

# Vantaggi del riscaldamento ad induzione, nuove possibilità di efficienza e flessibilità per i laminatoi per prodotti lunghi

A. Lainati

*Il presente articolo illustra alcune soluzioni di riscaldamento ad induzione per laminatoi. Le tecnologie di riscaldamento ad induzione hanno diverse opportunità di applicazione nei laminatoi per prodotti lunghi. Le evoluzioni attuali dei sistemi di controllo di potenza e dell'automazione di processo, integrate con sempre più accurati modelli termomeccanici, offrono vantaggi operativi certi in termini di qualità del prodotto laminato, di efficienza, flessibilità e compattezza dell'impianto.*

**Keywords:** Acciaio - Fatica per contatto a rotolamento - Laminazione - Tratt. termici - Proc. termomeccanici - Modellazione - Controllo processi - Impianti e attrezzature - Simulazione numerica - Energia - Processi - Tecnologie

## INTRODUZIONE

Alcune soluzioni impiantistiche che prevedono l'uso di sistemi di riscaldamento ad induzione sono già di comune applicazione, ma hanno comunque un potenziale di ulteriore miglioramento, altre sono tuttora oggetto di sviluppo prototipale e potranno essere presto introdotte su scala industriale. Tra le più significative aree di applicazione delle tecnologie di riscaldamento ad induzione si evidenziano l'ottimizzazione del ciclo di riscaldamento delle billette, il controllo accurato del profilo termico della barra nel treno di laminazione e il riscaldamento selettivo nelle aree di trattamento e di finitura del prodotto. Questo articolo illustra alcune delle soluzioni progettate e applicate da Siemens in collaborazione con ABP GmbH.

## DISCUSSIONE

Il mercato per prodotti lunghi è caratterizzato da una straordinaria varietà tecnica di dimensioni e forme, con una produzione su scala mondiale raddoppiata negli ultimi 10 anni e soggetta a continue sfide tecnologiche riguardo ai requisiti di qualità e ai costi di trasformazione. Nel futuro ci si aspetta un'ulteriore leggera crescita dei volumi di

produzione, con un sempre più marcato spostamento di attenzione dai volumi di produzione ad obiettivi di qualità ed efficienza operativa.

La catena di produzione dei prodotti lunghi è sempre più esposta alle anomale fluttuazioni del costo del materiale e dell'energia. Di conseguenza, per mantenere sufficienti margini operativi, i produttori devono necessariamente investire in soluzioni volte ad ottimizzare i costi di trasformazione del prodotto.

Le sfide tecnologiche ed economiche nella produzione dei prodotti lunghi riguardano l'ottimizzazione energetica, l'impatto ambientale, il perfezionamento della qualità del prodotto as-rolled, la resa metallica di trasformazione e in generale la logistica di processo. Queste sfide portano i produttori a ricercare soluzioni per linee di produzione compatte, equipaggiate con gruppi di macchine di processo ultra-efficienti che operano come veri e propri "centri di lavoro" gestiti da logiche di controllo intelligenti che consentono ad esempio settaggi in auto-adattamento dinamico.

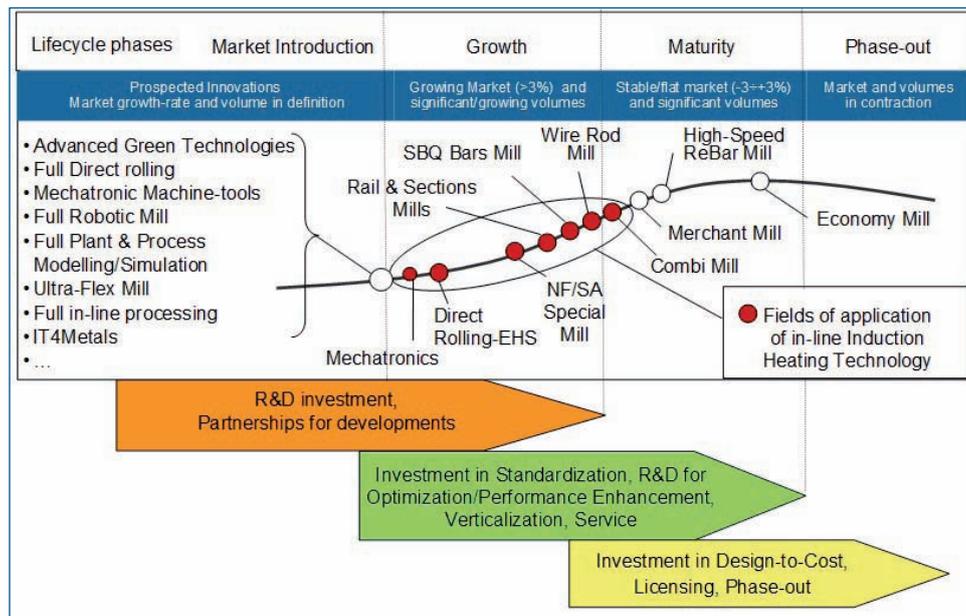
È evidente che le varie tipologie di impianto per prodotti lunghi hanno contenuti tecnologici a vari livelli e garantiscono diversi margini operativi in funzione di molti fattori locali e globali. Ci sono settori basati su tecnologie molto consolidate ma che tuttavia possiedono ulteriori margini di miglioramento nella performance e nell'efficienza operativa, settori con ampie opportunità di espansione tecnologica e altri invece con livelli di produzione saturi e ridotti margini di intervento. In questo scenario di continua sfida tecnico-economica, un significativo contributo può venire dalle competenze e dalle applicazioni di aree industriali contigue a quelle della laminazione. Il modello di innova-

**Alberto Lainati**

Head of Technology and Innovation  
Siemens Vai Metals Technologies Srl  
Marnate, Italia

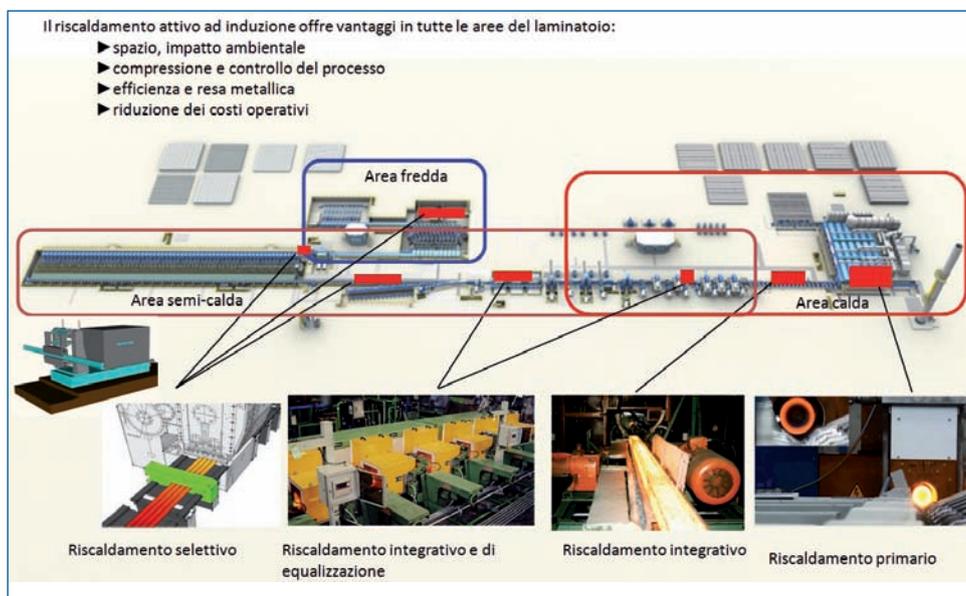
**Fig. 1 – Diagramma life-cycle delle tecnologie di impianto per prodotti lunghi e campi di applicazione della tecnologia di riscaldamento ad induzione**

*Fig. 1 – Life-cycle curve of Long Product Plant Technologies and field of application of in-line Induction Heating Technology*



**Fig. 2 – Tipico layout d'impianto con possibili localizzazioni delle stazioni di riscaldamento ad induzione**

*Fig. 2 - Reference rolling mill layout with possible locations of in-line induction heating stations*



zione “connect&develop” apre nuove strade alla progressione tecnologica e all’incremento della performance operativa anche per le tipologie di laminatoi più tradizionali. A questo proposito, la tecnologia di riscaldamento ad induzione (*In-line Induction Heating Technology - IIHT*) è un potente strumento per l’ottimizzazione di alcuni aspetti tecnologici ed economici in molte tipologie di impianti per prodotti lunghi. La figura 1 dà evidenza di questo, indicando i settori di attuale applicazione del riscaldamento ad induzione: la posizione e il numero di tali settori sul diagramma life-cycle tecnologico evidenzia l’importanza e le grandi opportunità esistenti.

