

3. Normativa tecnica

3.1 UNI EN 1263-1

La norma UNI EN 1263-1: 2015 si applica alle reti e agli accessori di sicurezza per l’uso nei lavori di costruzione e di montaggio per proteggere i lavoratori dalle cadute dall’alto. Essa

specifica i requisiti di sicurezza e i metodi di prova e si basa sulle caratteristiche prestazionali di fibre di polipropene e poliammide. I materiali utilizzati nelle reti non dovrebbero avere alcuna riduzione significativa delle proprietà meccaniche tra - 10 ° C e + 40 ° C.

La norma UNI EN 1263-1 non riguarda l'installazione delle reti oggetto della UNI EN 1263-2.

Le reti di sicurezza utilizzate nei lavori di costruzione e di montaggio rappresentano una delle soluzioni tecnicamente più adatte a intercettare le persone che cadono dall'alto ed ad arrestarne la caduta. Vengono impiegate in moltissime situazioni di lavoro [RFS-020] [Osa-007].

Diversamente da quanto accade se si utilizzano dei DPI contro le cadute dall'alto, e nello specifico dall'utilizzo dei cordini, l'impegno delle reti non compromette la mobilità dei lavoratori che operano sopra l'area protetta dalle stesse, aspetto particolarmente importante in caso di utilizzo su ampie superfici di lavoro. L'uso delle reti di sicurezza ha inoltre il vantaggio attenuare maggiormente la caduta del lavoratore, rispetto ai DPI, in virtù delle maggiori deformazioni che subisce la rete.

Le reti di sicurezza sono particolarmente sensibili all'invecchiamento dovuto all'esposizione ai raggi UV; ciò impone di tenerle all'esterno solo per un periodo di tempo limitato dopo il quale devono essere riposte. Per tale motivo la UNI EN 1263-1 prevede per le reti dei test di invecchiamento.

La UNI EN 1263-1 classifica le reti di sicurezza in base a due parametri, la classe ed il sistema. La classe definisce le dimensioni della maglia e la capacità di assorbimento di energia della rete mentre il sistema indica la tipologia del supporto della rete e la diversa modalità d'impiego [Fas-SN02].

Le reti vengono divise in quattro classi (A1, A2, B1, B2) che si distinguono per la massima dimensione delle maglie (l_M) e per i valori caratteristici dell'energia (E) che può agire su di esse.

Tabella 3.1-1 - Tipologie delle reti in base alla classe, alla dimensione delle maglie e alla capacità di assorbimento di energia

Classe	l_M (mm)	E (kJ)	
A1	60	E _A	2,3
A2	100		
B1	60	E _B	4,4
B2	100		

I sistemi sono quattro e sono denominati S, T, U e V.

Il sistema S in particolare è la rete di sicurezza con fune sul bordo che incornicia e rinfor-

za la zona perimetrale della rete alla quale vengono collegati le corde di sollevamento e ancoraggio. Essa viene messa in opera per proteggere il lavoratore da cadute in una zona ampia generalmente interna alla struttura da proteggere. Le caratteristiche di sicurezza del sistema S sono state riscontrate anche in attività di ricerca effettuate nel settore dello sci alpino [AEMPCG-014].

Il sistema S è costituito normalmente da reti di grande superficie nell'ordine di decine di metri quadri. Molto spesso si passa dalle decine alle centinaia di metri quadri. Non è raro vedere reti di sicurezza di migliaia di metri quadri installate ad esempio per la protezione di lavoratori che effettuano attività in grandi strutture prefabbricate.

Per il sistema S, la UNI EN 1263-1: 2015 esclude dal campo di applicazione le reti di sicurezza di piccole dimensioni che non abbiano contemporaneamente superficie maggiore di 35 m² e lato corto maggiore di 5 m.

Le motivazioni di tale esclusione risiedono nel fatto che i requisiti e le prove che la norma UNI EN 1263-1 prevede per il sistema S sono stati concepiti per reti di grande superficie; esse hanno comportamenti diversi rispetto alle piccole in merito alla capacità di assorbire energia derivante dalla caduta del lavoratore. Le reti di piccole dimensioni sono evidentemente molto più rigide e tale aspetto ne influenza le prestazioni e la sicurezza coinvolgendo anche le modalità con cui viene effettuato l'ancoraggio [Fas-SN12] [Fas-SN13].



Figura 3.1.1-1 - Prova di resistenza dinamica delle reti di tipo S. Sfera prima della caduta



Figura 3.1.1-2 - Prova di resistenza dinamica delle reti di tipo S. Sfera durante la caduta



Figura 3.1.1-3 - Prova di resistenza dinamica delle reti di tipo S. Sfera alla fine della caduta in posizione di riposo

3.2 UNI EN 1263-2

La norma UNI EN 1263-2: 2015 specifica i requisiti di sicurezza per il posizionamento delle reti in conformità al manuale di istruzioni del fabbricante, alle specifiche del pro-

dotto e alle prove delle reti di sicurezza di cui al sistema S, al sistema T, al sistema U e al sistema V secondo la UNI EN 1263-1.

La UNI EN 1263-2 è dunque particolarmente importante in quanto specifica i requisiti di sicurezza per il posizionamento di una rete di sicurezza.

La UNI EN 1263-2 afferma che la scelta di una rete di sicurezza, oltre che dall'inclinazione del piano di lavoro, dipende dalla altezza di caduta. La norma definisce tre tipologie di altezza di caduta denominate H_c , H_i e H_r :

- altezza di caduta H_c : distanza verticale fra la rete di sicurezza ed il punto di lavoro localizzato lungo il bordo interno della superficie da proteggere,
- altezza di caduta H_i : distanza verticale fra la rete di sicurezza ed il punto di lavoro localizzato all'interno della superficie da proteggere,
- altezza di caduta ridotta H_r : distanza verticale tra la rete di sicurezza ed il punto di lavoro localizzato all'interno della superficie da proteggere a distanza non superiore a 2 m dai punti di ancoraggio.

I valori delle grandezze sopra definite che si possono adottare sono (punto 4.2 della UNI EN 1263-2):

- altezze di caduta H_i ed H_c che non superano i 6 m;
- altezza ridotta H_r che non supera i 3 m perché localizzata nella zona strutturalmente più debole della rete.

I concetti esplicitati dalla UNI EN 1263-2 e riguardanti fra l'altro le altezze di caduta denominate H_c , H_i e H_r sono applicabili anche alle reti di piccole dimensioni; per esse assume un significato particolare l'altezza di caduta ridotta H_r .

Nelle reti di piccole dimensioni il punto di lavoro localizzato all'interno della superficie da proteggere è quasi sempre situato a distanza inferiore a 2 m dai punti di ancoraggio viste le ridotte dimensioni della rete.

Questo aspetto ne influenza le prestazioni e la sicurezza in quanto le reti di piccole dimensioni sono evidentemente molto più rigide.

Per tali reti sarà quindi opportuno limitare l'altezza massima di caduta consentita a valori $H < H_r$.

3.3 Applicazione delle norme e criticità connesse

Le norme UNI EN 1263-1 e UNI EN 1263-2: 2015 escludono dal campo di applicazione il sistema S che non abbia contemporaneamente superficie maggiore di 35 m² e lato corto almeno pari a 5 m.

Come il presente studio avrà dimostrato, il motivo di tale esclusione è da ricondurre alle

problematiche di sicurezza che possono portare il lavoratore a cadere dall'alto ed ad impattare contro il suolo per tre motivi:

- il lavoratore sfonda la rete;
- il lavoratore rimbalza sulla rete e cade fuori dalla stessa;
- il lavoratore viene raccolto dalla rete ma cade fuori a causa delle ridotte dimensioni della stessa.

Ciò ne rende pericoloso l'utilizzo nonostante ci siano tantissime situazioni di lavoro nelle quali le dimensioni geometriche delle zone da proteggere ne suggerirebbero la scelta. Non è raro che le reti vengano arrotolate o raccolte senza che siano stati valutati correttamente i rischi relativi all'adattamento [Fas-SN10].

Il comportamento di queste reti non è molto conosciuto a livello scientifico internazionale o, qualora lo fosse, i risultati non sono stati resi disponibili.

Per valutare l'efficacia di tali reti, è necessario che anche queste siano sottoposte al test dinamico di cui al punto 7.9 della UNI EN 1263-1: 2015 ed in particolare al punto 7.9.3.1 affinché sia rispettato il requisito previsto nella norma stessa al punto 6.5 '*.....La massa di prova deve essere sostenuta dalla rete. È consentita la deformazione permanente e la rottura di diverse funi per maglia*'. La capacità di assorbimento della rete è influenzata dalle condizioni di utilizzo e da quelle ambientali che vanno ad incidere sull'invecchiamento. Tale capacità viene verificata mediante il test di trazione sulle maglie di prova, previsto nel punto 6.5 UNI EN 1263-1, che fornisce informazioni sullo stato di conservazione della rete [Mc-011].

4. Prove sperimentali

4.1 Obiettivi

L'obiettivo della sperimentazione è di verificare quali siano i requisiti di sicurezza, i metodi di prova e le condizioni di utilizzo a cui devono essere soggette le reti di piccole dimensioni escluse dal campo di applicazione della UNI EN 1263-1.

Queste reti di sicurezza di piccole dimensioni possono essere ricondotte essenzialmente a tre tipi:

- quadrate con lato compreso fra 2 m e 5 m;
- rettangolari con lato minore fra 3 m e 5 m;
- rettangolari con lato minore compreso tra 2 m e 3 m e lato maggiore molto più lungo di quello minore.

Utilizzando reti di diverso materiale (polietilene o polipropilene) e di diversa manifattura (con o senza nodi) la sperimentazione si propone di ricavare requisiti di sicurezza, metodi di prova e condizioni di utilizzo indipendenti da tali parametri.

4.2 Disposizione e procedimento di prova

4.2.1 Descrizione delle prove

Le prove consistono nella caduta di una sfera di diametro (500 ± 10) mm e massa pari a 100 ± 1 kg da una certa quota h su un campione di rete (campione di prova).

Sono state eseguite tenendo conto dei principi stabiliti nel punto 7.9.3 della UNI EN 1263-1, apportando alcune modifiche per tener conto degli obiettivi della sperimentazione.

Il campione di prova è stato sospeso ad una struttura di ancoraggio, collegandolo mediante la fune di bordo:

- in alcune prove, nei suoi quattro angoli come previsto nel punto 7.9.3 della UNI EN 1263-1;
- in altre prove, in otto punti, quattro per ogni lato maggiore della rete (vedi figure 4.2.1-2 e 4.2.1-3).

Sono stati utilizzati campioni di prova quadrati e rettangolari di diverse dimensioni:

- quadrati con lato compreso fra 2 m e 5 m: 2 x 2 m, 3 x 3 m, 4 x 4 m, 5 x 5 m;
- rettangolari con lato minore pari a 2 m e 3 m e lato maggiore pari a 4m: 2 x 4 m e 3 x 4 m.

L'altezza di caduta della sfera è stata scelta in modo tale che l'energia cinetica della massa di prova fosse compresa fra 1 kJ e 4 kJ.

La sfera è stata lasciata cadere al centro della rete o a distanza di 1 metro rispetto al bordo, in alcune prove con rete 2x4 m.

Durante la prova sono stati registrati in continuo la forza F agli ancoraggi e la deformazione f della rete (freccia) per tutta la durata del fenomeno.

Il sistema di acquisizione è stato configurato per attivarsi manualmente allo sgancio della sfera. Scelta una rete di date dimensioni (ad esempio 3x3 m) e fissata una altezza di caduta, la massa è stata fatta cadere:

- cinque volte, senza la sostituzione della rete dopo ogni caduta, quando la rete era ancorata in otto punti;
- una volta, quando la rete era ancorata nei suoi quattro angoli.

Prima di ogni prova la sfera è stata dotata di una fettuccia di lunghezza pari all'altezza di caduta scelta per la prova, quale strumento di misura utile a posizionare alla giusta quota la sfera rispetto alla rete (vedi figura 4.2.1-2).

La sfera è stata sollevata e portata alla quota stabilita mediante il dispositivo di sollevamento e sgancio di tipo elettromeccanico.



Figura 4.2.1-1 - Sfera sollevata e portata alla quota stabilita

Con la sfera ferma in quota, è stato attivato il sistema di registrazione e quindi effettuato lo sgancio.

Dopo ogni caduta, sono state valutate le condizioni della rete per accertare la presenza o meno di danni.

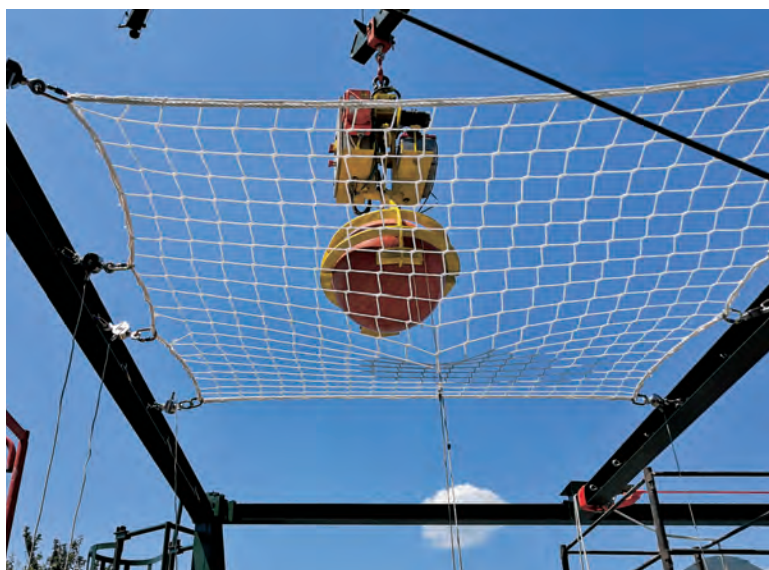


Figura 4.2.1-2 - Posizione iniziale

Si noti la fettuccia quale strumento di misura utile a posizionare alla giusta quota la sfera rispetto alla rete



Figura 4.2.1-3 - Posizione finale

Si noti la fettuccia quale strumento di misura utile a posizionare alla giusta quota la sfera rispetto alla rete

Ogni prova è stata eseguita senza applicare il precarico di 500 N con un'accuratezza di $\pm 10\%$ in ciascun punto di ancoraggio, come previsto al punto 7.9.3 della UNI EN 1263-1. Inoltre le prove sono state eseguite una di seguito all'altra, senza rispettare il tempo di attesa fra due prove consecutive di (30 ± 15) min, di cui allo stesso punto della norma.

4.2.2 Descrizione delle attrezzature e delle apparecchiature di prova

Per la esecuzione delle prove di caduta sono state utilizzate le seguenti attrezzature e apparecchiature:

- una massa di 100 kg (sfera);
- reti di sicurezza di differenti dimensioni;
- un sistema di misura, di acquisizione, registrazione e analisi dei dati;
- una struttura metallica rigida;
- un sistema di sollevamento e sgancio.

4.2.2.1 Massa di prova

La massa di prova è stata realizzata in conformità a quanto previsto nella UNI EN 1263-1 al punto 7.4.2 è costituita da una sfera a superficie liscia di diametro (500 ± 10) mm e una

massa di (100 ± 1) kg. La sfera è in materiale plastico invece che in acciaio come previsto nella UNI EN 1263-1.



Figura 4.2.2.1-1 - Massa di prova

4.2.2.2 Reti di sicurezza utilizzate

Le reti di sicurezza utilizzate nella sperimentazione sono state identificate mediante i seguenti parametri:

- valore caratteristico dell'energia (E);
- tipologia e dimensioni (in mm) della maglia;
- dimensioni (in m) della rete.

Il valore caratteristico dell'energia (E) che può agire sulla rete, fornito dal fabbricante, è di 4 kJ.

La tipologia della maglia è del tipo quadrata con dimensioni 60x60 mm o 100x100 mm, con o senza nodi. Il materiale di cui sono costituite è il polietilene o il polipropilene. Pur utilizzando reti di diversa tipologia, la sperimentazione non ha investigato l'influenza del materiale, né della manifattura (con o senza nodi) sul comportamento delle piccole reti, con l'obiettivo di ricavare per esse dei requisiti di sicurezza, metodi di prova e condizioni di utilizzo indipendenti da tali parametri.

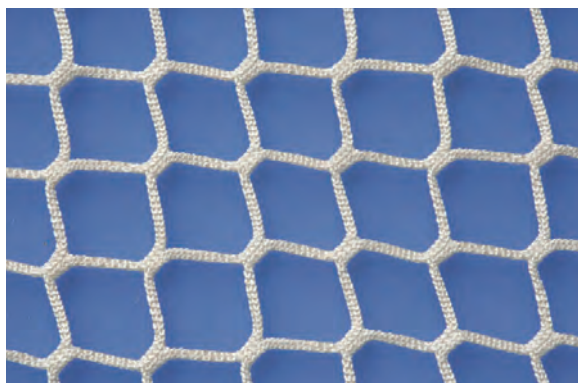


Figura 4.2.2.2-1 - Esempio di rete in polipropilene con maglia 60x60



Figura 4.2.2.2-2 - Esempio di rete in polietilene con maglia 100x100

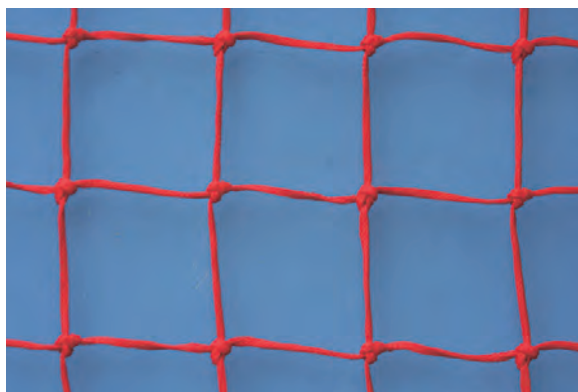


Figura 4.2.2.2-3 - Esempio di rete in polietilene con maglia 100x100

Le dimensioni delle reti utilizzate sono:

- 3x3 m
- 4x4 m
- 5x5 m
- 2x4 m
- 3x4 m

Sono stati effettuati test propedeutici anche su reti di dimensioni 2x2 m.

Le reti utilizzate sono state prodotte da tre diversi fabbricanti.

4.2.2.3 Sistema di misura, acquisizione, registrazione e analisi dei dati

Per l'esecuzione dei test sono stati utilizzati:

- otto celle di carico NBC Elettronica Group modello SX 2,5 ton da 24,52 kN applicate in corrispondenza degli ancoraggi lungo i lati lunghi delle reti;
- un sensore di posizione a filo ASM Posiwire modello WS19KT-5000-LD5VC-M4 applicato in corrispondenza del punto di caduta della sfera sulla rete.

Il sistema è dotato di un acquisitore a 10 canali a cui sono collegati i trasduttori - sensore di posizione a filo e celle di carico - sopra elencati; l'acquisitore ha frequenza di acquisizione pari a 2 kHz per gli ingressi relativi alle celle di carico e di 100 kHz per gli ingressi relativi ai sensori di posizione a filo.

Lo strumento è dotato di un pulsante che permette lo start sincronizzato della lettura dei 10 canali consentendone quindi una sovrapposizione temporale. I dati vengono memorizzati in file formato csv visualizzabili da un apposito software denominato PWIN63 installato su personal computer.

Il programma visualizza i file delle curve ricavate dall'acquisitore, ne effettua l'analisi e realizza i report.



