

1 – INTRODUZIONE ALLA TECNOLOGIA ARVEDI ISP ESP

del Cav. Giovanni Arvedi

LE PRIME ESPERIENZE

La mia esperienza comincia da ragazzo, in famiglia, quando affianco mio padre Dante. In anni di modesto ma costante lavoro condivido la sua attività commerciale.

Degli insegnamenti che mi ha lasciato conservo un ricordo lucido, colmo di riconoscenza. In quegli anni di collaborazione si stabiliscono tenacemente in me i valori della serietà, della precisione, la consapevolezza della valenza del tratto umano e dignitoso verso tutti coloro che si impegnano nel lavoro.

Sono gli anni della guerra, della Liberazione e della rinascita del nostro Paese.

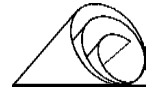
Nel 1963, alla morte di mio padre, resto solo a cimentarmi nella attività commerciale ed in seguito in quella industriale con la produzione di tubi saldati. L'interesse, anzi, direi, la passione per l'acciaio mi inducono ad installare, nel 1974, due forni elettrici da 50 tonnellate di capacità e una colata continua per bramme, una delle prime al mondo collegata al ciclo rottame - forno elettrico.

In tempi brevi fummo in grado di produrre bramme di ottima qualità e con un livello, in gradi di acciaio, fra i più ardui da raggiungere.

PRENDONO FORMA LE IDEE GUIDA DI ISP E LE POSSIBILI SOLUZIONI REALIZZATIVE

Ben presto si manifestò la necessità di laminare le bramme per ottenere i nastri e l'urgenza di realizzarli in spessori sottili, una esigenza che avevo colto nella mia qualità di produttore di tubi, quando avevo constatato la forte richiesta del mercato resa più impellente dalla difficoltà degli impianti classici di laminazione a produrre in spessori minimi.

I grandi, classici impianti da ciclo integrale - da allora ad oggi poco è cambiato - sono lunghi, le fasi di produzione discontinue, trovano limiti nel profilo termico, sono rigidi, perché sono caratterizzati da elevata produttività ma vincolata a grandi lotti di singoli prodotti, hanno scarse rese ed elevati costi di trasformazione sui bassi spessori: sono quindi lenti nel rispondere a un mercato che sempre più richiede flessibilità e rapidità di servizi. Essi non sono adatti a seguire i rapidi mutamenti dei fabbisogni di mercato.



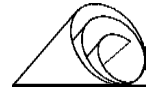
A questo punto ho ricercato una soluzione per il nostro fabbisogno di laminati a caldo, una soluzione che, sulla scorta della dimensione dell'investimento, fosse appropriata alle nostre necessità ed al mercato che avremmo servito in futuro. Nel fare questo mi sono posto l'obiettivo principale di sviluppare una tecnologia a basso costo, compatta, flessibile, per prodotti di alta qualità e con un impiego minimo di energia. Quest'ultimo aspetto lo considerai come uno dei compiti principali del futuro a partire dall'esperienza della prima crisi energetica degli anni '70. Nel medesimo tempo ero consapevole della correlazione di problemi crescenti nel campo dell'ecologia, che potevano essere risolti in parte attraverso un minore impiego di energia e di materiale.

Mi domandavo, ed è una riflessione ancora oggi ricorrente: “Quale vantaggio tecnologico dobbiamo raggiungere per essere sicuri, in una concorrenza mondiale crescente, che in futuro potremo produrre competitivamente acciaio nonostante gli elevati costi europei?”

In sostanza, in quel momento, mi resi conto di dover affrontare un compito estremamente complesso.

Risalgono al 1984 le mie prime indagini per la realizzazione di un moderno impianto di laminazione che superasse i limiti prestazionali dei laminati classici. Ebbi contatti con diversi produttori di impianti nel mondo e mi confrontai con le loro idee in merito ai nuovi sistemi di colata e laminazione a caldo. Presero avvio con la società Schloemann e il Prof. Rodhe; ma si arrestarono presto perché io consideravo, e considero tuttora, il processo CSP, che mi venne offerto, inadatto a conseguire l'alto livello qualitativo del prodotto che intendevo realizzare. Era un'epoca, quella, nella quale gli obiettivi di ricerca miravano allo sviluppo di impianti di laminazione a caldo che compattassero le diverse fasi di processo. Al centro del mio interesse stava la produzione di alta qualità e di spessori sottili a caldo, con maggiore flessibilità, maggiore economicità, minori consumi energetici e minore impatto ambientale.

I progetti che mi venivano proposti dai singoli impiantisti non mi persuasero: erano basati su un lay-out che metteva in linea macchine di vecchia concezione, perciò inadatte a produrre nastri di spessore sottile e di qualità elevata. La mia idea era di sfruttare il calore dell'acciaio liquido proveniente dalla siviera in un processo in linea, e di laminare al minimo spessore possibile, senza soluzione di continuità (endless), una bramma colata in continuo, per ottenere, agli stessi costi, un nastro molto sottile con proprietà e qualità tali da sostituire, per certe applicazioni, il nastro a freddo.



Mi venne in aiuto la Silicon Valley, con la sua esperienza di elettronica allo stato solido sviluppata nella corsa allo spazio. L'invenzione e l'introduzione, agli inizi degli anni '70, dei microprocessori diedero una spinta decisiva alla realizzazione di sistemi di automazione e controllo evoluti, necessari alla creazione di nuovi processi, più compatti e accelerati

Questa scoperta entusiasmante ci spinse ad applicare, fra i primi al mondo, a Cremona i primi microprocessori non solo per il controllo del processo di colata continua, ma anche spesso in sostituzione dell'operatore.

Sentii sempre più necessaria e pressante l'esigenza di realizzare una soluzione impiantistica molto più avanzata di quella proposta da Schloemann.

Ed allora comincio a viaggiare nel mondo anche con il Prof. Kloss, padre dell'impianto di laminazione Steckel, per imparare, verificare le mie idee, comparandole alla realtà tecnologica internazionale.

Mi convinco sempre più che è tempo di cambiare, e soprattutto che è possibile fare meglio sia rispetto agli impianti classici sia al confronto con la pur innovativa tecnologia CSP, basata sulla bramma sottile.

Nel 1986 creo un team di ingegneri italiani e tedeschi, mi avvalgo dell'apporto di due università tedesche ed in seguito anche di un centro tecnologico americano.

Si inizia, nella mia casa di campagna, lo studio specifico del nuovo processo e nell'acciaieria di Cremona, dotata di due forni elettrici e di una colata continua per bramme, la fase dei tests.

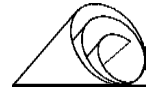
Nel corso di tre intensi anni le nostre idee diventano sempre più chiare e ci concentriamo sul processo in linea che consiste nell'accoppiamento di colata e laminazione. La bramma sottile alimentata in modo continuo al laminatoio sbizzatore e, ridotta ad uno spessore intermedio, alimenta il laminatoio finitore che realizza lo spessore finale.

Risolviamo molti dei tanti problemi nel nostro processo innovativo.

Per esempio:

- studiamo e disegniamo un sistema lingottiera "(mould system)" di nuova concezione: la forma delle piastre di rame della lingottiera, il "tuffante" scaricatore e distributore dell'acciaio liquido e l'oscillatore sono in grado di rispondere a precisi concetti di fluidodinamica. La lingottiera è la macchina più importante perché qui prende avvio la solidificazione e si dà forma al nostro prodotto. Il sistema lingottiera è l'elemento fondamentale nel determinare la qualità desiderata del nastro .

Tutto quanto, di sbagliato o di giusto, che avviene nella lingottiera, si riporta, malgrado i vari passaggi intermedi, nel prodotto finale all'aspo avvolgitore.



- Per la prima volta al mondo costruiamo per la nostra colata continua un segmento “configurato a tenaglia” per la realizzazione industriale della riduzione a cuore liquido della bramma, già sperimentata a Huckingen dal Prof. Pleschiutchnigg.
- Ci impegniamo a fondo per giungere con successo alla soluzione di un problema mai risolto prima: il riscaldamento in continuo di un nastro di acciaio in un forno ad induzione a passaggio continuo. E' un fattore chiave per la produzione di nastri sottili.
- Siamo convinti sia possibile collegare direttamente la colata continua e il laminatoio a caldo; ma nessuno è in grado di provarlo.

GLI IMPIANTI CONVENZIONALI E LA CULTURA DEL TEMPO

Continuiamo i viaggi nel mondo, dal Giappone agli Stati Uniti, per trovare un esempio pratico che conforti o confuti le nostre idee.

La cultura siderurgica del tempo - mi appare del tutto chiaro - è frutto di anni e anni di lavoro, è basata su riscontri industriali determinati dalla affidabilità degli impianti, dai grandi volumi e dalla buona qualità del prodotto.

I concetti inviolabili di quel tempo non ammettevano la possibilità di colare e laminare senza soluzione di continuità. Nessuno al mondo lo faceva o poteva farlo. La bassa velocità dei cilindri di laminazione, lo scarso raffreddamento in presenza di alte temperature creano cricche sulla superficie dei cilindri che o impediscono di laminare o non garantiscono la sufficiente durata e la qualità superficiale del prodotto.

Tutti gli interpellati mi dicono che non è possibile laminare una bramma con temperatura non omogenea tra superficie e cuore.

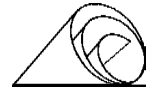
Tutti gli impianti del tempo, e quasi tutti ancora oggi, utilizzano un lay-out che prevede il colaggio della bramma, il taglio della bramma, il suo raffreddamento, il successivo riscaldamento e la laminazione.

Meno motivato ma reale è anche il dubbio di poter entrare con uno sbozzato di spessore sottile nel laminatoio a caldo.

Gli incontri e le discussioni con molti tecnici nel mondo mi portano a conoscere meglio il processo di Strip Casting, il più vicino concettualmente al nostro.

Ma anche in questo processo nessuno al mondo ha installato dopo la lingottiera una gabbia di laminazione.

Il Cast Rolling inteso come collegamento diretto di colata e laminazione è, in quel momento della nostra ricerca, il punto ancora aperto del nostro processo, non è materia conosciuta ed è drasticamente sconsigliato da tutti.



Io non mi fermo davanti a questa chiusura perché penso che se si riuscisse a superare il problema del cast rolling, si potrebbe ottenere un processo straordinario ed un prodotto unico al mondo. Il convincimento circa l'importanza di questi due obiettivi mi dà la forza di reagire e di studiare una soluzione vincente per il cast rolling.

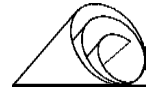
LA FASE DEI TESTS

Le discussioni, gli approfondimenti, le verifiche, le riflessioni si fanno più serrate, i test confermano le nostre aspettative ma anche i nostri dubbi e dove dobbiamo concentrare le nostre ricerche:

1. primi al mondo, portiamo a termine, con risultati positivi, i tests per il riscaldamento ad induzione in continuo di un laminato piano in acciaio su di un impianto pilota installato nell'Acciaieria Arvedi. E' una macchina nuova tutta italiana.
2. Primi al mondo, completiamo, con risultati positivi, i tests, su scala industriale, della riduzione della bramma a cuore liquido.
3. Primi al mondo, portiamo avanti con risultati positivi, i tests di un innovativo "mould system" (questa parte della macchina, che è la "testa" del nostro organismo, è stata oggetto del massimo sforzo tecnologico: ancor oggi stiamo lavorando per aumentarne le prestazioni).
4. Completiamo i tests per l'applicazione, in termini operativi, di un sistema di automazione basato su microprocessori, sistema nervoso del nostro processo integrato in un singolo organismo.
5. Decidiamo, finalmente, di connettere, per la prima volta al mondo, la macchina di colata continua con le gabbie di laminazione, cioè di fare un unicum della fase di colaggio con la fase di laminazione, compattando diverse fasi di processo.

L'acciaio liquido colato nella lingottiera forma, in seguito al processo di solidificazione, una bramma sottile che subisce una riduzione di spessore in più stadi con il cuore ancora liquido. Una volta solidificata, la bramma sottile viene direttamente laminata in linea senza soluzione di continuità fino all'ottenimento del prodotto finale.

- ° *Arrivammo a risolvere il problema delle cricche superficiali dei cilindri di laminazione con l'introduzione di una qualità di acciaio tenace nel cuore del cilindro e di un'altra qualità di acciaio di nuova composizione all'esterno.*



Mi convinco che la criticità individuata dalla cultura del tempo nella fase di laminazione, dopo la colata continua, di una bramma con disomogeneità termica tra pelle e cuore, il cosiddetto “profilo inverso” di temperatura, sia al contrario, nel nostro processo una buona opportunità, favorendo la qualità interna del prodotto, la sua planarità, e, credo, la forma e le tolleranze dimensionali.

Penso che dopo i primi passi di sbazzatura otterremo un semi-prodotto eccellente per poter essere laminato dal treno finitore e soprattutto ritengo che lo spessore sottile dello sbazzato da introdurre nel laminatoio finitore ci consentirà di ottenere nastri più sottili e persino ultrasottili, di ottima qualità pressoché in tutti i gradi di acciaio.

6. Ci accorgiamo ben presto che un parametro critico poteva essere costituito dal fatto di non avere sufficiente temperatura sulla barra intermedia per eseguire la laminazione di finitura in “campo austenitico” e ottenere spessori sottili; rinunciamo allora alla soluzione totalmente continua (Endless) ed optiamo per la soluzione semicontinua (Batch) introducendo, primi al mondo, due Cremona Box ad aspi sovrapposti. Dividiamo in questo modo il processo in due fasi a velocità diverse:
 - una fase a bassa velocità dalla colata continua, e con riduzione di sbazzatura, al Cremona Box;
 - una fase a velocità più elevata e costante dal Cremona Box al Downcoiler.

Considerammo fossero importanti i vantaggi connessi ad una velocità e ad una temperatura costanti su tutta la lunghezza del nastro che consentisse di evitare il problema relativo alle teste e alle code e dei bordi freddi ma soprattutto permettesse una laminazione ottimale secondo le curve TTT (trasformazione tempo e temperatura). La Figura 1 riporta lo schema di processo della linea Arvedi ISP (In-line Strip Production) come realizzata nello stabilimento Arvedi a Cremona.

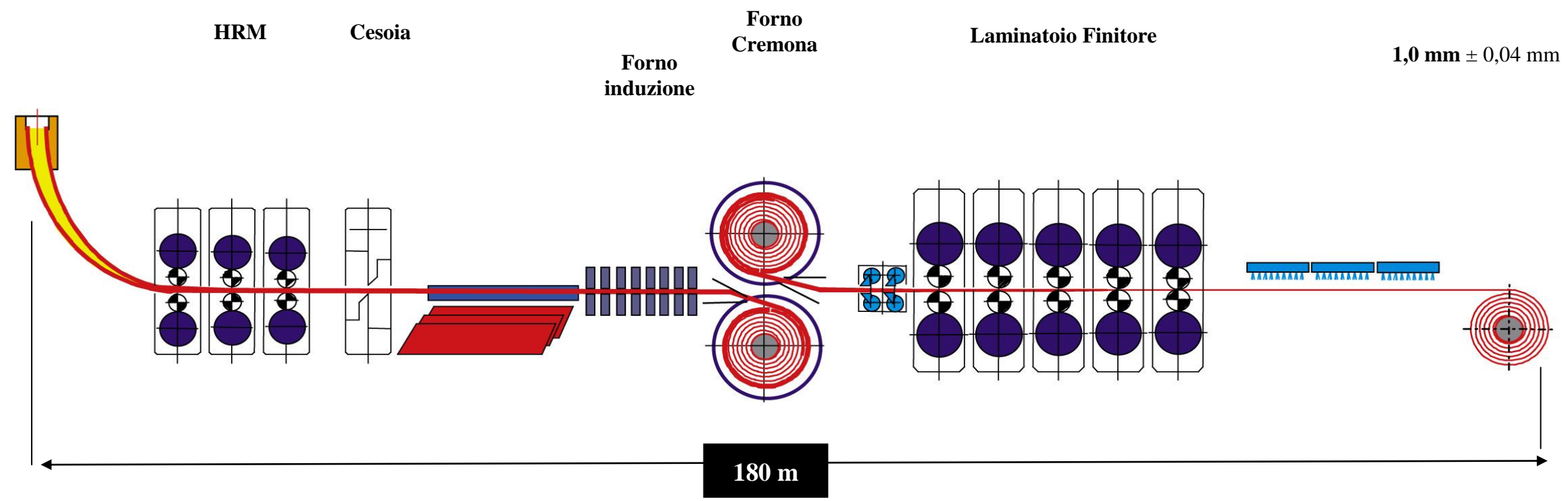
Il processo di colata e prelaminazione (Cast-Rolling) è continuo mentre la laminazione di finitura viene realizzata, dopo il taglio alla cesoia e previo riscaldamento al forno ad induzione e accumulo nel Forno Cremona, su singoli spezzoni di bramma sottile prelaminata.