Il diagramma life-cycle sopra riportato è un prospetto generale dove possibili varianti legate soprattutto all’area geografica e a fattori di mercato possono modificare qualche posizione. È tuttavia evidente che la tecnologia IIHT può essere impiegata in numerose applicazioni per diversi tipi di impianto quale potente strumento per l’ottimizzazione di

aspetti chiave tecnologici ed economici.

I fattori che promuovono l’efficienza in un impianto devono essere identificati e quantificati lungo tutta la linea, dall’ingresso del treno di laminazione al prodotto finito; la gestione termica ed energetica del prodotto laminato e la sua resa metallica sono tipici fattori di “inefficienza” su cui cercare ottimizzazioni.

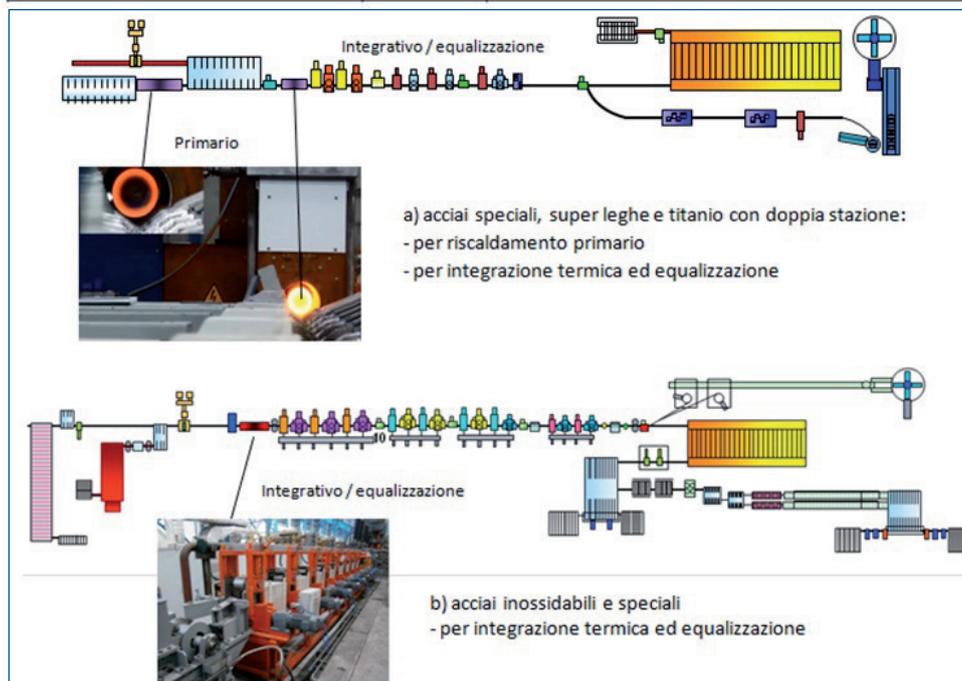
La tecnologia IIHT, oggi disponibile ed adattabile a quasi tutti i tipi di forma, dimensione e grado di materiale, può essere utilizzata in diversi punti di un laminatoio, sia di nuova installazione che negli interventi di modernizzazione sulle linee esistenti:

- nell’area a caldo all’ingresso del treno per un riscaldamento totale, integrativo o di equalizzazione delle billette, dei blumi e dei pre-sagomati, incluse le applicazioni con alimentazione diretta, sia continua che semi-continua, dalla linea di colata (es. WinLink® e Siroll EHS);
- nelle altre aree calde lungo il treno, ad esempio per la

FATTORE	senza IH	con IH
Potenza termica richiesta dal forno a combustibile fossile (consumo di rif.to 250-400 kWh/t)	12-80 MW	riduzione fino a 40% con EHS, fino a 80% con idRHa+, fino a 100% con WinLink
Potenza elettrica richiesta dal riscaldamento per induzione (consumo di rif.to 60-120 kWh/t)	4-25 MW	l'aumento rappresenta il 5-20%, va dedotto dalla riduzione di potenza termica
Perdita di scaglia per ossidazione	0.5-2 %	riduzione fino a 80%, corrispondente ad un aumento fino a 1.6% della capacità produttiva annua
Resa metallica	95-98 %	aumento 0.25-1% della capacità produttiva annua
Lunghezza complessiva dell'impianto	n * 100 m	riduzione fino a 25%, risparmi nelle opere civili, capannoni, infrastrutture e sistemi fluidi
Variatione del profilo termico della barra (sulla sezione ed in lunghezza)	fino a 150 °C	controllabile entro $\pm 20$ °C, tolleranze ripetibili, minori carichi di laminazione, struttura metallurgica uniforme e controllata
Costo di trasformazione per trattamento fuori linea e post-processo	n * 100 €/t	risparmi fino a 50 €/t
Impronta del Carbonio (rif.to CO <sub>2</sub> 50 kg/t)	CO <sub>2</sub> 2.5-13 t/h	riduzione fino a 50%

**Fig. 3 – Parametri operativi di un laminatoio e possibili vantaggi dell'applicazione della tecnologia ad induzione.**

*Fig. 3 – Efficiency rating factors of a rolling mill and possible gain by use of in-line induction heating*



**Fig. 4 – Esempi di installazione di unità di riscaldamento ad induzione in laminatoi per acciai speciali**

*Fig. 4 – Examples of installation of in-line Induction Heaters in special rolling mills*

regolazione dinamica della temperatura della barra, e della sua equalizzazione tra testa e coda (es. saldatrice billette ERT, laminatoi per acciai di qualità e speciali con treno continuo o semicontinuo) e per la compressione e l'ottimizzazione del processo di trasformazione (es. tempra di solubilizzazione in linea, tecnologia idRHa+ per l'indurimento della rotaia);

- nell'area a freddo all'uscita del treno per la compressione e l'ottimizzazione dei processi di finitura (es. taglio a freddo, cassoni di raffreddamento lento, rinvenimenti e distensioni tipo pack-annealing).

Alcune soluzioni con IIHT sono già applicate industrialmente, altre sono tuttora in fase concettuale o prototipale.

A titolo esemplificativo, la figura 2 mostra le tipiche aree di processo di un laminatoio con la possibile localizzazione delle unità di riscaldamento ad induzione. La figura 3 elenca, invece, alcuni parametri operativi di riferimento di un laminatoio per prodotti lunghi in termini di potenza termica ed elettrica, resa metallica e layout dell'impianto, con i relativi

margini di miglioramento tecnico ed economico ottenibili grazie all'uso della tecnologia IIHT.

Si può notare che i miglioramenti ottenibili sono piuttosto significativi e che conseguentemente possono offrire l'opportunità di un rapido ritorno dell'investimento.