Figura 4.2.2.3-1 - Cella di carico



Figura 4.2.2.3-2 - Sensore di posizione a filo



Figura 4.2.2.3-3 - Sensore di posizione a filo

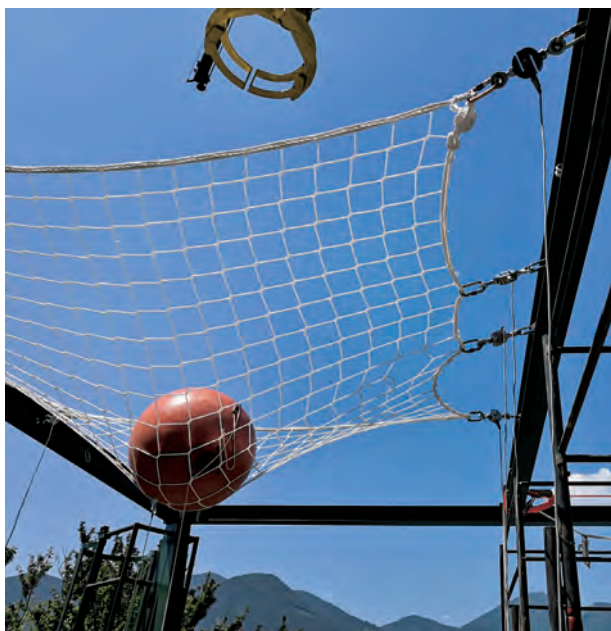


Figura 4.2.2.3-4 - Celle di carico - Particolare

4.2.2.4 Struttura metallica rigida

La struttura metallica rigida, realizzata in carpenteria metallica costituita da travi e pilastri HE, permette l'ancoraggio della rete e la sospensione della sfera in maniera tale da consentire alla sfera in caduta libera di impattare contro la rete e non urtare contro il suolo o contro la struttura metallica stessa.



Figura 4.2.2.4-1 - Attrezzatura di prova



Figura 4.2.2.4-2 - Attrezzatura di prova - particolare

4.2.2.5 Sistema di sollevamento e sgancio

Il sistema di sollevamento e di sgancio rapido di tipo elettromeccanico consente la caduta libera della sfera, senza apprezzabile velocità iniziale.



Figura 4.2.2.5-1 - Sistema di sollevamento e sgancio



Figura 4.2.2.5-2 - Sistema di sollevamento e sgancio



Figura 4.2.2.5-3 - Approntamento della prova

Si notino la rete di sicurezza, le otto celle di carico, il sensore di posizione a filo e il sistema di sollevamento e sgancio



Figura 4.2.2.5-4 - Sistema di sollevamento e sgancio
Particolare del riaggancio della sfera di prova dopo la caduta



Figura 4.2.2.5-5 - Sistema di sollevamento e sgancio
Recupero della sfera di prova dopo la caduta

4.3 Acquisizione dei dati

4.3.1 Descrizione delle attrezzature e delle apparecchiature di prova

Il sistema è dotato di un acquisitore a 10 canali a cui sono collegati i trasduttori sensore di posizione a filo e celle di carico; l'acquisitore ha frequenza di acquisizione pari a 2 kHz per gli ingressi relativi alle celle di carico e di 100 kHz per gli ingressi relativi ai sensori di posizione a filo.

Lo strumento è dotato di un pulsante che permette lo start sincronizzato della lettura dei 10 canali consentendone quindi una sovrapposizione temporale. I dati vengono memorizzati in file formato csv visualizzabili da un apposito software denominato PWIN63 installato su personal computer.



Figura 4.3.1-1 - Sistema di acquisizione



Figura 4.3.1-2 - Sistema di acquisizione - vista posteriore

4.3.2 Convenzioni

Le convenzioni utilizzate per descrivere la forza F e la deformazione f sono quelle per cui esse sono positive quando dirette verso il centro della terra come evidenziato nella tabella seguente:

Tabella 4.3.2-1 - Descrizione convenzioni

convenzione	direzione
+ F	verso il centro della terra
+ f	verso il centro della terra

4.4 Risultati sperimentali

4.4.1 Generalità

Le prove sono state eseguite per differenti altezze di caduta ($h = 4, 3, 2, 1$ m) per ogni tipologia di rete utilizzata.

In alcune di esse il campione di prova è stato ancorato nei suoi quattro angoli, in altre in otto punti, quattro per ogni lato maggiore della rete (vedi figura 4.3.2.-1).

La sfera è stata lasciata cadere al centro della rete.

Nelle prove con rete 2x4 m la sfera è stata lasciata cadere a distanza di 1 metro rispetto al bordo.

Per ogni campione di prova, fissata una altezza di caduta, la sfera è stata fatta cadere:

- cinque volte, senza la sostituzione della rete dopo ogni caduta, quando la rete era ancorata in otto punti;
- una volta, quando la rete era ancorata nei suoi quattro angoli.

La Tabella 4.4.1-1 riassume le prove eseguite, indicando per ognuna delle reti utilizzate, le sue dimensioni, le dimensioni della maglia della rete, il numero di ancoraggi della rete alla struttura di supporto, le altezze dalle quali è stata fatta cadere la massa di prova e la posizione di caduta, il numero di volte in cui è stata ripetuta la prova.

Per ogni test effettuato sono stati determinati:

- i grafici delle forze F istantanee sugli ancoraggi, espresse in kN, misurate dalle celle di carico durante il fenomeno;
- i valori delle forze massime F_{max} sugli ancoraggi, espresse in kN, quale picco dei grafici (valore massimo istantaneo);
- il grafico della deformazione f (freccia) istantanea espressa in m, misurata dall'estensimetro durante il fenomeno;

- il valore della deformazione massima (freccia) f_{max} , espressa in m, quale picco del grafico (valore massimo istantaneo):

Al paragrafo 4.4.2 sono riportati alcuni grafici relativi alle azioni agli ancoraggi.

Al paragrafo 4.4.3 sono riportati alcuni grafici relativi alla deformazione f (freccia) della rete.

I dati relativi a tutti i test effettuati, per ogni rete di sicurezza ed altezza di caduta, vengono riportati al paragrafo 4.4.4, con indicazione della forza massima F_{max} e della deformazione massima (freccia) f_{max} .

Tabella 4.4.1-1 - Sintesi delle prove eseguite

Dimensione della rete (m)	Dimensione delle maglie (mm)	Numero di ancoraggi	Altezza di caduta h (m)	Posizione di caduta centro (c) bordo sinistro (bs) bordo destro (bd)	Numero prove ripetute
2 x 2	100 x 100	8	4	c	1
			1	c	5
2 x 4	100 x 100	8	2	c	5
			1,5	c	5
			1	c	5
				bs	1
		4	bd	1	
			1,5	c	1
3 x 4	100 x 100	8	2	c	5
			1	c	5
3 x 3	60 x 60	8	2	c	1
			1	c	1
			4	c	3
4 x 4	60 x 60	8	4	c	5
			3	c	5
			2	c	5
		4	1	c	5
			2	c	1
5 x 5	60 x 60	8	1	c	1
			3	c	5
			2	c	5
		4	1	c	5
			3	c	1
			2	c	1
			1	c	1

4.4.2 Grafici relativi alle azioni di ancoraggi

In questo paragrafo vengono riportati i grafici relativi alle azioni agli ancoraggi per alcune delle prove effettuate.

È stato realizzato un grafico per ogni dimensione della rete (ad esempio rete 2x4 m), con differente numero di ancoraggi (ad esempio 4) e diversa altezza di caduta (ad esempio 1,5 m).

In ogni grafico è riportato lo schema della prova eseguita con la posizione degli ancoraggi e il punto di impatto della sfera di prova (vedi figura 4.4.2-1).

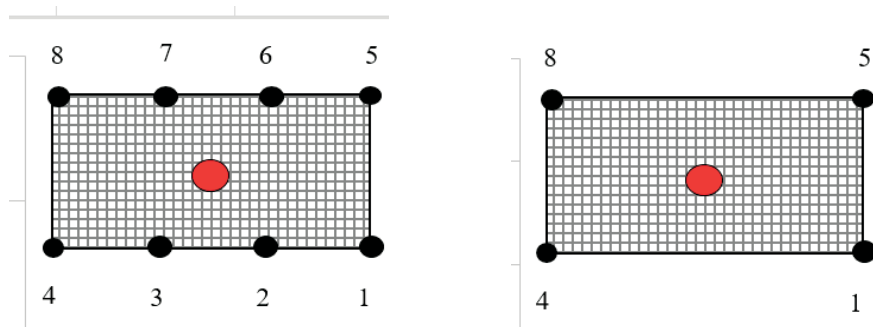


Figura 4.4.2-1 - Schema della posizione degli ancoraggi e punto di impatto della sfera di prova. A sinistra Rete con otto ancoraggi. A destra Rete con quattro ancoraggi

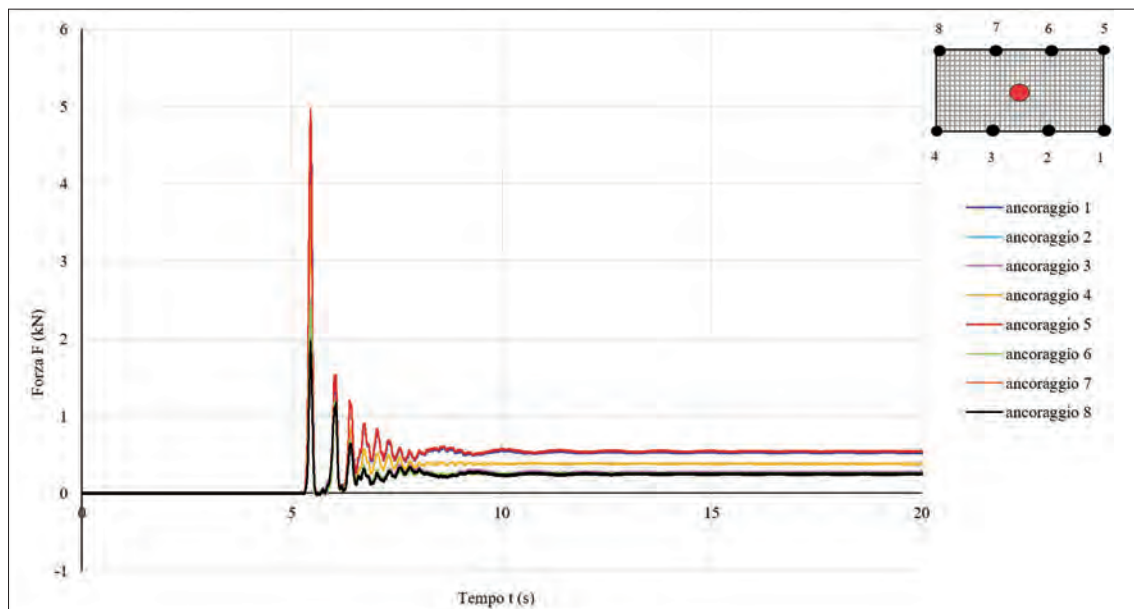


Figura 4.4.2.-2 - Azioni agli ancoraggi - 8 ancoraggi. Rete 2x4 (m), maglia 100x100 (mm), h = 1,5 m

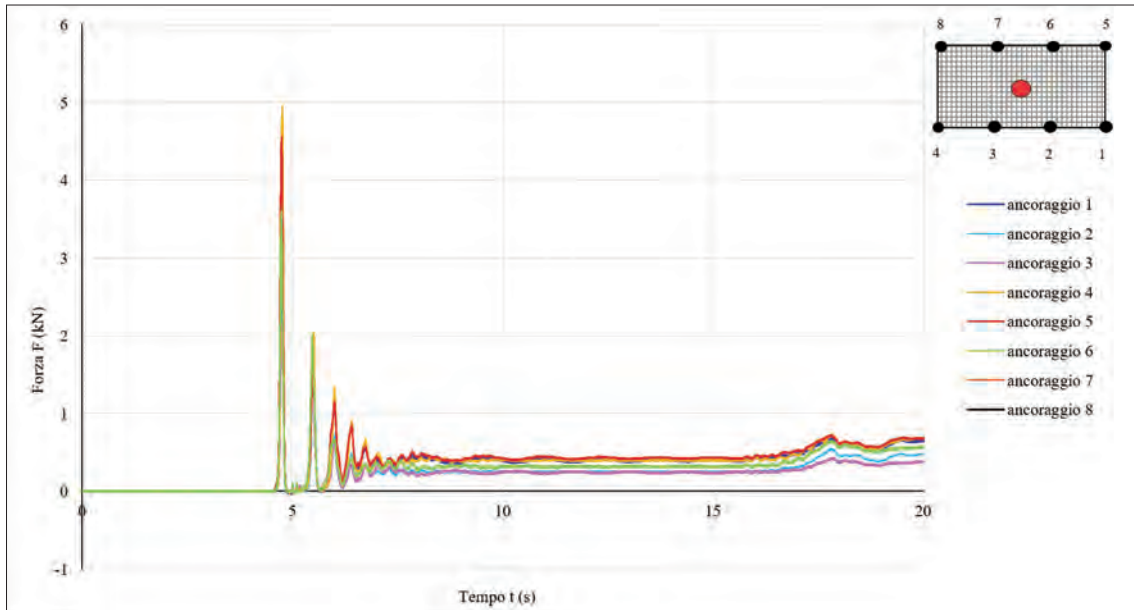


Figura 4.4.2.-3 - Azioni agli ancoraggi - 8 ancoraggi. Rete 2x4 (m), maglia 100x100 (mm), h = 1 m

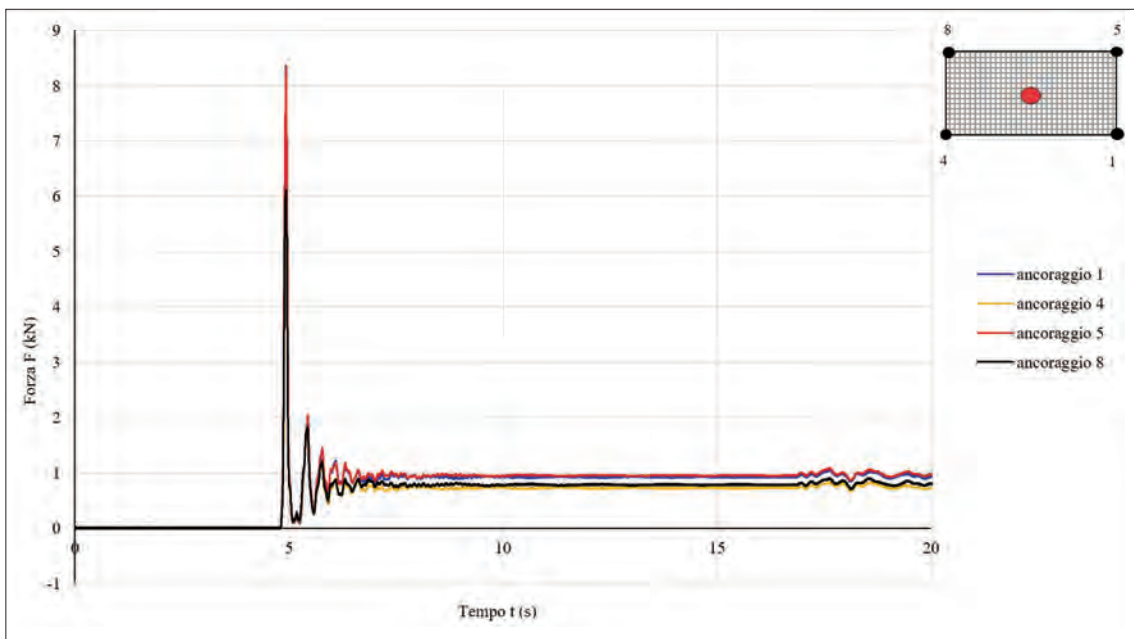


Figura 4.4.2.-4 - Azioni agli ancoraggi - 4 ancoraggi. Rete 2x4 (m), maglia 100x100 (mm), h = 1,5 m

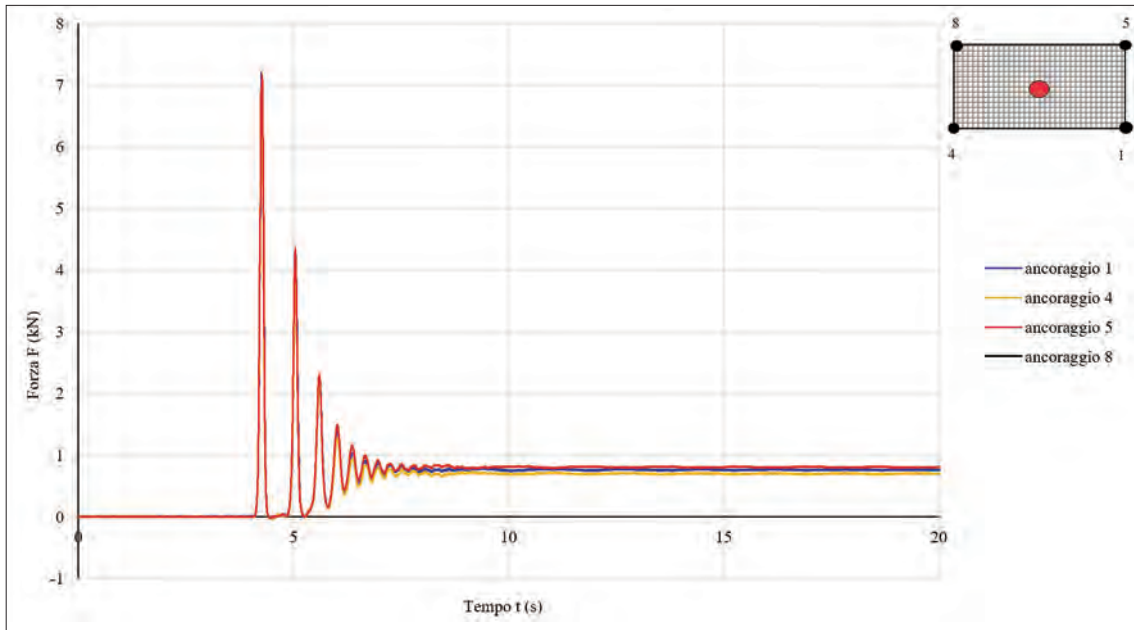


Figura 4.4.2.-5 - Azioni agli ancoraggi - 4 ancoraggi. Rete 2x4 (m), maglia 100x100 (mm), h = 1 m

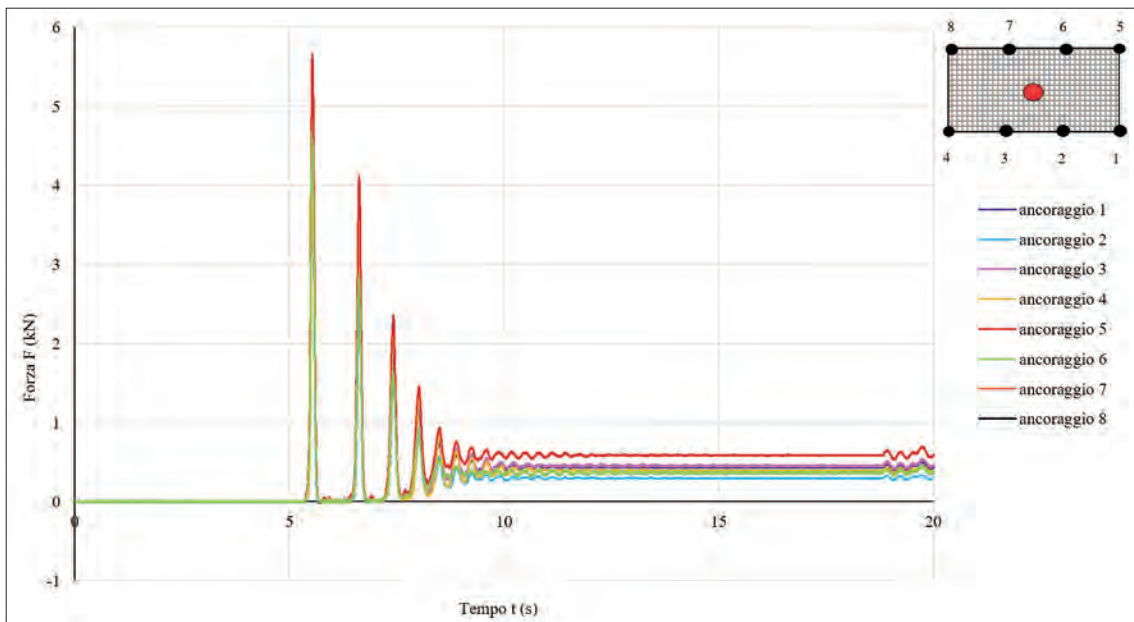


Figura 4.4.2.-6 - Azioni agli ancoraggi - 8 ancoraggi. Rete 3x4 (m), maglia 100x100 (mm), h = 2 m

