

Misuratori laser nell'industria siderurgica

Marco Capitanio, Alberto Giacomelli

Il presente lavoro vuole essere una breve introduzione al sistema di automazione di linee taglio al volo per laminatoi di prodotti lunghi (long products rolling mills) con sistemi di pre-ottimizzazione, ottimizzazione e chiusura d'anello con retroazione da misuratori laser.

Lo scopo di tale sistema è di ridurre gli scarti aumentando la produttività d'impianto, evitare la presenza in placca di raffreddamento di spezzoni con lunghezze non accettabili e quindi diminuire gli interventi umani per attività particolarmente gravose.

Il sistema è nato grazie all'esperienza derivante dalla collaborazione quasi trentennale di Automazioni Industriali Capitanio (Aic) con i costruttori di laminatoi per prodotti lunghi. L'automazione è basata sul Plc ControlLogix di Rockwell Automation ed è realizzata utilizzando esclusivamente componenti standard di facile reperibilità sul mercato.

Il cliente finale è quindi completamente autonomo, per quanto riguarda la manutenzione e l'eventuale espansione futura dell'impianto. L'automazione proposta è inoltre indipendente ed interfacciabile con qualsiasi tipo di azionamento analogico o digitale, rappresentando perciò una scelta sicura anche in previsione di ammodernamenti o revamping da realizzare in fasi successive.

Il processo di laminazione

Il processo in esame inizia con il riscaldamento delle billette in un forno di riscaldamento fino ad una temperatura sufficiente a consentirne la laminazione. Le billette in uscita dal forno vengono fatte passare nella linea di laminazione costituita da una serie di gabbie orizzontali e verticali (figura 1).

Ad ogni passaggio attraverso i cilindri delle gabbie, il materiale subisce uno schiacciamento e una conseguente riduzione di sezione. A tale riduzione di sezione corrisponde un aumento di velocità lineare per mantenere la portata di materiale costante. Proprio la regolazione di velocità delle gabbie di laminazione rappresenta uno dei processi da controllare in questo tipo d'impianti. Infatti, la qualità e la precisione ottenuta sul prodotto finito dipendono in buona parte dalla precisione del sistema di controllo che deve regolare la velocità di



Figura 1 - Laminatoio a caldo per prodotti lunghi

rotazione delle singole gabbie in modo tale da evitare trazioni o schiacciamenti eccessivi del materiale. All'uscita dall'ultima gabbia di laminazione, detta gabbia finitrice, il prodotto laminato viene tagliato "al volo" al fine di ottenere barre di lunghezza pari ad un multiplo della misura finale voluta. Le barre vengono frenate e depositate su una placca di raffreddamento per poi essere tagliate nuovamente da una cesoia a freddo e confezionate in fasci. I fasci prima di essere evacuati devono essere pesati e codificati, per una completa rintracciabilità del prodotto finito. Il sistema di controllo integra, oltre alla gestione della velocità delle gabbie di laminazione, anche la gestione delle cesoie, sia rottamatrici che taglio a misura (figura 2) e taglio a freddo.

È proprio questa gestione integrata che permette l'implementazione di algoritmi di ottimizzazione del taglio a misura. L'ottimizzazione consente la riduzione degli scarti e l'eliminazione degli spezzoni non voluti, variando la lunghezza del-