Le figure 4 e 5 illustrano i layout schematici di alcuni laminatoi progettati da Siemens dove IIHT è stata utilizzata con successo:

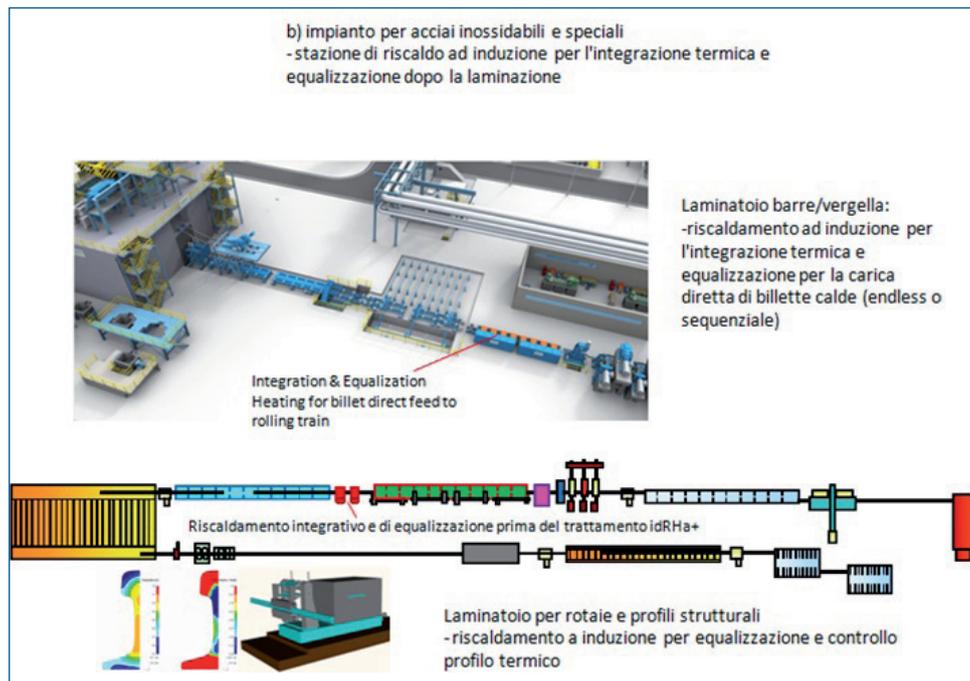
- impianto per barre e vergella per acciai speciali e super leghe, integrato con una doppia stazione IIHT per il riscaldamento primario delle billette e per il riscaldamento di integrazione/ equalizzazione dopo il treno sbozzatore;

- impianto combinato per barre, sezioni e vergella per acciai speciali e inossidabili, equipaggiato con una stazione IIHT per l'integrazione termica e l'equalizzazione del riscaldamento dopo il treno sbozzatore;

- un impianto WinLink® con il treno di laminazione direttamente collegato alla linea di colata, con la stazione IIHT utilizzata per l'integrazione termica e di equalizzazione della

**Fig. 5 – Esempi d'installazione di unità di riscaldamento ad induzione in un laminatoio ad alimentazione diretta e in uno per trattamento termico in linea**

Fig. 5 - Colata continua



billetta alimentata in modalità continua o semi-continua;  
- un laminatoio per rotaie dotato di tecnologia idRHa+ per il trattamento di indurimento in linea delle teste, con una speciale unità IIHT per l'integrazione termica selettiva della testa e del piede della rotaia.

Siemens e ABP GmbH, azienda fra i leader mondiali nelle tecnologie di riscaldamento ad induzione, hanno attivato una proficua collaborazione per proporre applicazioni IIHT su misura per ogni tipo di laminatoio, unendo le loro competenze al fine di sfruttare le più aggiornate evoluzioni tecnologiche dell'hardware elettrico, della modellazione termo-metallurgica e del controllo dinamico dell'erogazione di potenza.

La progettazione hardware di unità di riscaldamento ad induzione e della loro logica di controllo della potenza sono fondamentali per garantire efficienza e affidabilità operativa. Tra gli elementi unici che garantiscono performance tecnica superiore e reale sostenibilità economica vi sono:

- convertitori di potenza modulari progettati con la tecnologia IGBT (*insulated gate bipolar transistor*) con alimentazioni di potenza individuali a frequenza adattabile (tra 1000 e 2000 Hz) per ogni bobina per la massima efficienza e accuratezza di controllo. L'efficienza elettrica del sistema di potenza raggiunge il 95% , per un'efficienza energetica complessiva di circa 80%;
- l'elettronica di controllo a semiconduttore garantisce un sistema *on-off* affidabile e ad erogazione modulata dalle varie unità in funzione della richiesta di integrazione termica istantanea;
- i convertitori modulari base da 250 kW possono essere assemblati scalarmente con una tecnica "*plug-in*" fino ad una potenza di 2 MW in funzione degli specifici requisiti di ogni impianto;
- il fattore di potenza  $\cos\phi$  è  $>0,95$  in tutte le condizioni operative, minimizzando così la perdita di potenza e i disturbi alla rete elettrica;
- il convertitore e gli induttori ha un proprio sistema di raf-

reddamento ad acqua a circolo chiuso;

- il design modulare riduce i tempi di installazione e permette di avere standardizzazione dei ricambi per tutte le unità.

Alcune importanti applicazioni industriali integrate con i benefici della tecnologia IIHT sono illustrate qui di seguito.

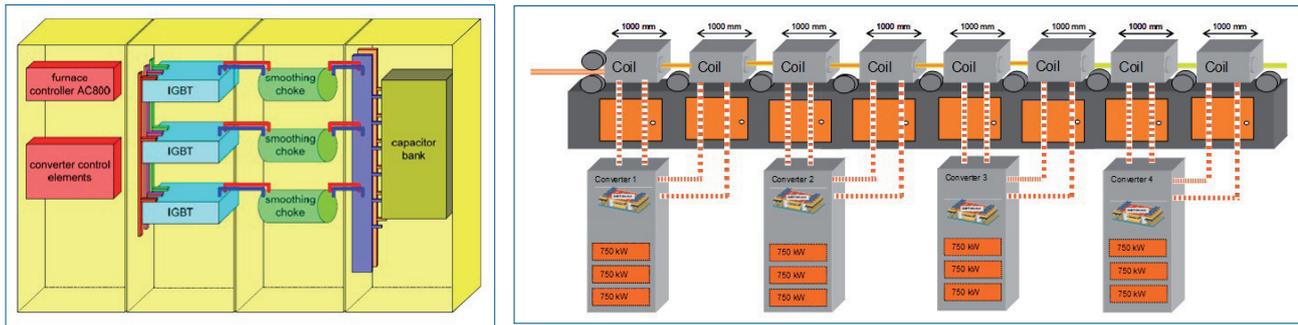
**Impianto WinLink® ad alimentazione diretta:** l'applicazione nel campo dei prodotti lunghi della tecnologia di laminazione diretta delle billette dalla colata continua ha origine dalla tecnologia ESP Flat Rolling e sta prendendo piede per impianti a capacità medio-bassa per acciai comuni normalmente laminati da billette con dimensioni 100÷160 mm.

La tecnologia WinLink® è progettata per consentire l'alimentazione diretta di billette dalla colata con modalità continua o semi-continua. La sua caratteristica distintiva è la colata billette a doppio filo per garantire un'alimentazione costante del treno di laminazione con massima continuità operativa e produttività della linea di colata.

I fondamentali requisiti tecnici sono la compattezza dell'area d'impianto fra colata e treno, l'uniformità del profilo termico sia per billetta continua che per billette sequenziali che alimentano il treno, anche in presenza di una temporale variazione del flusso di colata, e infine la totale affidabilità operativa per lunghi periodi di produzione.

La colata e il treno sono infatti concepiti come unità tecnologiche indipendenti, ognuna con la propria logica di funzionamento e con possibilità di avere diverse velocità operative.

L'utilizzo della tecnologia IIHT garantisce una connessione efficiente delle operazioni delle due unità sequenziali: la stazione di riscaldamento ad induzione agisce come una sorta di "accumulatore termico" intelligente in grado di compensare gli eventuali anomali gradienti termici dovuti al



**Fig. 6 - Unità di riscaldamento ad induzione: design del convertitore ABP IGBT e unità modulari del sistema**

*Fig. 6 - Induction heater: design of ABP IGBT converter and modular arrangement of zone-control system*

disallineamento dei ritmi produttivi fra colata e treno di laminazione (figura 7).