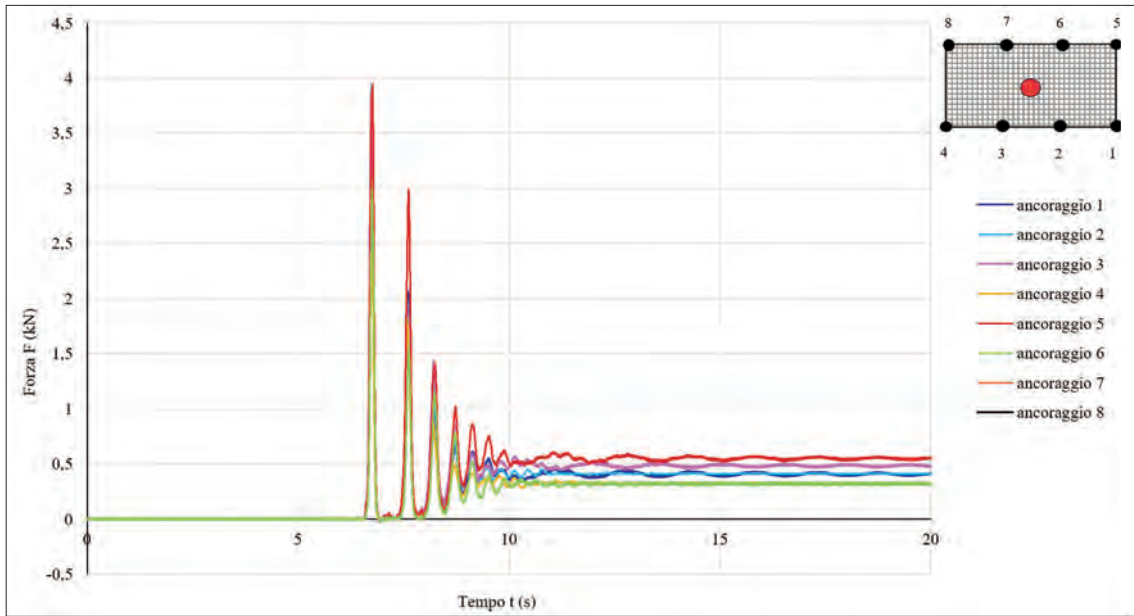


Figura 4.4.2.-7 - Azioni agli ancoraggi - 8 ancoraggi. Rete 3x4 (m), maglia 100x100 (mm), h = 1 m

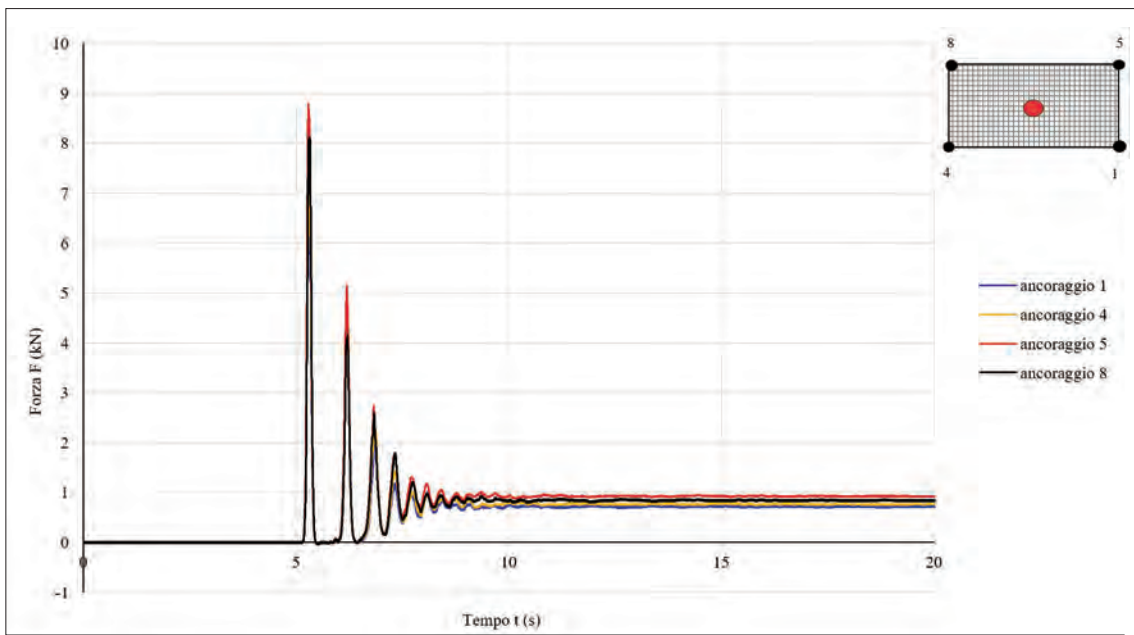


Figura 4.4.2.-8 - Azioni agli ancoraggi - 4 ancoraggi. Rete 3x4 (m), maglia 100x100 (mm), h = 2 m

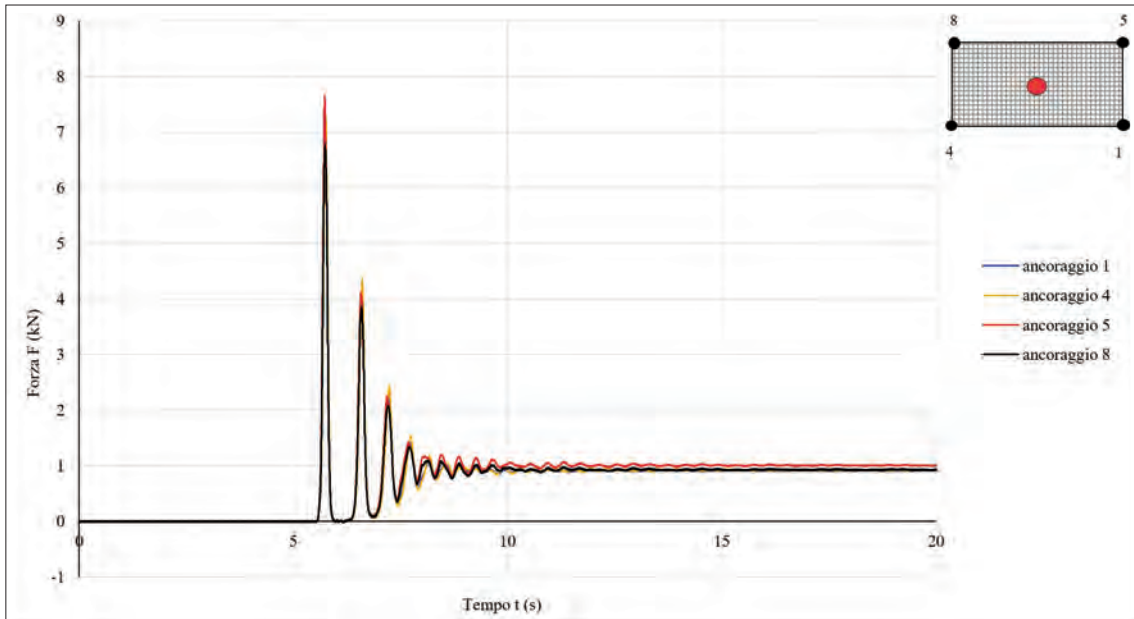


Figura 4.4.2.-9 - Azioni agli ancoraggi - 4 ancoraggi. Rete 3x4 (m), maglia 100x100 (mm), h = 1 m

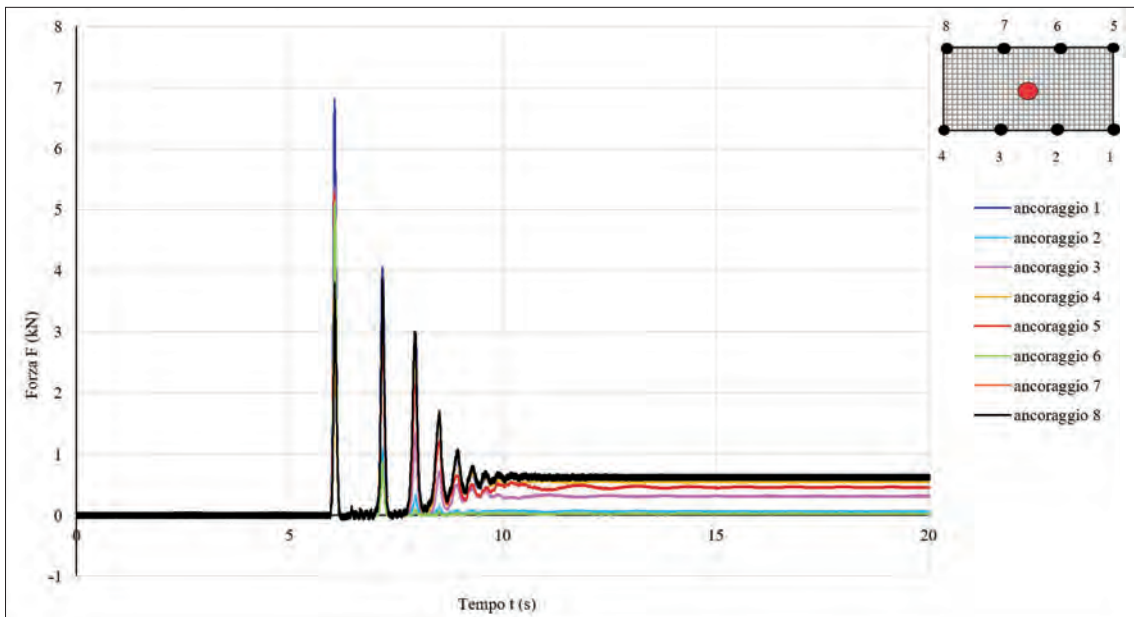


Figura 4.4.2.-10 - Azioni agli ancoraggi - 8 ancoraggi. Rete 3x3 (m), maglia 60x60 (mm), h = 3 m

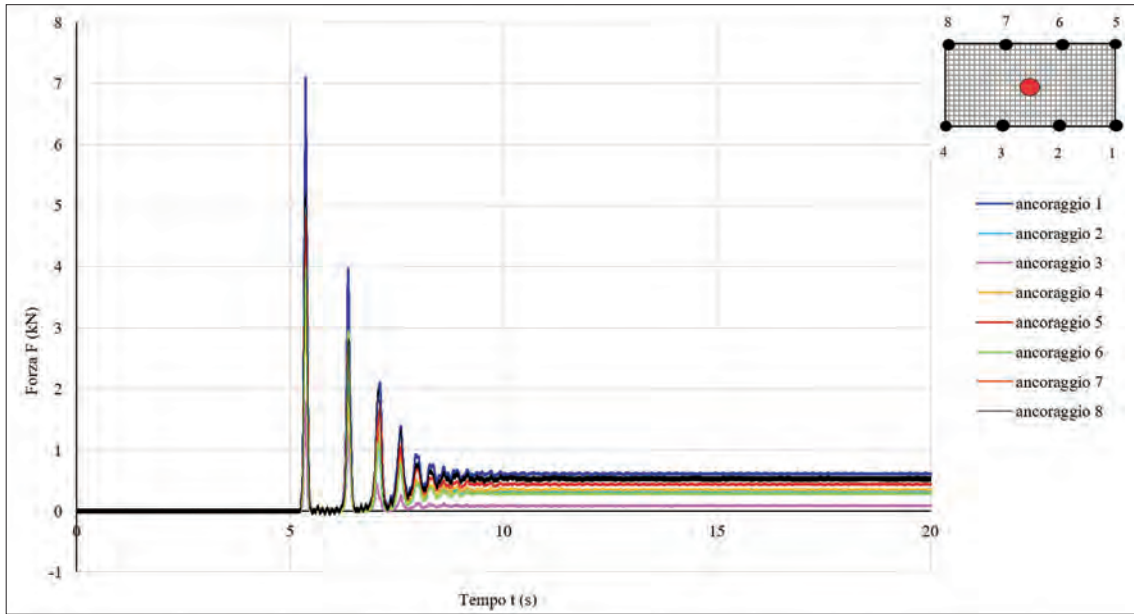


Figura 4.4.2.-11 - Azioni agli ancoraggi - 8 ancoraggi. Rete 3x3 (m), maglia 60x60 (mm), h = 2 m

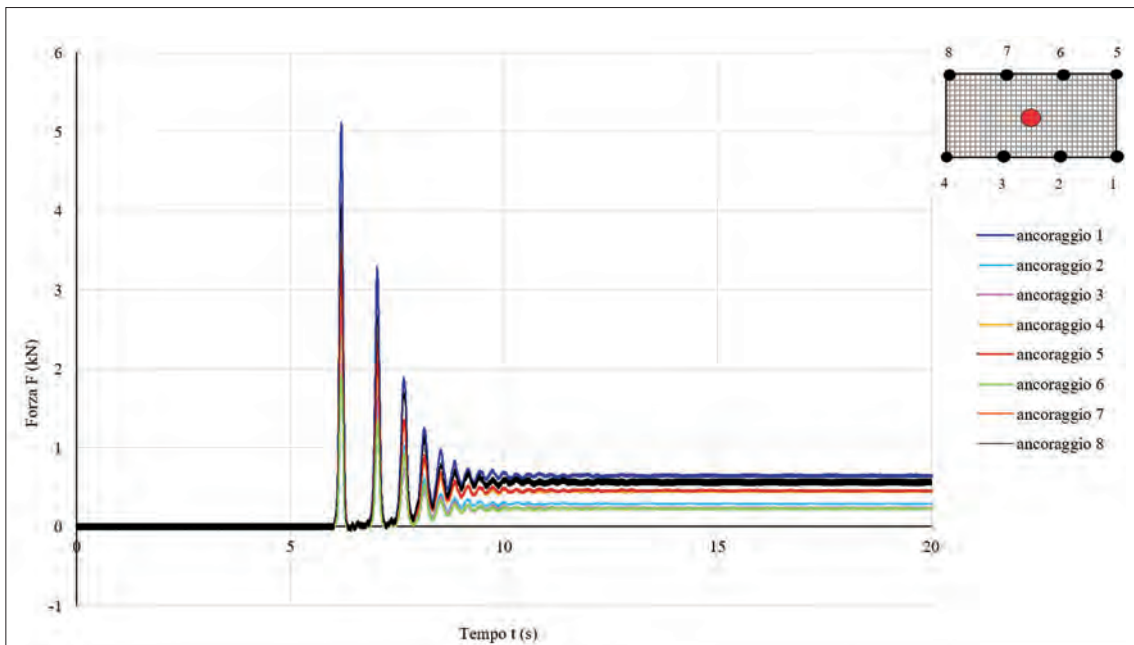


Figura 4.4.2.-12 - Azioni agli ancoraggi - 8 ancoraggi. Rete 3x3 (m), maglia 60x60 (mm), h = 1 m

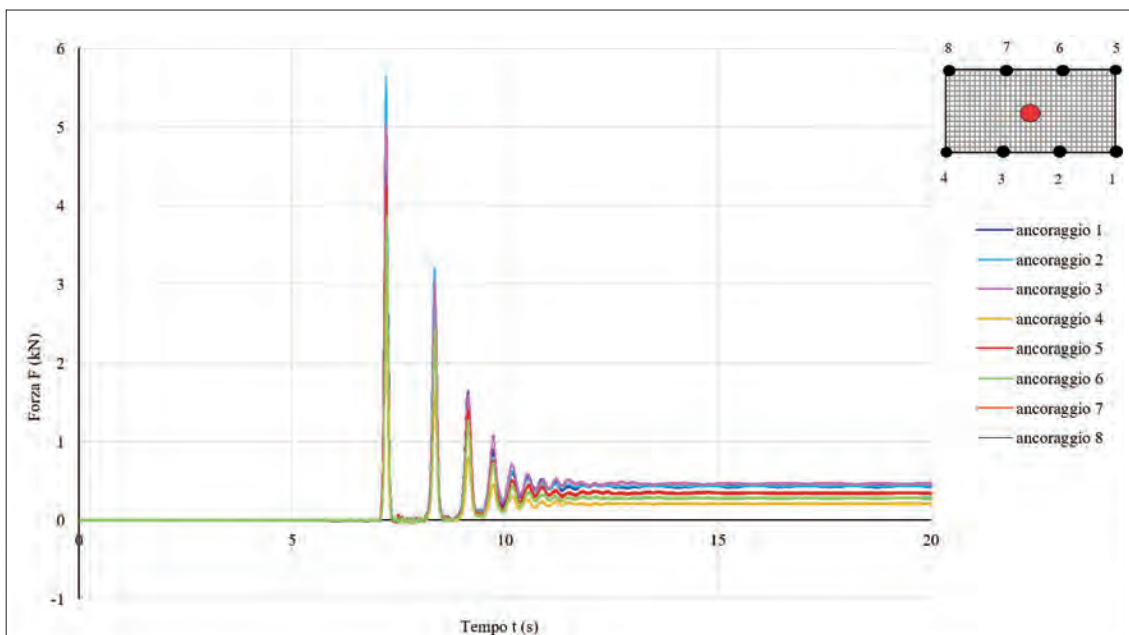


Figura 4.4.2.-13 - Azioni agli ancoraggi - 8 ancoraggi. Rete 4x4 (m), maglia 60x60 (mm), h = 3 m

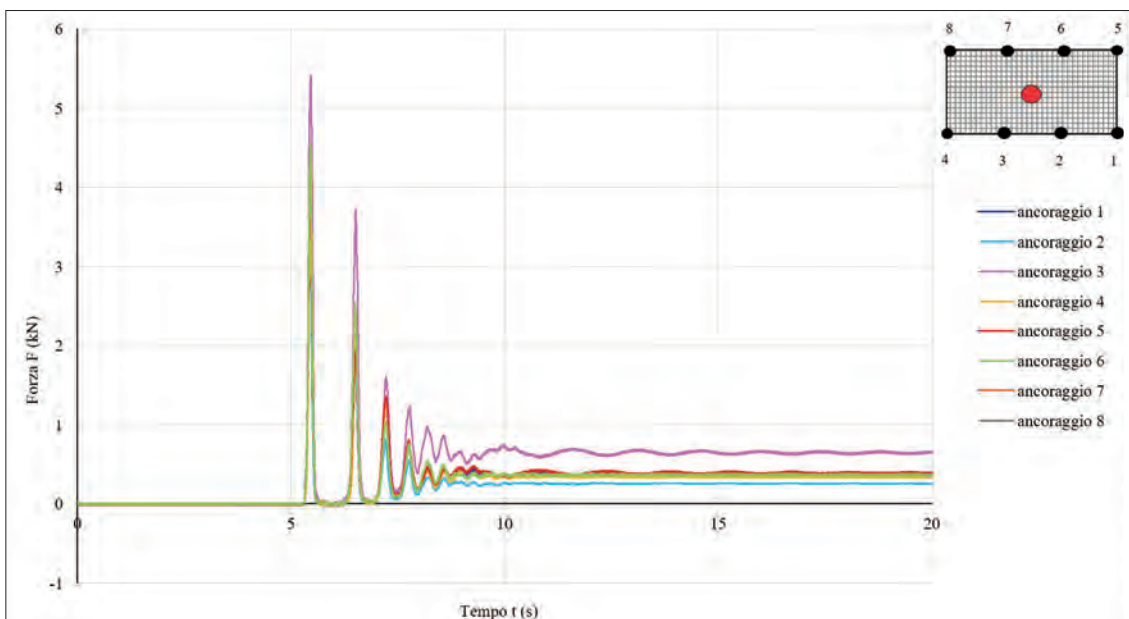


Figura 4.4.2.-14 - Azioni agli ancoraggi - 8 ancoraggi. Rete 4x4 (m), maglia 60x60 (mm), h = 2 m

