

[Tecnica]

# Sabbiatura di lamiera: pulire ma con arte

di Cristiano Fragassa e Luis Valentinotti

Impianto per  
la sabbiatura  
delle lamiera



**La sabbiatura è un trattamento meccanico di lavorazione superficiale che si dimostra funzionale, con risultati buoni, sicuri e ripetibili, nella preparazione di prodotti e semilavorati industriali. Consiste, in generale, nel proiettare con velocità ed energia regolabile, e per tempi idonei, delle piccole particelle di sostanze dure contro la superficie da pulire per asportare le sostanze estranee, anche se compatte, dure e molto aderenti. Una soluzione innovativa di questo processo è stata realizzata da Norblast per il Gruppo De Nora.**

La sabbiatura (o granigliatura) è un trattamento meccanico di lavorazione superficiale che si dimostra funzionale, controllabile e meglio attuabile, con risultati buoni, sicuri e ripetibili, nella preparazione di prodotti e semilavorati industriali. Come principio generale, consiste, molto semplicemente, nel proiettare con velocità ed energia regolabile, e per tempi idonei, delle piccole particelle di sostanze dure (abrasivi) contro la superficie da pulire in modo da asportare le sostanze estranee, anche se compatte, dure e molto aderenti.

Con questo sistema di preparazione, inoltre, si realizza una rugosità superficiale abbastanza regolare e marcata: questa caratteristica

è molto utile e importante (e in qualche caso essenziale) per migliorare l'aggancio di aderenza del successivo strato di pittura o di deposizione.

Di norma, si opera con sistemi "a secco" in cui l'energia per lanciare l'abrasivo è fornita o da aria compressa (sabbiatura pneumatica) o da turbine (sabbiatura centrifuga). Al contenitore (sabbiatrice), nel quale s'immette aria compressa e abrasivo, è collegata una manichetta che termina con un ugello tipo Venturi, che accelera il flusso della miscela aria/abrasivo. Le particelle, incidendo sulla superficie, creano microerosioni che rimuovono ogni materia estranea e creano la rugosità richiesta.

### Le graniglie per la sabbatura delle lamiere

La sabbatura può rivelarsi una soluzione particolarmente interessante quando si desidera la rimozione degli ossidi dopo i processi di tempra e può essere attuata efficacemente con l'utilizzo di corindone (ossido di alluminio) o microsfere di vetro. Queste due graniglie sono

sce e perfeziona macchine di granigliatura, con specifiche di progetto estremamente nette e chiare (Tabella 1). L'impianto di sabbatura dovrà riuscire ad asportare gli ossidi (5-7 micron) che si depositano sulle lamiere in titanio (1.300 x 2.000 x 1 mm) a seguito della fase di raffreddamento da tempra, mantenendo una rugosità controllata (6-8 micron in Ra) e

1. Esempio di utilizzo di lamiere sabbiate: un barbecue da giardino.



A



B

2. Grado di ossidazione delle lamiere: a) prima; b) dopo il trattamento.

scelte per la loro capacità di pulire rapidamente e ridurre i costi. Il corindone è un materiale molto duro e abrasivo (9 in scala Mohs) e consente una veloce lavorazione, ma senza una perfetta regolazione dei parametri di processo (per esempio: dimensione dei grani, pressione aria ecc.) si rischia l'erosione eccessiva del pezzo. La graniglia di vetro riduce il rischio di danneggiamento garantendo ottimi risultati, ma allunga il trattamento e i costi.

Le esigenze di economia del processo diventano particolarmente restrittive quando si è in presenza di lamiere, specie quelle di grandi dimensioni, dove si aggiunge l'ulteriore imperativo di dover garantire la stessa qualità superficiale sull'intera superficie. Questi e altri motivi hanno ridotto finora l'impiego massiccio della sabbatura nel trattamento delle lamiere, relegandola soprattutto ai casi di finitura superficiale di lamiere di ridotte dimensioni (Figura 1). Esattamente l'opposto del caso di successo che andiamo a raccontare.