Le unità di riscaldamento ad induzione devono poter erogare in modo adattabile dinamicamente densità energetiche variabili in funzione della richiesta, passando con rapidità da modalità di funzionamento normali (i.e. DT da integrare <100°C) a picchi di erogazione per gradienti di temperatura fino a 200°C. Le caratteristiche della tecnologia ABP IIHT, integrata da un sistema di logica sofisticato per il controllo continuo della temperatura, si combinano perfettamente con i requisiti tecnologici.

Una taglia tipica per un riscaldatore ad induzione per l'applicazione in impianto WinLink® è tra i 2 e i 4 MW (dai 20 ai 60 kWh/t a seconda del DT massimo da compensare) per gestire incrementi di temperatura fra 30°C e 200°C. Alcuni casi (per esempio di impianti in India) testimoniano che la mancata installazione di una stazione di riscaldamento ad induzione tra la colata e il treno o l'uso di tecnologie di riscaldamento ad induzione non sufficientemente evolute, mettono seriamente a rischio l'efficienza produttiva, annullando i potenziali risparmi che deriverebbero dall'uso dell'alimentazione diretta.

**Siroll EHS-Efficient Heating System:** una gestione efficiente del flusso di materiale e del bilancio termico nell'area di impianto tra la colata e il treno può portare significativi risparmi, talvolta sufficienti a mantenere una buona competitività economica anche nei più difficili settori produttivi, quali ad esempio quello del rebar.

Diverse soluzioni d'impianto sono state studiate e progressivamente applicate nel corso degli ultimi vent'anni; la maggior parte di queste soluzioni sono relative al forno di riscaldamento (principalmente a gas naturale), le cui prestazioni in termini di efficienza di combustione e di recupero del calore sono state oggetto di importanti miglioramenti. La carica a caldo delle billette è oggi una pratica industriale consolidata e in grado di garantire il 40% di risparmio di combustibile; anche la carica mista caldo-freddo è abbastanza diffusa per garantire, oltre al risparmio di combustibile, un ulteriore aumento di produttività fino al 15÷20%. È importante evidenziare che, nonostante i progressi della tecnologia di riscaldamento a combustibili fossili, l'ossidazione del metallo delle billette che permangono nel forno per lungo tempo a temperature elevate è ancora uno dei mag-

giori fattori di inefficienza in un laminatoio, con un tasso di perdita di peso che raggiunge e supera lo 0,5%.

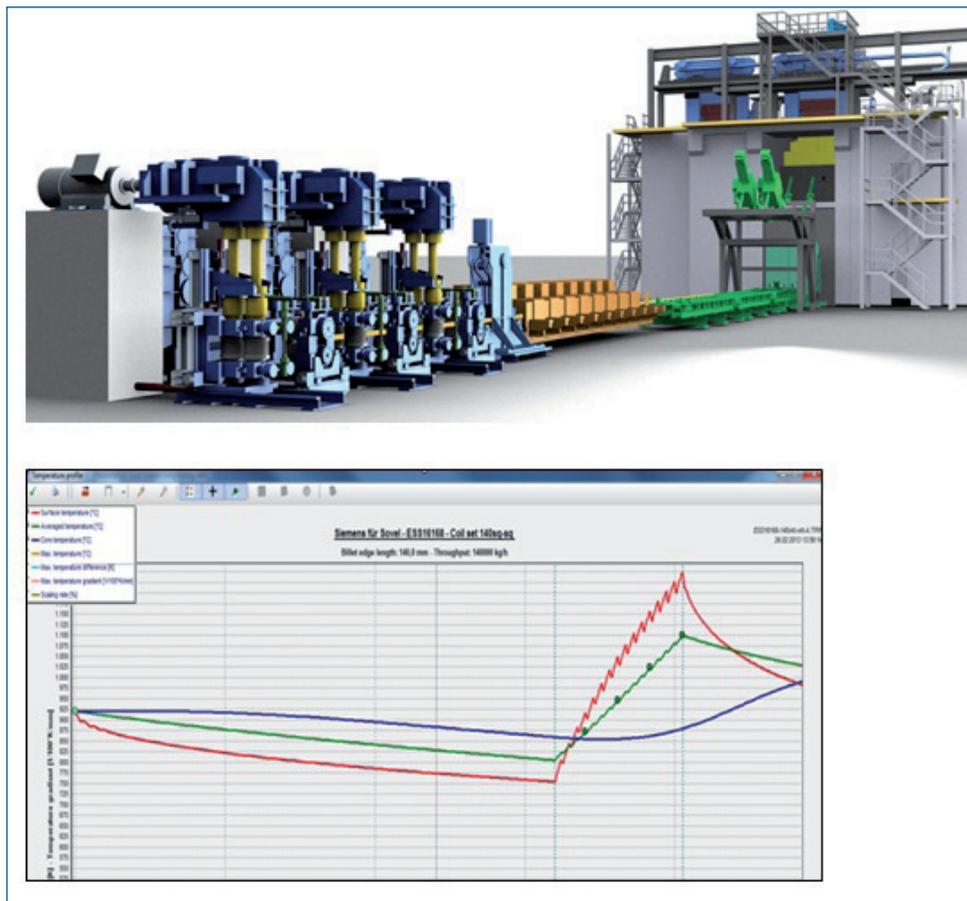
La spinta per lo sviluppo di tecnologie di riscaldamento a combustibile fossile è stata ed è tuttora basata sul comune presupposto che il combustibile fossile è la più economica fonte di energia che possa essere usata per il riscaldamento billette. Il costo dell'energia elettrica e il livello di efficienza delle tecnologie di riscaldamento ad elettricità (quali il forno Joule, il forno a resistenza e il forno ad induzione) ne ha precluso fino ad oggi il loro utilizzo come opzioni alternative di riscaldamento.

Questo scenario relativo al costo dell'energia non è ovviamente valido in tutte le aree del mondo. La scarsità di gas naturale in alcuni Paesi (quali l'India), l'uso diffuso di fonti rinnovabili in altri (come la Germania e l'Europa sud-ovest) e la crescente attenzione sull'impatto ambientale, mettono in discussione il paradigma per cui il combustibile fossile debba costituire lo standard di impiego nei laminatoi. Il sito [www.eex.com](http://www.eex.com) (*EU energy trading*) riporta per esempio dei dati molto interessanti sui livelli di prezzo dell'energia e sulla loro fluttuazione a seconda dei vari fattori. Per citarne uno, si mostra come il prezzo dell'energia elettrica nella Germania del Nord varia intorno ad un valore medio di circa 45÷50 €/MWh da un massimo di 90 €/MWh ad un minimo di 1 €/MWh; si possono anche avere valori negativi del costo dell'energia elettrica, che significa che il consumo viene sovvenzionato. Vi è anche la possibilità di acquistare in anticipo lotti di fornitura di corrente elettrica a 20÷30 €/MWh.

In parallelo, una straordinaria evoluzione progettuale nelle tecnologie di erogazione e controllo della potenza elettrica ha permesso di colmare i limiti precedentemente esistenti che precludevano l'utilizzo efficiente di tecnologie di riscaldamento ad induzione nei laminatoi.

All'interno di questo scenario, Siemens ha sviluppato un nuovo concetto di processo, il Siroll EHS-Efficient Heating System (figura 8). Questo sistema garantisce una gestione termica flessibile e ottimizzata del materiale proveniente dalla colata e diretto al treno di laminazione, grazie ad un uso combinato di diverse fonti di energia: calore residuo della colata, combustibile fossile ed elettricità.

Il sistema Siroll EHS si basa su una particolare soluzione di layout che rende possibili dei percorsi di processo alternativi con l'uso combinato della laminazione diretta, del



**Fig. 7 - Impianto WinLink® ed integrazione di temperature attraverso il forno modulare ad induzione**

*Fig. 7 - WinLink® plant and temperature integration by modular Induction Heating station ("thermal spring" concept)*

riscaldamento a combustibile fossile e delle tecnologie di riscaldamento ad induzione.