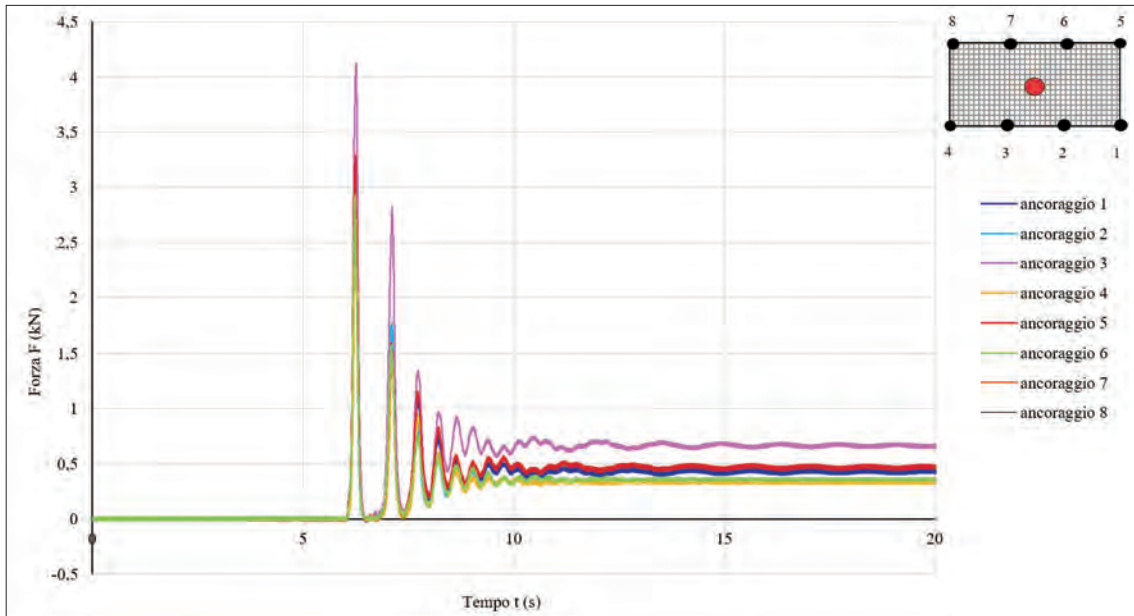


Figura 4.4.2.-15 - Azioni agli ancoraggi - 8 ancoraggi. Rete 4x4 (m), maglia 60x60 (mm), h = 1 m

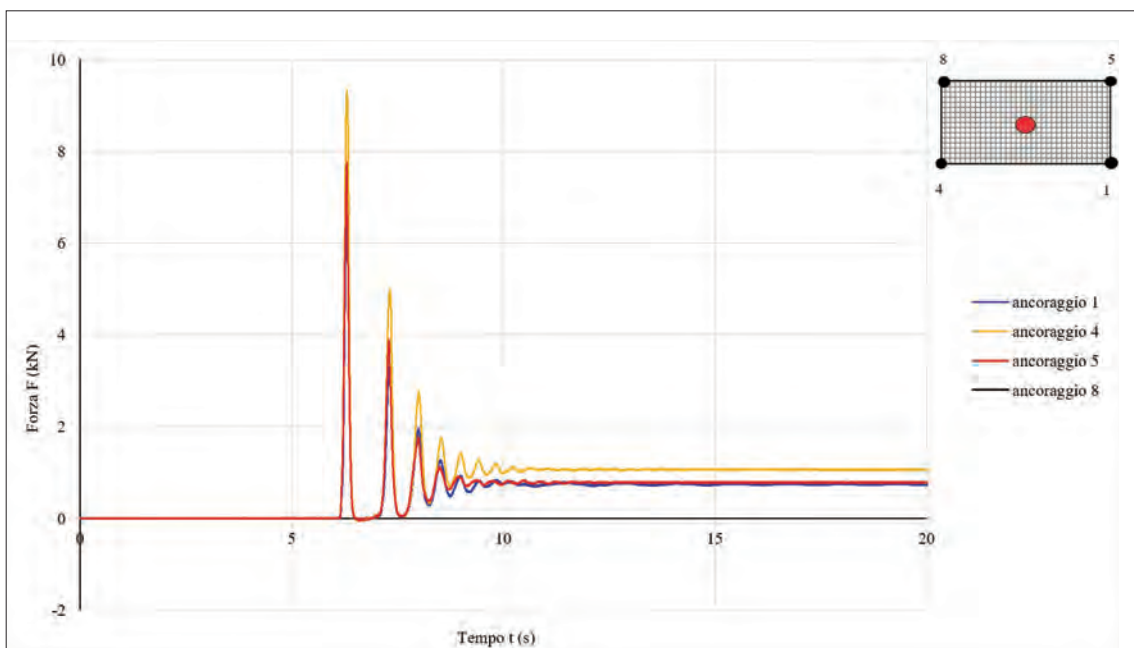


Figura 4.4.2.-16 - Azioni agli ancoraggi - 4 ancoraggi. Rete 4x4 (m), maglia 60x60 (mm), h = 2 m

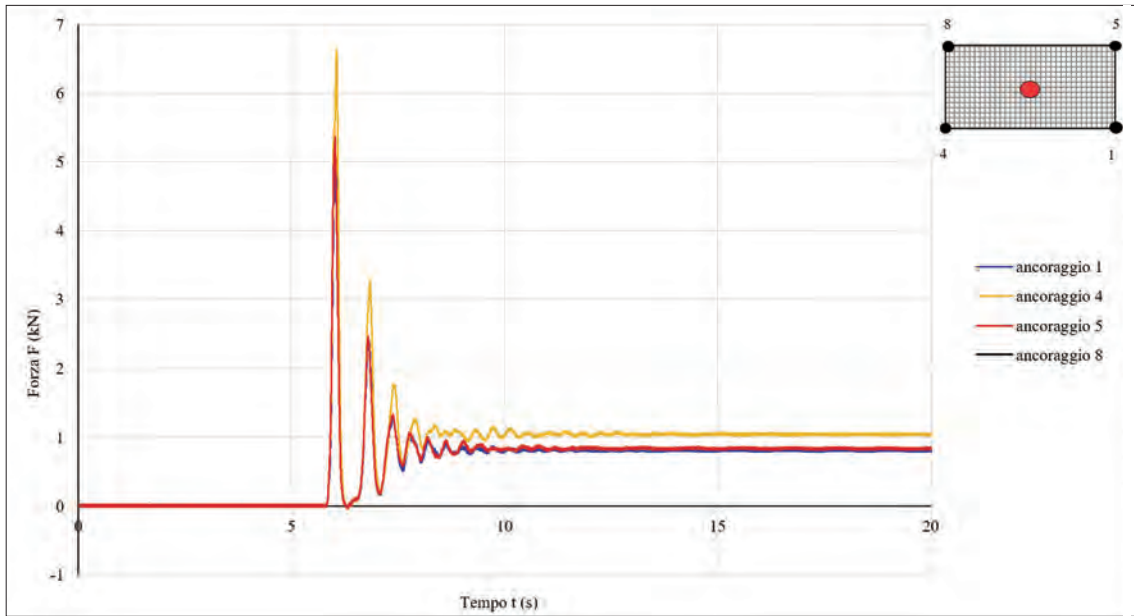


Figura 4.4.2.-17 - Azioni agli ancoraggi - 4 ancoraggi. Rete 4x4 (m), maglia 60x60 (mm), h = 1 m

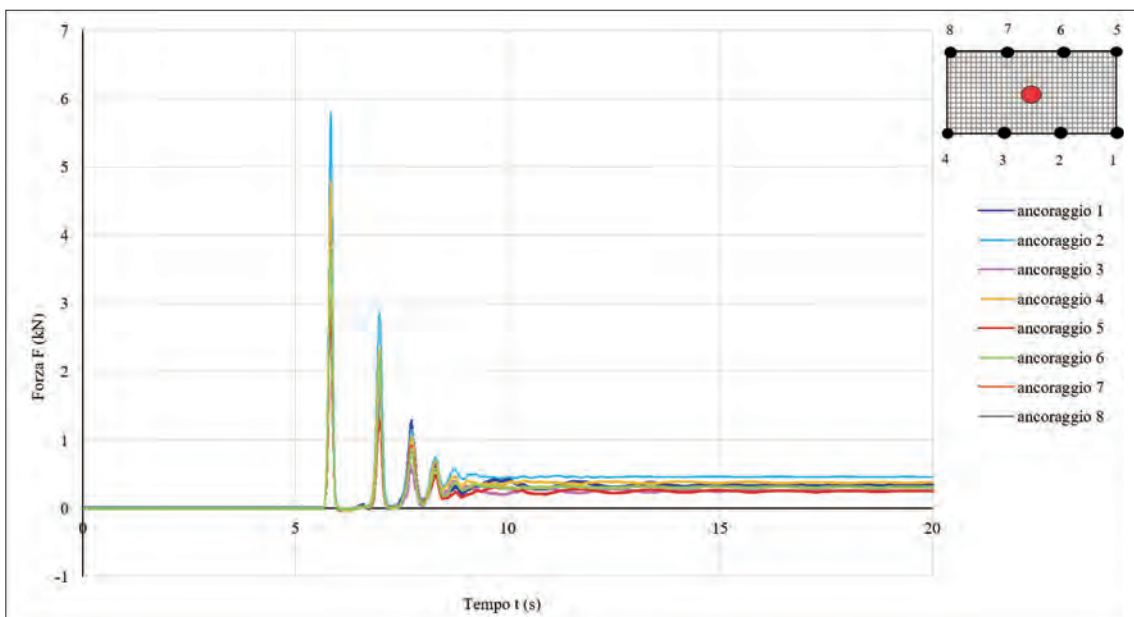


Figura 4.4.2.-18 - Azioni agli ancoraggi - 8 ancoraggi. Rete 5x5 (m), maglia 60x60 (mm), h = 3 m

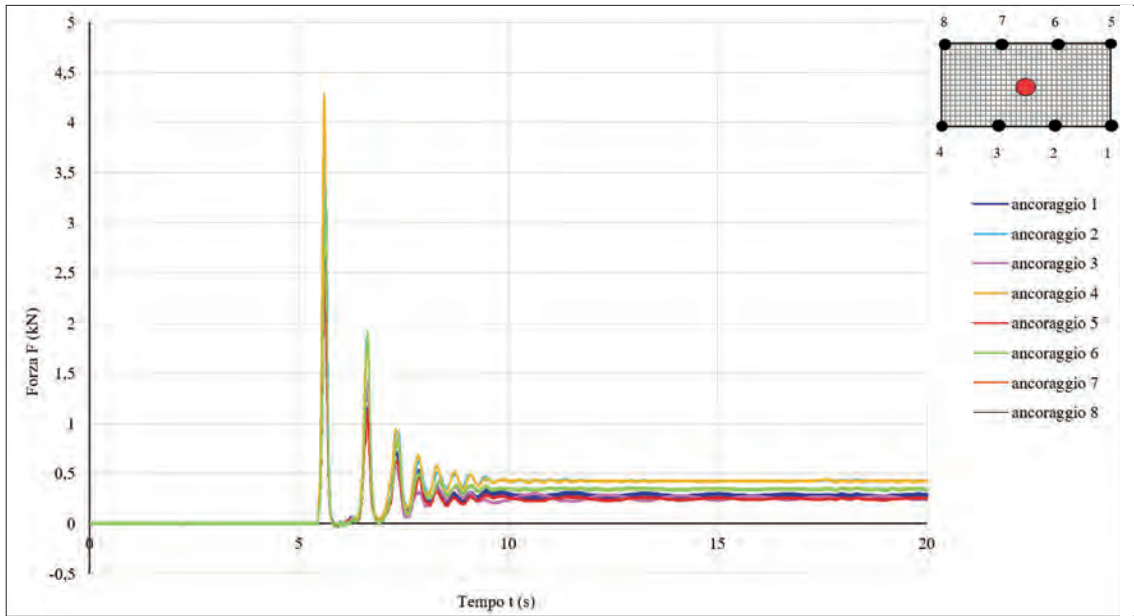


Figura 4.4.2.-19 - Azioni agli ancoraggi - 8 ancoraggi. Rete 5x5 (m), maglia 60x60 (mm), h = 2 m

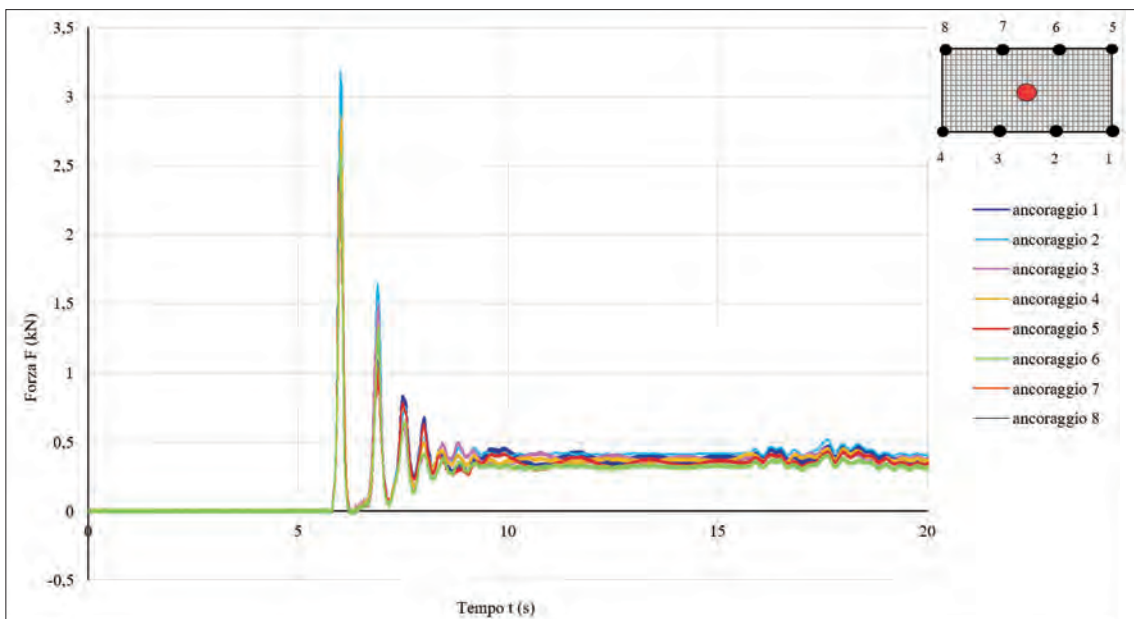


Figura 4.4.2.-20 - Azioni agli ancoraggi - 8 ancoraggi. Rete 5x5 (m), maglia 60x60 (mm), h = 1 m

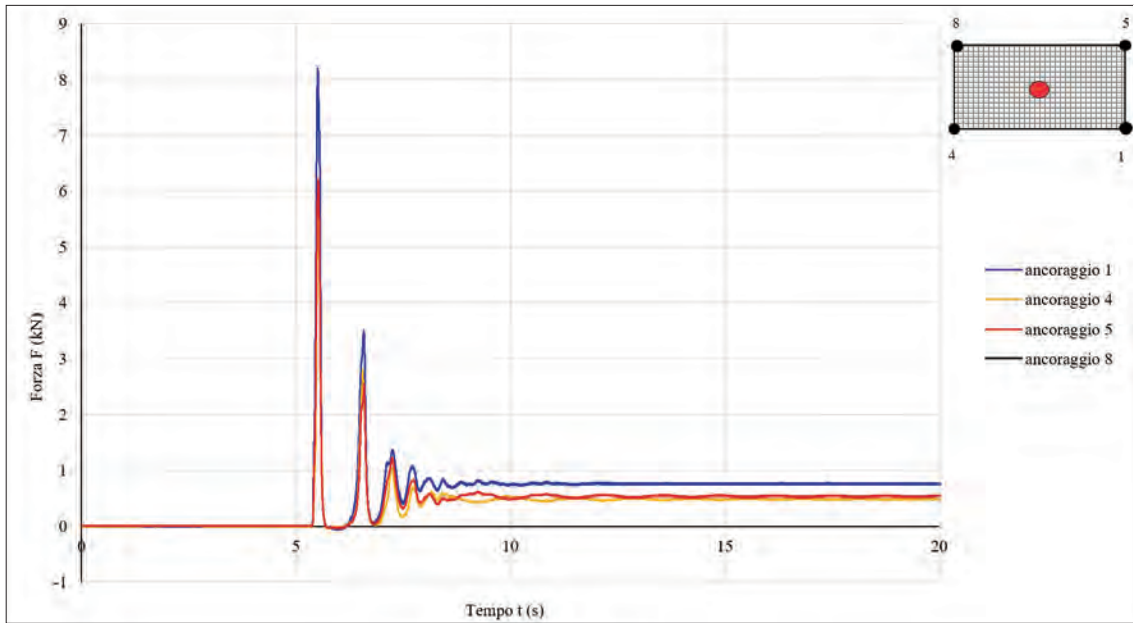


Figura 4.4.2.-21 - Azioni agli ancoraggi - 4 ancoraggi. Rete 5x5 (m), maglia 60x60 (mm), h = 3 m

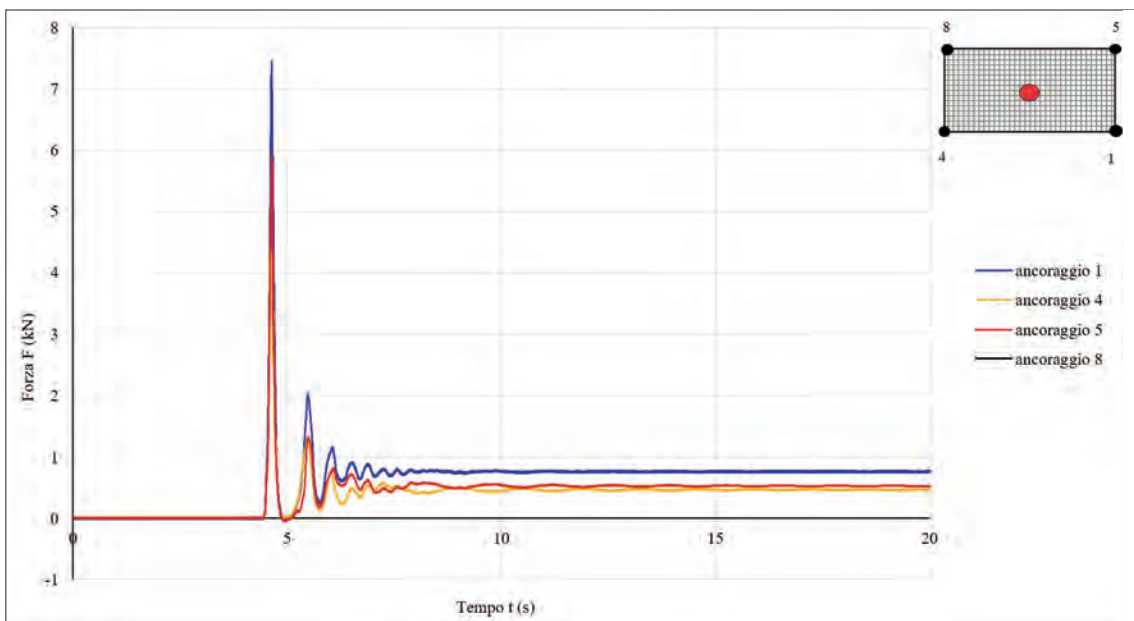


Figura 4.4.2.-22 - Azioni agli ancoraggi - 4 ancoraggi. Rete 5x5 (m), maglia 60x60 (mm), h = 2 m

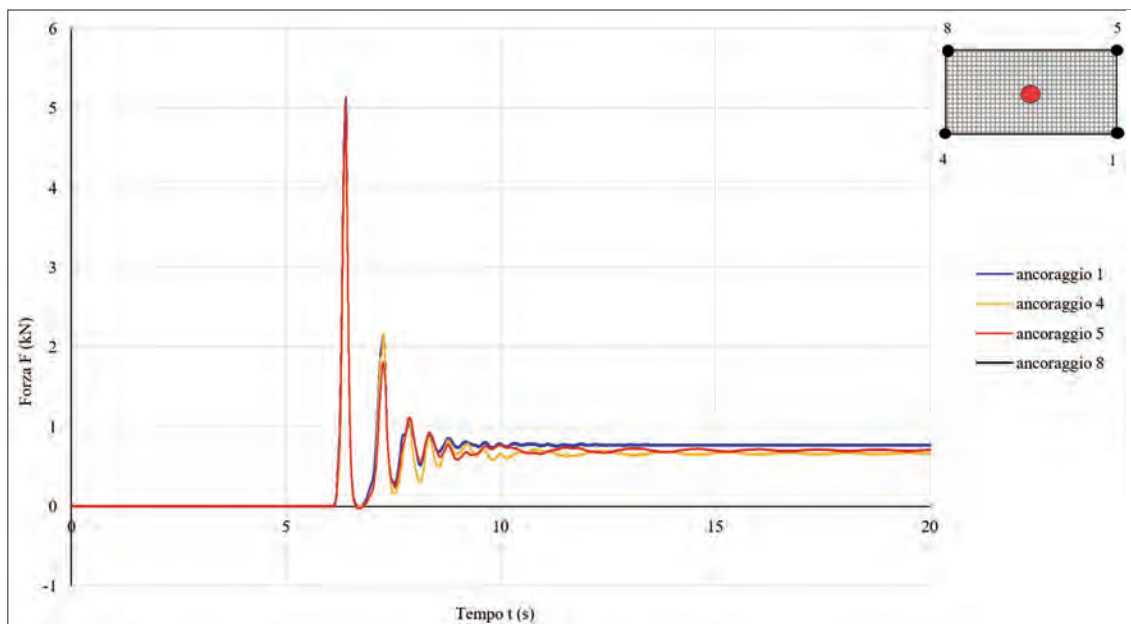


Figura 4.4.2.-23 - Azioni agli ancoraggi - 4 ancoraggi. Rete 5x5 (m), maglia 60x60 (mm), h = 1 m



Figura 4.4.2.-24 - Prova di caduta - 4 ancoraggi. Rete 3x3 (m), maglia 60x60 (mm), h = 3 m



Figura 4.4.2.-25 - Prova di caduta - 4 ancoraggi. Rete 3x4 (m), maglia 100x100 (mm), h = 1 m

4.4.3 Grafici relativi alla deformazione della rete

In questo paragrafo vengono riportati i grafici della deformazione f (freccia) istantanea della rete misurata dall'estensimetro durante il fenomeno, per alcune delle prove effettuate.