### La garanzia di qualità superficiale

Il Gruppo De Nora, tra i leader nel settore delle tecnologie elettrochimiche, si rivolge alla Norblast, azienda che da oltre 30 anni costrui-

una deformazione planare minima (meno dell'1%). Per essere competitivo l'impianto dovrà sabbare entrambe le superfici della lamiera in meno di venti minuti (pari a 0,26 m<sup>2</sup>/min) con un consumo di aria che resta contenuto in 10.800 l/min (per adattarsi alla linea di aria compressa già disponibile) e dimostrarsi idoneo a lavorare anche prodotti differenti, quali reti in nichel e vassoi in acciaio.

#### Specifiche di processo

Scopo	Asportazione ossido con rugosità controllata
Prodotti	Lamiere in Ti (max: 1.300 x 1.300 x 1 mm) Reti in nichel (max: 1.270 x 2.000 x 1,5 mm) Vassoi
Rugosità	5.0 ± 0.5 Ra
Planarità	Incurvamento massimo consentito: 1%
Produttività	Max 20' per lavorare entrambe le facce
Consumo	Aria: 10.800 l/min a 5 kg/cm <sup>2</sup>

Norblast acquisisce le specifiche di progetto, accetta la sfida e mette al lavoro la propria divisione di ricerca e sviluppo. Il primo passo è quello di scomporre, chiarire e semplificare il problema in modo da poter proporre soluzioni differenti e un piano prove di verifica per supportare le prime scelte progettuali.

Le specifiche della De Nora erano più com-

T1. Principali richieste rivolte alla sabbatura

## Tecnica

plesse di quelle qui riassunte per semplicità e parlavano di dimensioni massime di ingombro complessive, di velocità di avanzamento della lavorazione, di granulometria delle graniglie e cambiavano a seconda dei differenti prodotti (lamiere, reti e vassoi), ma Norblast ha puntato da subito sulla logica di risolvere i problemi facendo riferimento alla casistica più sfavorevole e focalizzandosi sui punti critici:

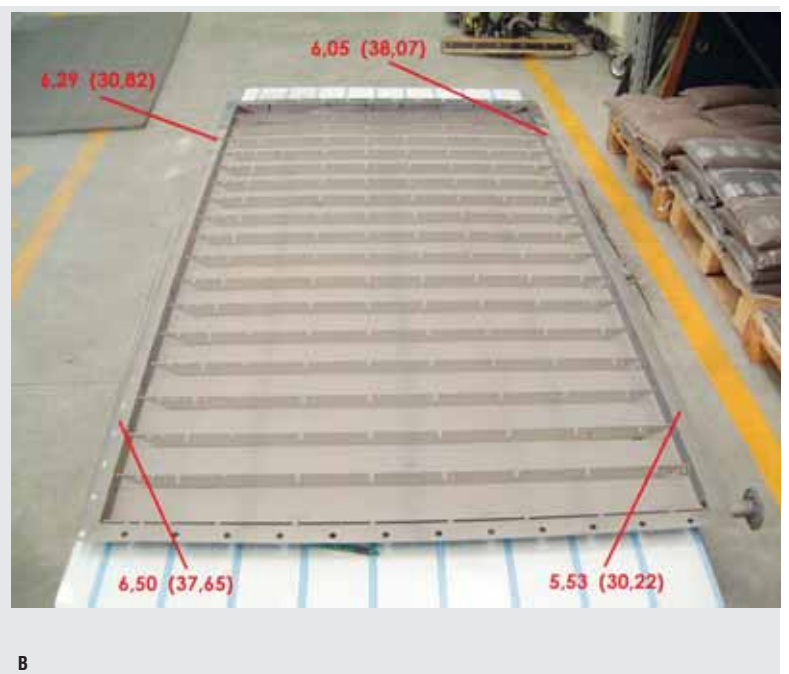
1. garantire sempre un'elevata qualità della superficie trattata;
2. orientare comunque le scelte per massimizzare la produttività.