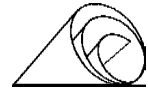
7. Sappiamo che il Cremona Box, per avvolgere spessori sottili, deve utilizzare un mandrino che deve sopportare pesi elevati ad elevate temperature al limite della resistenza dei materiali. Il raffreddamento del mandrino non deve coinvolgere anche le prime spire del materiale e pregiudicarne quindi la corretta laminazione. All’inizio anche questo sarà un problema che poi, con caparbietà, risolveremo grazie a tecniche avanzate di isolamento sui materiali.

FIGURA 1

LAY-OUT LINEA ARVEDI I.S.P.

Il brevetto originale risale al 1988 e si basa sul processo endless. Sono stati successivamente inseriti i Cremona box su asse verticale perchè il mass flow insufficiente rendeva necessaria la gestione del processo con 2 diverse velocità





8. Per l'efficienza industriale è necessario per poter colare in continuo oltre 10 ore: la presenza continua sulle macchine di un elevato carico termico costituito dal materiale incandescente implica uno studio accurato del disegno dei singoli macchinari, della relativa scelta dei materiali e delle protezioni termiche.
9. La qualità dell'acciaio liquido, la sua pulizia da elementi inquinanti e la costante precisione della temperatura in torretta di colaggio sono aspetti critici. Più avanti i nostri validi collaboratori del reparto acciaieria sapranno dimostrare la loro alta professionalità nel gestire sempre meglio questa criticità.

LA DECISIONE DI PROCEDERE CON ISP

Siamo pronti: devo decidere di ordinare l'impianto.

La disanima fu profonda e si avvale di elevate competenze, ma la decisione non fu certo priva di rischi. La decisione fu di produrre come minimo 4 colate in sequenza pur con un elevato costo dei cilindri nella prima fase di laminazione. Tutte le macchine del processo sono applicabili individualmente, ma il Cast Rolling è qualcosa in più. Tuttavia avevamo valide e ragionevoli attese sia sul piano tecnologico sia su quello tecnico.

Decido di procedere.

La scelta del costruttore di impianti ricade obbligatoriamente su Mannesmann Demag, unica valida alternativa alla Schloemann legata al processo CSP.

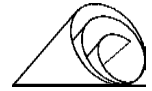
Offro le mie idee alla società Mannesmann, che le accetta, ed insieme le brevettiamo al 50%, depositando il brevetto della tecnologia ISP (In line Strip Production).

A Cremona, nella nuova zona industriale sul canale, parte la costruzione della nuova acciaieria. con capacità produttiva doppia di quella allora esistente.

LA COSTRUZIONE E LA MESSA IN SERVIZIO DEL NUOVO IMPIANTO

La fase pratica riserva sorprese negative: la fornitura delle macchine è in ritardo, la loro scarsa qualità e la resistenza dei tecnici Mannesmann nel riconoscere le proprie responsabilità ci causa danni enormi e mi costringe alla decisione di allontanare Mannesmann dal nostro impianto di Cremona.

Fummo costretti a ridisegnare molte delle macchine, a ricostruirle, a reinstallarle per poter dare inizio alla fase di produzione. Un periodo di lavoro e di impegno incredibile per me ed i miei collaboratori, per la concentrazione e la tensione che la situazione, anche finanziaria,



imponeva. In siderurgia (e non solo, ovviamente) uno stabilimento nuovo e una nuova acciaieria che non producono si traducono in un costo elevatissimo.

Cambiamo le macchine e finalmente partiamo producendo un buon prodotto. Non cambiamo il lay-out, convinti delle nostre idee; i risultati confermano che i nostri studi e la concezione che li hanno ispirati erano giusti.

Nuove idee, nuove soluzioni tecnologiche e tecniche, nuove macchine, nuovo lay-out, nuovo processo per nuovi prodotti.

Nella produzione dell'acciaio le idee si formano con esperienze forti, costose, con tanto lavoro, fatica ed impegno.

Il tutto è confermato dal fatto che le rivoluzioni tecnologiche e tecniche nel settore del colaggio e della laminazione dell'acciaio sono poche nel tempo, l'ultima risale agli anni 1950 con l'applicazione della colata continua.

I PRIMI RISULTATI POSITIVI

ISP si dimostra una tecnologia veramente rivoluzionaria. Accorciando il ciclo di produzione dei nastri di acciaio e compattando le fasi del processo in un unico "organismo", consente di produrre a costi competitivi, in qualità superiore e nei vari gradi di acciaio, gli spessori sottili con caratteristiche tali da poter evitare, per certe applicazioni, la fase di laminazione a freddo.

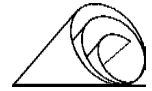
Questo era il nostro obiettivo e dopo tanti sacrifici siamo riusciti a raggiungerlo. Potrebbe sembrare facile, ma non è così.

I risultati si ottengono solo se si controllano tutti gli elementi ed i parametri dall'inizio alla fine del processo, partendo dalla qualità del rottame (o del minerale) fino al prodotto finale sull'aspo di avvolgimento.

Il processo di produzione, nel rispetto del materiale che trasforma, esige una serie di fasi che sono tecnologicamente interdipendenti, dunque devono essere strettamente coordinate.

Questo processo, senza l'ausilio di un elevato grado di automazione integrata, non potrebbe funzionare.

L'impianto di Cremona è il processo più compatto al mondo, conferma il nostro convincimento che l'esigenza primaria e fondamentale è il rispetto delle leggi che governano i cambiamenti di fase dello stato fisico dell'acciaio, le riduzioni di spessore e il profilo termico.



Per ridurre gli spazi, bisogna accelerare le fasi, mantenendo costantemente il pieno controllo del processo di trasformazione e del relativo profilo termico di raffreddamento.

Il controllo di questo processo richiede reazioni immediate e una grande rapidità esecutiva. L'uomo, fino ad ora operatore diretto e influente nel processo classico in quanto ha spazi e tempi sufficienti, invece non riesce più a garantire nell'accelerazione le funzioni di controllo e la loro ripetitività. Entra quindi a sostituirlo, con pieno successo e sicura garanzia, l'automazione basata sul microprocessore.

Con l'invenzione di ISP è possibile ridurre di 10 volte i tempi e gli spazi dei processi classici e ottenere un processo e un prodotto nuovo, di migliore qualità, oltre tutto a costi decisamente inferiori. Con ISP s'inizia una nuova era nella quale l'acciaio sarà trasformato a caldo a partire da una forma più vicina al suo spessore finale, utilizzato direttamente come tale in virtù delle sue dimensioni, qualità e straordinarie prestazioni.

L'ACCIAIO, TRATTATO CON SCIENZA E RISPETTO, SA DIMOSTRARSI "AMICO"

Sento il desiderio di rivolgere un pensiero al nostro "amico acciaio", tanto è sincero e leale il suo comportamento nei nostri confronti.

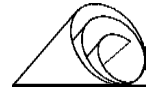
La passione che nutro per l'acciaio mi ha fatto capire che sa esserti "amico" se lo rispetti in tutte le leggi chimico – fisiche che lo governano; e questo vi dice quale sia l'atteggiamento del mio animo nei riguardi dell'acciaio.

Pensare all'acciaio senza pensare alla natura è impossibile. Lo si ricava da elementi naturali e, passando allo stato liquido, si affina e si migliora prima di divenire solido e nella forma dimensionale voluta per essere impiegato dall'uomo secondo le sue esigenze.

Dallo stato liquido a 1550° C passa allo stato solido/plastico per essere portato alla forma finale a 800° C (ancora in fase austenitica): è questo l'intervallo termico nell'ambito del quale l'uomo interviene nelle trasformazioni a caldo e cerca, con l'aiuto delle macchine, di forgiare, laminare l'acciaio, per fargli ottenere la figura e le proprietà necessarie al suo impiego finale.

E' nel passaggio tra questi due stati, da liquido a solido/plastico, in questo intervallo di 600/700° C che i macchinari creati dall'uomo intervengono, talvolta non rispettando tutte le leggi "dell'amico acciaio". La molteplicità delle proprietà che si vogliono ottenere con l'acciaio sono affascinanti e molto vaste e, a tutt'oggi, non sondate nella loro totalità.

E' mio profondo convincimento, prima culturale e poi tecnologico, che solo nel rispetto profondo e totale delle leggi fisiche che governano i passaggi di stato dell'acciaio, l'uomo



possa intervenire con le sue macchine. In caso diverso, l'acciaio, durante e dopo il suo cambiamento di stato, rifiuterà la forzatura, vanificando l'obiettivo. Il non raggiungimento delle proprietà volute è normalmente causato da un processo di trasformazione gestito in condizioni non appropriate.

In virtù di queste considerazioni e per produrre un buon acciaio, il processo e le macchine che lo determinano debbono assolutamente rispondere ai **principi**:

- **di equilibrio** per il processo (profilo termico – lay-out);
- **di simmetria** per le macchine che formano il materiale.

Equilibrio e simmetria insieme sono i requisiti che generano omogeneità e costanza del prodotto.

La mia tecnologia è, ad oggi, la più fedele e rispettosa interprete di questi principi e valori, che trovano riscontro e affermazione nelle espressioni della natura che ci circonda, alla quale dobbiamo sempre riferirci con umiltà per imparare.

Il processo deve essere strutturato in modo tale che le leggi fisiche possano essere rispettate. Il successo è tanto maggiore quanto maggiore è lo sfruttamento delle conoscenze scientifiche nel concepimento del processo. Per l'impianto ISP:

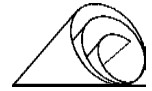
- Il lay-out è concepito in modo tale che per la prima volta l'inizio laminazione avviene ad una temperatura, oltre i 1150°C, in cui l'acciaio, nonostante la struttura primaria della solidificazione, possiede un alto potenziale energetico di trasformazione e assicura un flusso termico costante nel tempo.
- L'acciaio ci ripaga offrendo una resistenza minima alla trasformazione, richiedendo un impegno minimo di energia e con profili geometrici e proprietà stabili e omogenee. In combinazione con specifici elementi di lega si possono ottenere da ISP dei prodotti di altissima qualità.

La mia aspirazione verso nuove soluzioni per "l'amico acciaio" non è ancora stata soddisfatta e sono sempre, insieme ai miei collaboratori, alla ricerca di nuove soluzioni.

LA MESSA A PUNTO DELLA NUOVA TECNOLOGIA

E' il 22 febbraio 1992 quando, a Cremona, si inizia a produrre con tecnologia ISP (In line Strip Production). E' il primo impianto mini-mill per prodotti piani in acciaio d'Europa e il secondo al mondo con tecnologia a bramma sottile.

La quantità e la qualità del lavoro di un team eccellente di tecnici è stata straordinaria nei suoi affascinanti passaggi ed evoluzioni.



Le esperienze più sofferte e le soluzioni più significative sono state affrontate con grande spirito di collaborazione e di dedizione. Dall'inizio ed ancora oggi, il team di tecnici opera con lo stesso spirito ed intensità.

Rendere affidabile un processo, che cola e lamina in continuo per 14 ore nell'aggressivo ambiente siderurgico, è un impegno, che nonostante metta a dura prova le persone, è innanzitutto culturale e professionale e con aspetti esaltanti e gratificanti.

I problemi tecnologici pongono limiti alla loro soluzione oltre i quali è dannoso procedere; dunque sono affidati totalmente alla conoscenza tecnica e alla capacità dell'uomo. E' in questo ambito che noi abbiamo cercato di esprimere il nostro meglio.

La soluzione al problema tecnologico era per noi un dovere imprescindibile. La situazione tecnica e finanziaria dopo il grave insuccesso di Mannesmann Demag non lasciava alternative: si doveva finire il lavoro.

Passo dopo passo sono riuscito con i miei collaboratori a risolvere i problemi e a portare l'azienda al successo.

Il fattore umano congiunto al fattore tecnologico in certe imprese prevale sul fattore economico. Gli uomini, i tecnici dell'Acciaieria Arvedi hanno reso possibile il successo e fatto grande l'impresa.

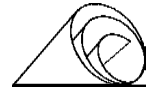
I VALORI STRATEGICI DI ISP

La nostra tecnologia è una rivoluzione anche per la rapidità di risposta al mercato: poter consegnare al mercato in meno di una settimana non è da tutti. Il fattore tempo è un fattore strategico oggi più di ieri e lo sarà ancor più in futuro.

Il nuovo processo semplifica il ciclo produttivo e riduce l'investimento; si produce tramite ciclo a caldo uno spessore sottile che prima era ottenibile solo con un ulteriore ciclo a freddo.

Il maggiore valore aggiunto per unità di capitale investito esalta l'aspetto competitivo anche sul piano economico.

L'utilizzo, nel processo, di un elevatissimo livello di automazione e controllo è una delle chiavi del successo.



La tecnologia ISP è una importante invenzione nel campo della siderurgia non solo per gli aspetti industriali, ma anche per quelli ecologici, ambientali, una occasione di esaltazione della professionalità.

La novità e la unicità delle soluzioni tecnologiche e tecniche sono state rilevanti e confermate da oltre 10 anni di successo industriale; ma è la potenzialità nuova ancora da esprimere, che dà la misura della qualità e della valenza innovativa della Tecnologia ISP. Altre tecnologie hanno esaurito la loro capacità evolutiva e non possono più migliorare le loro prestazioni tecniche e produttive perché i contenuti delle loro proposte sono ormai superati.

La Tecnologia ISP continua ad essere fortemente competitiva con l'impianto attuale e nel contempo ha una tale carica innovativa che è in grado di garantire ulteriori soluzioni in un nuovo processo vincente che ridurrà del 30% i costi di trasformazione e migliorerà il mix dei prodotti e la loro qualità.

Nel 1988 nessuno al mondo credeva nel nostro processo; esso era considerato un sogno e non una realtà industriale possibile.

Lo studio, il sacrificio, l'umiltà di un team di tecnici lo hanno invece reso possibile elevandolo ad esempio di innovazione di processo e di prodotto. Solo così si può ottenere un prodotto con proprietà e caratteristiche eccezionali ed uniche.

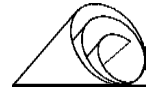
Oggi l'impianto di Cremona produce con la massima affidabilità, in 14 ore di colaggio in continuo, più di 1000 tonnellate di nastro ultrasottile, da 1 millimetro, alla massima larghezza della tavola di laminazione, con caratteristiche metallurgiche e di geometria del nastro che nessun impianto al mondo è in grado di produrre a caldo.

Questo è il risultato straordinario di un processo nuovo che concepisce le macchine che lo formano come un organismo interconnesso e interdipendente in soli 180 metri.

I PRIMATI DI ISP

Il processo ISP ha queste specifiche peculiarità ed eccezionali prestazioni:

- 1) l'impianto più compatto al mondo
- 2) la più alta produttività al mondo per una singola linea
- 3) Mix di prodotto con il più alto valore aggiunto
- 4) minori costi di investimento e costi operativi (capex e opex)
- 5) rapido pay back
- 6) rispetto dell'ambiente per il ridotto consumo energetico e basse emissioni
- 7) profilo termico durante il processo simile a quello della caduta naturale di temperatura attraverso le varie fasi e prossimo ai minimi consumi energetici



8) possibilità di produrre laminati per le parti esposte dell'automobile.