In molte prove un malfunzionamento dell'estensimetro o del sistema di acquisizione non ha permesso di avere a disposizione i grafici della deformazione istantanea.

In particolare, fra quelli disponibili, viene rappresentato un grafico per tipologia di prova considerata significativa, nella quale cioè la massa di prova è stata contenuta dalla rete.

In ogni grafico è riportato lo schema della prova eseguita con la posizione degli ancoraggi e il punto di impatto della sfera di prova (vedi figura 4.4.2-1).

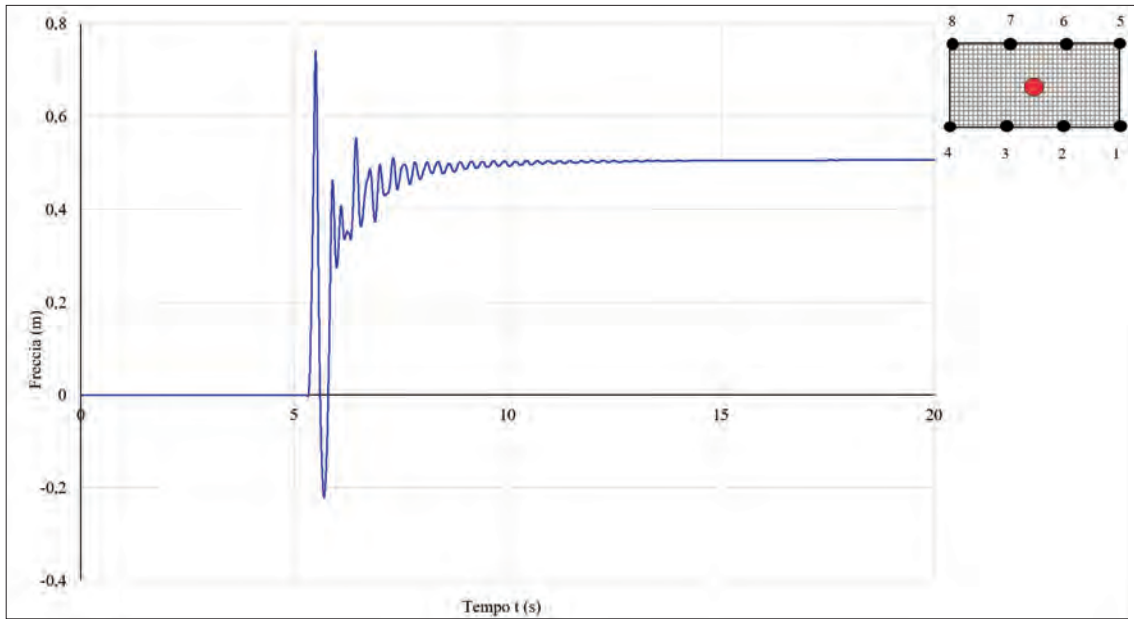


Figura 4.4.3.-1 - Deformazione (freccia) istantanea della rete - 8 ancoraggi. Rete 2x4 (m),
 maglia 100x100 (mm), $h = 1,5$ m

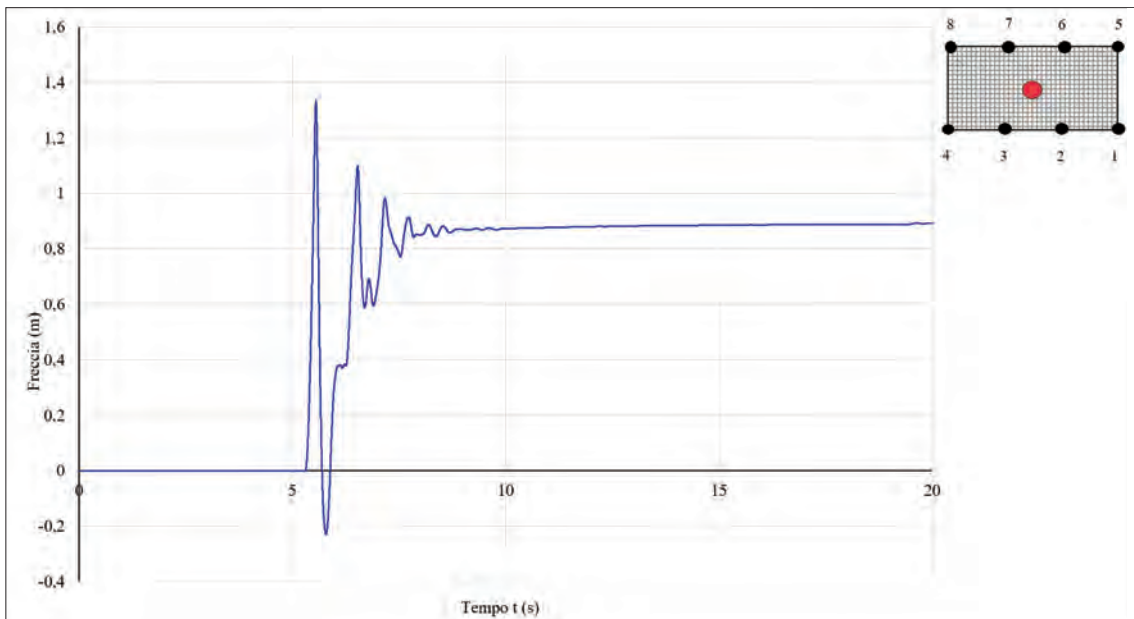


Figura 4.4.3.-2 - Deformazione (freccia) istantanea della rete - 8 ancoraggi. Rete 3x4 (m),
 maglia 100x100 (mm), $h = 2$ m

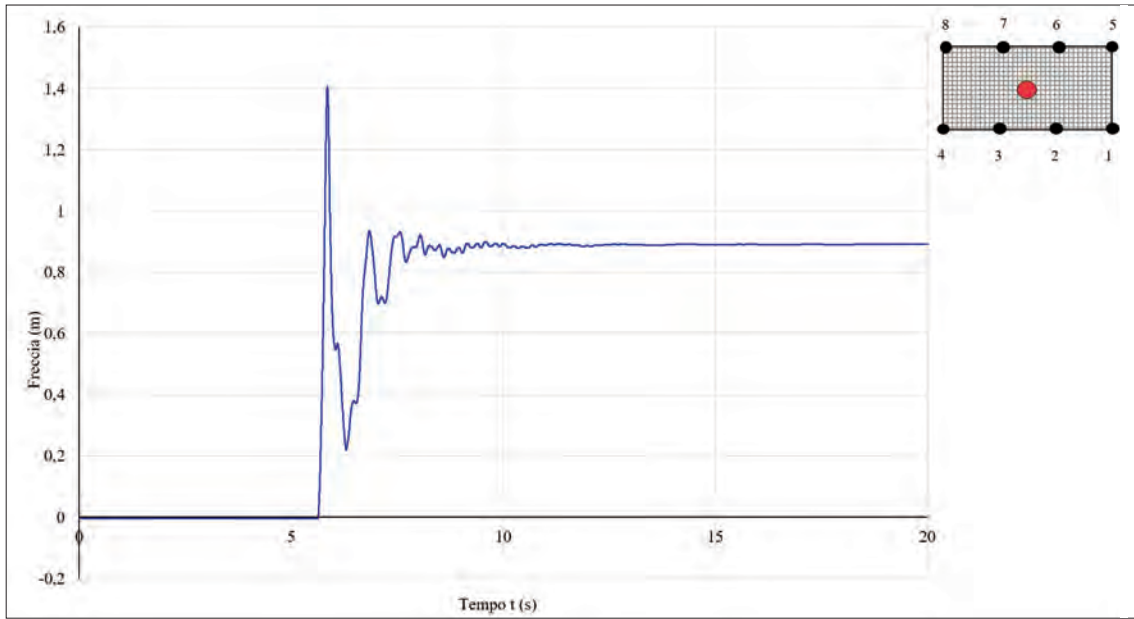


Figura 4.4.3.-3 - Deformazione (freccia) istantanea della rete - 8 ancoraggi. Rete 4x4 (m), maglia 60x60 (mm), h = 2 m

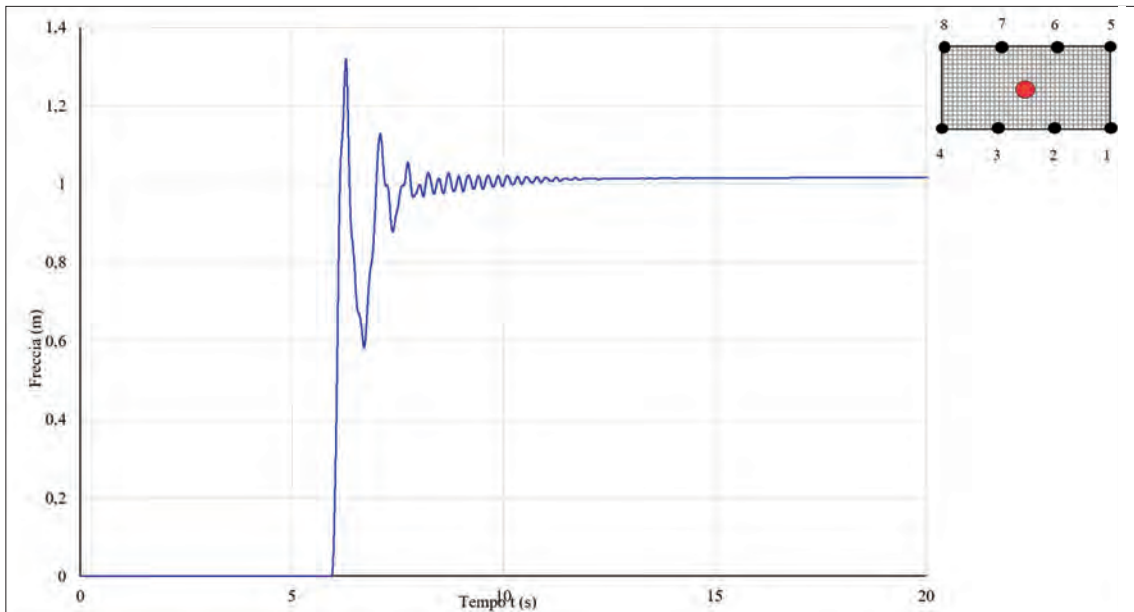


Figura 4.4.3.-4 - Deformazione (freccia) istantanea della rete - 8 ancoraggi. Rete 4x4 (m), maglia 60x60 (mm), h = 1 m

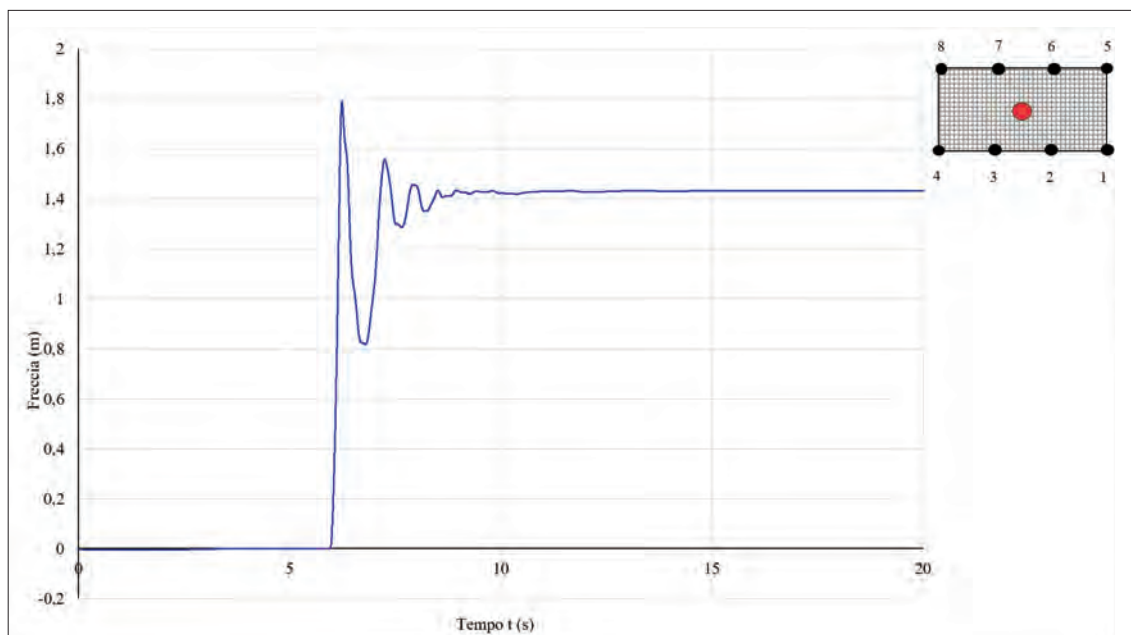


Figura 4.4.3.-5 - Deformazione (freccia) istantanea della rete - 8 ancoraggi. Rete 5x5 (m), maglia 60x60 (mm), h = 2 m



Figura 4.4.3.-6 - Deformazione finale della rete - 8 ancoraggi. Rete 2x4 (m), maglia 100x100 (mm), h = 2 m



Figura 4.4.3.-7 - Deformazione finale della rete - 8 ancoraggi. Rete 3x3 (m), maglia 60x60 (mm), h = 3 m



Figura 4.4.3.-8 - Deformazione finale della rete - 8 ancoraggi. Rete 5x5 (m), maglia 60x60 (mm), h = 0 m

4.4.4 Sintesi dei risultati

I risultati delle prove effettuate vengono sintetizzati nelle seguenti tabelle riepilogative; per ogni rete utilizzata, i risultati sono stati raggruppati per dimensioni della rete e della maglia e per numero di ancoraggi.

Le tabelle riportano:

- l'altezza di caduta h ;
- la forza massima agli ancoraggi F_{max} ;
- la deformazione massima f_{max} .

Nelle tabelle sono indicati anche i casi nei quali la sfera di prova ha rimbalzato sulla rete cadendo successivamente a terra oppure i casi nei quali ha sfondato la rete. In quest'ultimo caso, nelle tabelle, non sono riportati i dati registrati dai sensori perché non significativi. In alcuni casi si è verificato un malfunzionamento del trasduttore per la misura della deformazione della rete durante il fenomeno, che pertanto non è disponibile.

Tabella 4.4.4-1 - Forza massima F_{max} sugli ancoraggi e deformazione massima f_{max} per differenti altezze di caduta - Rete 2x2 (m), maglia 100 x 100 (mm) - 8 ancoraggi

Altezza di caduta h (m)	Forza massima agli ancoraggi								Deformazione massima
	$F_{max, a1}$ (kN)	$F_{max, a2}$ (kN)	$F_{max, a3}$ (kN)	$F_{max, a4}$ (kN)	$F_{max, a5}$ (kN)	$F_{max, a6}$ (kN)	$F_{max, a7}$ (kN)	$F_{max, a8}$ (kN)	f_{max} (m)
Rete 2x2 (m) Maglia 100x100 (mm)									
4	-	-	-	-	-	-	-	-	- (*)
1	4,48	1,16	4,06	1,93	4,09	1,25	3,38	2,80	- (**)
1	4,83	2,01	4,16	2,23	4,46	1,69	3,88	3,06	- (**)
1	5,03	3,10	3,61	2,12	4,55	1,92	4,06	2,83	- (**)
1	5,31	2,41	3,00	2,76	5,10	1,75	3,02	4,68	-
1	5,75	3,15	3,35	2,98	5,26	2,13	3,08	5,09	-

(*) La sfera di prova sfonda la rete

(**) La sfera di prova rimbalza sulla rete e cade a terra

Tabella 4.4.4-2 - Forza massima F_{max} sugli ancoraggi e deformazione massima f_{max} per differenti altezze di caduta - Rete 2x4 (m), maglia 100 x 100 (mm) - 8 ancoraggi

Altezza di caduta h (m)	Forza massima agli ancoraggi								Deformazione massima f_{max} (m)	
	$F_{max, a1}$ (kN)	$F_{max, a2}$ (kN)	$F_{max, a3}$ (kN)	$F_{max, a4}$ (kN)	$F_{max, a5}$ (kN)	$F_{max, a6}$ (kN)	$F_{max, a7}$ (kN)	$F_{max, a8}$ (kN)		
Rete 2x4 (m) Maglia 100x100 (mm)	2	3,81	2,87	2,67	4,85	4,38	3,61	3,37	3,50	0,87
	2	4,05	3,55	2,81	5,53	4,51	4,11	3,38	3,49	-
	2	3,88	3,28	2,80	5,82	4,59	4,18	4,03	3,80	-
	2	4,09	3,79	2,92	5,69	4,62	4,76	3,40	3,57	-
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-(*)
	1,5	4,63	2,52	2,10	3,98	4,96	2,44	3,74	1,98	0,74
	1,5	5,09	3,12	2,40	3,92	5,41	2,93	3,56	2,09	-
	1,5	4,81	3,31	3,07	4,39	5,02	3,07	3,86	2,83	-
	1,5	5,42	3,14	3,13	4,56	5,55	2,96	4,21	2,85	-
	1,5	4,58	3,55	3,46	3,95	4,62	3,29	3,27	3,42	-
1	3,48	2,66	2,18	4,00	3,51	3,16	3,30	-	-	
1	3,88	2,36	2,04	4,37	4,01	3,09	3,76	-	-	
1	3,93	3,38	2,17	4,14	4,10	3,64	3,12	-	-	
1	3,39	3,97	2,38	3,87	3,57	4,19	2,87	-	-	
1	4,21	3,07	2,17	4,96	4,55	3,60	3,71	-	-	
1 (bs)	1,35	0,78	4,35	5,18	0,56	1,72	4,40	4,96	-	
1 (bd)	4,87	4,75	0,39	1,15	4,33	5,67	0,38	1,24	-	