Figura 2 - Cesoia start-stop

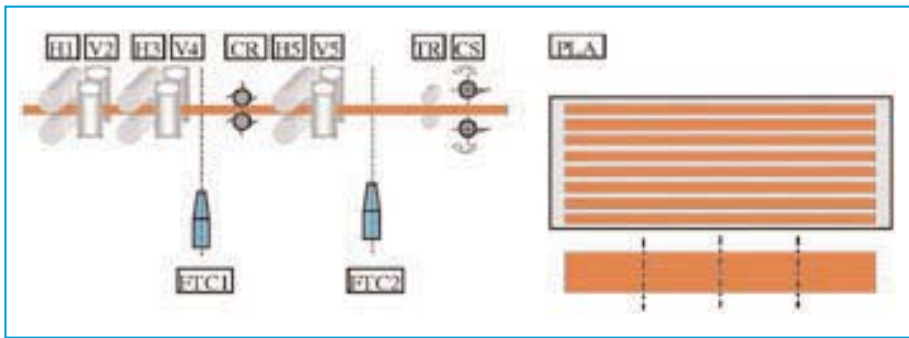


Figura 3 - Layout semplificato laminatoio tradizionale

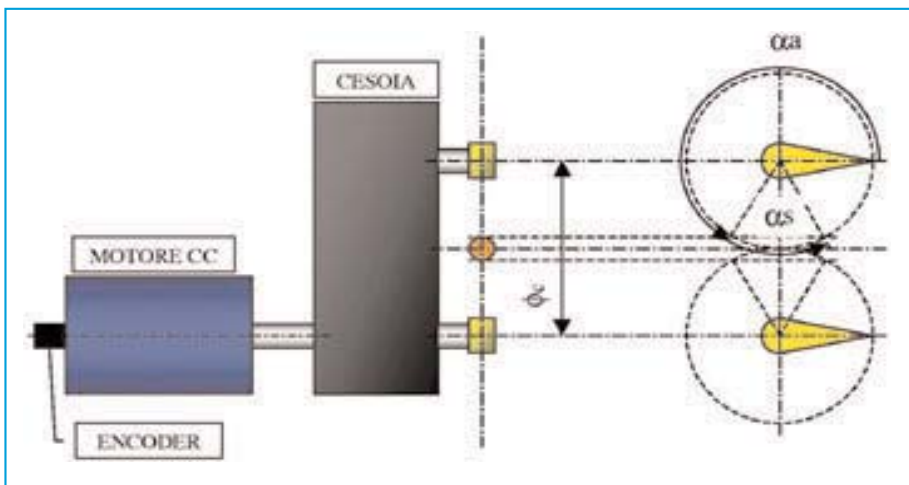


Figura 4 - Cesoia Start/Stop

la rottamazione di coda sulle cesoie intermedie, in funzione della lunghezza impostata per il taglio a freddo finale. In figura 3 è rappresentato schematicamente il layout semplificato di un laminatoio tradizionale. Con H e V sono indicate le gabbie di laminazione orizzontali e verticali. CR indica la cesoia rottamatrice intermedia, TR il trascinatore monte cesoia e CS la cesoia per il taglio al volo.

Il taglio al volo nel sistema in oggetto è realizzato tramite una cesoia "start-stop" movimentata da un motore in corrente continua (figura 4). Il motore è accoppiato alla macchina tramite un riduttore ed è provvisto di un encoder incrementale

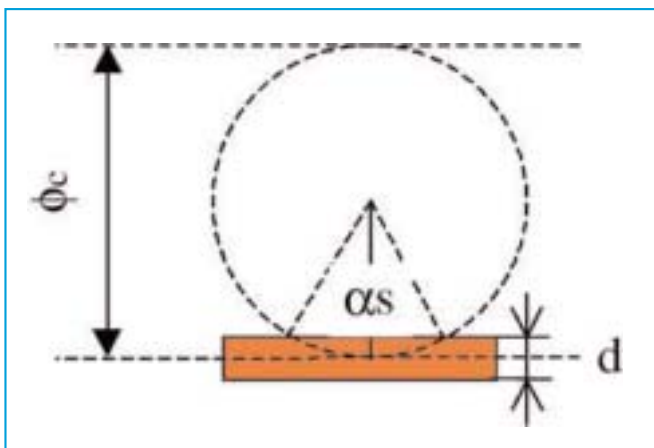


Figura 5 - Angolo di sincronismo

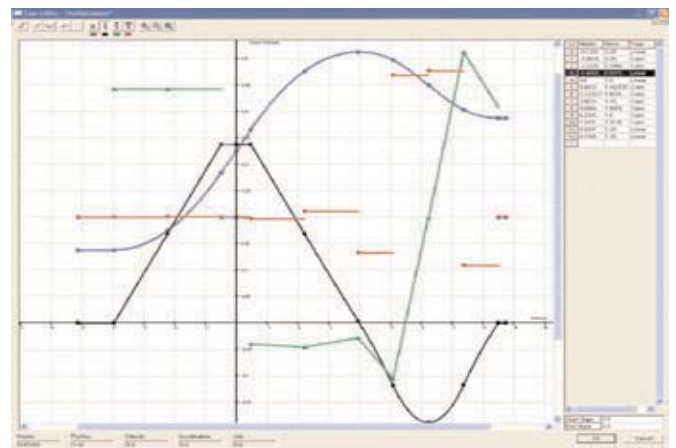


Figura 6 - Cam Editor

montato sull'albero. La prima funzione di base del sistema di controllo del taglio a misura è il controllo accurato della posizione dei coltelli. Il calcolo della traiettoria da far seguire alla macchina è di fondamentale importanza e deve essere considerato fin dalle primissime fasi di progettazione, per la corretta scelta del motore.

