

di Chiara Mandolino, Matteo Bruno, Enrico Lertora e Carla Gambaro  
Dipartimento di Ingegneria Meccanica – Scuola Politecnica di Genova

# Trattamento delle superfici Il plasma freddo migliora l'incollaggio

**Le proprietà di adesione del polietilene e del polipropilene sono scarsissime. Il trattamento con plasma freddo le migliora. È quanto emerge da uno studio sperimentale**

I plasmi sono mezzi chimicamente attivi. In relazione alle modalità di attivazione e alla loro potenza di lavoro possono generare temperature molto alte o basse; nel primo caso si parla di plasma termico, nel secondo di plasma freddo. L'ampio intervallo di temperatura consente una grande varietà di applicazioni. Il plasma termico, grazie alle elevatissime temperature generate, è ampiamente utilizzato in ambito metallurgico per il taglio e la saldatura dei metalli. Le applicazioni industriali della tecnologia del plasma freddo, pur essendo le più svariate, possono essere tutte ricondotte a operazioni di modifica superficiale: attivare, pulire, rivestire le superfici. Un trattamento in plasma freddo consente, infatti, di

ottenere superficialmente dei composti chimici reattivi che non sono ottenibili con procedimenti chimici tradizionali. Un considerevole vantaggio consiste nel fatto di poter realizzare un trattamento che coinvolge solo gli strati superficiali di materiale, che lascia quindi inalterate le proprietà meccaniche generali, adottando tra l'altro temperature di processo poco elevate che non danneggiano eventuali substrati degradabili. Proprio quest'ultimo vantaggio offre una possibile soluzione ai problemi di bagnabilità e, conseguentemente, di incollaggio di alcune tipologie di polimeri, tra cui per esempio il polietilene o il polipropilene, che presentano scarsissime proprietà di adesione ma un vasto campo di impiego.

Queste le ragioni alla base di una ricerca finalizzata alla valutazione dell'effetto di un trattamento in plasma freddo sulle caratteristiche di adesione del polietilene. L'obiettivo è quello di individuare i parametri di macchina – potenza e tempo di esposizione – più idonei a garantire il miglior risultato in termini di resistenza a taglio di un giunto incollato.

## La sperimentazione

Le prove sperimentali sono state effettuate utilizzando giunti a singola sovrapposizione realizzati ad hoc. In particolare, sono stati impiegati: giunti che non hanno subito alcun tipo di trattamento, al netto di uno sgrassaggio con solvente, giunti trattati con un primer e infine giunti trattati al plasma

# La tecnologia del plasma freddo

Il plasma è un gas ionizzato, costituito da atomi e molecole neutre, ioni negativi e positivi ed elettroni. In funzione delle condizioni di pressione in cui il plasma si genera, le sue proprietà cambiano in termini di densità di particelle e di temperatura, ed è pertanto possibile fare una distinzione tra plasmi termici e plasmi freddi. A pressione ambiente o superiore, la densità di particelle che costituiscono il plasma è elevata, così come la frequenza di collisioni tra le stesse. Questo permette un efficace scambio di energia, che si traduce in temperature elevate (qualche migliaio di gradi), realizzando quello che si chiama un plasma termico.

Al diminuire della pressione, il numero di particelle diminuisce e di conseguenza anche la frequenza delle loro collisioni, la densità di energia generata e quindi la temperatura. I plasmi generati in queste condizioni vengono pertanto denominati plasmi freddi. La possibilità di ottenere un plasma a temperature prossime a quella ambiente consente il suo impiego nel trattamento di materiali facilmente degradabili, per esempio i polimeri. Tali applicazioni possono essere ricondotte a operazioni di modifica superficiale: pulizia, attivazione e funzionalizzazione.

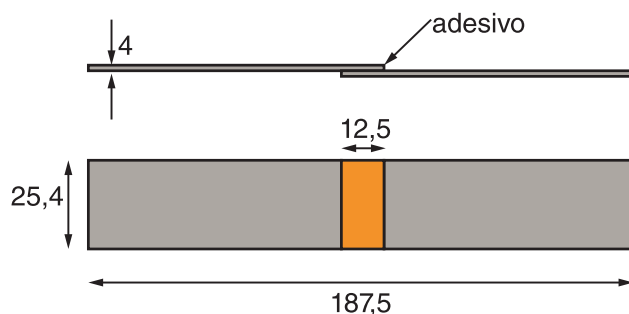
con diversi parametri di macchina. Lo scopo è valutare le prestazioni, in termini di resistenza al taglio, dei pezzi che hanno subito un trattamento superficiale in plasma freddo, e stabilire quindi l'efficacia di tale trattamento rispetto a tecniche tradizionali di preparazione superficiale, quali appunto lo sgrassaggio o l'utilizzo di particolari primer e attivatori.