Questa potenzialità è realizzabile a condizione di utilizzare un acciaio liquido di adeguate caratteristiche di purezza ed elaborato con sistemi sotto vuoto, per garantire le caratteristiche di stampabilità. Già nel 1996 si eseguirono test con risultati positivi circa l'ottenimento delle caratteristiche di qualità superficiale.

LA SECONDA GENERAZIONE DI IMPIANTI: CON ESP IL PROCESSO DIVIENE CONTINUO

L'impianto ISP di Cremona è stato oggetto di un progressivo lavoro di studio, di ricerca e di ottimizzazione impiantistica che ha elevato negli anni le prestazioni in termini di qualità e quantità. Come si è già ricordato, l'impianto di Cremona è stato realizzato inserendo il Cremona Box per conciliare le due differenti velocità di processo (colaggio e laminazione) che, nel 1990, erano incompatibili con un corretto profilo di temperatura che consentisse di finire la laminazione del nastro sottile in fase austenitica.

Oggi alla luce delle prestazioni di ISP, e con gli ulteriori miglioramenti ottenibili in termini di velocità di colata e di portata di acciaio, si può realizzare l'impianto completamente continuo che prevede il taglio del materiale alla fine del ciclo di processo e immediatamente prima degli aspi avvolgitori.

La Figura 2 riporta lo schema di processo della linea Arvedi ESP (Endless Strip Production) (1) che realizza il Cast-Rolling con la colata della bramma sottile, la prelaminazione (HRM) e la laminazione di finitura in continuo.

Il tempo di processo sulla linea ESP sarà di soli 7 minuti, contro i 15 minuti di ISP, con una resa tra acciaio liquido e nastro di prima scelta del 98%.

Si prevede che la fase evolutiva finale del processo ESP endless possa realizzare la completa compattazione del treno di laminazione posto in diretta connessione a valle della colata.

La Figura 3 riporta lo schema di processo della linea ARVEDI ESP (2), che realizza una ulteriore compattazione.

Il centro produttivo di Cremona sarà dotato di una linea a tecnologia ISP Batch (primo in Europa, secondo al mondo) e della compatta e innovativa tecnologia ESP Endless (primo impianto al mondo).

Il brevetto ESP presentato evidenzia la peculiarità del massimo sfruttamento dell'energia termica residua del liquido e della successiva solidificazione riduzione e trasformazione a prodotto finale che ad ora io ritengo ragionevolmente possibile.

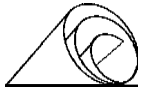


FIGURA 2 LAY-OUT LINEA ARVEDI ESP (1)

E' la prima evoluzione di ISP che realizza velocità di colata e mass flow sufficienti alla gestione della laminazione in continuo ottenendo spessori sottili a caldo

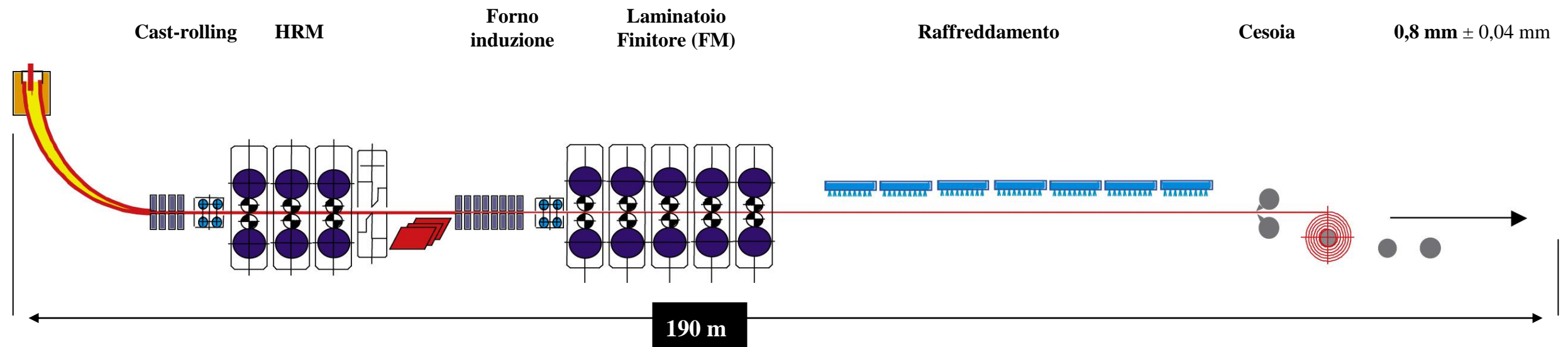
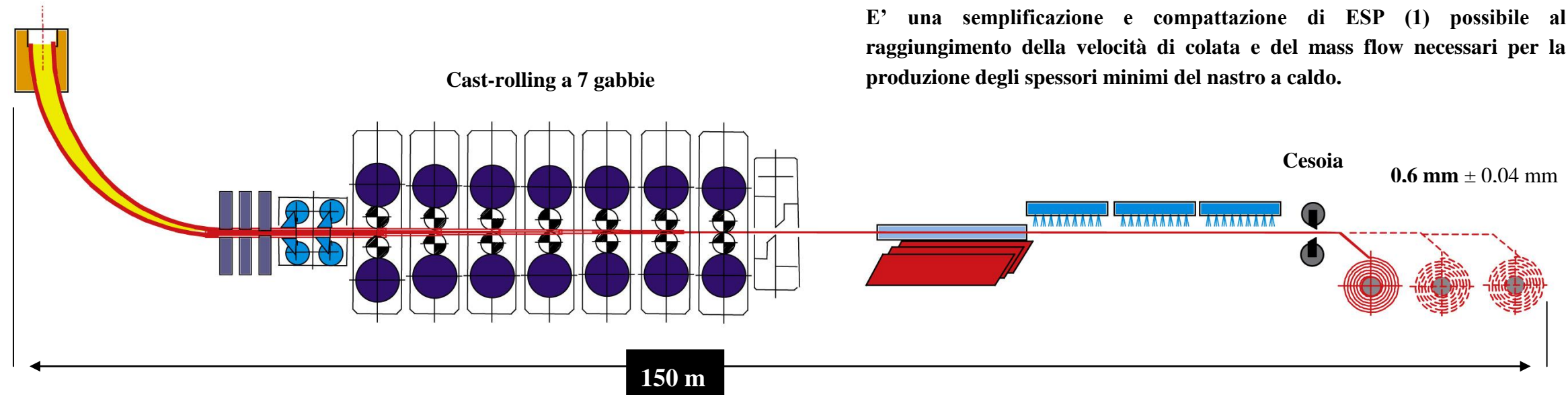
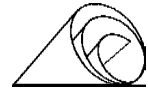


FIGURA 3 LAY-OUT LINEA ARVEDI ESP (2) a 7 gabbie in linea

E' una semplificazione e compattazione di ESP (1) possibile al raggiungimento della velocità di colata e del mass flow necessari per la produzione degli spessori minimi del nastro a caldo.





L'impianto ESP di Cremona saprà dimostrare che è disponibile e collaudato una nuova soluzione di impianti per la produzione di nastri che offre interessanti costi di investimento e di trasformazione per ottenere un prodotto industriale di qualità superiore.

Il progressivo aumento della velocità della colata continua ed il conseguente aumento del mass flow consentiranno una produzione oraria paragonabile alle attuali produzioni dei laminatoi classici operanti nel mondo.

LE PRESTAZIONI ATTESE DA ESP

Il prossimo impianto dell'Acciaieria di Cremona con tecnologia ESP endless sarà in grado di produrre con le stesse caratteristiche (in fase austenitica) uno spessore molto sottile, noi pensiamo 0,7/0,8 mm, poiché la linea ISP produce già su scala industriale un nastro a caldo con spessore da 1 mm con caratteristiche qualitative tali da renderlo sostituibile al laminato a freddo ricotto

A partire da questo nastro laminato a caldo, di spessore e caratteristiche qualitative eccezionali, è facile comprendere quali enormi vantaggi si possono avere nel trasformarlo con un impianto di dimensioni limitate in spessori tra 0,8 e 0,14 mm che costituiscono una grande fascia di mercato e che oggi vengono prodotti a partire da spessori di 3/2,5 mm e sottoposti, per certi gradi di acciaio, a doppia riduzione a freddo. La Figura 4 riporta lo schema di ESP combinato con un impianto di decapaggio (decapaggio + laminazione). Tale configurazione offre elevati vantaggi in termini di costi di investimento (ridotto numero di gabbie di laminazione) e costi di trasformazione poiché sfrutta le caratteristiche del nastro a caldo di partenza di basso spessore e ottima precisione.

Prevediamo che, una volta avviato ESP a Cremona, la riduzione del tempo del ciclo completo della produzione di acciaio, dal liquido al nastro di acciaio laminato di minimo spessore (0,14 mm), potrebbe possa diventare oltre 10 volte inferiore a quello attualmente in uso in tutto il mondo.

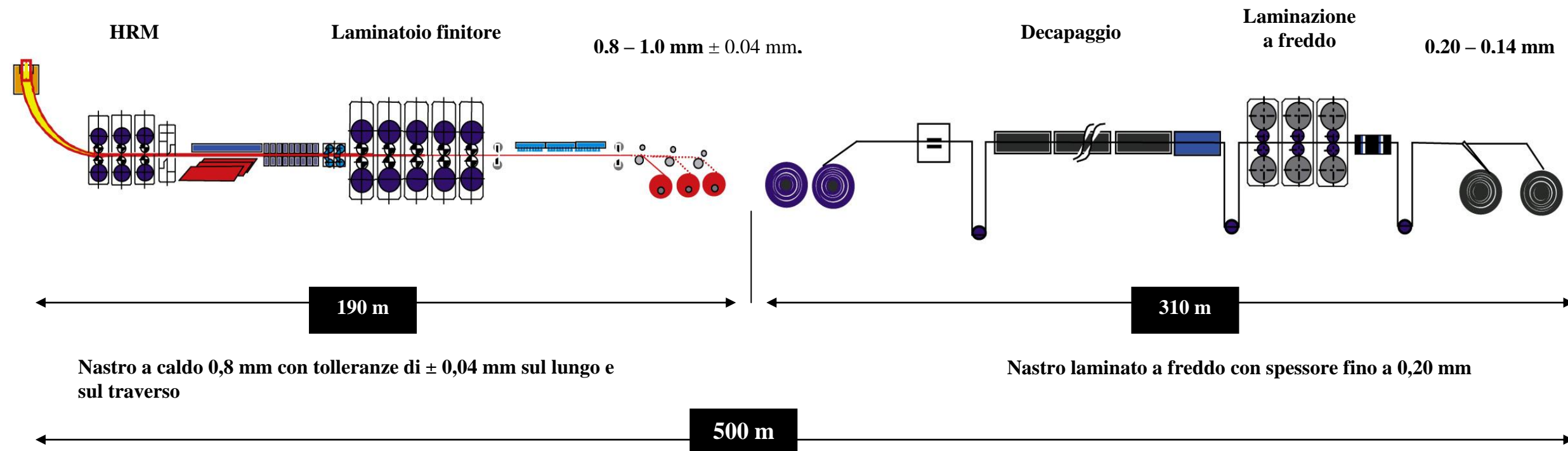
Oltre ai vantaggi industriali, le ricadute positive sul consumo energetico e sull'ambiente sono facilmente immaginabili .

Io mi rendo conto che quando si pensano soluzioni rivoluzionarie, basate su nuovi concetti tecnologici, si rischia l'incomprensione, il pregiudizio, lo scetticismo, specie in un settore, quello siderurgico, dove improvvisare, oltre che rischioso, è impossibile e dove invece la conoscenza si acquisisce con fatica ed impegno in anni di lavoro e sacrificio.



FIGURA 4 ARVEDI ESP con decapaggio e laminazione a freddo

A Cremona nell'Acciaieria Arvedi, l'impianto combinato costituito dal processo ESP con la laminazione a freddo in linea trasforma l'acciaio liquido fino allo spessore di 0,2 mm con un utilizzo di spazio 10 volte inferiore a quello degli impianti convenzionali



Mettere in discussione tutto quanto con nuove idee di cambiamento implica un impegno, un sacrificio superiore a quello di chi si affida a 50 anni di esperienze e produzioni consolidate. Anche se quanto ideato si è avverato, il dubbio, la reticenza, la chiusura di alcuni non si sono ancora dissolti anche dopo quasi 18 anni di lavoro e risultati positivi.

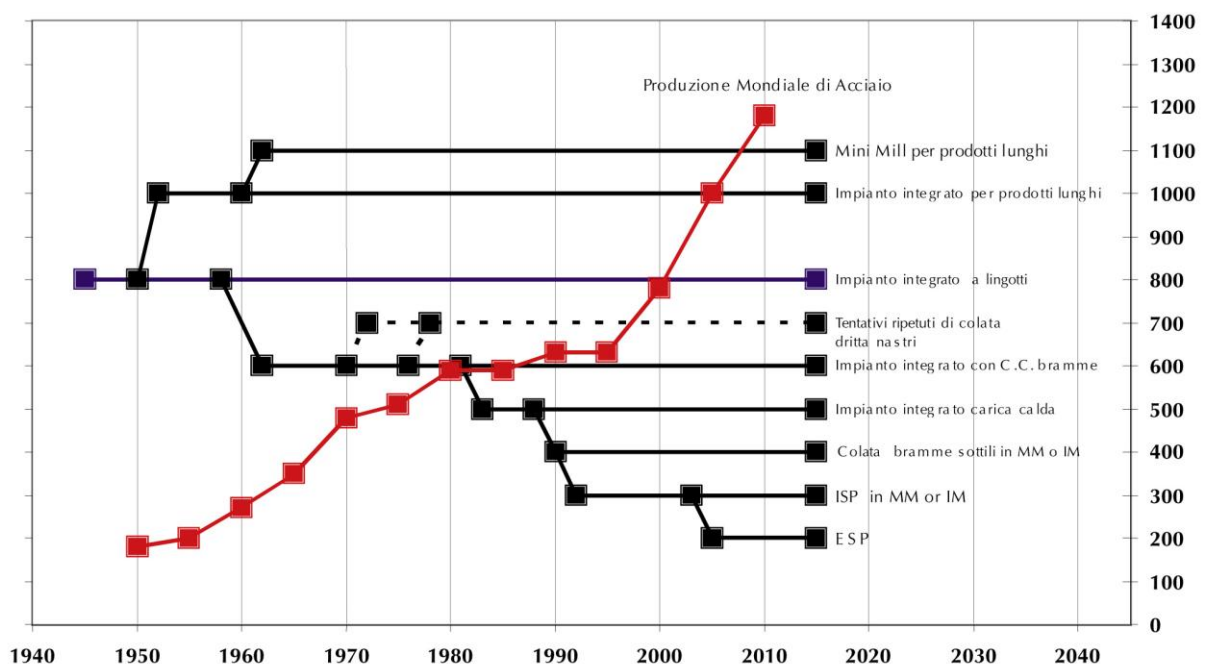
Io penso che i loro dubbi si dissolveranno completamente con l'entrata in produzione dell'impianto ESP. trenta anni dopo i primi pensieri, venti dopo le prime prove, dieci anni dopo l'inizio di produzioni industriali con eccezionali risultati produttivi ed economici.

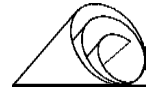
Ho cercato di riflettere a fondo ascoltando da tutti consigli, dubbi e osservazioni; ma nel contempo ho formato le mie idee e profonde convinzioni alle quali poi non ho rinunciato.