Non è assolutamente vero che la scelta di un motore sovradimensionato sia sempre la migliore. È, infatti, di fondamentale importanza per il dimensionamento del sistema considerare il rapporto inerzia-potenza.

Quindi la scelta ricade su motori appositamente costruiti per tali applicazioni che forniscono potenze elevate pur avendo una costruzione compatta ed un momento d'inerzia contenuto.

I parametri necessari per il dimensionamento del motore sono i seguenti:

- Interasse coltelli ϕ_c .
- Velocità massima laminato.
- Rapporto di riduzione tra asse motore e asse coltelli.
- Momento di inerzia cesoia.
- Lunghezza minima di taglio.
- Diametro laminato d .
- Angolo di arresto.

- Angolo di sincronismo α_s . L'angolo di sincronismo corrisponde all'angolo in cui la velocità periferica dei coltelli della cesoia deve essere sincrona con la velocità del laminato per garantire un taglio netto con deformazioni minime del materiale. L'angolo di sincronismo è strettamente legato alla sezione massima del materiale che si vuole tagliare.

Dalla figura 5 si ricava che l'angolo di sincronismo minimo vale. Il sistema, in base ai parametri impostati si calcola la traiettoria che l'asse cesoia deve compiere relativamente alla posizione dell'asse master che è un feed back della posizione del materiale. Tramite il tool "Cam Editor" incluso nel pac-

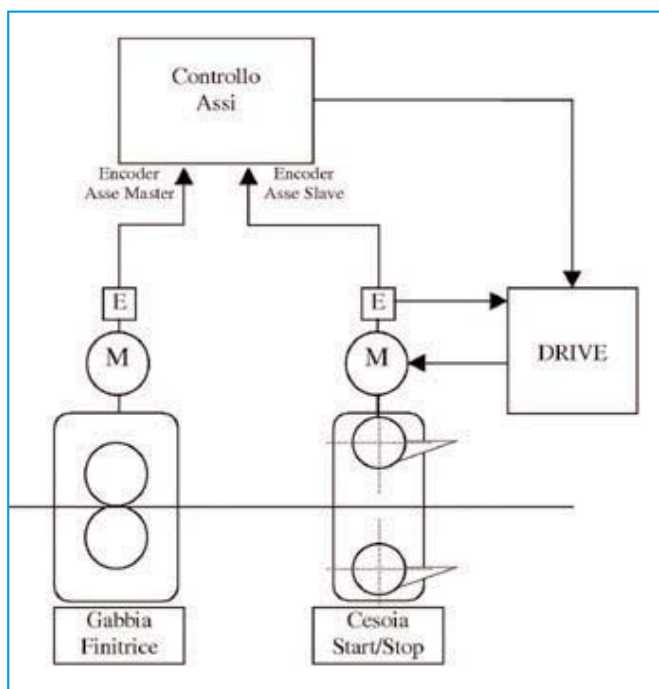


Figura 7 - Schema a blocchi controllo tradizionale

chetto di programmazione (figura 6), è possibile visualizzare graficamente le curve di posizione, velocità, accelerazione e jerk calcolate. Nei sistemi tradizionali, la posizione dell'asse master è rilevata tramite un encoder montato sulla gabbia finitrice oppure sul trascinatore a monte cesoia. In entrambi i casi esistono delle controindicazioni.

Nel caso della gabbia finitrice si ha una scarsa precisione per gli ultimi tagli di coda. Infatti, quando il materiale esce dalla gabbia finitrice può essere accelerato o frenato dai dispositivi a valle, perciò il riferimento di posizione ricavato dal finitore non è più sufficientemente preciso. Il trascinatore invece, pur non presentando il problema sopra menzionato, non può essere sempre utilizzato in quanto, essendo a contatto con il materiale, può causare delle imperfezioni sul materiale stesso. Tale deformazione può essere comunque tollerata se il prodotto finito è tondo per cemento armato, ma non se si tratta di acciai speciali. È proprio in questi casi che può essere