(*) La sfera di prova sfonda la rete

(bs) caduta della sfera a 1 m dal bordo sinistro della rete

(bd) caduta della sfera a 1 m dal bordo destro della rete

Tabella 4.4.4-3 - Forza massima F_{max} sugli ancoraggi e deformazione massima f_{max} per differenti altezze di caduta - Rete 2x4 (m), maglia 100 x 100 (mm) - 4 ancoraggi alle celle di carico 1, 4, 5 e 8

Altezza di caduta h (m)	Forza massima agli ancoraggi								Deformazione massima f_{max} (m)
	$F_{max, a1}$ (kN)	$F_{max, a2}$ (kN)	$F_{max, a3}$ (kN)	$F_{max, a4}$ (kN)	$F_{max, a5}$ (kN)	$F_{max, a6}$ (kN)	$F_{max, a7}$ (kN)	$F_{max, a8}$ (kN)	
Rete 2x4 (m) Maglia 100x100 (mm)	1,5	8,37		6,12	8,30			6,11	-
	1	7,20		6,82	7,17			-	-

Tabella 4.4.4-4 - Forza massima F_{max} sugli ancoraggi e deformazione massima f_{max} per differenti altezze di caduta - Rete 3x3 (m), maglia 100 x 100 (mm) - 8 ancoraggi

Altezza di caduta h (m)	Forza massima agli ancoraggi								Deformazione massima f_{max} (m)	
	$F_{max, a1}$ (kN)	$F_{max, a2}$ (kN)	$F_{max, a3}$ (kN)	$F_{max, a4}$ (kN)	$F_{max, a5}$ (kN)	$F_{max, a6}$ (kN)	$F_{max, a7}$ (kN)	$F_{max, a8}$ (kN)		
Rete 3x3 (m)	4	6,20	4,53	3,70	5,65	6,84	4,49	3,53	4,89	-
Maglia 100x100 (mm)	4	6,97	5,50	3,21	6,14	7,54	4,92	3,24	5,67	-
	4	-	-	-	-	-	-	-	-	- (*)

(*) La sfera di prova sfonda la rete

Tabella 4.4.4-5 - Forza massima F_{max} sugli ancoraggi e deformazione massima f_{max} per differenti altezze di caduta - Rete 3x4 (m), maglia 100 x 100 (mm) - 8 ancoraggi

Altezza di caduta h (m)	Forza massima agli ancoraggi								Deformazione massima f_{max} (m)	
	$F_{max, a1}$ (kN)	$F_{max, a2}$ (kN)	$F_{max, a3}$ (kN)	$F_{max, a4}$ (kN)	$F_{max, a5}$ (kN)	$F_{max, a6}$ (kN)	$F_{max, a7}$ (kN)	$F_{max, a8}$ (kN)		
	2	3,86	3,58	4,10	3,77	4,94	4,08	2,40	4,76	1,28
	2	4,23	4,40	4,33	4,57	5,60	4,30	2,52	4,85	-
	2	4,50	4,60	4,61	5,15	5,83	4,64	2,70	4,98	-
Rete 3x4 (m)	2	4,36	3,63	4,38	5,15	6,10	4,41	3,39	-	-
Maglia 100x100 (mm)	2	4,28	4,38	4,57	5,08	5,67	4,68	2,74	-	-
	1	2,55	3,77	3,28	2,25	3,59	2,97	2,75	3,19	-
	1	2,51	3,82	3,43	2,24	3,60	3,16	2,73	3,26	-
	1	2,53	3,96	3,70	2,57	3,67	3,16	2,99	3,48	-
	1	2,87	4,13	3,75	2,90	3,83	3,02	3,06	3,33	-
	1	2,66	3,95	3,87	3,10	3,94	3,00	3,55	-	-

Tabella 4.4.4-6 - Forza massima F_{max} sugli ancoraggi e deformazione massima f_{max} per differenti altezze di caduta - Rete 3x4 (m), maglia 100 x 100 (mm) - 4 ancoraggi alle celle di carico 1, 4, 5 e 8

Altezza di caduta h (m)	Forza massima agli ancoraggi								Deformazione massima f_{max} (m)	
	$F_{max, a1}$ (kN)	$F_{max, a2}$ (kN)	$F_{max, a3}$ (kN)	$F_{max, a4}$ (kN)	$F_{max, a5}$ (kN)	$F_{max, a6}$ (kN)	$F_{max, a7}$ (kN)	$F_{max, a8}$ (kN)		
Rete 3x4 (m)	2	8,07			8,56	8,79			8,11	-
Maglia 100x100 (mm)	1	6,72			7,28	7,67			6,77	-

Tabella 4.4.4-7 - Forza massima F_{max} sugli ancoraggi e deformazione massima f_{max} per differenti altezze di caduta - Rete 3x3 (m), maglia 60 x 60 (mm) - 8 ancoraggi

Altezza di caduta h (m)	Forza massima agli ancoraggi								Deformazione massima f_{max} (m)
	$F_{max, a1}$ (kN)	$F_{max, a2}$ (kN)	$F_{max, a3}$ (kN)	$F_{max, a4}$ (kN)	$F_{max, a5}$ (kN)	$F_{max, a6}$ (kN)	$F_{max, a7}$ (kN)	$F_{max, a8}$ (kN)	
4	6,58	4,43	5,21	3,41	5,23	2,29	5,37	4,99	1,50
4	7,16	4,97	6,21	5,17	5,82	2,68	7,37	6,68	1,40
4	7,10	5,12	5,83	4,74	6,17	3,01	6,72	5,55	1,40
4	7,86	6,34	4,76	3,61	6,10	4,33	5,60	5,11	1,40
4	8,08	6,51	5,23	3,84	6,41	4,40	5,77	5,46	1,40
3	6,20	2,94	5,41	4,19	4,30	3,71	4,45	4,57	1,25
3	6,78	3,96	6,04	3,55	4,78	4,10	4,49	5,30	1,30
3	7,41	4,70	5,42	4,47	5,64	4,95	3,73	4,76	1,35
3	8,24	4,97	4,47	2,09	6,28	5,19	3,14	3,00	1,35
3	6,81	4,22	5,37	3,39	5,28	5,12	4,34	3,86	1,30
2	5,63	3,99	3,39	3,37	3,27	2,79	3,09	4,65	1,40
2	5,74	3,96	2,95	3,48	3,60	3,88	3,87	5,30	1,40
2	5,42	4,06	3,00	3,68	3,55	3,88	3,84	5,47	1,40
2	6,91	4,57	1,43	3,35	5,12	4,13	2,82	5,39	1,45
2	7,09	5,03	1,81	3,65	4,83	3,97	2,69	5,22	1,40
1	4,79	2,51	2,29	3,12	3,29	2,07	2,69	4,08	1,20
1	4,87	2,97	2,35	3,02	3,37	2,15	2,49	3,87	1,20
1	5,12	3,15	2,41	3,09	3,48	2,22	2,55	3,98	1,20
1	4,56	2,52	2,20	3,09	3,21	2,53	3,07	4,11	1,30
1	5,11	2,85	3,03	3,16	3,48	1,94	2,99	4,10	1,20

Tabella 4.4.4-8 - Forza massima F_{max} sugli ancoraggi e deformazione massima f_{max} per differenti altezze di caduta - Rete 4x4 (m), maglia 60 x 60 (mm) - 8 ancoraggi

Altezza di caduta h (m)	Forza massima agli ancoraggi								Deformazione massima f_{max} (m)	
	$F_{max, a1}$ (kN)	$F_{max, a2}$ (kN)	$F_{max, a3}$ (kN)	$F_{max, a4}$ (kN)	$F_{max, a5}$ (kN)	$F_{max, a6}$ (kN)	$F_{max, a7}$ (kN)	$F_{max, a8}$ (kN)		
3	4,40	5,33	4,98	2,80	3,61	3,35	4,05	-	-	
3	4,92	6,13	4,85	3,03	4,07	3,77	4,28	-	-	
3	5,03	5,36	4,72	3,02	4,15	3,90	4,68	-	-	
3	5,10	5,74	4,98	3,43	4,33	3,74	4,73	-	-	
3	5,04	5,64	5,04	3,42	4,25	3,87	4,84	-	-	
Rete 4x4 (m) Maglia 60 x 60 (mm)	2	3,27	2,65	4,99	3,84	3,21	3,20	2,40	-	1,41
	2	3,49	2,76	5,03	4,00	3,70	3,84	2,78	-	-
	2	3,67	3,21	5,40	4,18	3,82	4,33	2,79	-	-
	2	3,77	3,46	5,49	4,25	3,89	4,35	2,95	-	-
	2	3,91	3,48	5,41	4,55	3,88	4,55	2,90	-	-
	1	2,52	2,13	3,75	2,20	2,65	2,24	2,09	-	1,31
	1	2,81	2,42	4,05	2,61	2,93	2,38	2,18	-	-
	1	2,89	2,72	4,19	2,47	3,17	2,73	2,12	-	-
	1	2,82	2,39	4,10	2,90	3,08	2,68	2,68	-	-
	1	3,08	2,87	4,13	2,89	3,29	2,93	2,46	-	-

Tabella 4.4.4-9 - Forza massima F_{max} sugli ancoraggi e deformazione massima f_{max} per differenti altezze di caduta - Rete 4x4 (m), maglia 60 x 60 (mm) - 4 ancoraggi alle celle di carico 1, 4, 5 e 8

Altezza di caduta h (m)	Forza massima agli ancoraggi								Deformazione massima f_{max} (m)	
	$F_{max, a1}$ (kN)	$F_{max, a2}$ (kN)	$F_{max, a3}$ (kN)	$F_{max, a4}$ (kN)	$F_{max, a5}$ (kN)	$F_{max, a6}$ (kN)	$F_{max, a7}$ (kN)	$F_{max, a8}$ (kN)		
Rete 4x4 (m) Maglia 60 x 60 (mm)	2	6,81			9,33	7,75			-	-
	1	5,02			6,64	5,36			-	-

Tabella 4.4.4-10 - Forza massima F_{max} sugli ancoraggi e deformazione massima f_{max} per differenti altezze di caduta - Rete 5x5 (m), maglia 60 x 60 (mm) - 8 ancoraggi

Altezza di caduta h (m)	Forza massima agli ancoraggi								Deformazione massima f_{max} (m)
	$F_{max, a1}$ (kN)	$F_{max, a2}$ (kN)	$F_{max, a3}$ (kN)	$F_{max, a4}$ (kN)	$F_{max, a5}$ (kN)	$F_{max, a6}$ (kN)	$F_{max, a7}$ (kN)	$F_{max, a8}$ (kN)	
3	2,75	4,69	2,19	4,17	2,20	3,74	5,57	-	2,06
3	3,25	4,92	2,34	4,36	2,35	3,46	5,32	-	-
3	3,40	5,14	2,63	5,20	2,76	2,85	5,12	-	-
3	3,73	5,01	2,67	4,50	2,81	3,41	5,61	-	-
3	4,07	5,80	2,85	4,79	3,05	3,82	5,34	-	-
Rete 5x5 (m) Maglia 60 x 60 (mm)									
2	2,31	3,16	1,81	3,45	2,05	2,91	4,02	-	1,79
2	2,42	3,65	2,33	3,66	2,26	3,26	4,10	-	-
2	2,57	3,67	2,19	3,88	2,41	3,42	4,35	-	-
2	2,58	3,75	2,35	4,25	2,42	3,29	4,40	-	-
2	2,72	3,74	2,40	4,29	2,53	3,24	4,37	-	-
1	2,19	2,67	2,25	2,21	2,05	2,32	2,62	-	-
1	2,34	2,96	2,27	2,70	2,21	2,09	2,74	-	-
1	2,56	2,98	2,40	2,58	2,33	2,67	3,28	-	-
1	2,44	2,82	2,40	2,81	2,26	2,42	3,00	-	-
1	2,63	3,18	2,34	2,84	2,40	2,59	3,10	-	-

Tabella 4.4.4-11 - Forza massima F_{max} sugli ancoraggi e deformazione massima f_{max} per differenti altezze di caduta - Rete 5x5 (m), maglia 60 x 60 (mm) - 4 ancoraggi alle celle di carico 1, 4, 5 e 8

Altezza di caduta h (m)	Forza massima agli ancoraggi								Deformazione massima f_{max} (m)
	$F_{max, a1}$ (kN)	$F_{max, a2}$ (kN)	$F_{max, a3}$ (kN)	$F_{max, a4}$ (kN)	$F_{max, a5}$ (kN)	$F_{max, a6}$ (kN)	$F_{max, a7}$ (kN)	$F_{max, a8}$ (kN)	
Rete 5x5 (m) Maglia 60 x 60 (mm)									
3	8,20			5,79	6,19			-	-
2	7,44			5,23	5,89			-	-
1	5,14			4,77	5,07			-	-

4.4.5 Analisi dei risultati

Le prove sperimentali condotte su reti di piccole dimensioni con fune sul bordo sono analoghe ai test previsti nella norma UNI EN 1263-1 per i sistemi S con lato corto della rete almeno pari a 5 m e superficie maggiore o uguale a 35 m².

Nel presente studio è stata limitata l'altezza di caduta dei test dinamici, inferiore ai 7 m previsti dalla UNI EN 1263-1.

I grafici delle azioni agli ancoraggi, riportano il valore di F (kN) misurata nel tempo t .

L'andamento della forza F (vedi figura 4.4.5-1) può essere così rappresentato:

- Con la sfera sospesa in quota (in quiete) viene attivato il sistema di acquisizione dei dati. Gli ancoraggi sostengono il peso della rete, che costituisce l'origine delle misurazioni, e su ogni cella di carico posizionata su ciascun ancoraggio la misura $F=0$ (P_0).

- Ogni cella di carico ad ogni ancoraggio misura $F=0$ (P_0).
- La sfera viene sganciata e fatta cadere in caduta libera (P_1).
- La sfera tocca la rete che si deforma e gli ancoraggi si tendono con F (kN) che passa da 0 (P_2) a F_{max} (P_3) per poi tornare nuovamente a 0 (P_4). Oltre P_4 la sfera rimbalza sulla rete smorzando ad ogni rimbalzo le azioni agli ancoraggi.
- Oltre P_5 (t_5, F_5), la sfera è in equilibrio sulla rete deformata. Gli ancoraggi sostengono il peso della sfera (100 kg) dopo la caduta. La sommatoria delle componenti verticali delle azioni agli ancoraggi è pari a 100 kg.

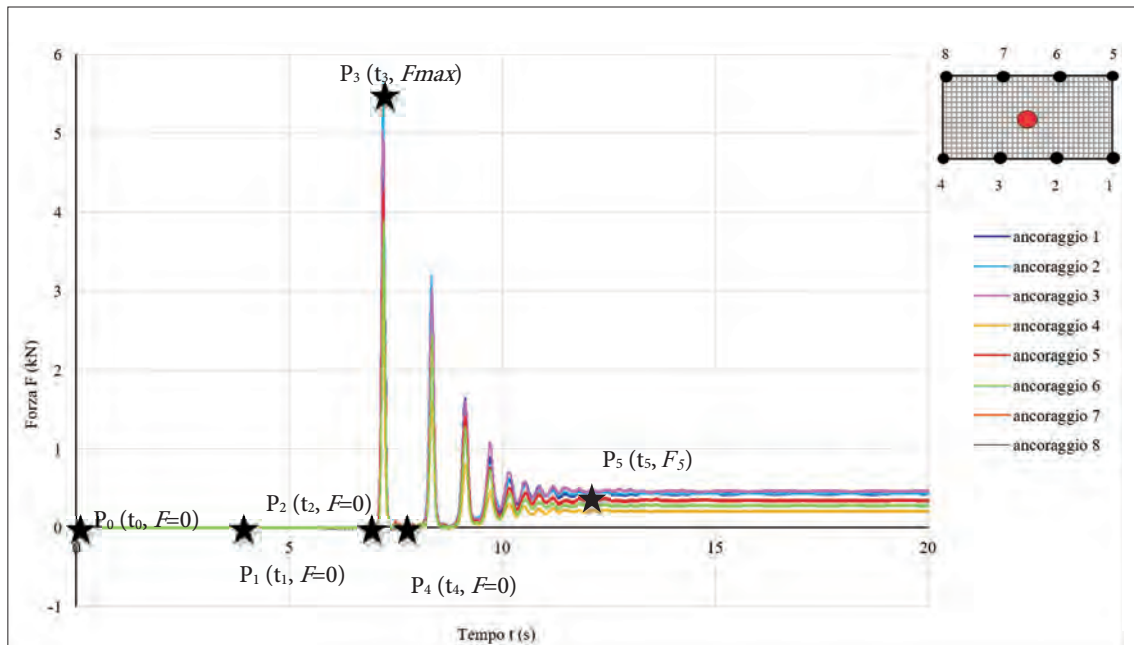


Figura 4.4.5.-1 - Grafico delle azioni agli ancoraggi - indicazione dei punti significativi del fenomeno

Di seguito si riportano, per alcune prove, i grafici delle azioni agli ancoraggi e i corrispondenti grafici della freccia, nei quali si possono riconoscere i precedenti punti fondamentali.

