

LA STAMPA 3D E LE IMPLICAZIONI PER LA SALUTE DEI LAVORATORI: LAVORARE IN SICUREZZA CON LE NUOVE TECNOLOGIE

2022

PREMESSA

La stampa 3D è stata definita la tecnologia che rivoluzionerà il mondo dell'industria, in quanto permette una rapida e semplice prototipazione, con costi di produzione relativamente bassi e facilità d'uso. Attualmente viene im-

piegata in diversi settori, come le industrie aerospaziali, automobilistiche, meccaniche, manifatturiere e medicali. Essa consiste in un processo di realizzazione di oggetti tridimensionali a partire da un modello digitale, attraverso un metodo di produzione additivo.

Nasce nel 1986 e da allora si è evoluta molto velocemente, grazie all'introduzione di tecniche innovative e di innumerevoli materiali con diverse caratteristiche meccaniche.

Poiché si prevede che il mercato delle stampanti 3D raddoppierà circa ogni tre anni, il loro utilizzo sempre più diffuso contribuirà ad aumentare l'esposizione professionale a vari rischi.

Il presente lavoro nasce dall'esigenza di un documento di riferimento per l'individuazione di potenziali pericoli e rischi per la salute correlati all'utilizzo di queste macchine. La valutazione dei rischi deve comunque essere svolta in accordo con le prescrizioni legislative applicabili.

METODI DI STAMPA

Per definire il processo di stampa 3D spesso si usano

termini come manifattura additiva, produzione desktop, prototipazione rapida.

Rispetto a tecniche di produzione sottrattiva di oggetti solidi 3D (in cui gli oggetti si ottengono asportando materiale da una forma più grande), le stampanti 3D permettono di creare ex-novo un oggetto attraverso la sovrapposizione di strati multipli di materiale. Per questo vengono definite tecnologie per la manifattura additiva (AM).

La tecnica più utilizzata è l'estrusione: un filamento passa in un ugello riscaldato a una temperatura al di sopra del punto di fusione del materiale e viene depositato sulla piattaforma di lavoro, posta a temperature più basse, strato dopo strato, in modo da costruire i piani bidimensionali dell'oggetto desiderato.

MATERIALI USATI NELLA STAMPA 3D

Tale tecnologia utilizza diversi materiali, a seconda della tecnica selezionata. I primi sono stati materiali plastici, ma l'elenco si è andato sempre più espandendo.

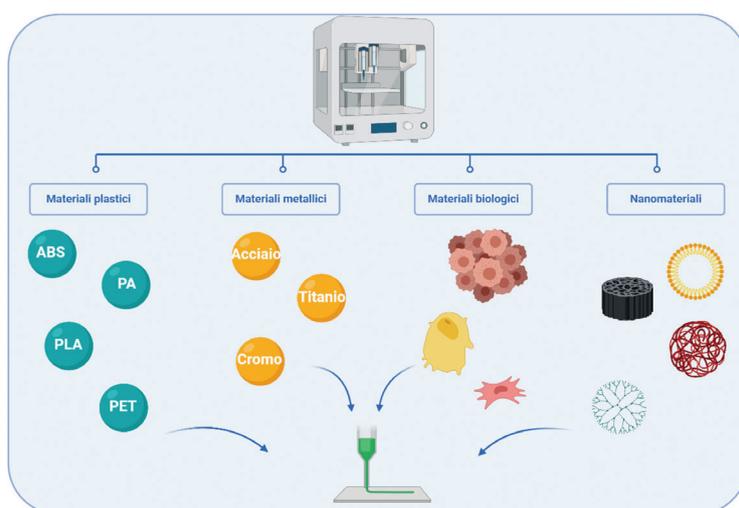
Essi comprendono (Figura 1):

- materiali classici: polimeri, ceramiche, vetro, metalli e legno;
- materiali innovativi: materiali biologici e nanomateriali.