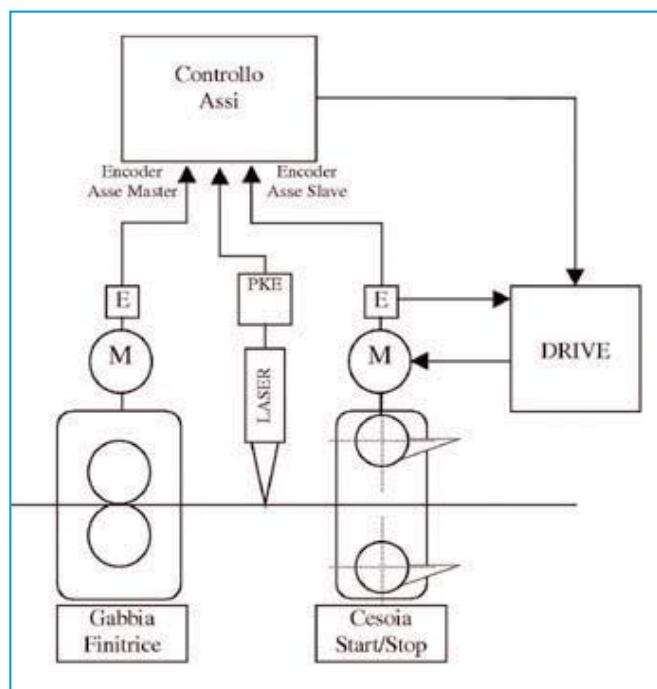


Figura 8 - Schema a blocchi controllo con retroazione laser

giustificata l'adozione di un misuratore laser da cui prelevare la retroazione di posizione del materiale. Il misuratore laser fornisce al sistema di controllo un segnale del tutto identico a quello generato da un encoder incrementale. Per tale ragione non presenta particolari problemi di gestione. Infatti, il segnale restituito è rappresentato da due onde quadre sfasate di novanta gradi a frequenza proporzionale alla velocità d'avanzamento del materiale. Tale segnale è del tutto compatibile con il sistema di controllo assi e può essere collegato direttamente senza bisogno di condizionamenti ulteriori.

La retroazione di posizione proveniente dal laser ha l'enorme vantaggio di non necessitare di contatto con il materiale, perciò non provoca alcun'alterazione meccanica del prodotto. La testa laser deve essere posta a distanza fissa dal laminato compresa tra 0,5 m a 2 m, a seconda del sensore scelto (figura 9). La tolleranza nel posizionamento è di ± 5 cm. Nella figura è rappresentata una soluzione in cui il laser è utilizzato come elemento attivo del sistema di controllo fornendo esso stesso il feed back di posizione in alternativa a quello proveniente dalla gabbia finitrice. Nei casi in cui la precisione deve essere assoluta e garantita, è possibile utilizzare un secondo dispositivo laser posto a valle della cesoia per misurare l'effettiva lunghezza delle barre in arrivo in placca.

Il secondo sensore laser fornisce una misura diretta della lunghezza delle barre tagliate. Il laser è montato tra due fotocellule poste a distanza fissa. Quella a monte del sensore (Ftc1) è la fotocellula di stop conteggio e quella a valle (Ftc2) è la fotocellula di start conteggio. Il contatore veloce che riceve gli impulsi dall'unità laser è azzerato sul fronte di salita della Ftc2 e campionato sul fronte di discesa della Ftc1. Sommando al valore campionato la distanza tra le due fotocellule si ottiene una misurazione molto accurata della misura della barra transitata sotto il sensore.