- Ho sempre pensato che la produzione di bramme sottili su una singola linea sia la soluzione ottimale
- credo possibile un incremento della velocità della colata continua e del conseguente mass flow
- penso che il mercato richiederà sempre più nastri di acciaio in gradi speciali e in spessori sottili
- sono convinto che la nostra tecnologia per gli anni a venire rimarrà competitiva
- il tempo di consegna e la flessibilità saranno fattori determinanti
- l'innovazione di processo e di prodotto è l'arma vincente del nostro secolo
- le idee semplici spesso sono anche le più grandi

Lo schema sotto riportato evidenzia in sintesi il quadro evolutivo della innovazione tecnologica in siderurgia nel periodo 1950 / 2010 e la crescita produttiva mondiale. Tra i più recenti esempi di innovazione figurano la colata da bramma sottile e Arvedi ISP ed ESP.

Albero evolutivo della siderurgia dal 1950 con i punti di svolta





QUALE ULTERIORE PASSO DOPO ESP

Da tempo penso a quale successiva ulteriore evoluzione si possa ipotizzare dopo la soluzione adottata da ESP.

I parametri metallurgici legati alla fusione, solidificazione, raffreddamento e formazione di una struttura metallurgica corretta non consentono attualmente, a mio modesto pensiero, altre possibili semplificazioni e compattamenti.

Si dovrebbe continuare a ridurre i costi di investimento e produzione (capex e opex) nel rispetto di un prodotto finale di ottima qualità con una maggiore compattezza del processo dall'acciaio liquido al punto di solidificazione.

L'INNOVAZIONE, UN LAVORO DURO ... CHE DÀ SODDISFAZIONE

Il lavoro è stato tanto, come il sacrificio e la solitudine: una prova severa per anni. Nel prossimo futuro potrò completare la realizzazione delle mie idee iniziali, che non ho mai cambiato, e che ho arricchito, convalidato, confermato nel corso di anni di sviluppo e ottimizzazioni.

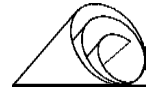
La prima idea, del 1985 e brevettata nel 1988, era di un impianto Endless ed era giusta; ora dopo un impianto Batch e venti anni di esperienze posso costruire un vero impianto Endless. Quando iniziai a riflettere, nel 1976, considerai che l'uomo "moderno" non può accettare di produrre l'acciaio, il materiale che più caratterizza un paese moderno, in un modo "non moderno".

Ritengo che il problema del colaggio e della laminazione di un nastro di acciaio sia, sotto ogni aspetto, sulla via di una soluzione ottimale. Per ridurre la scala dimensionale delle acciaierie anche nella fase di trasformazione del minerale di ferro al liquido, l'uomo deve dedicare risorse umane e capitali adeguati per trovare anche in questo ambito una soluzione moderna.

Ho lasciato un cammino facile per un cammino difficile, ma nel quale io credevo; dopo anni di esperienze penso che sia stato giusto così.

Ho sempre creduto nel primato della cultura, nel rispetto della scienza e nell'importanza della conoscenza.

Vivere e vincere in siderurgia una sfida in concorrenza con i colossi giapponesi, coreani, cinesi, europei ed americani è il frutto di tanti valori che abbiamo in ognuno di noi e che a me, in questo caso, hanno insegnato ancora di più a mettere al primo posto del mio pensiero l'operosità, la scienza, l'umiltà ed il sacrificio.



L'unico modo per superare le grandi difficoltà della vita è quello di avere fiducia nelle proprie idee, amare il proprio lavoro e seguire quello che il nostro intuito ed il nostro cuore suggeriscono: loro conoscono i nostri segreti e sanno bene quello che vogliamo fare.

Senza i miei bravi collaboratori non sarei riuscito a portare a compimento la tecnologia e a raggiungere il successo dell'impresa.

E' stata una grande soddisfazione ed arricchimento avere condiviso una esperienza umana, tecnologica ed industriale così importante ed alla fine... semplice.

COPERTURA BREVETTUALE DELLA TECNOLOGIA

Sono stati depositati 20 brevetti relativi alle fasi di colata e laminazione di bramme sottili che apportano miglioramenti, con nuove macchine e nuovo lay-out, e soluzioni industriali verificate con prestazioni eccezionali di gamma produttiva, qualità, costi di investimento e trasformazione.

Il complesso della proprietà tecnologica di Arvedi, definito con il termine di Arvedi Steel Technology, è costituito da un insieme di brevetti, estesi ai maggiori paesi industrializzati del mondo, che coprono processi produttivi per nastri, lamiere, prodotti lunghi, prodotti in coils speciali e specifici componenti d'impianto.

Di seguito si riporta un'elencazione con i riferimenti ai brevetti in Italia ed Europa.

BREVETTI RILASCIATI

1. ISP

Processo e impianto per la produzione continua di nastro di acciaio

- Italia 1224318 04/10/1990
- Europa 0415987 16/12/1992

2. TUFFANTE SLIM B.2

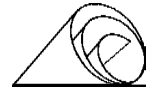
Tuffante per colata continua bramme sottili

- Italia 1284035 08/05/1998
- Europa 925132 30/08/2000

3. MOULD SYSTEM

Sistema per colare bramme, in particolare di spessore sottile e ad alta velocità

- Italia 1287156 04/08/1998
- Europa 0946316 02/01/2002



4. LINGOTTIERA AR 18 A CONTATTO MIGLIORATO

Lingottiera per la colata continua di bramme d'acciaio a contatto migliorato

- Italia 1293817 10/03/1999
- Europa 1011896 16/01/2002

5. NASTRO SOTTILE E PEZZI STAMPATI

Processo e impianto per la produzione diretta di prodotti finiti da nastro ultrasottile fabbricato attraverso colata continua e laminazione in linea

- Italia 1302582 29/09/2000
- Europa 1117493 17/07/2002

6. CREMONA BOX

Dispositivo per l'avvolgimento/svolgimento di un nastro tra colata continua e laminatoio

- Germania 4013582.9 06/11/1991
- Italia 1245612 29/09/1994
- USA 5131134 21/07/1992

7. HORIZONTAL COILER

Processo e impianto integrato di colata continua e laminazione in linea con avvolgimento / svolgimento intermedio, forno ad induzione e raddrizzatrice

- Europa 1196256 02/07/2003

DOMANDA DI BREVETTI IN ESSERE

1. NASTRO ULTRASOTTILE (Tecnologia E.C.R.)

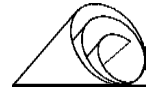
Processo e impianto per la fabbricazione di nastri ultrasottili a caldo da colata continua per bramma sottile

- Italia MI2002 A001996 19/09/2002
- Europa 03797508.3 22/09/2004

2. CREMONA BOX 2

Sistema e processo con due dispositivi di avvolgimento / svolgimento del pre-nastro provvisti di bruciatori esterni ed interni

- PCT Internazionale PCT/IT2004/000378 08/07/2004



3. CREMONA BOX 3/due Linee + Endless

Processo e impianto per la fabbricazione a caldo di nastri di acciaio da due linee di colata con dispositivi di avvolgimento/svolgimento per consentire anche la laminazione endless

- Europa 04425805.1 28/10/2004

4. ACCIAIO AMS

Nastro d'acciaio laminato a caldo per la produzione di pacchi lamellari elettromagnetici

- Europa 04425878.8 24/11/2004

5. ACCIAIO AMP

Nastro d'acciaio bifasico laminato a caldo presentante caratteristiche di un laminato a freddo

- Europa 04425877.0 24/11/2004

6. ACCIAIO AHS

Nastro d'acciaio microlegato laminato a caldo

- Europa 04425879.6 24/11/2004

7. ACCIAIO ATC

Processo di produzione di nastri d'acciaio adatti ad un rivestimento superficiale resistente all'ossidazione

- Europa 04425880.4 24/11/2004

8. E.S.P.

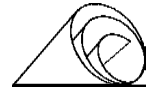
Processo ed impianto per la produzione di nastri d'acciaio e lamiere di metallo senza soluzione di continuità tra colata continua e laminazione PCT Internazionale

- PCT/ IB2005/ 000915 07/04/2005

9. A.S.T. per Prodotti Lunghi

Processo e impianto per la fabbricazione di prodotti lunghi d'acciaio senza interruzione

- PCT Internazionale PCT/ IT2005/ 000413 19/07/2005



10. A.S.T. per Lamiera

Processo e impianto per la fabbricazione di lamiera d'acciaio senza interruzione

- PCT Internazionale PCT/ IT2005/ 000412 19/07/2005

11. TUFFANTE B2-ECR

Tuffante per colata continua bramme ad alto mass-flow

- Europa 04425844.0 12/11/2004

12. A.S.T. Batch

Processo per la produzione di nastri d'acciaio con soluzione di continuità

- PCT Internazionale del 22/12/2005

13. Batch con omogeneizzazione

Processo per la produzione di nastri d'acciaio con soluzione di continuità ed omogeneizzazione della temperatura della barra sullo spessore

- PCT internazionale del 22/12/2005



2 – IDEA E SVILUPPO DELLA TECNOLOGIA ISP

L'INNOVAZIONE TECNOLOGICA NELLA SIDERURGIA DEI LAMINATI PIANI

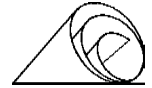
Il processo/tecnologia I.S.P. (**In-line Strip Production**) è la concretizzazione di idee concepite da Giovanni Arvedi, sulla spinta dell'esigenza, che cominciava a manifestarsi nella seconda metà degli anni '70, di dotarsi, per i propri prodotti di qualità, di una fonte autonoma di approvvigionamento della materia prima, i coils, che fosse flessibile, affidabile e di taglia appropriata e in grado di produrre a caldo spessori più sottili di quanto disponibile all'epoca. Le tecnologie disponibili allora, ossia le convenzionali, se si eccettua il processo Steckel, comunque non adatto ai prodotti di qualità, comportavano impianti di dimensione e di investimento enormi e per nulla flessibili.

Da allora e soprattutto dalla seconda metà degli anni '80 il Gruppo si è interessato, ha analizzato e studiato tutte le novità tecnologiche che al riguardo si profilavano, finché nel 1988, dal connubio fra le esperienze sulla bramma sottile, in corso presso Mannesmann, e le teorie maturate da Arvedi, prendeva corpo e veniva congiuntamente brevettata l'idea della nuova tecnologia ISP che, attraverso una nuova filosofia di impianto e soluzioni tecnologiche innovative, compattava, in un unico ciclo la trasformazione che le tecniche convenzionali realizzavano in fasi distinte ed in spazi di almeno quattro/cinque volte maggiori; inoltre per certi versi, andava in "controcorrente" rispetto alla cultura tecnica dominante sugli impianti compatti, in quanto si poneva come obiettivo una connessione diretta fra colaggio e laminazione e l'ingresso al finitore con spessori di bramma particolarmente ridotti.

Dopo una serrata campagna di prove sperimentali effettuate nella vecchia acciaieria ATA su modelli e simulacri delle parti più innovative del processo, a supporto della fase di progettazione, veniva realizzato a Cremona, in associazione con una nuova acciaieria elettrica, il primo impianto (primo esempio di mini-mill europea per laminati piani), sul quale, a partire dai primi giorni del 1992, iniziava lo sviluppo e l'industrializzazione della tecnologia; sviluppo condotto con il supporto di Mannesmann solo per il primo anno e proseguito poi con risorse interne.

Già nel 1994 il prototipo diventava impianto produttivo superando il target iniziale di produttività.

L'evoluzione non si è comunque mai arrestata e l'impianto è continuamente cresciuto in termini di produttività, efficienza e qualità di prodotto, superando complessivamente di oltre il 50% gli obiettivi di progetto.



L'impianto, oggi (comprendendo gli ultimi interventi programmati nel 2000) ha una produttività di 800 mila ton/anno, con una larghezza media del coil di 1250 mm e con un mix produttivo costituito per oltre il 36% di acciai speciali ed oltre il 26% di spessori sottili, inferiori ad 1,6 mm. Sono inoltre in corso, prove di fabbricazione di coils in acciaio inox, che hanno fornito risultati incoraggianti.

La capacità raggiungibile con il processo I.S.P., adottando una configurazione di impianto a doppia linea di colata continua convergente sul laminatoio finitore, con coils di qualità dolce/commerciale in larghezza media di 1500 mm, è dell'ordine di 2 mio di ton/anno.

LA CRESCITA DEGLI IMPIANTI THIN SLAB

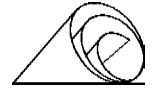
E' ormai passato un ventennio da quando sono comparse sulla scena, nel settore dei laminati piani, le nuove tecnologie di tipo near-net-shape, basate sulla colata in bramma sottile.

La prima è stata il processo CSP (Compact Strip Production), della tedesca SMS, avviato presso la NUCOR a Crawfordsville (Indiana) a metà del 1989, e la seconda il processo ISP (In-line Strip Production), dei cui diritti di sfruttamento Arvedi detiene attualmente la proprietà esclusiva, avviato presso lo stabilimento Arvedi di Cremona tra la fine del 1991 e gli inizi del 1992.

Successivamente sono sorte altre versioni di processi compatti, facenti capo ad altri costruttori, fra cui il processo FTSR (Flexible Thin Slab Rolling) della Danieli, e con più o meno alterne fortune, il processo Conroll della V.A.I. e il processo CPR, che tuttavia non ha avuto seguito.

Le prime tre tecnologie, una volta superati i primi anni di messa a punto, hanno avuto un notevole successo tant'è che a poco più di dieci anni di distanza dalla prima comparsa hanno raggiunto complessivamente una capacità di circa 50 mio di ton, pari al 16% di tutta la capacità mondiale di laminati piani. Si sono diffuse un po' in tutto il mondo con una maggiore intensità negli USA dove raggiungono una percentuale di partecipazione della produzione di circa il 30%. L'Europa, a parte l'impianto Arvedi, arriva un po' in ritardo, ma sta già recuperando.

Queste tecnologie hanno in comune l'utilizzo, sia pure con modalità diverse, delle tecniche di bramma sottile ed il collegamento in linea del colaggio con la laminazione, con la conseguente compattazione del ciclo; ma la differenza fra alcune fondamentali soluzioni tecnologiche adottate, soprattutto da ISP rispetto alle altre tecnologie, ne differenziano non solo le prestazioni, ma anche le potenzialità di evoluzioni future.



I PRINCIPALI ASPETTI INNOVATIVI DEL PROCESSO I.S.P.

Il processo produttivo originale è stato concepito per produrre in modo competitivo, in dimensioni compatte (lunghezza 180 metri dall'acciaio liquido al coil a caldo) e con la massima flessibilità, coils di qualità, compreso l'acciaio inossidabile, e spessori sottili, più sottili di quanto ottenibile con gli impianti tradizionali.

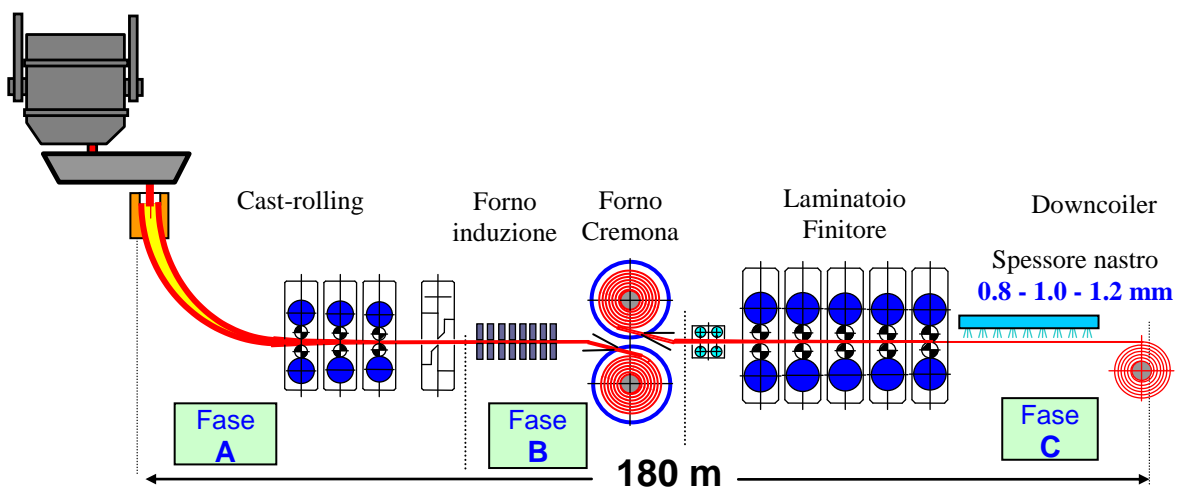
Il principio di funzionamento del processo I.S.P. è sinteticamente evidenziato nello schema seguente:

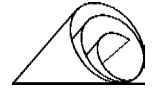
Fase A: (cast-rolling – colaggio/laminazione durante la solidificazione della barra); in questa fase viene realizzata la diretta connessione tra il colaggio e la laminazione di sbazzatura;

Fase B: riscaldamento a induzione ed avvolgimento intermedio al Cremona Furnace

Fase C: (laminazione di finitura, raffreddamento ed avvolgimento); la produzione di coils a caldo, eseguita in funzione della velocità di colata e della velocità di laminazione, viene realizzata con una soluzione impiantistica ispirata ai principi della laminazione a freddo.