L'attività di Ricerca&Sviluppo ha preso avvio con la verifica sperimentale di tutte le potenzialità della sabbiatura applicata al caso con-

re come fondamentali: forma, dimensione, peso specifico e durezza della graniglia; pressione e portata dell'aria compressa; portata di graniglia e tempo di esposizione al trattamento; distanza degli ugelli dalla superficie e angolo di impatto della graniglia.

Il *know-how* acquisto negli anni dalle aziende operanti nel settore diventa una base fondamentale da cui partire per garantire il successo di un qualsiasi progetto.

In questo caso, le conoscenze già disponibili in Norblast hanno consentito di proseguire nello sviluppo razionale dell'impianto di sabbiatura attraverso stadi di miglioramento progressivo, limitando il numero di prove e orientando in modo marcato la ricerca verso



**3. Grado di rugosità:**  
a) prima; b) dopo il trattamento.

creto, focalizzandosi in particolare sulle esigenze di: garantire l'asportazione dell'ossido; mantenere la rugosità a valori controllata; assicurare l'uniformità sulla superficie.

In questa fase sono state eseguite molte serie di prove comparate al fine di avere una base di dati sperimentali tali da poter orientare e giustificare le successive scelte progettuali e da mettere a disposizione dell'operatore quelle combinazioni dei parametri di lavorazioni che si sono dimostrati i più idonei al particolare caso applicativo.

### I parametri importanti nella sabbiatura

Il trattamento meccanico di sabbiatura è considerato da molti, erroneamente, come un processo semplice, a basso contenuto tecnologico. Ma questo deriva dal fatto di non aver mai provato a riflettere su quanti parametri possono concorrere a modificare il risultato. Per citarne solo alcuni, si può indica-

### Flash

La sabbiatura può rivelarsi una soluzione interessante per la rimozione degli ossidi dopo i processi di tempra e può essere attuata efficacemente con l'utilizzo di corindone o microsferi di vetro.

gli aspetti tecnologicamente non ancora ben conosciuti.

Le prime prove sono state finalizzate a verificare l'asportabilità degli ossidi. L'asportazione di ossidi avviene di solito, come si diceva, con corindone oppure con microsferi di vetro a seconda di quale graniglia raggiunge il miglior compromesso grado di finitura superficiale/costo per ogni specifica applicazione. Nel caso in esame, la stessa De Nora, aveva riportato tra le specifiche di progetto l'in-



## Tecnologie per la produzione di cloro, soda caustica e derivati

Fondato nel 1923, il Gruppo De Nora è largamente riconosciuto come il principale fornitore di tecnologie per la produzione di cloro, di soda caustica e loro derivati; ha assunto inoltre il ruolo di maggiore fornitore al mondo degli elettrodi *metal-coated* nobili per l'industria del *chlor-alkali* e per l'industria elettrochimica in generale. Il Gruppo ha costruito più di 500 impianti per la produzione di cloro e di soda caustica e per l'*electrochlorination* delle acque industriali in più di 60 paesi mantenendo un occhio sempre rivolto alle problematiche di risparmio energetico e

biocompatibilità.

Attraverso la joint-venture con la tedesca Uhde, il nuovo gruppo Uhdenora rafforza la propria posizione nel campo della tecnologia di elettrolisi con un *know-how* che la porta a sviluppare prodotti innovativi quali le celle a membrane elettrolitiche. In queste celle le lamiere in titanio, le reti in nichel sono i componenti essenziali con funzioni di anodo e catodo dove la perfetta planarità, la rugosità controllata e la mancanza di ossidi superficiali assumono un ruolo fondamentale per l'efficienza di impianto.



4. Prove di incurvatura:  
a) singola;  
b) doppia fila di pistole.

tenzione di utilizzo di corindone a granulometria R46 e R20 in accordo con le precedenti esperienze aziendali di sabbiatura. In Norblast la scelta è apparsa conforme con le conoscenze sul comportamento delle varie graniglie e così si è congelata la scelta della sabbia utilizzata negli esperimenti.