Figura 9 - Misuratore laser

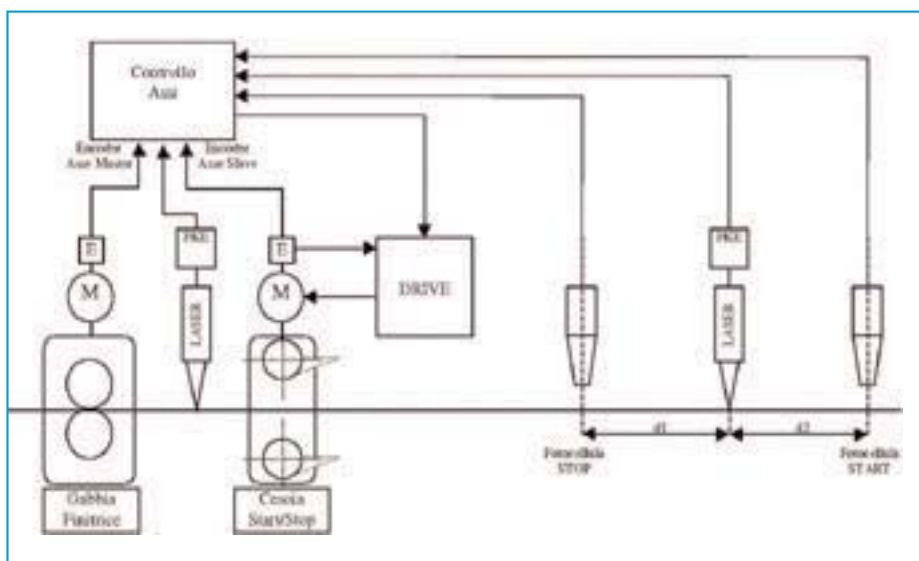


Figura 10 - Schema a blocchi controllo con retroazione e misurazione laser

Caratteristiche del misuratore laser	
Tipo laser:	HeNe
Lunghezza d'onda:	632,8 nm, rosso, visibile
Potenza:	5 mW
Frequenza impulsi:	onda continua
Dimensione spot:	8 mm x 1 mm
Classe:	3B

Specifica tecnica	
Range di misura:	± 50 m/s
Lunghezza:	selezionab., risoluz. minima 10 mm
Distanza dal materiale:	1000 mm \pm 50 mm
Accuratezza:	$\pm 0,05\%$
Ripetibilità:	$\pm 0,01\%$
Uscita:	10 μ m/impulso con canale singolo, 40 μ m/impulso con due canali sfasati di 90°

L'impiego delle due fotocellule consente, infatti, di minimizzare l'errore dovuto ai transitori d'inizio e fine conteggio, dovuti all'eventuale malformazione o disallineamento della testa e della coda della barra.

Principio di funzionamento

Il raggio generato dal laser He/Ne viene separato in due raggi della stessa intensità tramite un elemento ottico. I due raggi

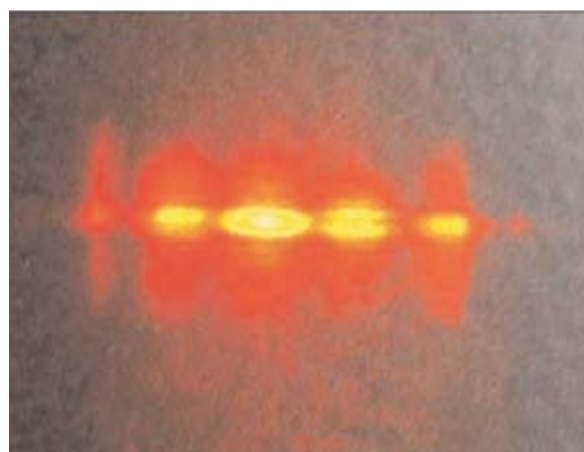


Figura 11 - Spot laser

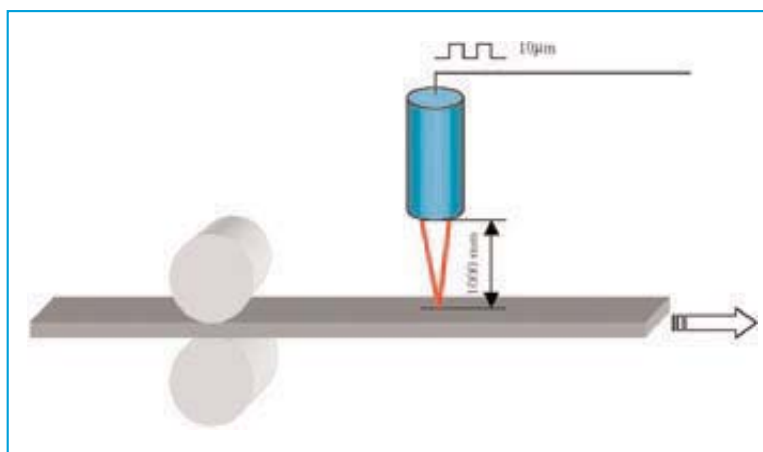


Figura 12 - Sensore laser

sono allineati in modo tale da sovrapporsi nella zona di misurazione. Essi formano una regione d'interferenza caratterizzata da aree chiare e scure. La distanza tra le frange d'interferenza dipende dall'angolo tra i raggi e la frequenza del laser stesso. La distanza fisica tra le frange è pari a 10 μ m. Se il materiale transita sotto il raggio laser ad una velocità di 1 m/s, il ricevitore ottico rileva una frequenza Doppler pari a 100 kHz.