Le materie prime sono disponibili in forme differenti, come polveri, filamenti, granuli o resine, a seconda dell'utilizzo che se ne deve fare.

Figura 1

I materiali della stampa 3D



PA: poliammide; ABS: acrilonitrile butadiene stirene; PLA: acido polilattico; PET: polietilene tereftalato.
Immagine creata con BioRender.com.

Materiali plastici

Uno dei materiali plastici più utilizzati è la poliammide (PA), flessibile e resistente, mentre l'acrilonitrile butadiene stirene (ABS) è usato per produrre oggetti duri e resistenti, di recente spesso sostituito dal più biodegradabile ed ecosostenibile acido polilattico (PLA). Durante i processi termici possono essere rilasciati irritanti del tratto respiratorio, quali composti organici volatili (VOC) e particelle ultrafini (UFP). È stato riportato che ABS, PLA e PA possono essere sorgenti di VOC pericolosi per la salute del lavoratore quali stirene, butanolo, cicloesano ed etilbenzene. L'ABS è classificato 'alto emettitore' di VOC (soprattutto stirene), mentre il PLA 'basso emettitore' (soprattutto metilmetacrilato). Entrambi hanno effetti tossici sull'apparato respiratorio, cardiovascolare e sul sistema nervoso centrale e periferico. Tuttavia, la concentrazione di VOC rilasciati è influenzata dalla presenza di altri additivi e dai parametri di stampa, quali la temperatura di estrusione o del piatto su cui viene depositato il materiale fuso.

Materiali metallici

Uno dei segmenti della stampa 3D in più rapida crescita è quello dei materiali metallici, come polveri di acciai inossidabili, leghe di cromo e titanio.

Gli oggetti in titanio, frequentemente utilizzati nell'aeronautica, nel settore aerospaziale e in campo biomedicale, vengono stampati a partire da particolato (particulate matter PM), contenente anche particelle molto piccole (1-100 µm), che richiedono speciale manipolazione e corretto stoccaggio. Durante la loro stampa vengono rilasciate particelle ancora più piccole (*ultrafine particles*, UFP), con diametro sotto 0.1 µm, che entrano nell'organismo umano attraverso il sistema respiratorio o cutaneo. Poiché il corpo umano non è in grado di eliminarle, l'accumulo può raggiungere livelli tossici per la salute.

Sebbene siano noti gli effetti dell'esposizione occupazionale a metalli, le informazioni sugli effetti dell'esposizione lavorativa ad AM sono scarse. È noto che durante le operazioni di rifinitura dell'argento possano essere rilasciate sia particelle metalliche di dimensioni micrometriche sia nanoparticelle, che contengono non solo argento ma anche piombo, antimonio, selenio e zinco. Tuttavia non è ancora chiaro né quale sia il livello di emissioni di PM rilasciato dalle stampanti 3D né quali siano i parametri che le influenzano maggiormente. Infine, poiché dopo la stampa le polveri si disperdono nell'aria, è necessario sapere per quanto tempo vi permangono, al fine di tutelare il lavoratore.

Per tutti questi materiali, deve esser tenuto in considerazione il fatto che i metalli, in particolare quelli pesanti, possono essere cancerogeni e che durante la loro manipolazione è necessario adottare adeguate protezioni delle vie respiratorie.

Materiali biologici

Un importante campo d'applicazione della stampa 3D è quello medico. Grazie alla biostampa è possibile produrre tessuti (in futuro si ipotizza anche organi), con un ruolo chiave anche nella medicina rigenerativa. Rispet-

to alla stampa 3D tradizionale, la biostampa ha origine dalla scansione dell'organo che si intende realizzare, attraverso PET o risonanza magnetica. Dai dati digitali si produce poi un oggetto organico, in cui le cellule sono estruse in modo da simulare l'organizzazione tissutale. Questa tecnica può presentare rischi per la salute dell'operatore, come recentemente evidenziato dal Niosh. I lavoratori, oltre ad affrontare alcuni potenziali rischi comuni ai processi di AM, possono incorrere in rischi strettamente correlati alla natura biologica del processo stesso, come la generazione di aerosol biologici o la contaminazione microbica delle superfici. Di conseguenza, è necessario prevedere un'adeguata formazione, informazione e l'utilizzo di specifici dispositivi di protezione individuale (DPI) e collettiva degli addetti alla biostampa.