### Assicurare un'uniformità di trattamento nel tempo

Le lamiere presentavano ossidi di Rutenio e Iridio, conseguenti della fase di raffreddamento, per uno spessore valutato intorno ai 5-7 micron. Le prove di asportazione sono state realizzate sabbiando alcuni campioni della lamiera con parametri di lavorazione differenti e verificando la completa rimozione degli ossidi.

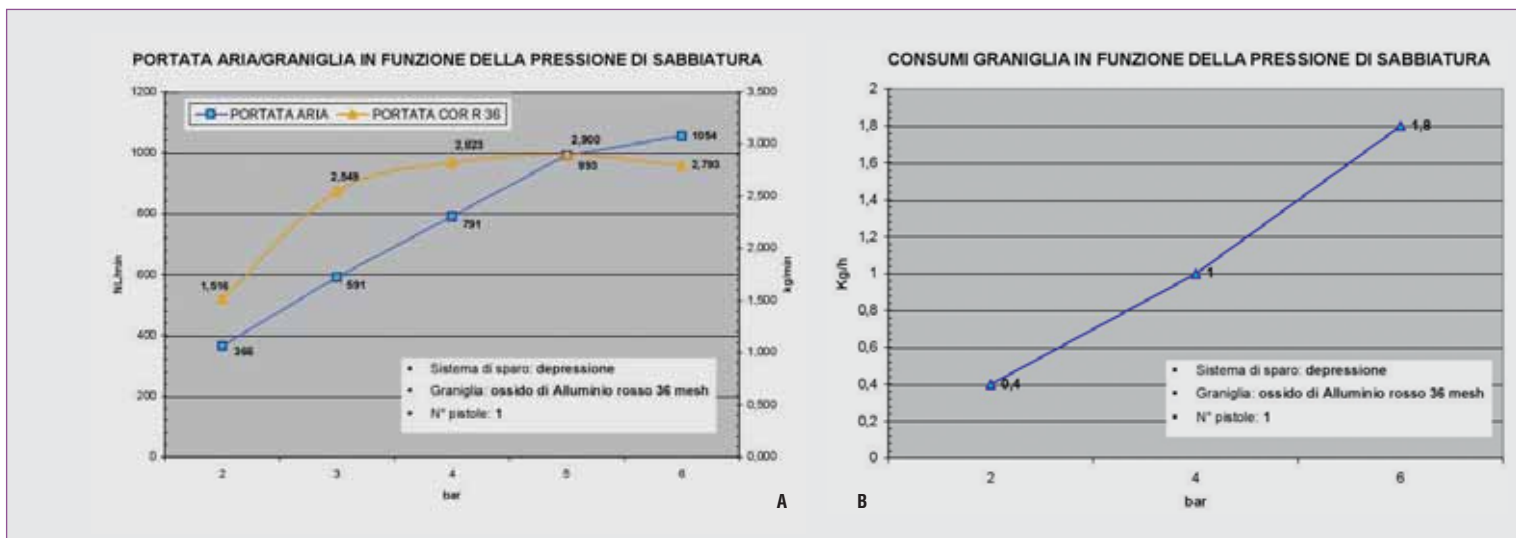
Gli ossidi in questione hanno colori particolarmente evidenti risultando ben visibili anche a occhio nudo ed è stato così semplice verificarne la loro completa asportazione

(Figura 2): i campioni sono stati sabbiati fino a quando il materiale è diventato uniforme e opaco (l'opacità è un effetto naturale del corindone che non comporta decadimenti funzionali del materiale).

Garantire una superficie di trattamento uniforme è stato un punto importante da risolvere, ma non nel significato più immediato del concetto: il vero compito è stato quello di assicurare un'uniformità di trattamento nel tempo, non tanto sulla geometria.