Preottimizzazione

La preottimizzazione consiste nel variare il taglio di rottamazione della cesoia intermedia, per ottenere una coda in placca di lunghezza pari ad un multiplo del taglio a freddo. Rottamando uno spezzone di coda di lunghezza opportuna sulle cesoie intermedie è possibile eliminare gli spezzi di lunghezza inferiore al minimo accettato. Il sistema, per stimare la lunghezza della coda che si otterrà in placca per la billetta in corso, si basa su misurazioni effettuate sulle billette precedenti. Questo significa che la bontà e la precisione del sistema dipendono principalmente dalla ripetibilità delle condizioni di laminazione.

Il sistema è comunque in grado di segnalare la presenza di eventuali variazioni sulla laminazione e di adattarsi automaticamente alle nuove condizioni non appena il processo si stabilizza. L'ottimizzazione del taglio a misura consiste nel decurtamento dell'ultimo taglio a misura nei casi in cui la coda barra risultasse troppo corta per essere gestita. Supponiamo di aver impostato i seguenti parametri:

- Lunghezza Taglio a Misura $L_{tm} = 60$ [m]
- Lunghezza Minima Taglio a Misura $L_{tm_min} = 48$ [m]

- Lunghezza Minima Ultima Barra $L_{ut_min} = 24$ [m]
- Lunghezza Taglio a Freddo $L_{tf} = 12$ [m]
- Lunghezza Minima Barra Accettata nel Fascio $L_{tf_min} = 10$ [m]
- Lunghezza Coda Non Ottimizzata L_c
- Lunghezza Penultima Barra L_{pb}
- Lunghezza Coda Ottimizzata L_{c_ott}
- Lunghezza Equivalente Spezzone Rottamato da cesoia intermedia L_{rot} .

L_c [m]	L_{pb} [m]	L_{c_ott} [m]	L_{rot} [m]
1	60	60	1
2	60	60	2
3	60	60	3
4	60	60	4
5	60	60	5
6	60	60	6
7	60	60	7
8	60	60	8
9	60	60	9
10	48	22	0
11	48	23	0
12	48	24	0
13	48	24	1
14	48	24	2
...
20	48	24	8
21	48	24	9
22	48	34	0
23	48	35	0
24	60	24	0
25	60	24	1
26	60	24	2
27	60	24	3

L'algoritmo di ottimizzazione produrrà i risultati illustrati qui accanto. Per ovviare al problema della ripetibilità necessaria ad una preottimizzazione efficace si è introdotto l'utilizzo di un misuratore laser con tecnologia a triangolazione per la misura online del processo.

Tale strumento misura in tempo reale l'effettiva lunghezza della barra consentendo una retroazione immediata al sistema che si autoregola già al passaggio della barra successiva. Tale opzione si rivela di fondamentale importanza durante il set up della linea dopo il cambio produzione poiché consente un'immediata ottimizzazione delle

barre tagliate a misura. Per i grossi profili e per i lotti molto piccoli di produzione i vantaggi sono evidenti con sistemi che non richiedono numerose billette prima di un set up corretto della linea. In conclusione l'ottimizzazione dei tagli consente una notevole riduzione degli scarti di produzione aumentando l'efficienza ed il rendimento degli impianti. L'aspetto più importante risulta però la qualità del lavoro degli operatori. L'assenza di spezzoni non accettabili in placca permette infatti di non avere personale addetto alla rimozione degli stessi in condizioni di lavoro molto gravose.

Si consideri che questo lavoro è tipicamente fatto "a mano" dagli operatori con temperature di centinaia di gradi e pesi anche notevoli da movimentare. Il lavoro viene quindi ridotto ad un controllo a supervisore (Hmi) dell'andamento del processo e all'impostazione dei parametri di lavoro. Poiché il sistema è completamente automatizzato inoltre tutti i parametri sono salvabili su ricette e richiamabili a piacimento; questo consente set up linea più veloci e la creazione di archivi storici come know how di patrimonio aziendale. ■