SCHEMA DEL PROCESSO I.S.P.





Fase A – cast-rolling

- Colaggio di bramma sottile in lingottiera simmetrica dello spessore di 65 mm
- “Soft reduction”: estrazione continua dalla lingottiera e riduzione dello spessore della bramma, a valori compresi fra 40 e 50 mm, eseguita a cuore liquido. Con velocità di colaggio normale di circa 5 m/min (possibilità di variazione fra 2 e 6 m/min) viene ridotto il consumo energetico e vengono migliorate le caratteristiche metallurgiche (isotropia, grano fine, basso livello di segregazione).
- “High reduction” che realizza il cast-rolling posto in linea e in diretta connessione con la colata, a valle del punto finale di solidificazione.
- Riduce lo spessore della bramma appena solidificata a valori compresi tra i 10 e i 20 mm, conferendo al prodotto un profilo estremamente preciso e perfettamente planare.

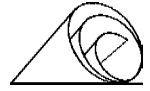
Fase B – Riscaldamento a induzione e Cremona Furnace

- Taglio della bramma con cesoia trasversale a pendolo: all’uscita della high reduction il materiale è già allo stato di laminato.
- Forno di riscaldamento a induzione: riscaldamento del nastro intermedio in un forno a induzione per il recupero, dell’ordine di 150/250°C, della corretta temperatura di laminazione.
- Il forno a induzione è di concezione originale in quanto è stato il primo esempio al mondo di forno a induzione per il riscaldamento in continuo di bramme sottili.
- “Cremona Furnace”: primo attrezzato col mandrino specificatamente per l’avvolgimento delle bramme prelamine a spessori sottili, rende possibile con la sua concezione originale la produzione in linea con successiva laminazione di finitura, disaccoppiando la fase di colaggio e prelaminazione dalla fase di laminazione di finitura (quest’ultima ha una velocità di entrata nel laminatoio superiore di alcune volte alla velocità di uscita della high reduction).

Esso è costituito da due aspi, situati in camere di mantenimento della temperatura, che funzionano alternativamente da avvolgitori del nastro proveniente dal forno e svolgitori verso il laminatoio finitore.

Crea un’accumulazione temporanea ed omogeneizza la temperatura anche in senso longitudinale di tutta la barra in avvolgimento, dalla testa alla coda.

Crea le pre-condizioni perché il treno finitore possa laminare il nastro intermedio a velocità e temperatura costante.



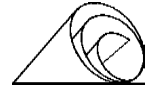
Fase C – Laminazione di finitura

- Discagliatura eseguita con due rampe da 400 bar.
- Laminazione di finitura eseguita in un treno finitore dove si ottengono prodotti con alto grado di precisione e spessori sottili fino a 0,8 mm con sole 5 gabbie.
- Tutte le gabbie del treno finitore sono equipaggiate con sistemi di “shifting , bending” e AGC.
- Via di uscita a flusso d’acqua laminare.
- Aspo avvolgitore del coil.

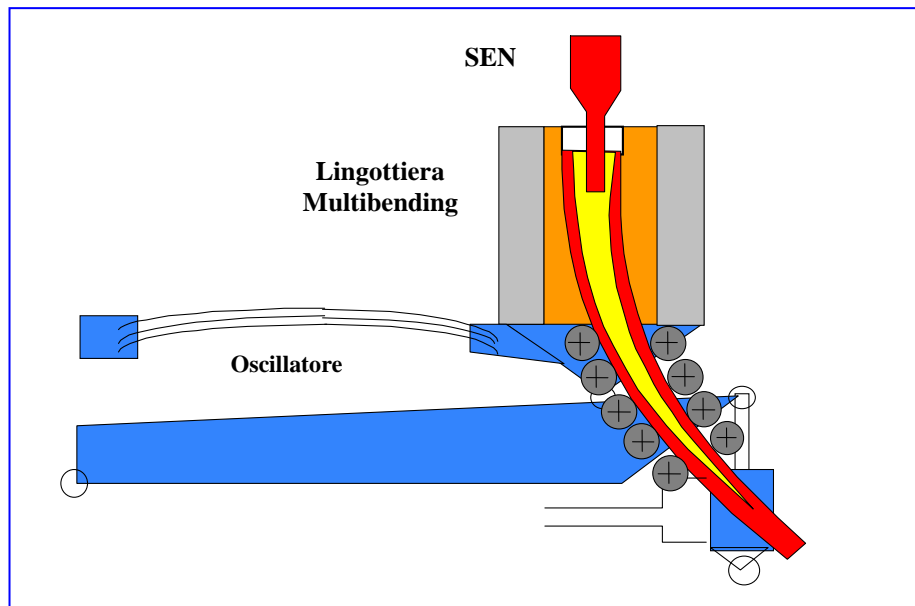
Con I.S.P. si realizza:

- *basso spessore in entrata al finitore* (10 – 20 mm) – per l’ottenimento di spessori di nastri a caldo ultrasottili in fase austenitica (1 – 0,8 mm), con alta precisione di profilo (1,6% sullo spessore 1,2 mm) e spessore (+/- 4% sullo spessore 2,5 mm), e migliori caratteristiche di rugosità (valori di Ra entro i 2 micron).
- *il massimo risparmio energetico* tramite il cast-rolling (riduzione dello spessore della bramma a cuore liquido e prelaminazione a cuore solido) che sfrutta completamente l’energia termica del liquido con un risparmio energetico del 50% rispetto all’impianto tradizionale (circa 4 TEP per ogni 100 ton di prodotto).
- *La modulazione, il controllo e l’ottimizzazione dei parametri fondamentali di processo:*
 - spessore e profilo
 - temperatura
 - velocità
- *un alto grado di flessibilità produttiva* verso:
spessori sottili di 0,8 mm minimo con laminazione in fase austenitica per la gamma completa degli acciai al carbonio ed inossidabili

Il processo I.S.P. presenta una serie di applicazioni originali (coperte da numerosi brevetti) che rendono possibile la realizzazione di altri processi innovativi a valle.

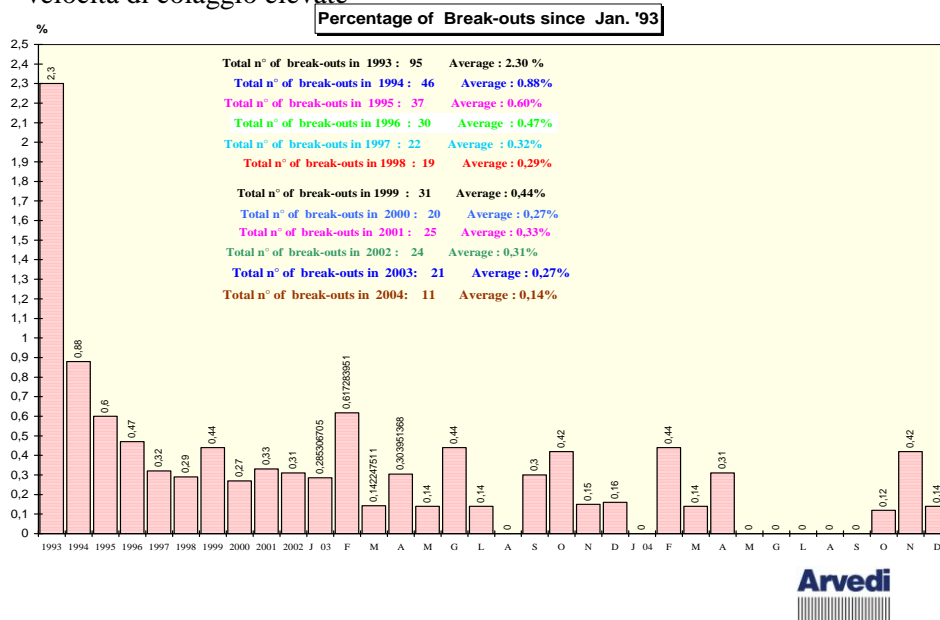


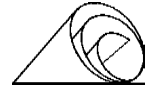
SISTEMA LINGOTTIERA



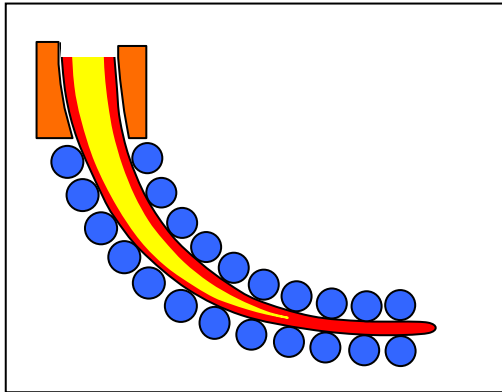
Il SISTEMA LINGOTTIERA, è uno dei parametri fondamentali per ottenere un prodotto finale di alta qualità, alta produttività (sequenze lunghe), alto grado di affidabilità (basso tasso di break-outs) ed è costituito da:

- *tuffante* : adatto ad un alto flusso d'acciaio, assicura la crescita omogenea del guscio solidificato e sequenze lunghe, il che significa una resa ottimizzata.
- *lingottiera multibending*: per permettere una ridotta altezza della macchina di colata, mantenendo un contatto perfetto con il guscio del nastro.
Progettata per creare un'interfaccia ideale tra l'acciaio liquido e la polvere di colata dove si produce la scoria liquida.
- *Oscillatore* servo-idraulico: preciso e flessibile per soddisfare le esigenze di ogni qualità di acciaio e per assicurare una buona lubrificazione e qualità di superficie anche a velocità di colaggio elevate





LE SOLUZIONI INNOVATIVE DELLA TECNOLOGIA I.S.P.



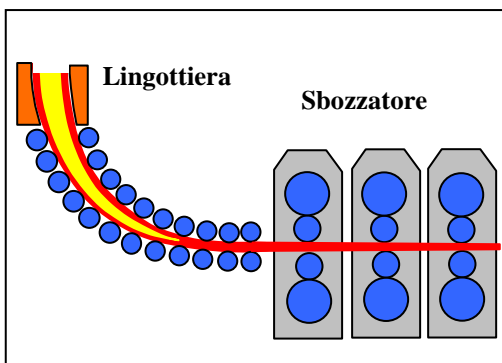
RIDUZIONE A CUORE LIQUIDO

I vantaggi principali dal punto di vista del processo:

- liberare lo spessore della lingottiera dallo spessore della bramma colata
- permettere spessori finali più sottili del nastro.

I vantaggi principali dal punto di vista del prodotto:

- Produrre un materiale omogeneo senza orientamento prevalente (effetto stirring, facilitazione della solidificazione globulare)
- assenza di segregazioni
- caratteristiche meccaniche superiori (finezza del grano)

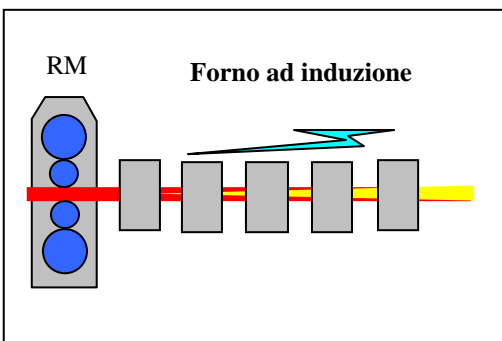


PROCESSO DI CAST - ROLLING

Applicare la tecnica del Cast- Rolling sulla bramma significa la carica diretta dalla colata continua, senza interruzione, di un laminatoio di High Reduction.

I vantaggi energetici di questa soluzione sono evidenti.

Il nastro lascia l'ultima gabbia con proprietà geometriche molto buone (formatura costante e continua del profilo della bramma in trasferimento) adatte per la migliore laminazione finale.

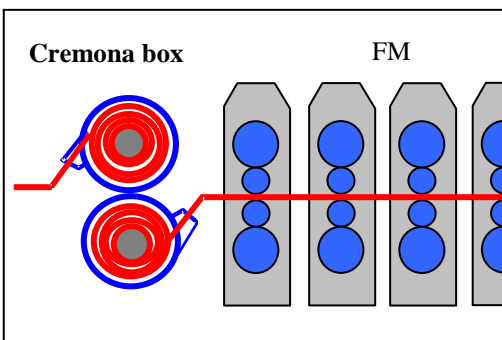


FORNO AD INDUZIONE

L'impianto è dotato di forno ad induzione per una barra di trasferimento collegata direttamente con la colata.

Il forno è stato progettato da ARVEDI ENGINEERING per ottenere un tempo di risposta veloce ed un risparmio energetico.

Gestito con controllo automatico il forno genera un profilo termico della barra in trasferimento pre-definibile, adatto alla laminazione finale, in funzione della temperatura in ingresso, la velocità, la qualità d'acciaio.



CREMONA FURNACE

Nell'impianto I.S.P. la barra in trasferimento, collegata direttamente, senza interruzione, con l'unità di High Reduction e con la Colata, è avvolta allo scopo di creare:

- Buffer
- Temperatura costante
- Velocità costante nel treno finitore.



I PUNTI DI FORZA DELLA TECNOLOGIA I.S.P.

I vantaggi o punti di forza della tecnologia I.S.P. (in parte comuni alle altre tecnologie compatte), in associazione ad acciaieria elettrica o a nuovi sistemi di produzione di liquido da minerale più snelli dei classici altoforni, sono:

- una sensibile riduzione di scala (di un ordine di grandezza) degli insediamenti produttivi in termini di spazi e dimensioni; lo stabilimento ISP utilizza un'area di soli 350 mila mq. di cui 61 mila coperti
- la riduzione della taglia produttiva economicamente efficiente a valori compresi tra 1 e 2 mio/ton e conseguente abbassamento dei break-even point produttivi
- abbattimento dei costi di investimento sia in assoluto che specifici (ossia per ton di capacità installata)
- in sostanza la realizzazione di mini-mill anche nel settore dei laminati piani; a cui vanno aggiunti:
 - forte risparmio energetico e riduzione dei costi di gestione
 - drastica riduzione dei tempi di produzione (meno di 2 ore dal rottame al coil)
 - maggiore flessibilità e adattabilità al mercato
 - possibilità, adottando le tecniche oggi disponibili, di limitare notevolmente l'impatto ambientale; I.S.P. al riguardo è avvantaggiato, adottando un forno a induzione anziché un forno a combustibile fluido.

In aggiunta, il processo I.S.P., in virtù della tecnica del cast-rolling, adottata nella fase di colata continua, del forno ad induzione estremamente compatto, nonché del buffer ed omogeneizzatore di temperatura rappresentato dal Cremona Furnace, consente di ottenere:

- una maggiore compattezza di impianto; con i suoi 180 metri è il più compatto fra le tecnologie thin-slab esistenti;
- struttura omogenea a grano fine già a livello di bramma sottile;
- segregazione centrale praticamente assente;
- nastri sottili ($0,8 \div 1$ mm) con tolleranze dimensionali paragonabili a quelle dei laminati a freddo.