La figura 8 mostra la più completa configurazione di un impianto EHS con i possibili percorsi di processo e le relative temperature di riferimento.

Il sistema Siroll EHS è concepito con un percorso di processo preferenziale per l'alimentazione diretta dalla colata al treno seguita da un'unità di riscaldamento ad induzione all'ingresso del treno; è poi previsto in parallelo un forno di riscaldamento a combustione che può essere utilizzato per billette fredde, calde o miste, o come stazione di accumulo quando il treno funziona con laminazione diretta dalla colata o quando la colata ha un eccesso di output rispetto al laminatoio.

Questa configurazione combinata garantisce la sincronizzazione ottimale delle produttività di colata e laminatoio che solitamente è sbilanciata di circa il 15% in termini di ore di attività (es. 7200 h/y per la colata vs. 6100 h/y per il treno).

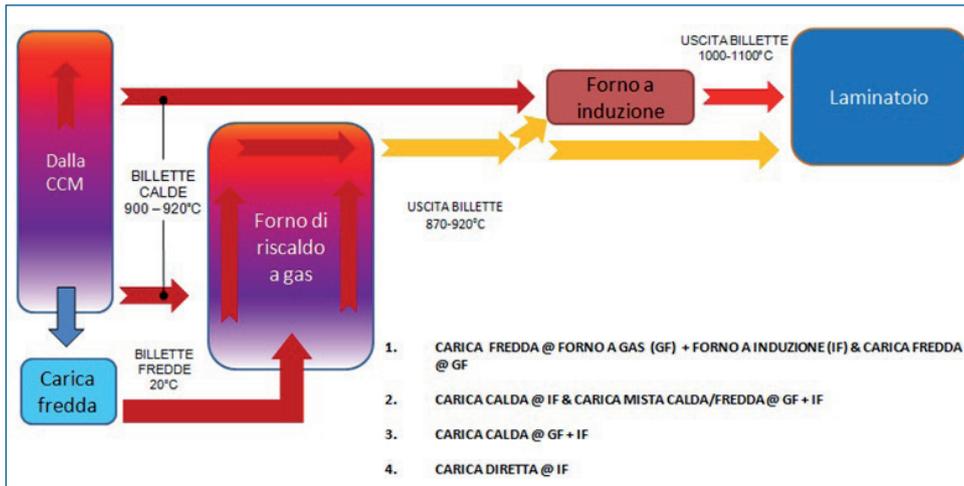
Un ulteriore importante vantaggio della tecnologia EHS consiste nel fatto che le billette vengono riscaldate nel forno a combustione ad una temperatura inferiore al campo critico per l'ossidazione di superficie (820°÷850°C). Il riscaldamento finale della billetta alla temperatura di laminazione (1000°÷1100°C) è dato infatti dal forno ad induzione con una conseguente breve esposizione alle temperature critiche d'ossidazione. Questo permette di ottenere un aumento di resa metallica con un ritorno economico significativo.

L'uso delle più moderne tecnologie IIHT ha un ruolo fondamentale nel sistema impiantistico Siroll EHS, funzionando anche in questo caso come un "accumulatore termico" che può rilasciare quantità di energia termica integrativa alla billetta in funzione dei diversi requisiti di produzione. Le applicazioni EHS più comuni studiate fino ad oggi hanno una taglia di potenza tra 3 e 6 MW a seconda della produttività e del livello di integrazione della colata e della linea di laminazione, ma per produttività elevate e grandi  $\Delta T$  (es. billette di 130mm a 180 t/h con un'integrazione termica di 350°C) si può avere una potenza dell'induttore fino a 12-14 MW.

La figura 9 mostra i benefici della combinazione del riscaldamento a combustibile fossile con il riscaldamento ad induzione.

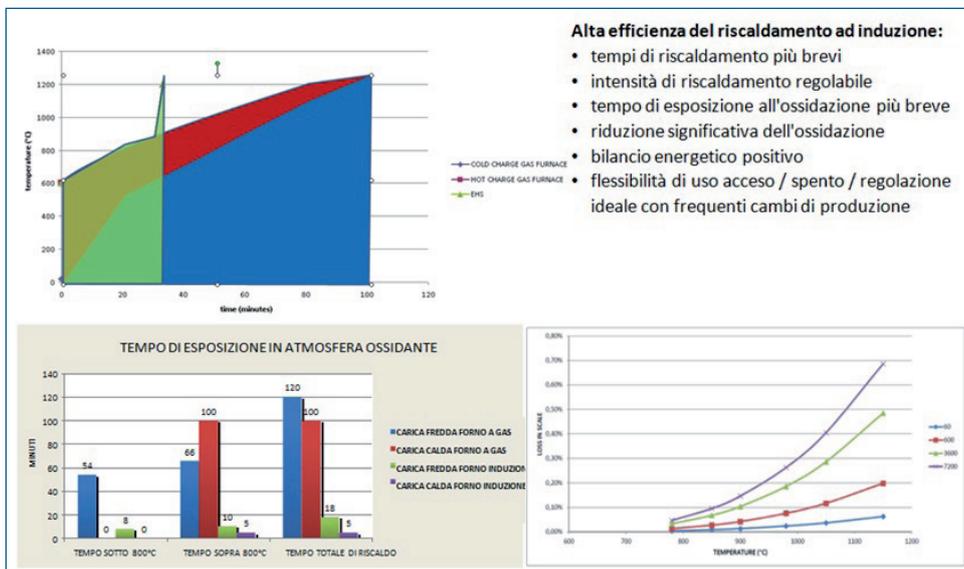
Un ulteriore elemento vincente dell'impianto EHS riguarda la flessibilità di adattamento del percorso di riscaldamento della billetta e dell'impostazione delle temperature sia in funzione di condizione pianificabili (es. costo orario variabile dell'elettricità vs. prezzo fisso del gas, fermata pianificata del treno) che contingenti quali ad esempio una fermata improvvisa del treno di laminazione.

L'impianto EHS deve ovviamente essere gestito da una logica di controllo evoluta basata sia su parametri tecnologici che economici, quali ad esempio il prezzo dell'elettricità prenotabile per determinati periodi. I fattori fisici relativi al processo di riscaldamento - per esempio le formule di efficienza/consumo del forno a gas e del riscaldatore ad induzione, il modello di formazione di scaglia vs temperatura/tempo, etc - sono tutti modellati e inseriti nella piattaforma



**Fig. 8 – Configurazione di un impianto con Siroll EHS: percorsi di processo e target termici**

Picture 8 - Siroll EHS plant configuration: process routes and temperature targets



**Fig. 9 – Siroll EHS: benefici del sistema di riscaldamento ad induzione**

Picture 9 - Siroll EHS: benefits of Induction Heating route

ma di automazione insieme ai parametri economici così da avere un sistema di gestione intelligente sulla linea.

È inoltre disponibile un simulatore di impianto con relativa valutazione del ritorno di investimento per configurare vari scenari e offrire così ai produttori una comprensione immediata del potenziale dell'applicazione EHS sul loro impianto.

La figura 10 mostra il modello base di EHS con i relativi blocchi funzionali e punti di controllo; tale modello genera una simulazione 3D dinamica dei cicli di lavoro dell'impianto sulla base delle diverse combinazioni di parametri imposti.

La configurazione EHS mostrata in figura 8 si applica tipicamente ad un impianto completo di nuova installazione. Tuttavia, la flessibilità della soluzione permette di studiare applicazioni speciali su impianti esistenti. Per esempio, recentemente, un importante produttore europeo, che non possiede la carica a caldo delle billette ma che usufruisce di prezzi molto favorevoli dell'elettricità in determinati periodi, ha chiesto di studiare un'opzione impiantistica speciale con anche l'aggiunta di un secondo forno ad induzione per riscaldare le billette fredde con successiva alimentazione in posizione intermedia nel forno a gas.