## La valutazione dell'energia superficiale

Un primo parametro significativo riguardo la predisposizione di una superficie a essere incollata efficacemente è la bagnabilità. Se l'adesivo bagna in modo ottimale la superficie, l'area di contatto aumenta e di conseguenza il giunto può



1 Legame tra angolo di contatto e bagnabilità del substrato



2 Configurazione di giunto a singola sovrapposizione

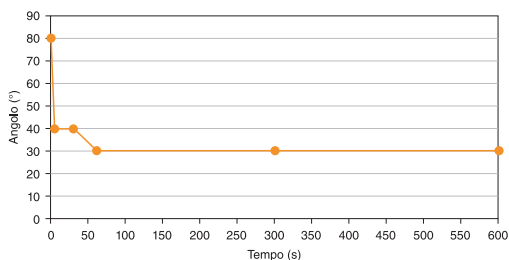
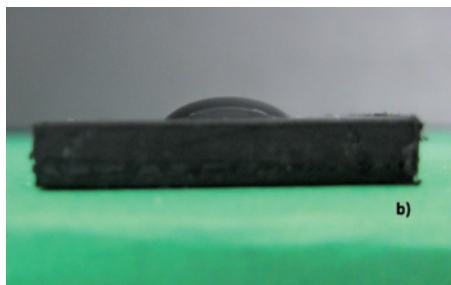
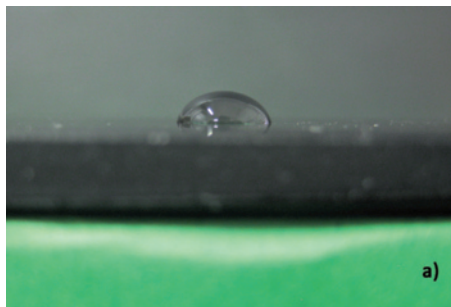
supportare carichi maggiori.

Il polietilene è un materiale a bassa energia superficiale, quindi la sua predisposizione alla bagnabilità è molto scarsa; pertanto si è deciso di eseguire delle prove al fine di verificare gli effetti del trattamento in plasma freddo su questo parametro. Nella figura 1 viene illustrato il grado di bagnabilità, in funzione dell'angolo di contatto. Il polietilene è stato sgrassato tramite solvente e successivamente trattato al plasma. Per misurare la bagnabilità si è depositata sulla superficie una goccia di acqua demineralizzata, sono state scattate delle macrografie e, tramite un programma di acquisizione di immagini, si è misurato l'angolo di contatto ( $\alpha$ ) tra substrato e goccia di liquido.

## La realizzazione dei giunti incollati

Terminate le indagini sulle caratteristiche delle superfici, sono state realizzate le giunzioni impiegando come adesivo il Loctite® 401, un cianoacrilato etilico, ideale per l'assemblaggio di materiali difficili da incollare, quali appunto il polietilene; il primer scelto è quello specifico per questo

adesivo, il Loctite® 770. Il trattamento al plasma è stato effettuato impiegando il reattore al plasma freddo in bassa pressione da tavolo, Tucano di Gambetti Kenologia, utilizzando l'aria come gas. Tutti i giunti condividono una preparazione superficiale basata sullo sgrassaggio tramite un panno imbevuto di solvente. La prima prova sperimentale è stata condotta su cinque giunti a singola sovrapposizione trattati solo con sgrassatura; i risultati ottenuti dalle trazioni di tali giunti costituiscono un termine di paragone, sulla base del quale valutare l'eventuale miglioramento ottenuto in seguito all'applicazione del primer o del plasma. Per le prove successive sono stati impiegati cinque giunti realizzati con provini trattati tramite primer, e molti altri giunti realizzati con provini trattati al plasma. Per quanto riguarda i provini trattati con plasma, si sono realizzate cinque ripetizioni per ogni combinazione tempo-potenza considerata; tali combinazioni sono state scelte di volta in volta alla luce dei risultati via via ottenuti, fermandosi quindi al raggiungimento del risultato ottimale. Nella



**3 Andamento dell'angolo di contatto in funzione del tempo di trattamento al plasma**

tabella 1 sono riportate le combinazioni di tempo e potenza di trattamento al plasma utilizzate. La verifica della resistenza è stata effettuata sollecitando a taglio i giunti incollati, secondo normativa ASTM D 1002, adottando una velocità di movimento costante della traversa pari a 1,3 mm/min. La figura 2 illustra la tipologia di giunto e le dimensioni caratteristiche.