In altre parole, I.S.P. realizza oltre ad una innovazione di processo anche una innovazione di prodotto.

Oggi che i risultati sono ormai saldamente consolidati ed hanno ampiamente superato gli obiettivi iniziali di progetto, crediamo di poter affermare che l'I.S.P. rappresenti lo stadio più avanzato dell'innovazione tecnologica introdotta dagli impianti compatti thin-slab.



Non solo, ma il processo I.S.P. possiede ancora notevoli potenzialità, specie se concepito come elemento centrale di una integrazione più spinta del ciclo siderurgico che va dalla materia prima al pezzo finito.

EVOLUZIONE INNOVATIVA DELLA TECNOLOGIA I.S.P.

Lo scenario competitivo attuale, con le accelerazioni create anche dalla NET ECONOMY, introduce un fattore competitivo dominante - il fattore TEMPO. Tale fattore sta diventando una componente fondamentale della capacità competitiva in aggiunta ai fattori tradizionali come costo, qualità e quello più recente costituito dalla compatibilità ambientale.

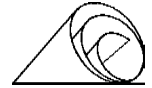
Con I.S.P. si è già ottenuta una riduzione a soli 90 minuti del tempo di trasformazione dalla carica di rottame al coil a caldo, riduzione che corrisponde ad un ordine di grandezza rispetto agli stabilimenti convenzionali.

Il nuovo mercato richiede però un ulteriore abbattimento, almeno di un ordine di grandezza, del tempo necessario alla trasformazione in prodotti quali gli stampati, imbutiti e profilati pronti per l'utilizzo finale come, ad esempio, l'industria automobilistica.

Se oltre alla rapidità del processo I.S.P., si considerano le particolari caratteristiche dei prodotti da esso ottenibili, in termini di omogeneità strutturale e precisione dimensionale, unite alla possibilità di produrre a caldo e a costi competitivi spessori più sottili di quelli disponibili con le tecnologie oggi in uso, si può pensare ad un ciclo competitivo di più lavorazioni in linea; è quindi possibile pensare alla realizzazione di una “nuova fabbrica” in grado di dare risposte al mercato in termini molto brevi, secondo le esigenze del just-in-time e delle attività on-line, e in grado di massimizzare il valore aggiunto realizzabile in un singolo sito produttivo.

La “nuova fabbrica” può essere segmentata in tre fasi contigue, ove in soli 500 metri complessivi di processo, si va dall'acciaio liquido al laminato sottile zincato o stagnato, pronto all'uso per lo stampaggio, pressatura e profilatura.

Le tre fasi della “nuova fabbrica”, di cui l'impianto I.S.P. di Cremona realizza già la prima, si possono riassumere come illustrato in Fig. 1.



I fase: in 180 metri, con il processo I.S.P., si compie la trasformazione dell'acciaio liquido in coil a caldo, con i risultati produttivi summenzionati e che qui giova ricordare:

- spessori ultrasottili laminati a caldo (A.T.G.) fino allo 0,8 mm per gli acciai dolci;
- precisione dimensionale, crown, planarità e rugosità (dopo decapaggio e skinpass) uguale a quella del laminato a freddo a tolleranze ristrette;
- gamma completa degli acciai al carbonio, a partire dagli acciai da stampaggio, gli acciai da costruzione, gli altoresistenziali, i microlegati al boro fino agli acciai ad alto carbonio, con sagomario spinto verso gli acciai sottili.

II fase: In soli 150 metri è possibile realizzare, quale completamento del ciclo precedente, la laminazione a freddo a spessori inferiori e fino a 0,14 mm, operazione facilitata e semplificata grazie alle caratteristiche, assimilabili a quelle di un nastro a freddo, del prodotto a caldo di ISP.

III fase: In soli 180 metri il nastro di spessore finito viene processato in ricottura, zincatura o stagnatura, tagliato e trasformato, tramite stampaggio o profilatura, in pezzi pronti all'uso o in componenti pronti al montaggio per l'utilizzo finale in applicazioni quali le costruzioni industriali e civili, l'elettrodomestico, l'automobile, la meccanica, l'arredamento e l'imballaggio.

Lo stabilimento Acciaieria I.S.P. di Cremona si è già avviato su questa strada, avendo già realizzato un impianto di decapaggio, completabile con gabbie di laminazione in linea, ed è prossima la realizzazione di un impianto di zincatura.

E' possibile quindi che lo stabilimento di Cremona faccia ancora una volta da apripista, concretizzando questa nuova fase innovativa, evoluzione della prima innovazione degli inizi degli anni '90, rappresentata dal processo ISP.

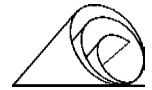
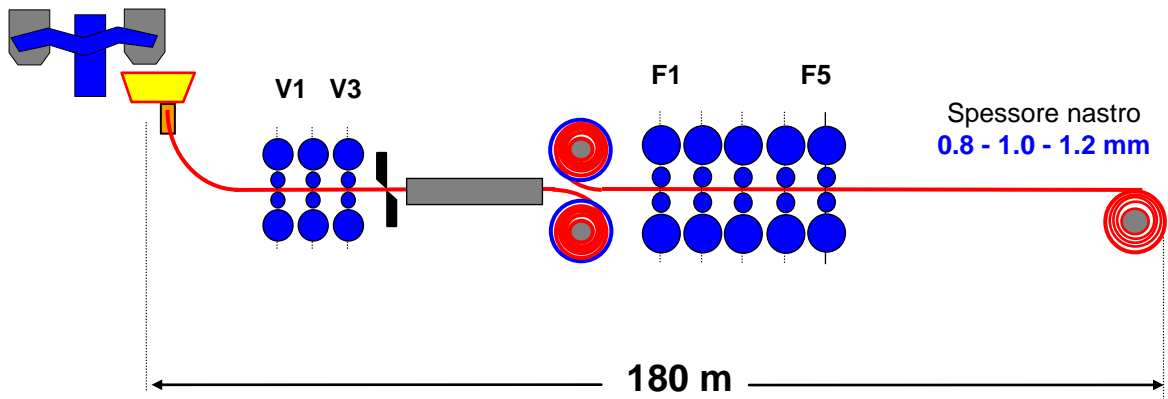
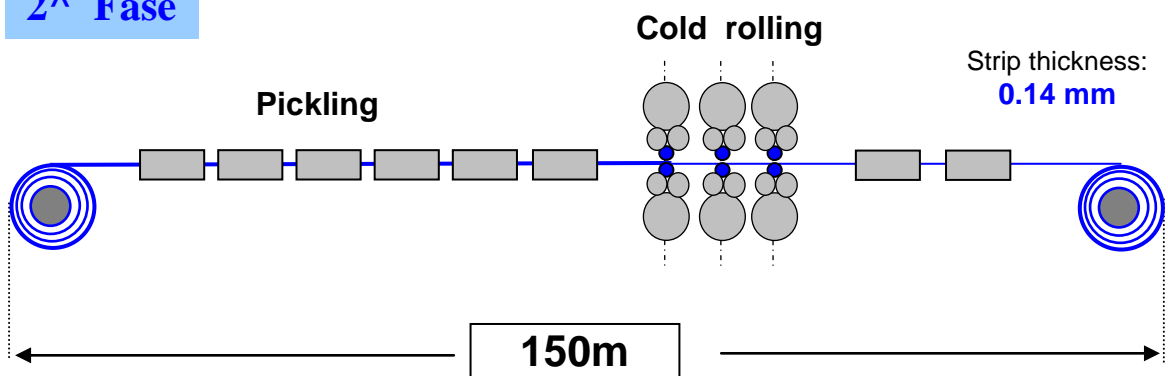


Fig.1

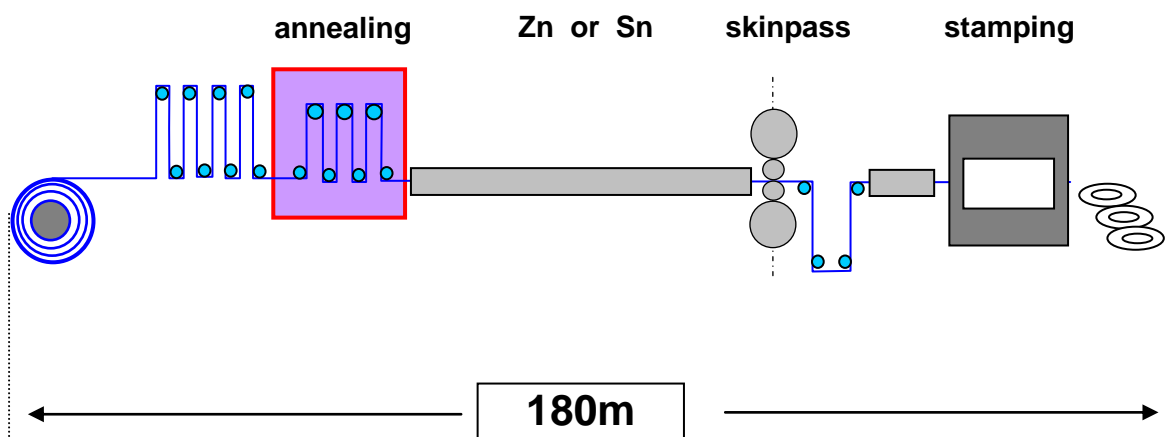
1^ Fase



2^ Fase



3^ Fase





3 - FASE SPERIMENTALE (PROVE ATA)

PROVE SPERIMENTALI

La tecnologia I.S.P. è anche il frutto di una vasta campagna di prove sperimentali effettuate nella vecchia acciaieria A.T.A., con modelli e prototipi delle parti più innovative che avrebbero caratterizzato il futuro impianto I.S.P., programmate a supporto della fase di progettazione e realizzazione.

Le campagne a bramma sottile condotte in collaborazione con la Mannesmann Demag sono state fatte in parte presso lo stabilimento della Mannesmann-röheren-Werke (MRW), dal settembre 1987 ad aprile 1989 per un totale di 10 campagne, mentre la parte più consistente delle prove è stata fatta presso lo stabilimento ATA nel periodo da marzo 1990 ad ottobre 1991, per un totale di 17 campagne (vedere sintesi in Tab. 1).

PROVE PRESSO MRW

Dalla prima alla decima campagna è stato sviluppato in particolare il sistema di colaggio e laminazione in linea, durante e dopo solidificazione, denominato Cast-Rollig e gli aspetti metallurgici ad esso connessi e più in generale legati al sistema a bramma sottile.

Le 10 campagne hanno evidenziato la possibilità di:

- ridurre le bramme a cuore liquido da 60 a 40 mm di spessore (rid. 33% circa) e di seguito laminarle dopo solidificazione da 40 a 22 mm mediante un sistema di laminazione in linea (Cast-Rolling);
- produrre bramme di varie larghezze comprese tra 1200 mm e 1900 mm;
- raggiungere velocità di colaggio di 4,5 m/min;
- ottenere una buona qualità superficiale;
- produrre un preastro con le caratteristiche di un nastro finito laminato a caldo.

PROVE PRESSO ATA

Le campagne presso lo stabilimento ATA sono state indirizzate più verso l'industrializzazione del progetto I.S.P., con lo scopo di evidenziare la fattibilità dei prodotti con tutte le problematiche ad essi connesse, parametri operativi, materiali di consumo, durata dei materiali ecc...

Gli aspetti salienti emersi da queste campagne si possono così riassumere:

- possibilità di effettuare sequenze di almeno 6 colate in 5.5 ore con un solo tuffante;
- tempo massimo di colaggio con un solo tuffante pari 8 ore circa;
- produzione di 22 colate in 24 ore;



- studi e valutazioni della lingottiera, dell'oscillatore idraulico, delle polveri di colaggio, dell'automatismo del livello in lingottiera, del colaggio a secco e con rulli raffreddati ad acqua mediante circuiti interni a spirale;
- valutazione della qualità interna della bramma (segregazione assiale, dimensione del grano e struttura di solidificazione in generale), durante la solidificazione, applicando diverse riduzioni di spessore, da 60 a 40 mm;
- possibilità di colare diversi tipi di acciaio, basso, medio, alto carbonio, acciai legati e inossidabili.

Dalle prove sperimentali è emerso che il futuro impianto poteva rappresentare delle innovazioni tecnologiche uniche in grado di modificare i metodi di fabbricazione dei nastri a caldo e di contribuire al miglioramento della qualità del prodotto finito, in particolare per i seguenti aspetti.

SFRUTTAMENTO DELL'ENERGIA TERMICA DELL'ACCIAIO LIQUIDO

- Ottimizzazione dello sfruttamento dell'energia termica dell'acciaio liquido utilizzando il raffreddamento misto aria/acqua per il raffreddamento secondario;
- riduzione della bramma a cuore liquido e immediata laminazione in linea cuore solido, successivo riscaldamento con forno a induzione molto compatto;
- ridotta dimensione della fabbrica, consentito dall'integrazione della fase di colaggio con la successiva fase di laminazione;
- distanza e tempo compressi in 180 m e 15 minuti per passare dall'acciaio liquido al nastro finito.

NASTRI CON ELEVATA QUALITÀ SUPERFICIALE E INTERNA

- Particolare configurazione del sistema lingottiera-oscillatore idraulico;
- miglioramento della tecnologia delle polveri di colaggio;
- tecnica del colaggio e riduzione a cuore liquido (effetto stirrer - disturbo dell'accrescimento delle dendriti e dei grani primari);
- laminazione in linea della bramma appena solidificata (Cast-Rolling - in grado di affinare ulteriormente i già ridotti grani austenitici della solidificazione primaria).

FLESSIBILITÀ DI PRODUZIONE

- Possibilità di produrre una vasta gamma di prodotti, nastri a caldo o lamiere, consentite dalla tecnologia del colaggio e laminazione in linea con possibilità di un veloce adattamento alle richieste del mercato;
- possibilità di fornire alla fase di laminazione a valle una gamma infinita di spessori del prenastro, in grado di consentire la produzione di nastri in una gamma di spessori compresi tra 1,0 e 12 mm.



Questi in sintesi i vantaggi della nuova tecnologia che erano emersi dalle prove svolte presso MWR e ATA.

Nelle figure che seguono sono riportati i risultati delle prove eseguite ed evidenziati alcuni degli aspetti sopra descritti.