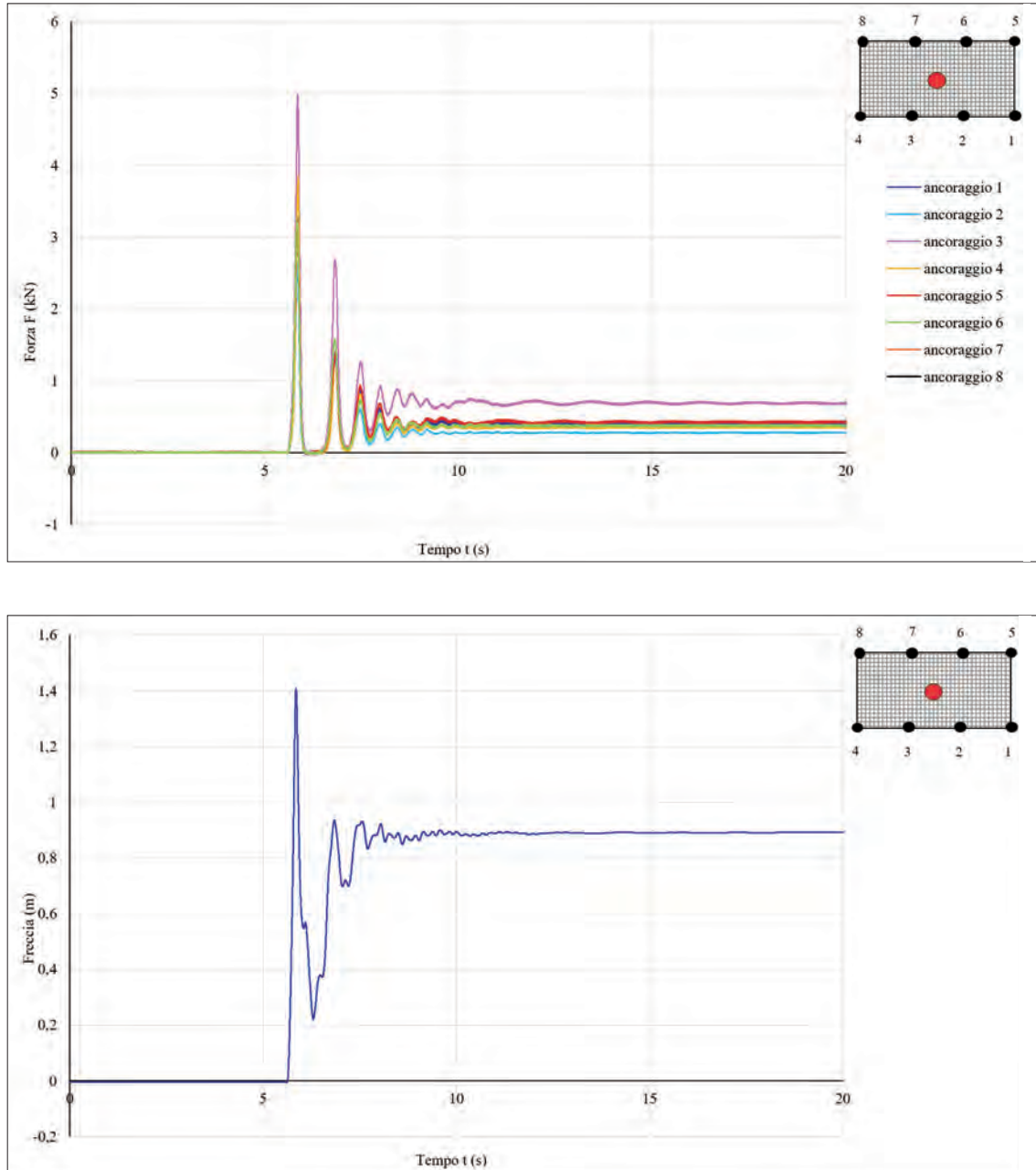


Figura 4.4.5.-2 - Grafico delle azioni agli ancoraggi (in alto) e grafico della freccia istantanea corrispondente (in basso) - 8 ancoraggi. Rete 4x4 (m), maglia 60x60 (mm), h = 2 m - prova 1

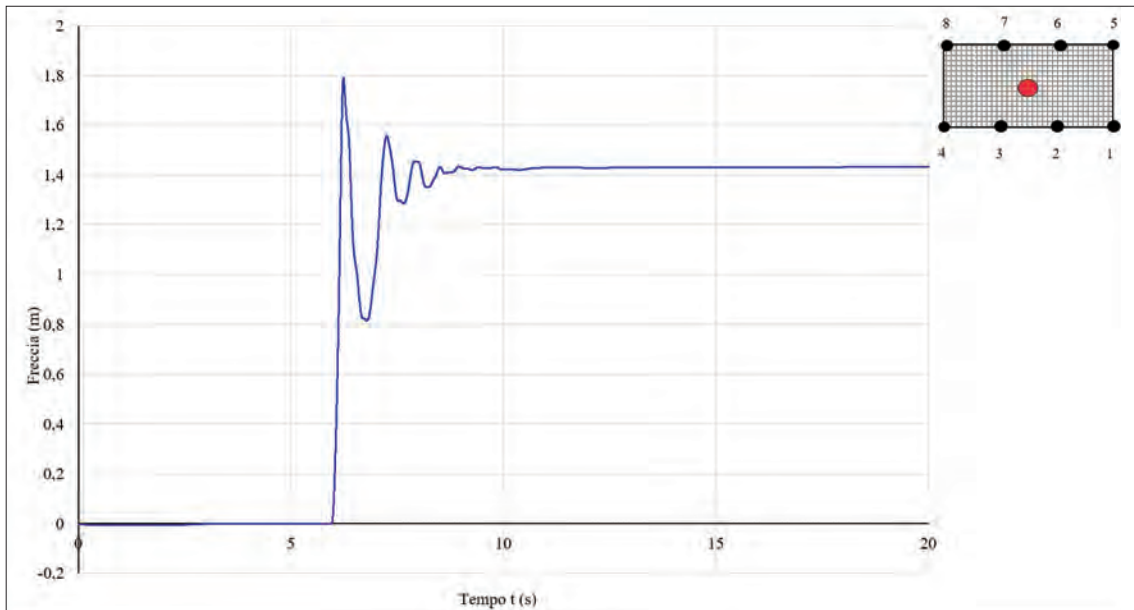
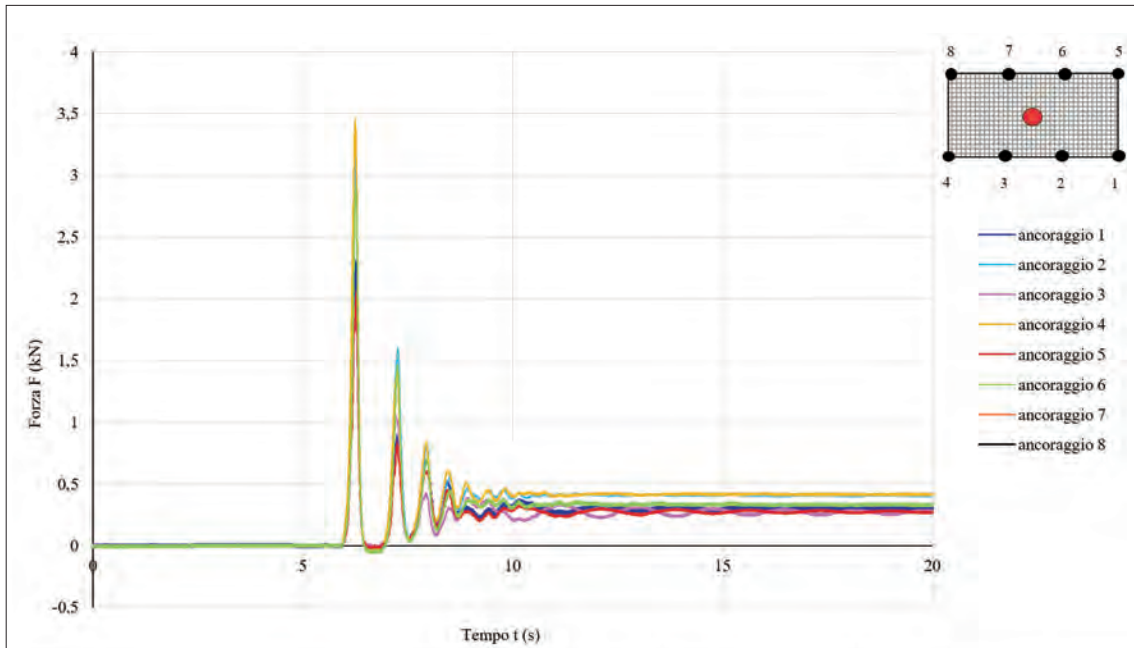


Figura 4.4.5.-3 - Grafico delle azioni agli ancoraggi (in alto) e grafico della freccia istantanea corrispondente (in basso) - 8 ancoraggi. Rete 5x5 (m), maglia 60x60 (mm), h = 2 m - prova 1

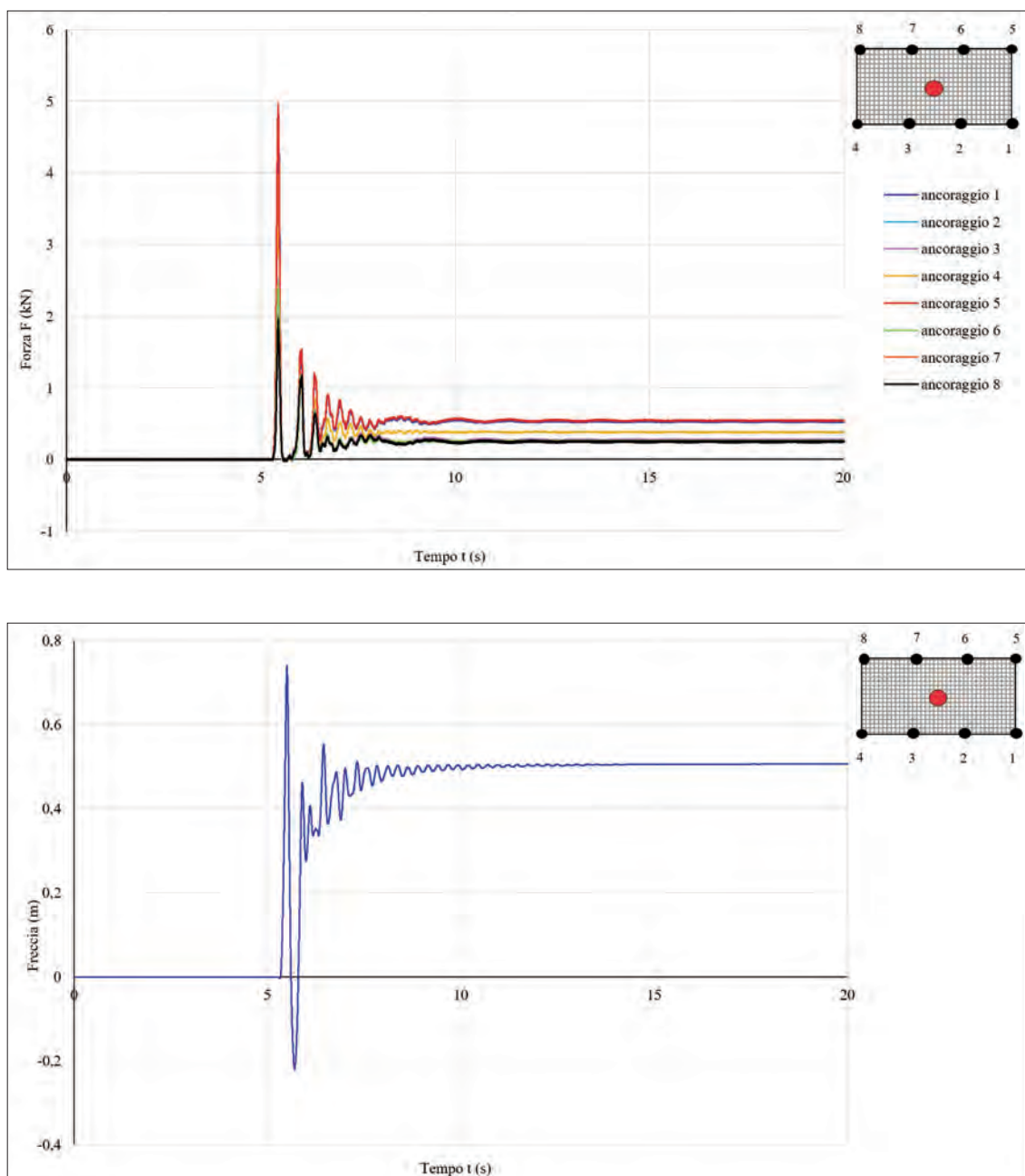


Figura 4.4.5.-4 - Grafico delle azioni agli ancoraggi (in alto) e grafico della freccia istantanea corrispondente (in basso) - 8 ancoraggi. Rete 2x4 (m), maglia 100x100 (mm), h = 1,5 m - prova 1

Le prove sperimentali condotte sulle reti di piccole dimensioni hanno dimostrato, a seconda delle dimensioni della rete, la difficoltà a:

- trattenere la massa di prova (sfera) che, rimbalzando sulla rete, successivamente impatta al suolo;
- assorbire l'energia derivante dalla caduta con conseguente sfondamento della rete e impatto al suolo della massa di prova.

La capacità di una rete a trattenere la sfera in una prova di resistenza dinamica dipende dalle dimensioni della rete e dall'altezza di caduta.

La sperimentazione ha evidenziato che una rete quadrata di dimensioni 2,00 x 2,00 m, indipendentemente dall'altezza di caduta, non è in grado di trattenere la sfera di prova che rimbalza sulla rete e viene proiettata all'esterno (vedi figura 4.4.5.-5). Inoltre la sfera che cada da un'altezza pari a 4 m, sfonda la rete 2,00 x 2,00 m (vedi figura 4.4.5.-6).

I test hanno dimostrato che reti di sicurezza con lato pari a 2,00 m superano il test, a patto di essere rettangolari con lato lungo almeno pari a 4,00 m e che sia limitata la massima altezza di caduta ad 1,5 m. La sfera che cada da un'altezza pari a 2 m, sfonda la rete 2,00 x 4,00 m, al quinto lancio.

La maggiore superficie della rete 2,00 x 4,00 m, rispetto al caso 2,00 x 2,00 m, garantisce maggiore deformabilità della rete che riesce a trattenere la sfera.

Reti rettangolari con dimensioni 3,00 x 4,00 m e maglia 100x100 mm superano i test dinamici per altezze di caduta pari a 2 m e a 1 m.

La dimensione minima di una rete quadrata in grado di trattenere la sfera di prova per un'altezza di caduta di 4 m è risultata pari a 3,00 x 3,00 m, a patto di avere maglie con dimensione massima pari a 60 mm. Le prove condotte per reti di tali dimensioni ancorate in 8 punti determinano azioni agli ancoraggi con valore massimo pari a oltre 8 kN.

Le prove condotte su reti quadrate con dimensioni 4,00 x 4,00 m e 5,00 x 5,00 m e maglia 60 x 60 mm dimostrano l'efficacia a trattenere la sfera per altezza di caduta pari a 3 m, 2 m e 1 m.

Per le reti quadrate sottoposte a prova, il confronto dei risultati in termini di azioni agli ancoraggi e di deformazione massima della rete mostra che, a parità di altezza di caduta (vedi tabelle 4.4.5-1 e 4.4.5-2):

- la deformazione massima aumenta all'aumentare della dimensione della rete,
- l'azione agli ancoraggi diminuisce all'aumentare della dimensione della rete.

Si deduce che la maggiore deformabilità della rete di dimensioni maggiori comporta maggiore dissipazione dell'energia cinetica con conseguente diminuzione delle azioni agli ancoraggi.

Al contrario, a parità di altezza di caduta, una rete di dimensioni minori è meno deformabile di una rete di dimensioni maggiori a cui corrispondono maggiori azioni agli ancoraggi.



Figura 4.4.5.-5 - Rete quadrata 2x2 (m) - h = 1 m inizio prova (vista dall'alto)



Figura 4.4.5.-6 - Rete quadrata 2x2 (m) h = 1 m - Rottura delle maglie (particolare)

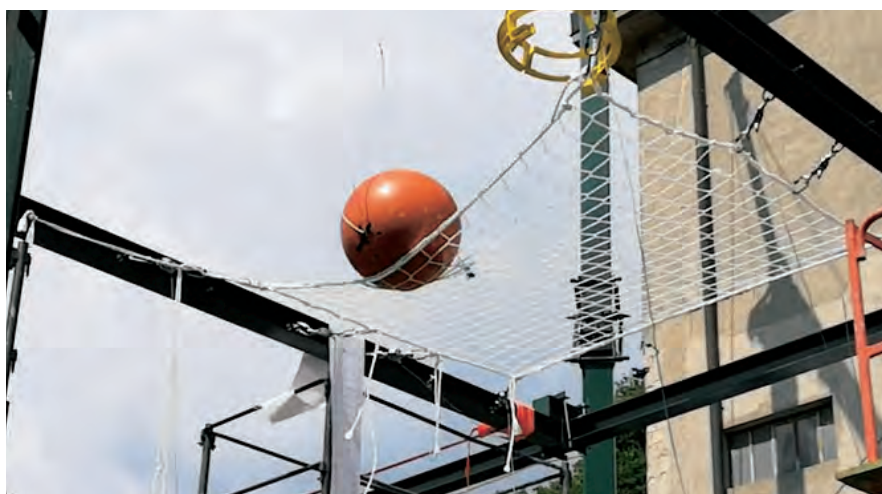


Figura 4.4.5.-7 - Rete quadrata 2x2 (m) h = 1 m - Sfera di prova non trattenuta dalla rete (fermo immagine)



Figura 4.4.5.-8 - Rete quadrata 2x2 (m) - h = 4 m inizio prova (vista dall'alto)



Figura 4.4.5.-9 Rete quadrata 2x2 (m) h = 4 m - Sfondamento della rete (fermo immagine)



Figura 4.4.5.-10 Rete quadrata 2x2 (m) h = 4 m - Sfondamento della rete

Tabella 4.4.5-1 - Massimo valore registrato delle azioni agli ancoraggi (kN) per altezza di caduta h (m) e dimensione della rete (m) - rete quadrata con maglia (60x60) mm - 8 ancoraggi

Massima forza trasferita all'ancoraggio (kN)	Altezza di caduta	Dimensione della rete (m)		
	h (m)	3 x 3	4 x 4	5 x 5
	3	8,24	6,13	5,80
	2	7,09	5,49	4,40
	1	5,12	4,19	3,28

Tabella 4.4.5-2 - Massimo valore della deformazione (m) per altezza di caduta h (m) e dimensione della rete (m) - rete quadrata con maglia (60x60) mm - 8 ancoraggi

Massima deformazione della rete (m)	Altezza di caduta	Dimensione della rete (m)		
	h (m)	3 x 3	4 x 4	5 x 5
	3	1,35*	-	2,06**
	2	1,45*	1,41**	1,79**
	1	1,30*	1,31**	-

(*) massimo fra 4 valori disponibili

(**) massimo fra un solo valore disponibile

Analoghe considerazioni valgono per le reti rettangolari di dimensioni 2,00 x 4,00 m e 3,00 x 4,00 m sottoposte a test.

Anche se i dati della deformazione massima non sono disponibili, dal confronto dei dati relativi alla massima azione agli ancoraggi per le reti di diverse dimensioni si nota che la maggiore lunghezza del lato corto determina (vedi tabella 4.4.5-3):

- nel caso di altezza di caduta pari a 2 m, l'efficacia della rete 3,00 x 4,00 m a contenere la caduta della sfera rispetto alla rete 2,00 x 4,00 m che viene sfondata;
- nel caso di altezza di caduta pari a 1 m, una minore azione massima agli ancoraggi per la rete 3,00 x 4,00 m rispetto alla rete 2,00 x 4,00 m.

Tabella 4.4.5-3 - Massimo valore registrato delle azioni agli ancoraggi (kN) per altezza di caduta h (m) e dimensione della rete (m) - rete rettangolare con maglia (100x100) mm - 8 ancoraggi

Massima forza trasferita all'ancoraggio (kN)	Altezza di caduta	Dimensione della rete (m)	
	h (m)	2 x 4	3 x 4
	2	- (*)	6,10
	1,5	5,50	-
	1	4,96	4,13

(*) La sfera di prova sfonda la rete

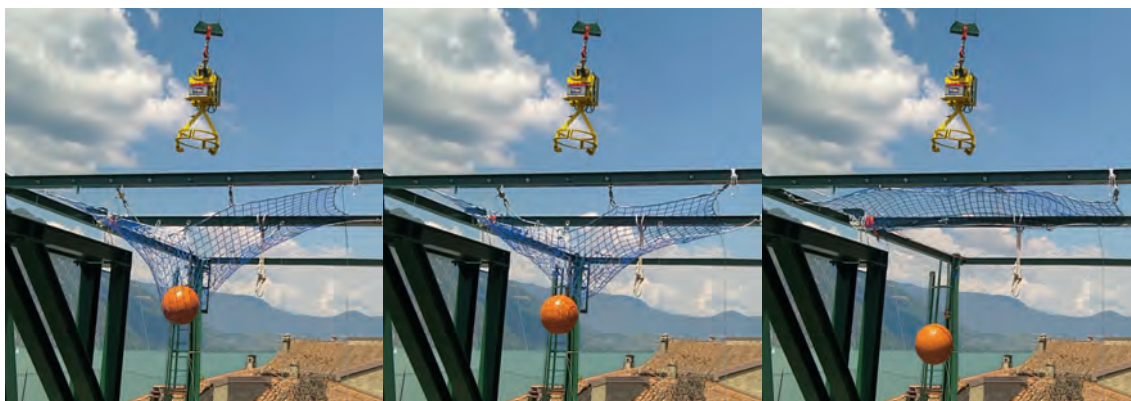


Figura 4.4.5.-11 - Rete rettangolare 2x4 (m) h = 2 m - Sfondamento della rete (fermo immagine)



Figura 4.4.5.-12 - Rete rettangolare 2x4 (m) h = 2 m - Sfondamento della rete

Si può affermare quindi che l'utilizzo di reti di sicurezza con dimensioni non previste dalla UNI EN 1263-1 deve essere attentamente valutato, non riducendo troppo le dimensioni della rete e diminuendo notevolmente l'altezza di caduta rispetto a quella massima prevista dalla stessa norma.