Perché due punti di una superficie presentino il medesimo grado di finitura, è sufficiente che un analogo flusso incidente di graniglia transiti su di essi per lo stesso tempo di trattamento. Ossia, per garantire la stessa qualità superficiale su due zone di lamiera abbastanza vicine, dato che le caratteristiche del flusso (pressioni, portate, geometrie ecc.) non dovrebbero variare in modo sensibile, se l'impianto ha opportuni sistemi di controllo a retroazione sui parametri di la-

## Tecnica



### Flash

L'asportazione di ossidi avviene, di solito, con corindone o con microsfere di vetro secondo quale graniglia raggiunge il miglior compromesso grado di finitura superficiale/costo per ogni applicazione.

voro impostati, sarà sufficiente fare in modo che il getto si fermi su quei punti per uno stesso tempo e l'uniformità spaziale resta garantita. Questo risultato è realizzabile attraverso considerazioni geometriche tenendo conto del movimento alternato delle pistole, del moto di avanzamento delle lamiera e del diametro della rosa di copertura di granigliatura (ossia la zona di circa 3 cm dove la sabbatura è più intensa e uniforme). Questo doppio movimento di ugello e lamiera porta a una traccia di sabbatura a zig-zag dove in ciascun punto le rose attive devono almeno essere tangenti. Da considerazioni di questo tipo discendono equazioni in grado di garantire l'uniformità spaziale delle superfici.

Un problema diverso è quello di garantire l'uniformità di trattamento nel tempo perché c'è la necessità di assicurarsi un flusso con proprietà (in particolare la sua granulometria) che non degradino troppo durante le ore di lavoro. Questa situazione è particolarmente delicata per il corindone che, molto duro, tende a frantumarsi con molta facilità trasformando rapidamente la graniglia in polvere. Con graniglie più fini si perde buona parte del potere di erosione iniziale e anche l'impianto ne risente in termini di efficienza e funzionalità. Questo effetto è ridotto attraverso l'adozione di soluzioni specifiche per il sistema di filtraggio e ricircolo della graniglia.

### Perfezionare la tecnica della granigliatura tramite testa rotante

In realtà il desiderio di assicurarsi un trattamento uniforme e di altissima qualità ha portato la Norblast ad affrontare con energia il problema, verificando soluzioni abbastanza innovative per il settore della sabbatura quali l'utilizzo di un ugello rotante. Si tratta di una testa rotante, spesso ad alta velocità, dove sono montati due o più ugelli che spruzzano graniglia con angolo di incidenza fissa sulla lamiera. I campi di applicazione più interessanti sono riferiti alla sabbatura interna di tubi di grosso spessore, dove la testa viene sfilata progressivamente dal tubo.

La Norblast ha già utilizzato questa tecnologia nella sabbatura di mattonelle dove il corindone, oltre a pulire uniformemente la superficie, conferisce un raffinato effetto antichizzante. L'ipotesi di adottare ugelli rotanti anche nella soluzione finale è stata scartata per motivi legati alla maggiore complessità di impianto (per esempio, ingombri maggiori per la diversa motorizzazione), ma anche per ragioni di usura.

La testa rotante ha una cuspidine interna che devia i flussi di corindone verso gli ugelli; questa cuspidine è soggetta a un'usura molto elevata per l'urto diretto della graniglia e neppure il carburo di tungsteno in cui è realizzata appariva garantire i livelli di affidabilità desiderati per l'impianto. Ma questo progetto si è rivelato comunque un'occasione perfetta per studiare e perfezionare la tecnica della granigliatura tramite testa ruotante.