Nanomateriali

Attualmente i nanomateriali sono largamente usati nei processi di stampa 3D e in futuro, combinando stampa 3D e nanotecnologia, sarà possibile produrre oggetti di qualsiasi tipo di materiale, in qualsiasi forma o volume. Sebbene sia noto che i materiali nanometrici (1-100 nm) acquistano proprietà innovative rispetto alla forma bulk, non c'è ancora una definizione univoca di nanomateriale e ciò ha ripercussioni sulle relative regolamentazioni. Negli Usa i nanomateriali sono definiti non solo dalle dimensioni, ma anche da proprietà uniche o nuove. Secondo l'Oecd e l'Osha si definisce nanomateriale quello con almeno una dimensione tra 1 e 100 nm. Secondo l'Eu, per nanomateriale s'intende un materiale naturale, derivato o fabbricato, contenente particelle allo stato libero, aggregato o agglomerato, e in cui, per almeno il 50% delle particelle nella distribuzione dimensionale numerica, una o più dimensioni esterne siano comprese fra 1 e 100 nm.

Tra i nanomateriali più usati nella stampa 3D abbiamo gli ossidi di alluminio e il diossido di zirconio, ma anche nanocompositi contenenti nanoparticelle di biossido di titanio, ossido di zinco, grafene ossido, argento e nanotubi di carbonio. Particolare attenzione dovrà essere posta a tali esposizioni, dato che sono stati evidenziati potenziali effetti avversi per la salute correlati a tali nanomateriali ingegnerizzati, nonostante non ci siano dati sulle conseguenze a lungo termine.

RISCHI PER I LAVORATORI

La distribuzione dimensionale delle particelle utilizzate e prodotte durante i processi di AM rappresenta uno dei fattori principali per la valutazione dei rischi professionali, in quanto influenza il livello di progressione nelle vie respiratorie. Tali polveri potrebbero essere inalate dagli operatori durante la fase di carico in macchina, durante la rimozione dei pezzi finiti e nelle fasi di manutenzione e pulizia della macchina stessa.

Tuttavia, secondo una recente pubblicazione dell'Eu-Osha, l'impatto quotidiano della stampa 3D sulla salute dei lavoratori addetti è ancora limitato, in quanto i rischi spesso sono simili a quelli tradizionali. Con l'aumentato utilizzo di tali tecnologie, però, potrebbero emergere nuovi rischi dovuti all'uso di materiali non

convenzionali con possibili nuovi effetti sulla salute dei lavoratori.

Recentemente è stata evidenziata la pericolosità di alcuni VOC emessi durante la stampa 3D, che possono avere effetti avversi sul sistema respiratorio e cardiovascolare. È stato documentato un caso di ipersensibilità polmonare in un lavoratore esposto a polvere di nylon durante AM e un caso di riacutizzazione di asma lavoro-correlata in un giovane esposto a VOC rilasciati durante l'estrusione di ABS.

Inoltre, adulti sani esposti per brevi periodi a VOC e UFP di stampanti 3D desktop non hanno evidenziato alterazioni di biomarker infiammatori, ma hanno mostrato un aumento dei livelli di ossido nitrico esalato, spesso associato a patologie asmatiche allergiche.