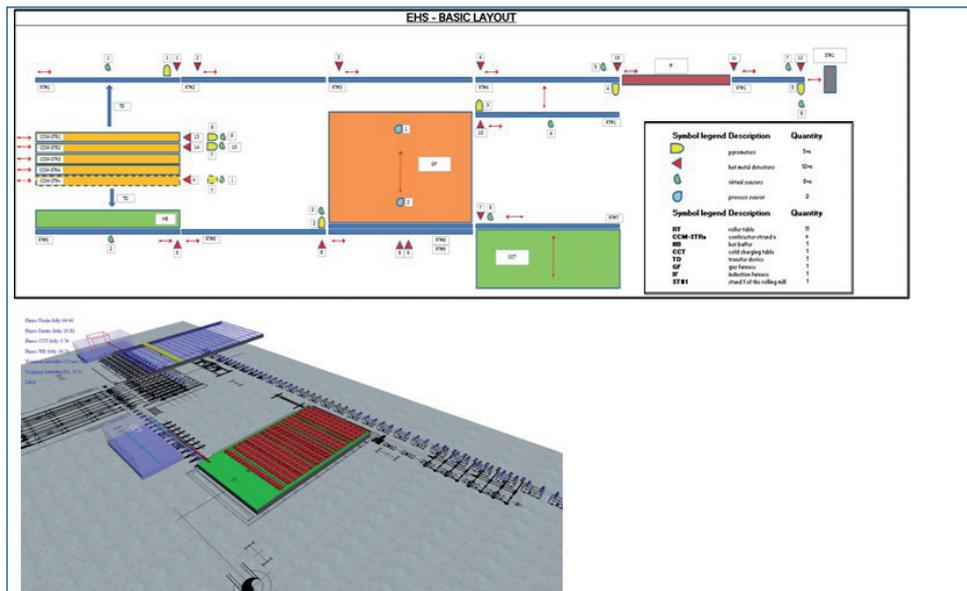
Altri studi di fattibilità in cui l'EHS ha dimostrato di essere una soluzione efficace sono relativi a laminatoi con operatività intermittente o con grande varietà di prodotti e conseguenti frequenti fermate per cambi.

Siemens sta attualmente sviluppando la progettazione di due laminatoi, uno in India e uno in Thailandia, dotati di tecnologia Siroll EHS.

### Tecnologia idRHa+ per l'indurimento della testa delle rotaie:

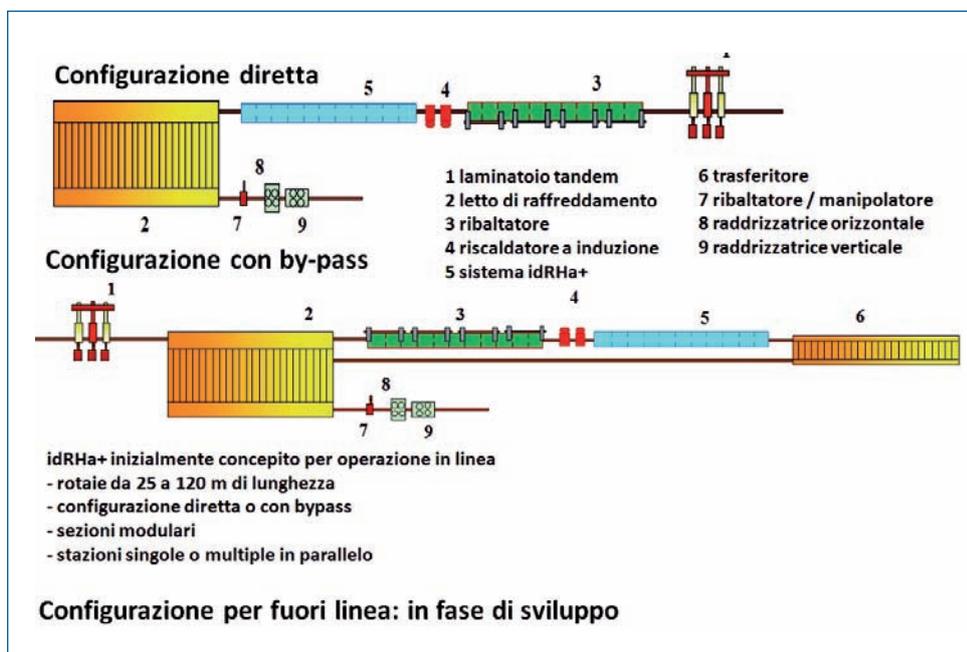
la progressiva evoluzione dei requisiti tecnici delle rotaie ha creato una forte richiesta di nuove tecnologie produttive nel laminatoio. Le rotaie *premium* sono oggi laminate con produttività fino a 200 t/h, con estrema accuratezza dimensionale, con lunghezze fino a 120 m, con microstrutture perlitiche o bainitiche, con indurimento superficiale con durezza >350÷370 HB e con costi di trasformazione competitivi ridotti di almeno il 30%: queste sono le sfide per i fornitori di impianti e la risposta è un nuovo concetto di laminatoio per rotaie integrato da una moderna linea di trattamento termico.

Siemens ha sviluppato, in collaborazione con Centro Sviluppo Materiali Spa (attualmente Rina-CSM), il sistema di trattamento termico idRHa+ - *injection dual-phase Rail Har-*



**Fig. 10 - Schema di configurazione della piattaforma di gestione Siroll EHS**

*Fig. 10 - Layout of Siroll EHS plant management platform*



**Fig. 11 - Configurazioni d'impianto con idRHa+**

*Fig. 11 - idRHa+ plant configuration*

dening - per l'indurimento in linea di rotaie fino a 120 m di lunghezza. Si tratta di una tecnologia che include anche le ultime evoluzioni nel campo del riscaldamento selettivo attraverso l'induzione elettrica. Il trattamento termico idRHa+ avviene in linea su rotaie con alimentazione diretta dal treno o con una configurazione *by-pass* in caso di vincoli di layout (figura 11).

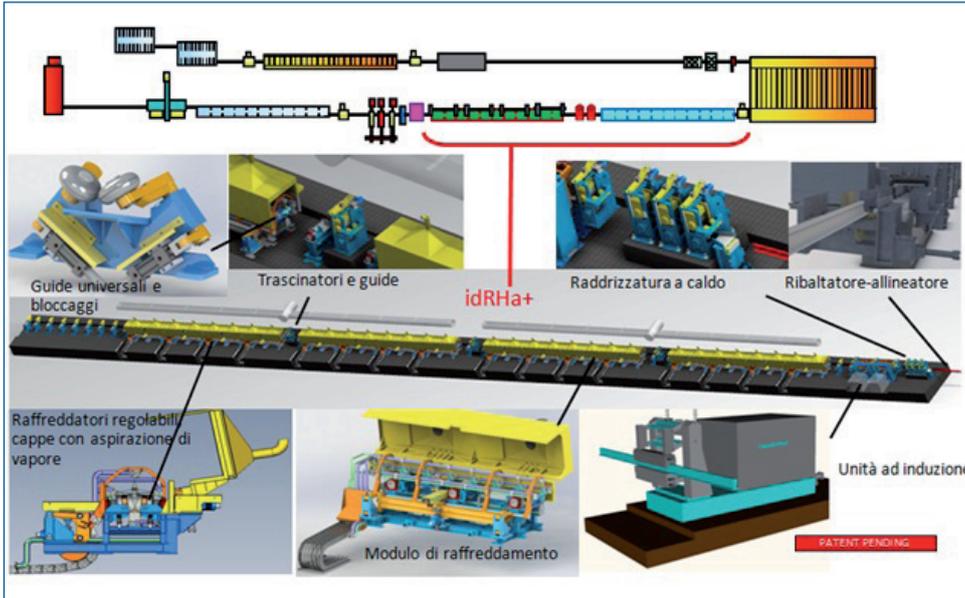
Il processo in linea sfrutta il calore residuo di laminazione per garantire un'elevata produttività e significativi vantaggi economici se paragonato alla bassa produttività dei sistemi fuori linea in cui la testa della rotaia deve essere riscaldata nuovamente dalla temperatura ambiente. La linea idRHa+ è composta da un gruppo di dispositivi sequenziali, mostrati in figura 12, ognuno con uno specifico scopo funzionale.