### La giusta rugosità alla massima velocità

Garantita la completa e uniforme copertura della superficie, le specifiche sulla rugosità non hanno dato particolari problemi. Nelle applicazioni più comuni, i parametri di granigliatura sono impostati per tentare di ridurre

5. Prove di efficienza con misure di consumo:  
 a) portata;  
 b) di consumo di graniglia.



6. Dettaglio della cabina e del gruppo sparo.

Test	Rugosità		Velocità		Copertura
	Ra	Lamiera	Ugelli		
I	4.93	2.5	11.0		100%
II	5.21	3.1	14.0		100%
III	5.25	4.2	21.0		90%
IV	5.06	5.0	26.0		90%
V	4.96	3.1	16.0		100%
VI	5.05	4.2	25.0		90%

**T2. Prove di messa a punto dei parametri cinematici**

re al minimo la rugosità superficiale introdotta nel processo. Grazie a questa continua attenzione, le configurazioni di impianto standard portano a superfici con una rugosità di 2-3 Ra, al di sotto di quelle richieste (6-8 Ra). È stato così possibile, attraverso delle prove mirate, aumentare la velocità di movimento trasversale degli ugelli e di avanzamento assiale della lamiera per massimizzare la produttività pur mantenendo sotto controllo la rugosità e il tasso di copertura (Tabella 2). Le prove sono state realizzate su lamiere di titanio GR1 con rugosità iniziale di 0.28 Ra e le misurazioni con apposito rugosimetro (Figura 3).

**Un equilibrio che impedisce l'incurvamento**

L'ultimo passaggio per la verifica sperimentale della fattibilità del processo è stata la misura dell'incurvamento della lamiera durante la lavorazione. L'effetto di incurvamento è legato alla deformazione plastica che subisce la superficie bombardata a causa della nascita di stati di tensione residua di compressione. Quando il pallino colpisce la superficie, lascia su di essa una microammaccatura

permanente che, sommata al milione di altre porta a strati superficiali dilatati rispetto agli strati più profondi con l'effetto globale di incurvamento della lamiera. Oltre a quanto descritto, possono avvenire fenomeni di instabilità della lamiera durante le fasi di lavorazione, a causa degli urti elastici della graniglia che, agendo come un campo di pressione, può modificare e rendere instabile la lamiera. Si tratta ora di valutare il grado di incurvamento nel caso specifico di lamiere in titanio lavorate con quei parametri già definiti in precedenza.

Le verifiche sono state realizzate su campioni di dimensioni ridotte, sabbiate in condizioni differenti (numero di pistole utilizzato e loro disposizione, solo su un lato o sui lati opposti), e misurando la geometria attraverso calibri e sistemi di riferimento (Figura 4). La soluzione concettuale più ovvia per ridurre il problema dell'incurvamento è quella di sabbiare la lamiera in modo simmetrico sulle due superfici contrapposte. La lavorazione deve essere quanto più possibile identica e contemporanea, restano da trovare le soluzioni progettuali più idonee.

In particolare, già si configura l'idea di due linee di pistole contrapposte, simmetriche per disposizione rispetto alla lamiera, che si muovono all'unisono sabbiando in modo identico le due facce.

Esistono due possibili disposizioni geometriche di impianto: le lamiere possono entrare nella cabina di lavorazione adagiate con movimento delle pistole sul piano orizzontale su un piano oppure alzate con pistole mosse sulla verticale. Entrambe le soluzioni appariva-