Tab. 1 - Dati principali delle campagne di prove fatte presso Mannesmannröhren-Werke AG di Duisburg e Arvedi A.T.A. in Cremona

	MWR/HKM Duisburg	A.T.A Cremona
Numero campagne	10	17
Periodo	set. 87 - apr. 89	mar. 90 - ott. 91
Numero giorni	40	14
Numero colate	70	155
Peso medio colate (t)	2/220	48 - 52
Dimensione della bramma (mm)	1200-1900x60/22	950-1000x60/40
Massima velocità di colaggio (m/min)	4.5	2.7
Durata colaggio (min)	110	145
Numero colate per sequenza	2	3
Peso Totale acciaio colato (t)	1.500	5.880
Lunghezza totale bramme colate (m)	3.500	13.839
Produzione media/24 ore (t)	90	490

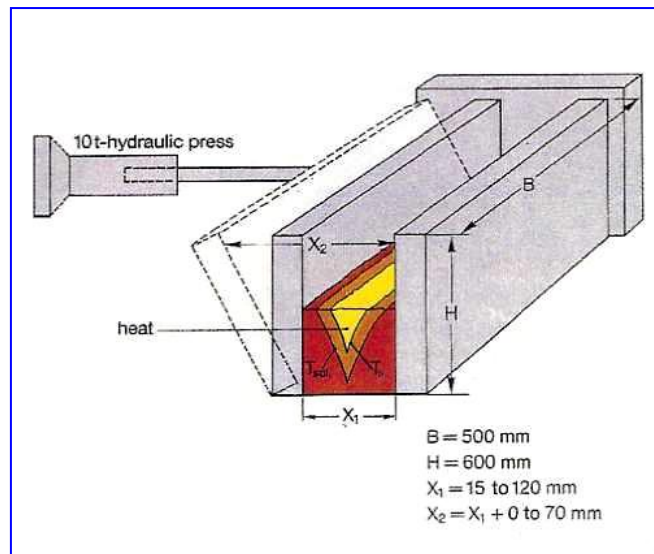


Fig 1 -Lingottiera a parete mobile utilizzata da Mannesmann per simulare la riduzione a cuore liquido

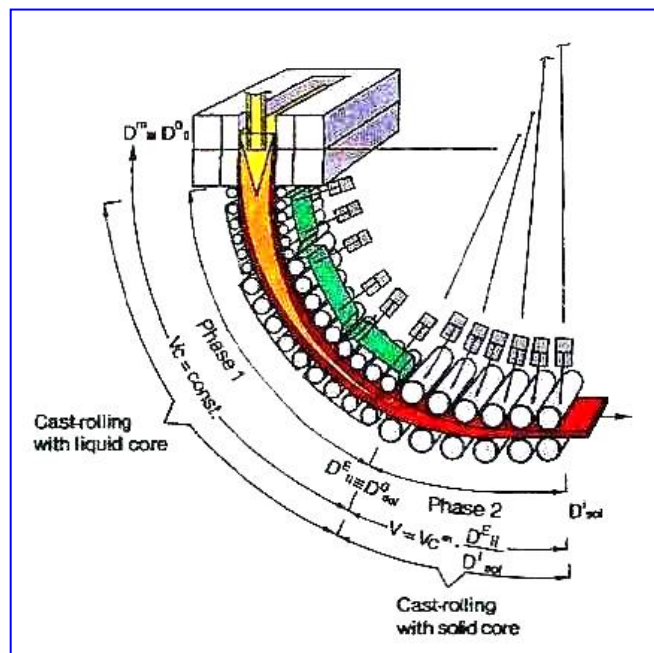


Fig. 2 - Sistema di colaggio e laminazione con riduzione a cuore liquido o solido, sperimentato presso Mannesmannröhren-Werke AG (Duisburg-Hückingen)

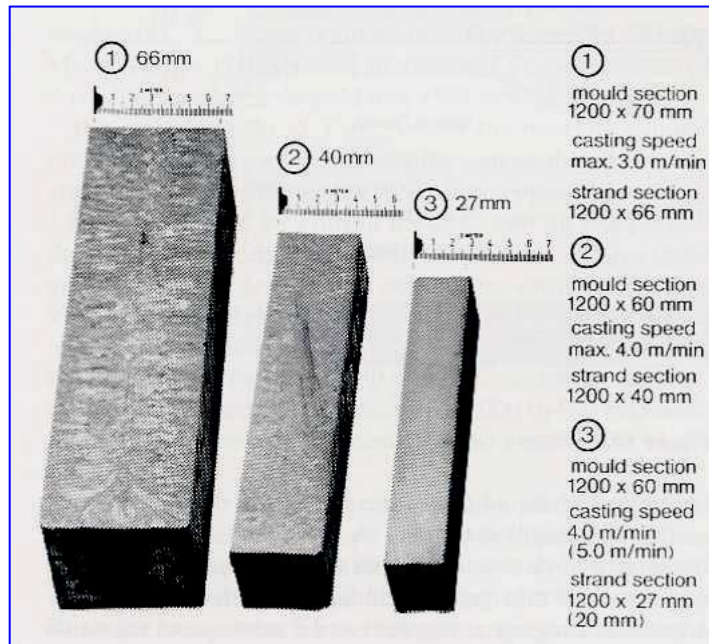


Fig. 3 - Aspetto macrostrutturale della bramma sottile in funzione dello spessore della lingottiera, della velocità di colaggio e della riduzione a cuore solido

Slab type	Microstructure	Grain size (ASTM)
Standard (245 mm) CMnNb (X52)		Not definable
Thin slab (66 mm) CMnNb (X52)		4-6
Cast-rolled thin slab (28 mm) CMn (S28)		7
Cast-rolled and normalized thin slab (28 mm) CMn(S28)		8

Fig. 4 - Dimensione del grano primario in funzione del tipo di bramma

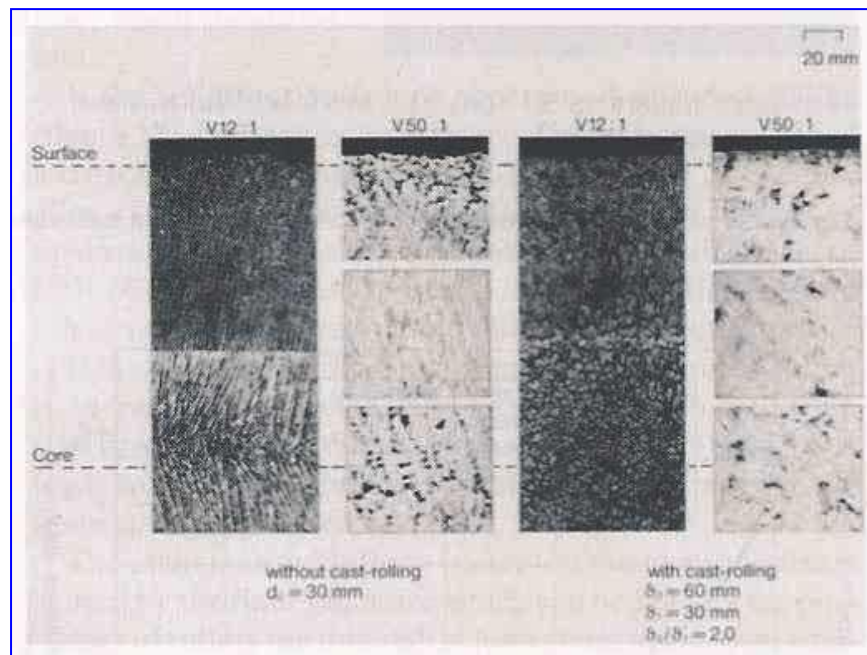


Fig. 5 - Aspetto della macro-microstruttura di un acciaio basso carbonio da profondo stampaggio con e senza laminazione in linea da 60 a 30 mm

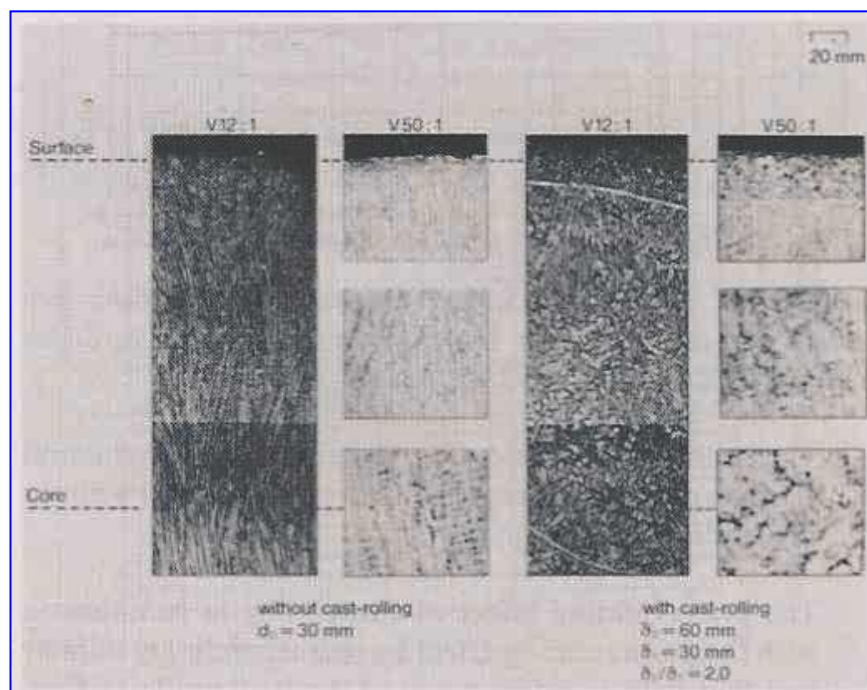


Fig. 6 - Aspetto della macro-microstruttura di un acciaio strutturale medio carbonio con e senza laminazione in linea da 60 a 30 mm

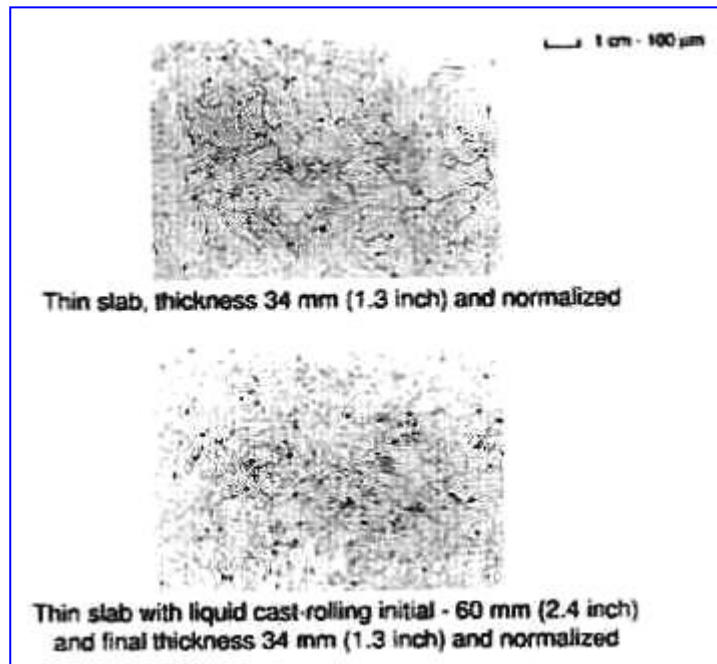


Fig. 7 - Particolari della microstruttura di un acciaio da profondo stampaggio, colato in bramma da 34mm e normalizzato(sopra), colato e laminato in continuo da 60 a 34 mm e normalizzato (sotto)

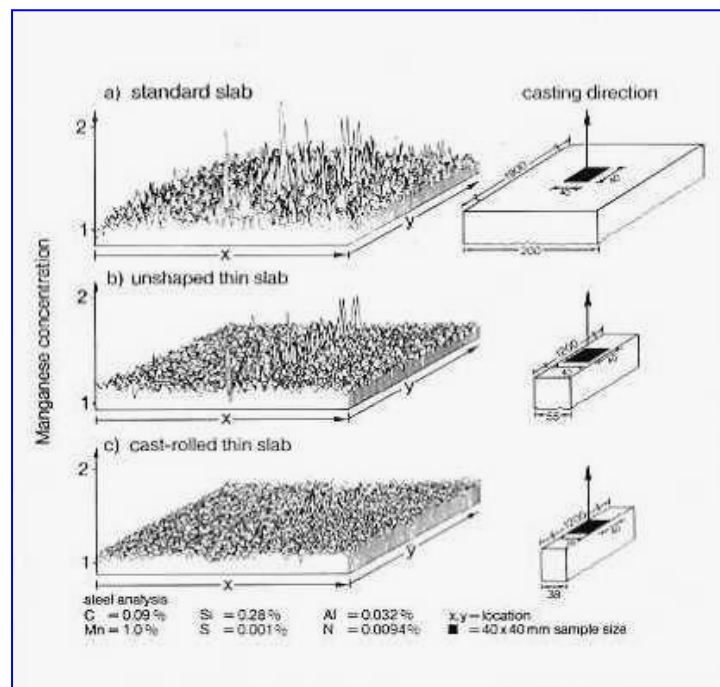


Fig. 8 - Confronto della segregazione del manganese nelle bramme convenzionali e nelle bramme sottili con e senza laminazione in linea

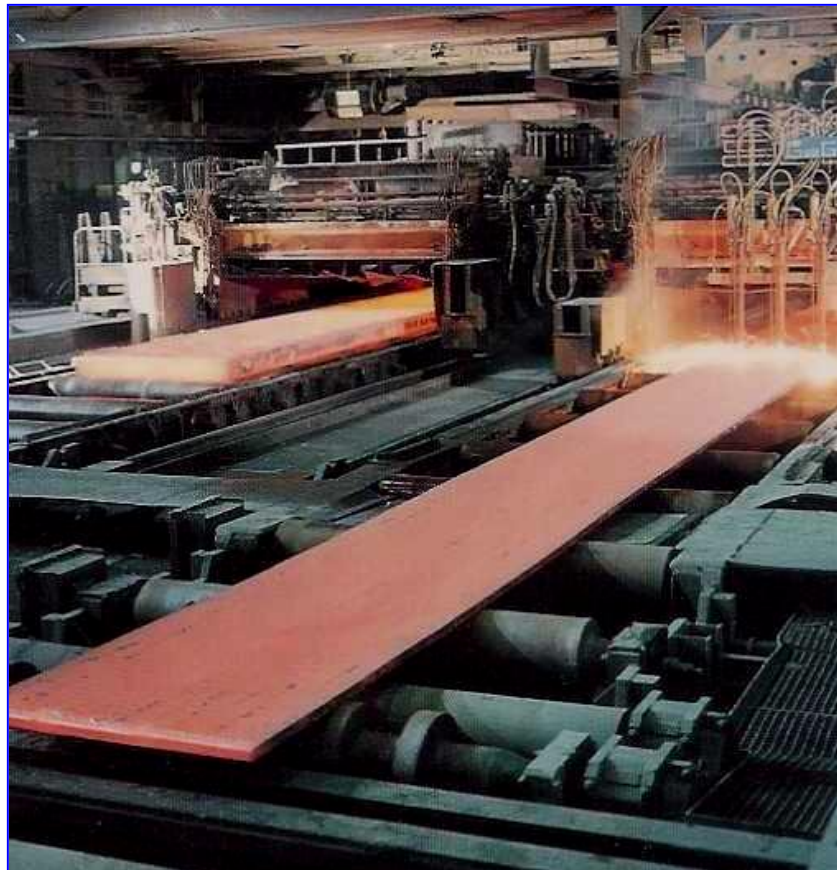


Fig. 8 - Produzione di bramma sottile alla colata continua A.T.A.