Per quanto riguarda i nanomateriali, invece, la maggior preoccupazione deriva dal fatto che essi hanno proprietà uniche e non è ancora chiaro quale sia il potenziale di esposizione, la tossicità e la biodisponibilità derivanti dalla loro produzione e dal loro uso. Alcuni studi quantificano il numero di particelle emesso per minuto dalle stampanti 3D, anche se tali valori non riflettono adeguatamente le concentrazioni di PM nell'ambiente di lavoro, un parametro fondamentale per determinare l'effetto sul lavoratore. Inoltre, sebbene non sia strettamente correlata a tale processo, è noto che l'inalazione di nanomateriali può determinare infiammazione polmonare e asma.

In accordo con le attuali conoscenze, quindi, nonostante non sia da scoraggiare l'utilizzo delle stampanti 3D, bisogna prestare attenzione al loro utilizzo, soprattutto quando si impiegano più unità allocate in un unico ambiente. La concentrazione di VOC e PM, infatti, potrebbe essere alta e i lavoratori potrebbero andar incontro a disturbi respiratori.

Un altro aspetto fondamentale da considerare è la molteplice composizione dei filamenti utilizzati per la stampa; ai polimeri spesso si associano diversi tipi di additivi come coloranti, ritardanti di fiamma, antiossidanti e plastificanti, che possono avere un effetto sulla salute del lavoratore.

MISURE DI PREVENZIONE E PROTEZIONE

Come indicato dall'art.15 del d.lgs. 81/2008, la gestione della prevenzione nei luoghi di lavoro prevede l'attuazione di misure generali di tutela della salute e della sicurezza dei lavoratori tra cui 'l'eliminazione dei rischi e, ove ciò non sia possibile, la loro riduzione al minimo in relazione alle conoscenze acquisite in base al progresso tecnico; la sostituzione di ciò che è pericoloso con ciò che non lo è, o è meno pericoloso; la limitazione al minimo del numero dei lavoratori che sono, o che possono essere, esposti al rischio'. Di conseguenza, il primo e più importante livello di intervento nella prevenzione e protezione dei possibili rischi collegati alla stampa 3D consiste nell'applicazione di precauzioni standard per ridurre le emissioni e il numero di esposti. Tuttavia, poiché in tali processi raramente è possibile eliminare e/o sostituire l'agente nocivo (ovvero il materiale) né tantomeno la sua modalità di utilizzo, rappresentando entrambi il valore aggiunto di tale tecnologia, e poiché spesso non è nemmeno possibile ridurre il numero di lavoratori o i tempi di esposizione necessari per realizzare il prodotto, è fondamentale implementare gli step successivi della gerarchia delle misure di gestione del rischio. In particolare, devono essere potenziate le misure strutturali/ingegneristiche (es. contenimento, separazione, aspirazione, ventilazione), al fine di evitare che le emissioni si diffondano nell'aria del luogo di lavoro, soprattutto nel caso di materiali da stampa in polvere (Figura 2).

Infine, quando i rischi non possono essere evitati o ridotti da misure tecniche di prevenzione, da mezzi di protezione collettiva, da misure, metodi o procedimenti di riorganizzazione del lavoro, è necessario prevedere l'utilizzo di adeguati DPI, anche perché le particelle emesse hanno dimensioni medie diverse. Tra essi si raccomanda l'uso di maschere facciali filtranti almeno FFP2, guanti in gomma monouso, abbigliamento protettivo e occhiali di protezione.

Ricordiamo, infine, che la formazione dei lavoratori e la condivisione delle procedure da attuare rendono l'operatore maggiormente consapevole sui rischi lavorativi e le modalità di lavoro più sicure.

Figura 2

La Stampa 3D: come ridurre i rischi

QUALI PERICOLI

- Sono noti gli effetti del materiale utilizzato sulla salute?
- Com'è l'ambiente di lavoro? Aperto o isolato?
- Potenziali esposizioni a SOSTANZE IRRITANTI o TOSSICHE rilasciate durante la stampa
- Quali metalli ci sono nelle polveri?