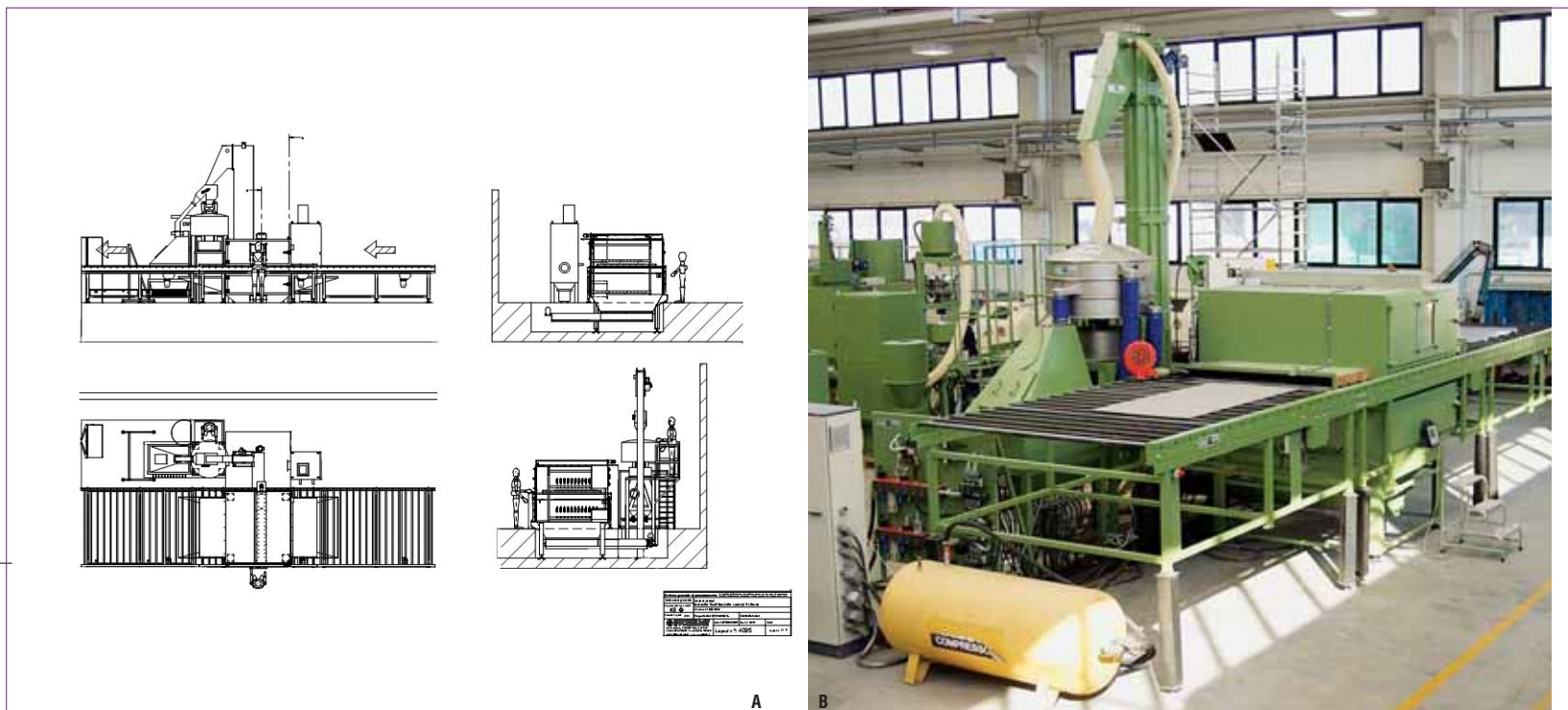
## Tecnica

### Flash

La fase di progettazione costruttiva si è conclusa con lo sviluppo di un impianto di sabbiatura ad aria compressa da 10 kW, con cabina di lavoro e banco rullante per le operazioni di carico e scarico.

agiscono sulla produttività e a determinare il numero ottimale di pistole. Riguardo alle velocità di traslazione in camera di lavoro, ci si orienta verso una progressione lenta del trattamento, con lamiere che avanzano a circa 0,1 m/min e ugelli che traslano a 0,7 m/min. La progressione della lavorazione è scelta come continua, non a scatti, come in alcune soluzioni commerciali per il trattamento superficiale della lamiera.

Con conti e prove alla mano, la direzione tec-



no fattibili, ma si è optato per quella più semplice e classica con lamiere trasportate su rulli e due file di pistole, quelle superiori rivolte verso il basso, quelle inferiori che sparano verso l'alto.

Con tale disposizione, per continuare a garantire l'uniformità di lavorazione diventa fondamentale compensare il diverso modo di lavorare delle pistole e la differente caduta di potenziale gravitazionale.