### L'analisi dei risultati

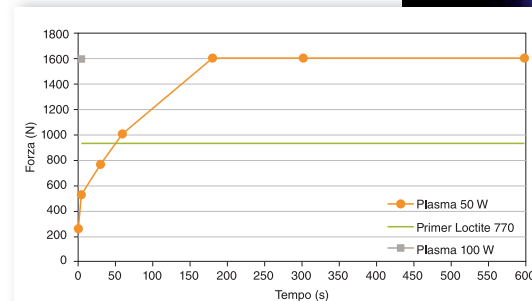
Le prove effettuate hanno messo in luce un sostanziale incremento delle proprietà di adesione del materiale trattato al plasma, evidenziate da un incremento sia della bagnabilità, sia della resistenza meccanica dei giunti incollati. La figura 3 riporta l'andamento dell'angolo di contatto tra goccia di liquido e substrato, in funzione del tempo di esposizione al plasma, eseguito a una potenza di 50 Watt. A un tempo nullo corrisponde l'angolo di contatto con la superficie che non ha subito alcun tipo di trattamento. Risulta evidente un sensibile decremento dell'angolo di contatto e quindi un incremento dell'energia superficiale del polietilene, già per valori di tempo brevissimi. Tale fenomeno è essenzialmente dovuto alla profonda rimozione di agenti contaminanti dal substrato e all'effetto di attivazione superficiale operato dal plasma.

**4 Bagnabilità del materiale non trattato (a) e del materiale trattato al plasma (b)**

A titolo di esempio, nella figura 4 vengono confrontate le immagini di due gocce di liquido depositate su substrato non trattato (figura 4a) e trattato al plasma per 60 secondi a una potenza di 50 Watt (figura 4b). La figura 5 riporta l'andamento della forza che ha provocato la rottura dei giunti, in funzione del tempo di trattamento al plasma, per due livelli di potenza. Ogni punto della curva rappresenta la resistenza media dei cinque giunti realizzati con un determinato abbinamento tempo-potenza. Nuovamente, il risultato indicato per un tempo di trattamento nullo corrisponde alla forza media di rottura dei giunti non trattati. La linea orizzontale rappresenta il valore medio della forza di rottura dei cinque giunti trattati con il primer. Il risultato della prova è evidentemente soddisfacente: con un tempo di trattamento al plasma di 60 secondi a 50 Watt è possibile superare il limite di carico ottenuto mediante il trattamento con primer. È opportuno sottolineare che il valore asintotico rappresentato nella figura 5 (1.600 N) non

**Tabella 1 Parametri di trattamento al plasma. Ogni combinazione è stata ripetuta su cinque giunti**

Potenza (W)	Tempo (s)
50	5, 30, 60, 180, 300, 600
100	5



**5 Andamento della forza di rottura in funzione del tempo di trattamento al plasma**

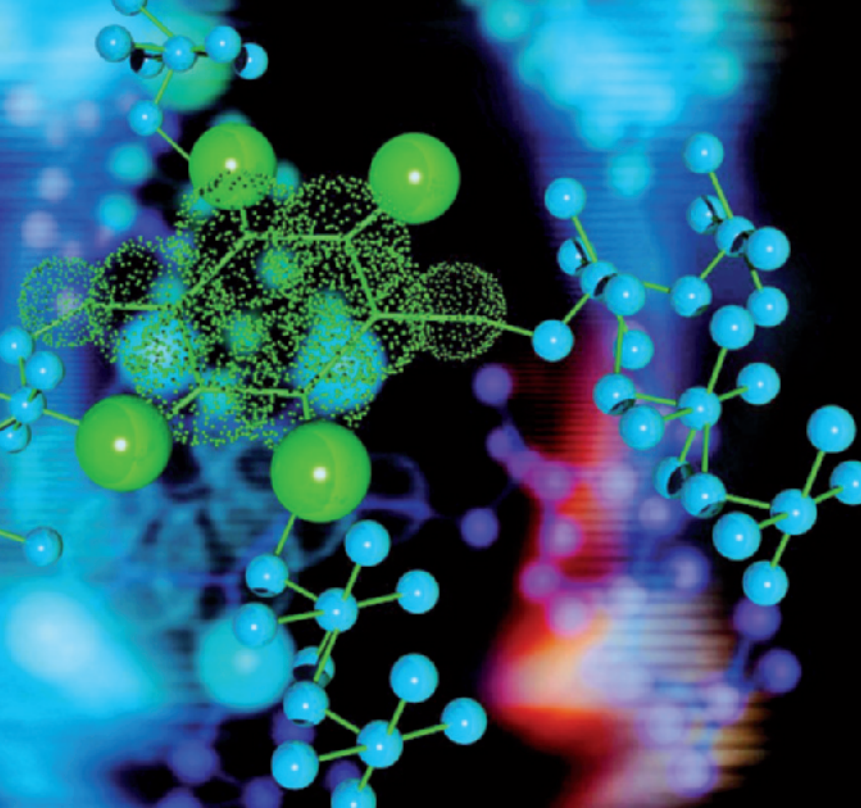
è determinato dalla rottura del giunto, ma dalla resistenza del materiale dei substrati, che subisce un allungamento tale da far interrompere la prova senza giungere a rottura. Si è riscontrato che, aumentando la potenza a 100 Watt, sono sufficienti tempi di trattamento brevissimi (5 secondi) per arrivare al carico che genera la deformazione macroscopica dei substrati. Visto il risultato, si è ritenuto inutile continuare la sperimentazione con prove effettuate con tempi di trattamento più lunghi. A livello operativo si è osservato che, utilizzando il primer, si verifica una sostanziale diminuzione del tempo di manipolazione del pezzo dopo incollaggio. Il primer agisce in questo caso anche da attivatore, rendendo perciò l'incollaggio degli aderenti quasi immediato, un aspetto particolarmente importante nelle applicazioni manuali e con elevati volumi di produzione.