L'apparato di trattamento termico è composto da moduli, il cui numero e relativa posizione dipende dalla produttività

d'impianto e dai gradi, lunghezze e forme di rotaia da produrre. Ciascun modulo è dotato di una serie di dispositivi di raffreddamento intercambiabili. La temperatura superficiale della rotaia in ingresso viene mantenuta tra i 750 e i 850 °C. Il raffreddamento è regolabile fra 0.5 e 40°C/s in funzione delle caratteristiche microstrutturali e meccaniche desiderate. La temperatura della rotaia all'uscita dell'apparato va dai 300°C ai 600 °C a seconda del grado trattato.

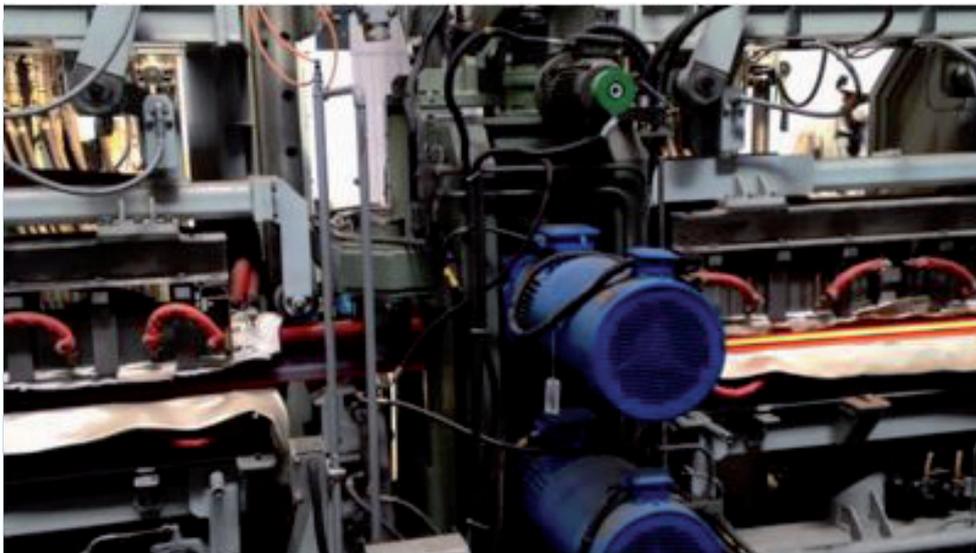
La strategia di processo (velocità di riscaldamento, velocità di raffreddamento, profilo termico) è predefinita in funzione delle proprietà del prodotto finale. Il sistema di controllo di processo è basato su diversi modelli termici, meccanici e metallurgici.

Dopo che la rotaia laminata lascia il treno, il processo idRHa+ applica azioni di riscaldamento e raffreddamento selettive sequenziali con strategie dedicate per controllare la di-



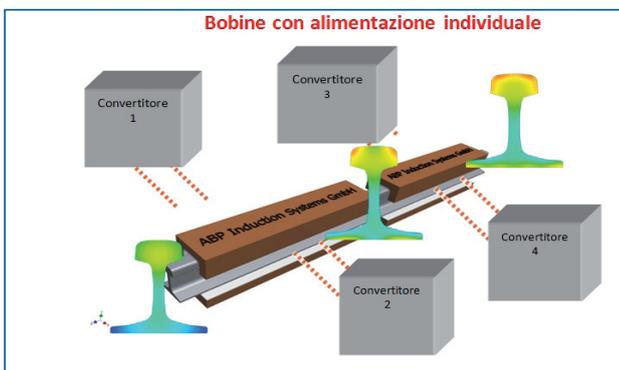
**Fig. 12 - Unità funzionali che compongono il sistema idRHa+**

*Fig. 12 - idRHa+ layout with functional units*



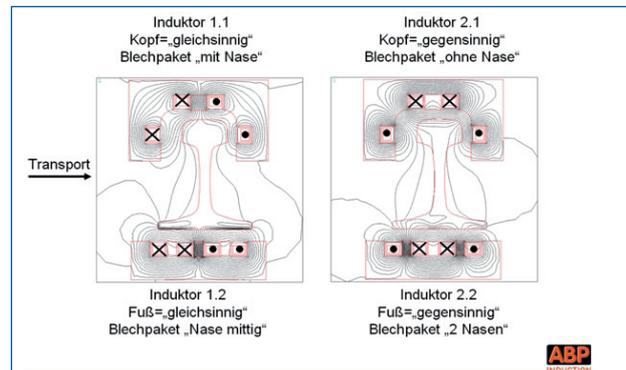
**Fig. 13 - Configurazione di un riscaldatore ad induzione per rotaie**

*Fig. 13 - Design of induction heater for rail*



stribuzione della temperatura lungo la sezione della rotaia. L'accuratezza e l'uniformità del controllo termico in ogni posizione sulla sezione della rotaia (testa, anima, piede) e su tutta la sua lunghezza (tipicamente da 25 a 120 m) è l'essenza del processo che permette di ottenere la caratteristiche metallurgiche e meccaniche desiderate, nonché un profilo di rettilineità ottimale.

L'uso della tecnologia IIHT offre anche in questo caso un contributo decisivo all'efficacia del processo integrando

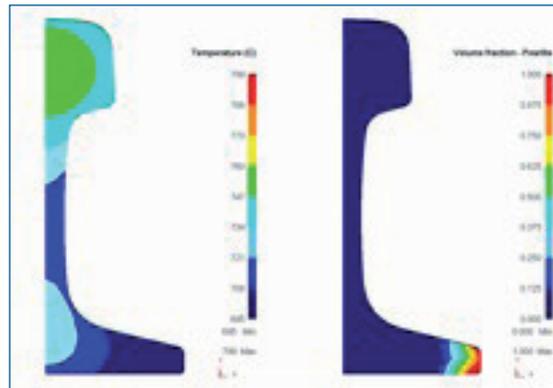
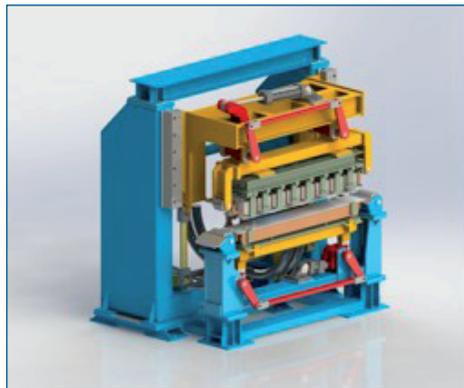


e controllando la temperatura della rotaia prima che entri nei moduli di raffreddamento. Il riscaldamento della rotaia è portato a termine con una serie di unità di induzione ad alta potenza con bobine superiori ed inferiori alimentate in modo indipendente dai convertitori IBGT.

Una tipica configurazione d'impianto idRHa+ presenta due moduli di induzione con quattro bobine indipendenti superiori ed inferiori alimentate con diverse potenze, in grado di fornire in modo selettivo alla testa e al piede una densità

**Fig. 14 –  
Composizione dei  
riscaldatori ad  
induzione per rotaie  
e simulazione FEM  
per un riscaldamento  
selettivo delle rotaie**

*Fig: 14 - Arrangement  
of rail induction  
heaters and FEM  
thermal-simulation of  
a rail selective heating*



di potenza fino a 30÷35 kW/t; ciò significa che per una produttività di 150 t/h, la potenza installata è di circa 5 MW (figura 13).

L'impostazione delle unità di induzione viene predefinita dal modello di analisi FEM e poi regolata automaticamente durante le operazioni a seconda dell'evoluzione della temperatura della rotaia.