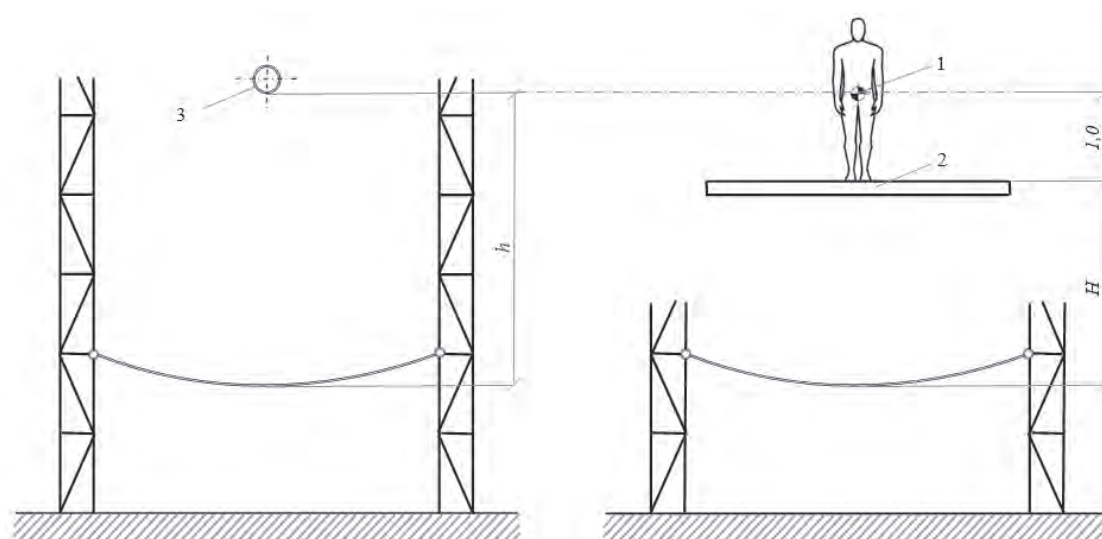
Per quel che riguarda i valori della deformazione massima istantanea della rete durante la prova, i risultati mostrano che le reti esaminate che sono in grado di sostenere la massa di prova soddisfano il criterio di accettabilità stabilito al punto 6.5 della UNI EN 1263-1 *'la flessione massima istantaneo della rete in caso di azione dinamica non deve essere maggiore del 75% della lunghezza del lato più corto della rete'*.

4.4.6 Considerazioni sull'utilizzo e il posizionamento delle reti di sicurezza di piccole dimensioni

Con il test dinamico della massa di prova si valuta l'efficacia della rete a contenerne la caduta. La caduta della sfera di prova può simulare la caduta di un lavoratore.

Considerando che la posizione del baricentro di un lavoratore rispetto al piano di lavoro (piano di caduta) risulta a circa 1 m, l'altezza di caduta (H) del lavoratore può essere correlata all'altezza di caduta della massa di prova (h) secondo la seguente relazione (figura 4.4.6 -1):

$$H \approx (h - 1) \text{ m.}$$



Legenda 1. Baricentro del lavoratore 2. Piano di lavoro 3. Massa di prova h= altezza di caduta della massa di prova. H= altezza di caduta di un lavoratore (dimensioni in metri):

Figura 4.4.6.- 1 - Relazione fra altezza di caduta della massa di prova (prova sperimentale) e altezza di caduta un lavoratore (condizione di utilizzo)

Questo comporta che l'energia cinetica $E_{c_{test}}$ della massa di prova pari a 100 kg che cada da una altezza di caduta h, può essere ritenuta equivalente a quella E_c di un lavoratore di massa 100 kg che cada da un'altezza di caduta $H = (h - 1m)$, secondo la relazione:

$$E_{c_{test}}(h) = E_c(H = h - 1m).$$

È chiaro quindi che se una rete di sicurezza supera il test dinamico di una massa di prova che cada da un'altezza h, questo potrebbe essere ritenuto equivalente alla caduta di un solo lavoratore con massa $m=100$ kg che cada, nelle stesse condizioni di prova, con la stessa tipologia di rete, da un'altezza di caduta $H = (h - 1m)$.

In condizioni di utilizzo, occorrerà quindi posizionare la stessa rete ad una quota dal piano di caduta non maggiore di H.

Prima della installazione di una rete di sicurezza è importante valutare, in base alle dimensioni e alla tipologia della rete, all'altezza di caduta, alla tipologia e al numero di ancoraggi:

- le azioni richieste all'ancoraggio che la struttura di supporto deve sostenere,
- la freccia massima della rete, per valutare se la deformazione della rete in caso di caduta di un lavoratore possa essere ostacolata da un qualsiasi ingombro sottostante.

Tali grandezze possono essere evidentemente ricavate esclusivamente da prove di caduta che simulino le condizioni di utilizzo.

Così ad esempio, i valori della massima azione agli ancoraggi e della deformazione massima della rete riportati nelle tabelle 4.4.5-1 e 4.4.5-2 al paragrafo precedente, in funzione dell'altezza di caduta della massa di prova h , possono essere ritenuti validi, nelle stesse condizioni di prova, con la stessa tipologia di rete, per la caduta di un solo lavoratore (massa $m=100$ kg) da un'altezza di caduta $H = h - 1$ m.

5 Nuove norme UNI

Le reti di sicurezza di piccole dimensioni sono attrezzature provvisorie di lavoro particolarmente diffuse nel nostro paese. L'assenza di uno standard specifico e la previsione contenuta nel punto 5.1 della UNI EN 1263-2: 2015 *'Le reti di sicurezza di piccole dimensioni... dovrebbero essere determinate da legislazioni nazionali ove applicabili'* ha indotto l'UNI ad avviare due progetti di norma dedicati ad esse.

Il primo progetto di norma è denominato provvisoriamente *'Attrezzature provvisorie - Reti di sicurezza di piccole dimensioni con fune sul bordo - Parte 1: Reti con lato corto da 3 m a 5 m - Requisiti di sicurezza, metodi di prova e condizioni di utilizzo'*.

Tali reti di sicurezza sono progettate per essere posizionate ad una distanza verticale dal livello di lavoro da proteggere non maggiore di 2 m.

Il secondo progetto di norma è denominato provvisoriamente *'Attrezzature provvisorie - Reti di sicurezza di piccole dimensioni con fune sul bordo - Parte 2: Reti rettangolari con lato corto da 2 m a 3 m - Requisiti di sicurezza, metodi di prova e condizioni di utilizzo'* ed è dedicato alle reti rettangolari avente lato corto fra 2 e 3 m e lato lungo non inferiore a 4 m.

Esse sono progettate per essere posizionate ad una distanza verticale dal livello di lavoro da proteggere non maggiore di 0,5 m.

Ambedue i progetti di norma specificano i requisiti di sicurezza, i metodi di prova e le condizioni di utilizzo e sono basati sulle caratteristiche prestazionali delle fibre di polipropilene, di poliammide, di polietilene e di poliestere.

I progetti di norma sono in corso di elaborazione nell'ambito della Commissione Sicurez-

za da parte del Gruppo di Lavoro UNI/CT 042/GL 15 'Attrezzature provvisionali' che al proprio interno ha attivato un sottogruppo ad hoc denominato 'Reti di sicurezza'.

L'attività sperimentale eseguita in ambito italiano, in parte rappresentata nel presente quaderno, ne costituisce fondamento scientifico.

In base ai progetti di norma, il fabbricante dovrà indicare nel manuale di istruzioni la distanza fra gli ancoraggi, le forze di ancoraggio necessarie e la deformazione massima della rete nelle condizioni di utilizzo previste. I progetti di norma specificheranno che valori appropriati di tali grandezze dovrebbero essere ricavati esclusivamente da prove di caduta che simulino le condizioni di utilizzo previste dal fabbricante.

Il fabbricante, inoltre, nel manuale di istruzioni, dovrà specificare:

- le dimensioni della rete;
- le dimensioni delle maglie;
- il numero e la tipologia degli ancoraggi alla struttura di supporto;
- la tipologia di collegamento della rete agli ancoraggi, ad esempio connettori lungo i lati della rete e connettori e/o fune in doppia agli angoli;
- la massima altezza di caduta consentita.

6 Conclusioni

L'esclusione dal campo di applicazione della UNI EN 1263-1: 2015 del sistema S di piccole dimensioni appare ben motivata osservando i risultati sperimentali elencati al paragrafo 4.4.

Le prove sperimentali condotte sulle reti di piccole dimensioni hanno dimostrato, a seconda delle dimensioni della rete, la difficoltà a:

- trattenere la massa di prova (sfera) che, rimbalzando sulla rete, successivamente impatta al suolo;
- assorbire l'energia derivante dalla caduta con conseguente sfondamento della rete e impatto al suolo della massa di prova.

La capacità di una rete a trattenere la sfera in una prova di resistenza dinamica dipende dalle dimensioni della rete, dall'altezza di caduta e dalla dimensione delle maglie della rete.

La sperimentazione effettuata ha dimostrato che reti di piccole dimensioni, escluse dalla UNI EN 1263-1: 2015 possono superare il test dinamico per altezze di caduta limitate.

La più piccola rete sottoposta a test dinamico che è in grado di contenere la caduta della sfera di prova, è la rete rettangolare di dimensioni 2 x 4 m con maglia 100 x 100 mm per una altezza di caduta massima pari a 1,5 m.

Nell'ambito delle reti rettangolari con maglia 100 x 100 mm, maggiori dimensioni rispetto

alle minime 2 x 4 m, migliorano il comportamento della rete in termini di minore azione trasmessa agli ancoraggi, a parità di altezza di caduta.

La più piccola rete quadrata sottoposta a test dinamico che è in grado di contenere la caduta della sfera di prova, ha dimensioni 3 x 3 m con maglia 60 x 60 mm per una altezza di caduta massima pari a 4 m.

Nell'ambito delle reti quadrate con maglia 60 x 60 mm, le maggiori dimensioni, rispetto alle minime 3 x 3 m, migliorano il comportamento della rete in termini di minore azione trasmessa agli ancoraggi, a parità di altezza di caduta.

L'attività sperimentale ha permesso di stabilire i requisiti e le caratteristiche delle reti di piccole dimensioni con fune sul bordo escluse dalla UNI EN 1263-1: 2015 per permettere l'utilizzo in sicurezza.

I risultati di tale sperimentazione sono stati utilizzati a supporto della stesura dei due progetti di norma UNI:

- Attrezzature provvisoriale - Reti di sicurezza di piccole dimensioni con fune sul bordo - Parte 1: Reti con lato corto da 3 m a 5 m - Requisiti di sicurezza, metodi di prova e condizioni di utilizzo'
- Attrezzature provvisoriale - Reti di sicurezza di piccole dimensioni con fune sul bordo - Parte 2: Reti rettangolari con lato corto da 2 m a 3 m - Requisiti di sicurezza, metodi di prova e condizioni di utilizzo' ed è dedicato alle reti rettangolari avente lato corto fra 2 e 3 m e lato lungo non inferiore a 4 m.

Riferimenti bibliografici

[RFS-020] Rossi, L., Fabiani, F.M, Svampa, D.G., 2020, '*Reti di sicurezza - Guida tecnica per la scelta, l'uso e la manutenzione*', Inail.

[Osa-007] *Redes de seguridad*, Osalan (Laneko Seguritasun eta Osasunerako Euskal Erakundea/Instituto Vasco de Seguridad y Salud Laborales), 2007, Cruces-Barakaldo (Bizkaia), Espana.

[Mc-011] McCann, P. 2011, '*Evaluation of safety nets by experiment*', RR835 HSE Books Crown® Copyright, London.

[CHHZ-019] Chang, Z., He, J., Hao, P., Zheng, Z., 2019, '*Research on Human Falling Protection Performance Based on Safety Net*' Prognostics and System Health Management Conference (PHM-Qingdao), Qingdao, China, , pp. 1-8.

[AEMPCG-014] Anghileri, M., Eralti, D., Milanese, A., Prato, A., Castelletti, L., Girola, M., 2014, '*Nonlinear finite element analysis applied to the development of alpine ski safety net*', International Journal of Crashworthiness, 19:2, 161-171, DOI: 10.1080/13588265.2014.880210

[Fas-GPG] Good Practice Guide '*The Selection of Access Methods to Install and Dismantle Safety Netting*', Faset (Fall Arrest Safety Equipment Training), Whitchurch, Shropshire, United Kingdom.

[Fas-SN02] Technical Bulletin no 2 '*The Testing of Safety Nets for UV Degradation*', Faset (Fall Arrest Safety Equipment Training), Whitchurch, Shropshire, United Kingdom.

[Fas-SN10] Technical Bulletin no 10 '*Gathering vs Under-Rolling*', Faset (Fall Arrest Safety Equipment Training), Whitchurch, Shropshire, United Kingdom.

[Fas-SN12] Technical Bulletin no 12 '*Testing Requirements for Safety Net Attachment Devices*', Faset (Fall Arrest Safety Equipment Training), Whitchurch, Shropshire, United Kingdom.

[Fas-SN13] Technical Bulletin no 13 '*Drilled Fixings*', Faset (Fall Arrest Safety Equipment Training), Whitchurch, Shropshire, United Kingdom.

[Fas-SN23] Technical Bulletin no 23 '*Clearance Distances Beneath Safety Nets*', Faset (Fall Arrest Safety Equipment Training), Whitchurch, Shropshire, United Kingdom.

Legislazione

D.lgs. 19 febbraio 2019, n. 17

Adeguamento della normativa nazionale alle disposizioni del regolamento (UE)

n. 2016/425 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 9 marzo 2016, sui dispositivi di protezione individuale e che abroga la direttiva 89/686/CEE del Consiglio

Dm 17 Gennaio 2018

Norme tecniche per le costruzioni

Regolamento (UE) 2016/425 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 9 marzo 2016 sui dispositivi di protezione individuale e che abroga la direttiva 89/686/CEE del Consiglio

Regolamento (UE) n. 305/2011 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 9 marzo 2011 che fissa condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e che abroga la direttiva 89/106/CEE del Consiglio

D.lgs. 27 gennaio 2010, n. 17

Attuazione della direttiva 2006/42/CE, relativa alle macchine e che modifica la direttiva 95/16/CE relativa agli ascensori

D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81 e smi

Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro

D.lgs. 6 settembre 2005, n. 206 e smi

Codice del consumo, a norma dell'articolo 7 della legge 29 luglio 2003, n. 229

Circolare del Ministero del lavoro e della Previdenza Sociale n.13 del 20 Gennaio 1982

Mezzi anticaduta e montaggio prefabbricati: Parte II

Norme tecniche italiane

UNI EN 1263-1:2015 Attrezzature provvisoriale di lavoro - Reti di sicurezza - Requisiti di sicurezza, metodi di prova.

UNI EN 1263-2:2015 Attrezzature provvisoriale di lavoro - Reti di sicurezza - Requisiti di sicurezza per i limiti di posizionamento

UNI EN ISO 1806:2004 Reti da pesca - Determinazione del carico di rottura delle maglie.

UNI EN ISO 2307:2010 Corde di fibra - Determinazione di alcune proprietà fisiche e meccaniche

UNI EN 13374:2019 Sistemi temporanei di protezione dei bordi - Specifiche di prodotto, metodi di prova

UNI EN 795:2012 - Dispositivi individuali per la protezione contro le cadute - Dispositivi di ancoraggio

UNI EN 362:2005 - Dispositivi di protezione individuale contro le cadute dall'alto - Connettori

UNI EN 361:2003 - Dispositivi di protezione individuale contro le cadute dall'alto - Imbracature per il corpo

UNI EN 354:2010 - Dispositivi individuali per la protezione contro le cadute - Cordini

UNI EN 1004:2005 - Torri mobili di accesso e di lavoro costituite da elementi prefabbricati - Materiali, dimensioni, carichi di progetto, requisiti di sicurezza e prestazionali

Norme tecniche estere

BS 8411:2007 - Code of practice for safety nets on construction sites and other works

BS 7955:1999 - Containment nets and sheets on construction works. Specification for performance and test methods

I Quaderni di ricerca

- 1 - G. Ciriello, M. De Felice, R. Mosca, M. Veltroni, *Infortuni sul lavoro. Un modello di lettura (della numerosità) su "open data" dell'Inail*
- 2 - L. Cortis, F. M. Fabiani, C. Ratti, L. Rossi, D. G. Svampa, C. Vitale, *Analisi e valutazione del comportamento dell'assorbitore di energia nei sistemi di arresto caduta con differenti masse di prova*
- 3 - P. Rossi, *Danno biologico: monitoraggio, criticità e prospettive d'interesse medico-legale a dieci anni dall'introduzione della nuova disciplina*
- 4 - M. De Felice, A. Goggiamani, R. Mosca, M. Veltroni, *Malattie professionali. Un modello di lettura (della numerosità) su "open data" dell'Inail*
- 5 - L. Cortis, F. M. Fabiani, L. Rossi, D. G. Svampa, *Nuovi strumenti per la valutazione dello scivolamento e ribaltamento delle scale portatili*
- 6 - L. Cortis, F. M. Fabiani, L. Rossi, D. G. Svampa, *Determinazione della resistenza caratteristica dei dispositivi di collegamento montante-traverso nei ponteggi metallici fissi di facciata*
- 7 - S. Carruba, R. Grimaldi, M. Sparro, S. Tomasini, *Vendor Rating: il modello di valutazione delle forniture IT dell'Inail*
- 8 - P. Agnello, S. M. Ansaldi, *Una proposta di ontologia per gli Open Data Inail sugli infortuni: dalla numerosità dei dati alla gestione della conoscenza*
- 9 - A. Alvino, A. Antonini, C. Delle Site, A. Di Loreto, F. Giacobbe, D. Lega, E. Pichini, M.A. Pierdominici, L. Ricciardi, A. Tonti, *Analisi delle cause di rottura di materiali metallici: esempi di Applicazione*
- 10 - L. Cortis, F. M. Fabiani, L. Rossi, D. G. Svampa, *Light workers e criticità dell'assorbitore di energia nei sistemi di arresto caduta*
- 11 - S. Carruba, R. Grimaldi, M. Sparro, S. Tomasini, *Vendor Rating: la valutazione delle forniture IT dell'Inail per il 2015*
- 12 - L. Cortis, F. M. Fabiani, L. Rossi, D. G. Svampa, *Metodologia per prove di rigidità e resistenza per i dispositivi di collegamento montante-traverso nei ponteggi metallici fissi di facciata*
- 13 - R. Giovinazzo, E. Guerrera, M. Mameli, D. Sarto, M. Veltroni, *Analisi della contaminazione microbiologica degli ambienti di lavoro. Valutazione della qualità del dato analitico nel conteggio microbico su piastra e nelle prestazioni dell'operatore*
- 14 - P. Agnello, F. Bracco, C. Brunel, M. Masini, T. F. Piccinno, A. Sedaoui, D. Tazi, *Promuovere la sicurezza nelle organizzazioni attraverso manager resilienti*

15 - L. Rossi, *Esecuzione in sicurezza dei lavori in copertura. Misure di prevenzione e protezione*

16 - F. Antonello, P. Bragatto, F. Di Maio, S. M. Hoseyni, E. Zio, *Stima adattiva del rischio di rottura di attrezzature in pressione, sulla base dei dati di monitoraggio*

17 - J. Cecca, N. L'Episcopo, L. Mainero Rocca, *Nuove tecniche analitiche al servizio della sicurezza dei lavoratori: sviluppo di un metodo di analisi diretta di fungicidi e insetticidi sulla superficie delle foglie*

18 - A. Di Francesco, P. Iacono, A. Nebbioso, A. Pirone, G. Saputi, C. Simeoni, M.R. Vallerotonda, *Settore Seveso: contesto normativo e caratterizzazione statistica degli infortuni*