BUONE PRATICHE

- Maneggiare con cura i materiali utilizzando DPI quando necessario.
- Verificare che non ci siano altre attività lavorative in prossimità.
- Effettuare una pulizia accurata della stampante e dell'area di lavoro utilizzando gli opportuni DPI.
- Considerare la reattività del materiale quando si selezionano i prodotti per la pulizia, gli equipaggiamenti e i metodi da intraprendere.
- Stampare in un ambiente a pressione negativa con un sistema di ventilazione dedicato.

PROCEDURE

- Sviluppare procedure standard operative e prevedere la formazione degli operatori.
- Limitare l'accesso all'area di lavoro.
- Utilizzare segnaletica opportuna per indicare a quali pericoli si può andare incontro e quali azioni appropriate possono essere messe in atto per proteggere i lavoratori.

DPI

- L'uso di DPI è fortemente raccomandato quando la macchina è aperta.
- Indossare DPI appropriati per le attività da svolgere (per esempio, cambio della polvere da utilizzare o pulizia della stampante):
 - guanti in nitrile o resistenti agli agenti chimici
 - abbigliamento da laboratorio o comunque protettivo
 - occhiali o schermi protettivi
 - facciali filtranti (FFP2 o FFP3)

Rules & Regulations

(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

CONSIDERAZIONI SUL CONTESTO NORMATIVO

L'uso di stampanti 3D in luoghi di lavoro rientra nel campo di applicazione del d.lgs. 81/2008.

A sottolineare l'urgente necessità di sviluppare strategie di prevenzione per i lavoratori coinvolti nei processi di stampa 3D, l'Eu-Osha ha pubblicato nel 2017 alcune raccomandazioni per garantire un ambiente di lavoro più sicuro, sano e soddisfacente.

La norma ISO/ASTM 52900:2021 "Additive manufacturing - General principles - Terminology", recepita in Italia nel 2022 come UNI EN ISO/ASTM 52900:2022, stabilisce e definisce i termini utilizzati nella tecnologia di AM, mentre il volume 'La sicurezza nelle tecnologie additive per metalli' (Inail, Ediz. 2020) rappresenta un

primo documento di riferimento nazionale per l'individuazione e caratterizzazione dei pericoli specifici delle attrezzature che adottano tecnologie additive.

Inoltre, sono disponibili diverse linee guida sulla pericolosità dell'esposizione ad agenti nocivi, PM, UFP e nanomateriali, nonostante spesso si valuti la loro pericolosità senza riferimento diretto ai processi di stampa 3D da cui possono essere prodotte. Data la peculiarità dell'utilizzo/produzione dei nanomateriali, segnaliamo come ulteriori testi di riferimento il 'Libro Bianco. Esposizione a nanomateriali ingegnerizzati ed effetti sulla salute e sicurezza nei luoghi di lavoro' (Inail, Ediz. 2011) e il volume 'Esposizione a nanomateriali nei luoghi di lavoro' (Inail, Ediz. 2018).

PER ULTERIORI INFORMAZIONI

Contatti: m.galetti@inail.it; d.cavallo@inail.it

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

Eu-Osha. 3D printing and additive manufacturing – the implications for OSH. 2017, <https://osha.europa.eu/en/publications/3d-printing-new-industrial-revolution/view> [consultato luglio 2022].

Inail. La sicurezza nelle tecnologie additive per metalli. Fusione o sinterizzazione a letto di polvere.

Linee di indirizzo. Roma. Inail - Direzione centrale pianificazione e comunicazione; 2020.

Niosh. 3D printing with metal powders: Health and safety questions to ask. By Glassford E, Dunn KL, Dunn KH, Hammond D, Tyrawski J. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health,

Dhhs (Niosh) Publication No. 2020-114, <https://doi.org/10.26616/NIOSH PUB2020114> [consultato luglio 2022].

PAROLE CHIAVE

Stampa 3D, Metalli, VOC, Particelle ultrafini