### Un trattamento efficace

La campagna di prove sulla preparazione superficiale di substrati di polietilene mediante plasma freddo ha portato alle seguenti conclusioni:

- le proprietà di bagnabilità superficiale aumentano all'aumentare del tempo di esposizione al plasma, come evidenziato dalla diminuzione dell'angolo di contatto.





Questo è dovuto alla pressoché totale rimozione di elementi contaminanti e ad un fenomeno di attivazione superficiale;

- a ulteriore conferma dell'efficacia del trattamento al plasma, si è rilevato un aumento significativo delle caratteristiche di resistenza meccanica all'aumentare del tempo di esposizione. Si segnala che già con tempi piuttosto contenuti si riesce a superare il limite di carico ottenuto nei giunti trattati con il primer;
- trattando invece le superfici con il primer specifico, che agisce anche da attivatore, è possibile diminuire il tempo di manipolazione e garantire un rapido fissaggio dei substrati senza l'uso di attrezzature di supporto.

Tali aspetti confermano la necessità di una corretta preparazione superficiale quando siano richieste giunzioni aventi elevate caratteristiche di resistenza, e che il trattamento al plasma costituisce una valida alternativa all'impiego del primer, per l'incollaggio di materiali a bassa energia superficiale.

### Bibliografia

- 1 Edward M. Petrie "Handbook of adhesive and sealants" McGraw-Hill, 2000
- 2 C. Gambaro, E. Lertora "Dispense del corso per European Adhesive Bonder", 2011
- 3 Claire Tendero et al. "Atmospheric pressure plasmas: A review" Spectrochimica Acta Part B n° 61, pagg. 2-30, 2006
- 4 Maria'n Lehocky et al. "Plasma surface modification of polyethylene", Colloids and Surfaces A n° 222, pagg. 125-131, 2003

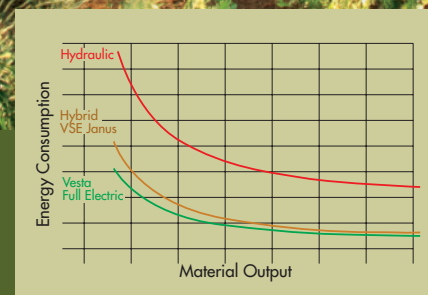
*Si ringrazia Gambetti Kenologia S.r.l per la fornitura del reattore al plasma, e Henkel Italia S.p.A per aver messo a disposizione i materiali utilizzati nell'ambito del presente studio.*

© RIPRODUZIONE RISERVATA

# La natura ha già scelto



Vi aspettiamo  
15B 22



In un futuro dove la sostenibilità sarà sempre di più un asset aziendale, avere in linea macchine non solo performanti ma rispettose del territorio e delle comunità che lo abitano sarà un valore inestimabile. Negri Bossi lo sa e produce le macchine più sostenibili, con soluzioni complete e flessibili, capaci di funzionamento totalmente elettrico, idraulico o ibrido. L'abbattimento energetico è dal 20 al 75%. Per non parlare del risparmio di olio. La natura ha fiuto, non è solo per il design italiano che si è già innamorata.

**NEGRI BOSSI**  
The  SACMI Injection Moulding Company

Per tutte le informazioni sulle tecnologie Negri Bossi [www.negribossi.com](http://www.negribossi.com)

Contatto diretto: [nbinfo@negribossi.it](mailto:nbinfo@negribossi.it)