Le posizioni delle bobine è regolabile sull'asse verticale e orizzontale per seguire la possibile non-rettilineità della rotaia e per adattarsi alle varie forme e grandezze delle rotaie trattate, tra cui anche le rotaie asimmetriche (figura 14).

**Laminatoio combinato per barre e sezioni per acciai speciali** (rif. figura 4b): questo tipo di impianto rappresenta una delle sfide maggiori per i fornitori d'impianti a causa della grande varietà di prodotti (oltre 700 combinazioni di forme e dimensioni, tra cui tondi, esagonali, quadri, piatti, angolari, ferri a U e a T, travi) e di requisiti specifici per i vari gradi di acciaio inossidabile.

La dimensione della billetta va da 140 a 300 mm ed è laminata da uno sbizzo reversibile sliding per sagomare le varie prese che alimentano il treno continuo. L'accuratezza del controllo della temperatura è fondamentale per la qualità produttiva di determinate tipologie di acciai e richiede l'installazione lungo il treno di un sistema IIHT attivo/selettivo per integrare termicamente il materiale laminato.

L'unità modulare da 6 MW con 8 set di bobine indipendenti (figura 15) è un apparato molto efficace per garantire l'incremento di temperatura necessario, sia quello assoluto per recuperare il calore perso nelle operazioni a monte, sia quello relativo sulla lunghezza della barra.

Un'altra caratteristica importante risulta essere la flessibilità di adattamento della densità energetica e dell'altezza della linea a seconda della dimensione del prodotto per mantenere sempre un riscaldamento uniforme e una linea di laminazione costante.

## CONCLUSIONI

L'impiego di unità di riscaldamento ad induzione di ultima generazione può offrire notevoli vantaggi operativi in molte tipologie di impianto di laminazione per prodotti lunghi. Sono state sviluppate soluzioni per quasi ogni tipo di for-



**Fig. 15 – Stazione ad induzione da 6 MW con 8 moduli**

*Fig. 15 – 6 MW induction station with eight modules*

ma, dimensione e materiale di prodotto laminato, adattabili ad una vasta gamma di impianti, sia nuovi che esistenti e oggetto di modernizzazione.

I vantaggi derivano da un trasferimento selettivo e molto efficiente dell'energia termica al prodotto, dall'erogazione adattabile e dalla modularità dell'installazione. Allo stesso modo, i benefici ottenibili per qualità del prodotto e per produttività dell'impianto sono consistenti, insieme all'opportunità di sfruttare in modo flessibile ed economicamente conveniente varie fonti di energia.

Si può concludere che la compressione del processo di produzione è indubbiamente uno dei fattori tecnologici più rilevanti per l'industria dell'acciaio, con impegnativi obiettivi di efficienza energetica, impatto ambientale e riduzione dei costi di trasformazione. Il mercato e le norme nazionali e internazionali spingono, infatti, per un'ulteriore miglioramento dei parametri tecnici ed economici di efficienza dell'impianto. In questo scenario, la tecnologia IIHT rappresenta un contributo fondamentale per rispondere a tali sfide.

## Induction heating power, new paths to efficiency and flexibility of rolling mills for long products

**Keywords:** Steel - Rolling Contact Fatigue - Rolling - Thermal Treatment - Thermo-Metallurgical Process - Modeling - Process Control - Numerical Simulation - Energy - Processes - Technologies

Markets are pressuring for both cost reduction and quality improvement. Long product manufacturers are therefore increasingly enticed to shift from mass production objectives to efficient and quality production targets. In particular, the anomalous fluctuations of material and energy cost push producers to pursue the utter optimization of transformation costs.

In this regard, the In-line Induction Heating Technology (IIHT) demonstrates to be a powerful “tool” to optimize some key technological and economical aspects in many types of rolling mill for long products.

Advanced thermo-metallurgical models are integrated into state-of-the-art power control systems and process automation, and offer operational advantages of quality, efficiency and flexibility.

The technical cooperation between Siemens and ABP GmbH merges their specific know-hows to exploit the potential of IIHT application in the long rolling field. The latest technological developments in the electronic hardware design, in the thermo-metallurgical modeling and in the dynamic power supply control are available for the most effective customized applications.

Among the unique features which grant an efficient and consistent operation, a superior technical performance and a fast return of investment of IIHT installation are:

- modular power converters with Insulated Gate Bipolar Design (IGBT) technology and individual power supply at variable frequency 1000-2000 Hz), for maximum efficiency and control accuracy;
- semiconductor control electronics, for reliable dynamic on-off switching of each zone according to the instant demand of power;
- modular 250 kW-converters with “plug-in” scalar assembly up to 2 MW, for easy and flexible adjustment to the specific requirements;
- high power factor  $\cos\varphi$  in all operating conditions, for minimized power loss;
- modular structure, for reduced installation times and standardization of spare parts.

Whether in green or brown-field installations, several areas in the mill may benefit from the adoption of IIHT. The following are but a few of typical advanced applications of IIHT to the hot rolling of long products.

Bar and wire rod rolling mills for special steels and super-alloys may be equipped with a double IIHT station for the primary heating of billets and for the integrating/equalizing heating after the rougher train.

Likewise, an effective application may be in combination bar-section-wire rod mills for stainless and special steels. Often, these high-end product mills represent a challenge due to the large variety of rolled products, the usual limited size of campaign with the corresponding necessity of fast changes to the mill, and the specific processing requirements of the different steel grades. IIHT's flexibility makes it possible to adapt the energy density and the line height in accordance to product, so to keep a uniform heating and a constant pass-line.

The high efficient heat transfer and the dynamical adaptability of the modular power supply system allow to keep the thermal balance precisely controlled in a very compact arrangement.

With WinLink® direct rolling, a two-strand billet caster is directly linked to the rolling mill. WinLink® requires a compact arrangement, a stable temperature profile along the endless billet, even during temporary flow variation, and a high consistency of operations during extended times. IIHT is applied for thermal integration of the billet coming from the caster. It represents an effective solution, with its high-energy density capability as well its dynamically adjustable soft-heating mode, integrated by a sophisticated temperature monitoring logic.

Efficient Heating System (EHS) grants an optimized and flexible thermal management of the billet between the caster and the rolling mill by a combined use of multiple energy sources: residual heat from melting, fossil fuel and electricity. An appropriate layout arrangement makes it possible to select alternative processing routes of the billet, with the combined use of direct rolling, fossil furnace and IIHT. This permits to promptly adapt the billet route according to the fluctuations of energy cost (eg. electricity during the day or week). An important benefit is represented by the possibility to limit the fossil heating in time and temperature (say 870°C), and then have the induction heater to quickly bring the billet to the required rolling temperature (say 1050°C). This allows to limit the billet surface oxidation and reduce the amount of scale, thus increasing the overall metallic yield.

EHS is assisted by a plant configurator tool which allows simulations to be run for different scenarios and layouts, and the corresponding ROI to be assessed. The injection and dual-phase Rail Hardening (idRHa+), developed by Siemens and RINA-CSM, is the cutting-edge technology for in-line thermo-processing of rolled rails. The spreading construction of heavy-load and high-speed railways call for an improved rail resistance to wear and rolling contact fatigue. Premium rails need to be rolled with a precisely controlled microstructure and a high dimensional accuracy, in order to meet the required mechanical characteristics of hardness, UTS and elongation.

Unlike the off-line systems, idRHa+ is capable to operate in-line immediately after rolling, allowing for sensible heat to be utilized and high hourly productivities to be achieved. A dedicated IIHT unit integrates and selectively controls the temperature of the rail arriving from the finishing mill. It is followed by several cooling modules, equipped with a set of interchangeable devices (spraying nozzles with mist-atomizers or air-jet blades). The whole process is precisely monitored. The control system is assisted by a suite of embedded thermal, mechanical and metallurgical models, so that the desired microstructure and hardness values across the rail cross section may be preset, obtained and verified.