#### Perfezionare il gruppo-sparo definendo il numero ottimale di pistole

L'attività di progettazione concettuale della sabbiatura è terminata e si tratta ora di perfezionare il gruppo sparato, definendo in particolare, il numero ottimale di pistole, un valore che dipende molto dalla produttività desiderata.

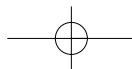
Dopo alcune valutazioni teoriche legate, come si diceva, al rispetto della rugosità desiderata e alla necessità di superfici uniformi, e dopo una serie di prove sperimentali per misurare i consumi di graniglie e di aria (Figura 5), si riesce a definire un set di parametri che

nica sceglie per un sistema a 24 ugelli, 12 per ogni fila contrapposta (Figura 6). Il numero di ugelli è stato mantenuto leggermente più alto rispetto alle reali necessità perché si è preferito che la macchina lavorasse in sicurezza, con corse e velocità minori nel sistema sparato che, in sostanza, significa una maggiore versatilità della macchina, in grado, se richiesto, di aumentare la produttività oppure, al contrario, intensificare la lavorazione.

#### Soluzioni particolari potenziano le prestazioni

Passaggio finale è stato quello di realizzare il vero e proprio impianto sommando a tutte le particolarissime indicazioni tecniche già emerse, quelle soluzioni costruttive che si rendono indispensabili per un impianto così fuori dalla norma.

Gli aspetti delicati da tener in conto sono stati tanti e variegati, come ad esempio: l'impianto è previsto funzionante in continuo per un numero elevato di ore con il minimo di manutenzione e di interventi dell'operatore; le fasi



7. Impianto di sabbiatura con cabina di lavoro e banco rullante per le operazioni carico e scarico:  
a) schema;  
b) vista dell'impianto.



8. Dettagli di impianto:  
a) sistema di ricircolo graniglia;  
b) display sistema di controllo.

di caricamento e scaricamento sono per ora manuali, con possibilità di automatizzarle, ma soprattutto, con la necessità di movimentare pezzi di dimensioni elevate e variabili.

Tra le tante soluzioni progettuali proposte vanno ricordati gli stratagemmi adottati per limitare al massimo l'usura dei componenti, i meccanismi di sparo in depressione per garantire il funzionamento in continuo della macchina, l'adozione di una rulliera di carico e scarico con 11 m lineari movimentata, la realizzazione di un sistema di controllo dell'impianto molto complesso e raffinato (Figura 8a).

La fase di progettazione costruttiva si è conclusa con lo sviluppo di un impianto di sabbiatura ad aria compressa da 10 kW, con cabina di lavoro da 2.000 x 2.200 x 1.800 mm e banco rullante per le operazioni carico e scarico (Figura 7). Il gruppo sparo prevede 24 pistole in poliuretano che funzionano per depressione, con ugelli in carburo di tungsteno nella fase terminale, per garantire la massima resistenza a erosione. Gli ugelli sono allineati simmetricamente sopra e sotto la lamiera e movimentati simultaneamente da un attua-

tore elettronico. Le regolazioni sono tali da compensare le differenti perdite di carico per fornire un flusso di graniglia uniforme e costante: questa accortezza, unita alla grande precisione di tutto il sistema, garantisce una pressione omogenea sulle superfici lavorate riducendo l'effetto di incurvamento al di sotto del parametro critico.

Per movimentare e smaltire l'enorme quantità di graniglia necessaria a garantire l'elevata produttività, si sono adottate soluzioni particolari che potenziano le prestazioni (Figura 8b) come l'accoppiamento funzionale di due impianti pneumatici con circuiti indipendenti, lo sviluppo di un sistema ad hoc per il recupero e la setacciatura della graniglia costituito da più tramogge, una coclea di trascinamento, l'elevatore a tazze, un vibroventaglio e un aspiratore a quattro cartucce. ■

*Qualifica autori*  
Cristiano Fragassa, Dipartimento Ingegneria Meccanica – Università di Bologna;  
Luis Valentinotti, reparto Ricerca e Sviluppo, Norblast.