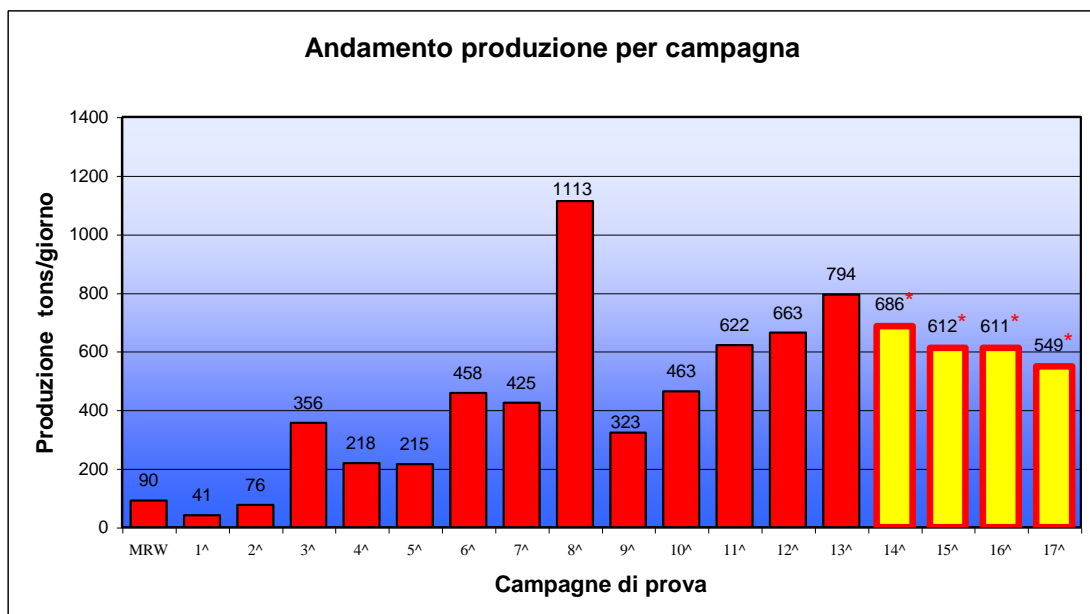


Fig. 9 - Andamento produzione di bramme sottili, per campagne, presso l'acciaiera A.T.A
 (* con riduzione a cuore liquido da 60 a 48/40 mm di spessore)

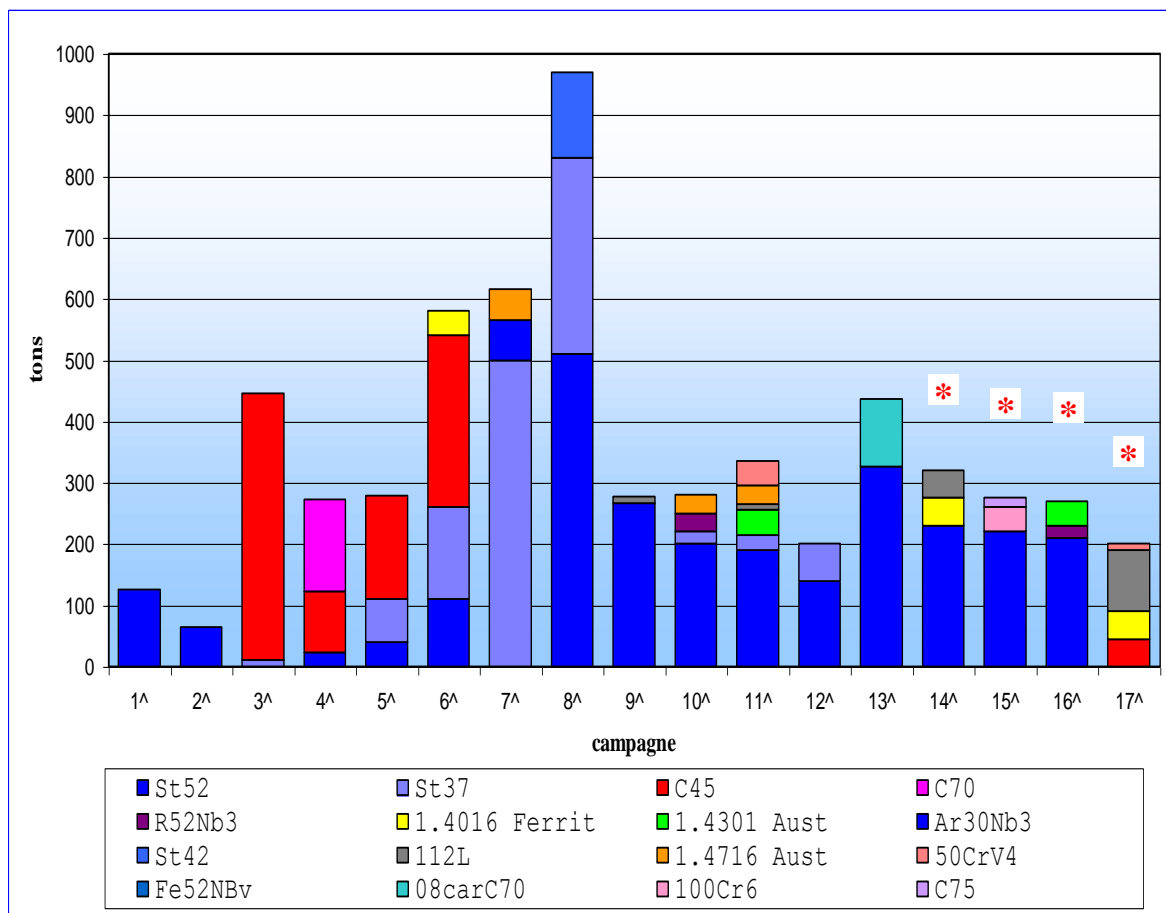


Fig. 10 - Distribuzione delle qualità di acciaio prodotte nelle varie campagne a bramma sottile presso l'acciaieria A.T.A. (* con riduzione a cuore liquido da 60 a 48/40 mm di spessore)

La sperimentazione presso l'acciaieria A.T.A. ha interessato oltre la produzione dei vari tipi di acciaio in bramme sottili, anche elementi e componenti del futuro impianto I.S.P., tra questi, in particolare:

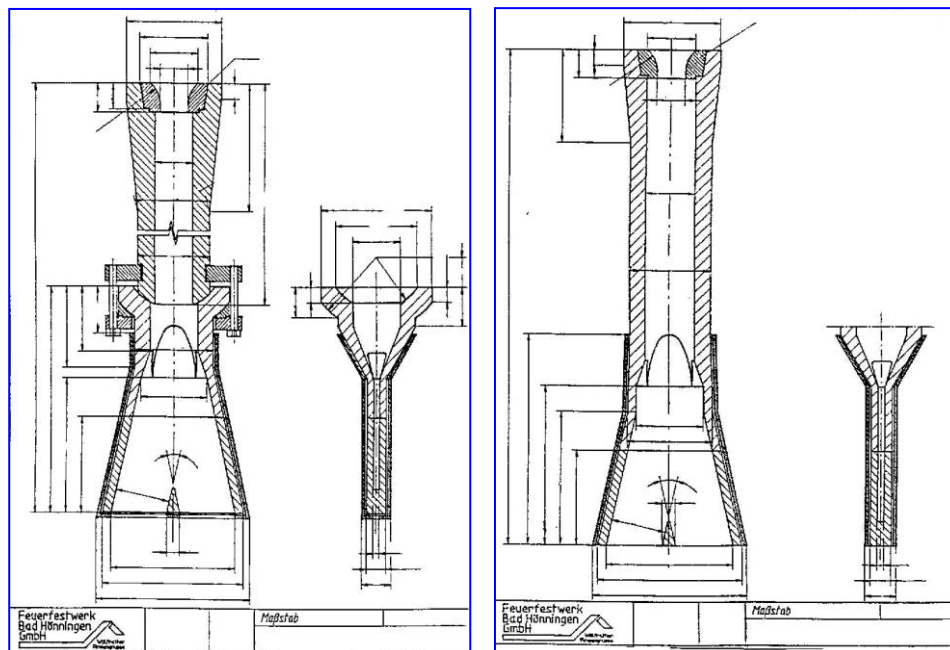
- IL TUFFANTE
- LA LINGOTTIERA
- LE POLVERI DI COLAGGIO
- OSCILLATORE
- LA RIDUZIONE A CUORE LIQUIDO
- IL FORNO A INDUZIONE



TUFFANTE

Diversi tipi di tuffante sono stati sperimentati, sia per la forma che per il tipo di uscita, orizzontale, inclinata e verticale; quest'ultima si è dimostrata la più idonea per garantire tempi di colaggio oltre le due ore, quindi, per poter colare almeno due colate in sequenza. Oltre la forma, anche i materiali si sono rivelati di vitale importanza. Dopo varie prove sono stati provati dei tuffanti composti con materiale ceramico a base di allumina grafittata e parte terminale (parte immersa a contatto con il menisco o livello dell'acciaio liquido) in ossido di zirconio in un caso e con nitrato di boro nell'altro ($Al_2O_3 + ZrO_2$ e $Al_2O_3 + NB_2$). Dei due, il primo è risultato il più resistente all'usura dei flussi dell'acciaio liquido, pertanto la sperimentazione è proseguita in questa direzione. Nel frattempo sono stati provati diversi cicli di preriscaldamento per evitare che si verificassero rotture e cricche da shock termico. Con tutti i limiti della sperimentazione, nelle ultime campagne si raggiunsero le 3 ore di colaggio consecutive.

Nella Fig. 11 sono riportati, nell'ordine d'impiego i due tuffanti sperimentati.



*Fig. 11 - Tuffanti sperimentati durante le campagne A.T.A.
(quello di destra è stato provato solamente nelle ultime campagne)*



LA LINGOTTIERA

Le prime campagne sono state fatte con lingottiera a facce piatte con luce di 1000x60 e 700 mm di altezza. Successivamente invece, è stata introdotta una bombatura alle facce strette ed una meno accentuata alle facce larghe, queste ultime, prima con bombatura da 5 mm, poi da 8 mm ed infine 10 mm.

La bombatura delle facce strette ha contribuito a migliorare la differenza di temperatura tra bordo e centro, passata da 100 a 30°C con velocità di colaggio di 2,8 m/min, il che ha fatto intuire che si poteva evitare di installare un riscaldatore dei bordi prima dello sbozzatore, mentre, quella delle facce larghe, consentiva un migliore accoppiamento con il tuffante limitando la formazione di ponti di scoria tra il tuffante e le pareti della lingottiera e, nello stesso tempo, conferiva alla bramma una maggiore stabilità durante la discesa verso l'uscita. Il colaggio delle varie qualità di acciaio ha evidenziato alcuni limiti e pregi di queste lingottiere e i difetti a volte anche simulati, hanno permesso d'individuare le caratteristiche fondamentali da considerare nella successiva fase di progettazione e costruzione dei futuri modelli.

Nelle Figg. 12 e 13 sono riportati i due modelli di lingottiera emersi dalla sperimentazione in A.T.A..

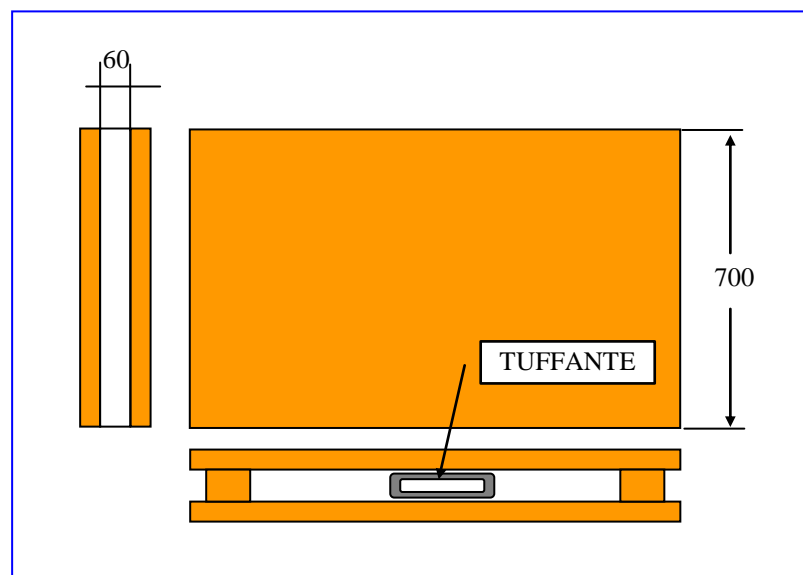


Fig. 12- Lingottiera ATA diritta tipo *parallela*

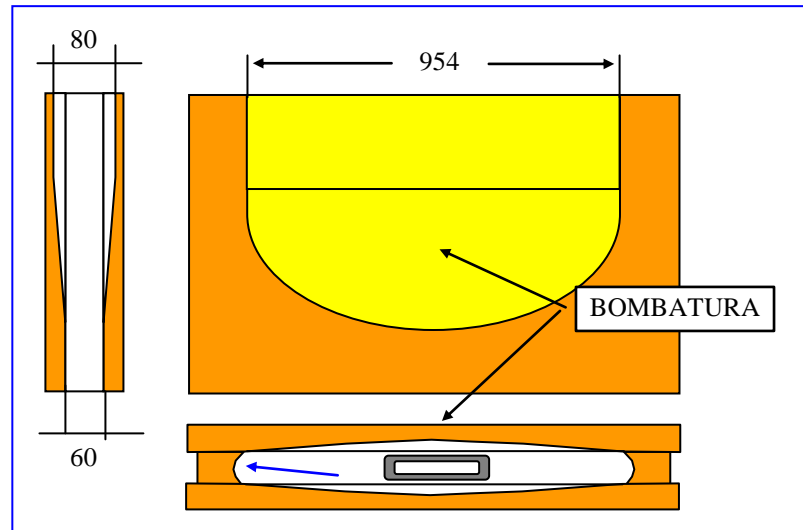


Fig. 13- Lingottiera ATA diritta con **bombatura** al centro

OSCILLATORE

Numerosi tests sono stati fatti con un oscillatore meccanico, con diversi valori ampiezza e oscillazione individuando le correlazioni tra questi parametri, la velocità di colaggio e lo stato superficiale delle bramme. Con questo tipo di oscillatore, alla velocità di colaggio di 3 m/min, si è ottenuto un'oscillazione sinusoidale con ampiezza ± 5 mm e frequenza di 70 colpi/m/min.

I tests hanno evidenziato i limiti di questo tipo di oscillatore connessi alla tecnologia stessa, risultata non idonea per garantire:

- la ripetibilità delle oscillazioni nel tempo (a causa dei giochi delle varie parti meccaniche,
- la regolazione della velocità e dell'ampiezza,
- oscillazioni complesse fuori dalla normale oscillazione sinusoidale (es. sinoide) ecc..

Questa fase sperimentale, ha portato alla costruzione di un oscillatore idraulico, non ancora definitivo, ma in grado di soddisfare una più ampia gamma di parametri e operazioni, sperimentato dalla 12^a campagna

La Fig. 14 mostra due delle molteplici curve di oscillazione, realizzabili con l'oscillatore di tipo idraulico.

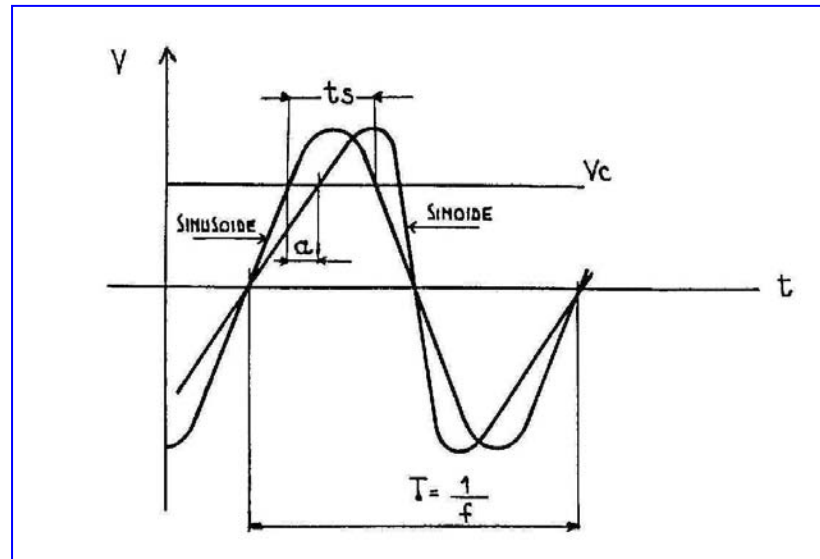


Fig. 14 - Due delle molteplici curve di oscillazione "sinusoide e sinoide", realizzabili con un oscillatore di tipo idraulico.

LE POLVERI DI COLAGGIO

Le prime prove sono state condotte con polveri note e già sperimentate da Mannesmann nei test con bramma sottile.

Successivamente si è cambiato la viscosità, la basicità e il grado di lubrificazione che hanno consentito di individuare i principi di correlazione esistenti tra le varie tipologie di polveri e la velocità di colaggio e i vari tipi di acciaio (acciai al carbonio da 0,05 a 0,70% e acciai inossidabili AISI 304 e AISI 430 e acciai legati). Il tutto in relazione della qualità interna ed esterna delle bramme e ai rischi di break-out.

Da queste prove, è emersa la necessità di sperimentare diversi rapporti di miscelazione con lo scopo di ottenere comportamenti diversi delle polveri in funzione dei tipi di acciaio e delle velocità di colaggio.

Il che ha portato a considerare l'ipotesi di dotare il nuovo impianto I.S.P. di un sistema automatico di alimentazione e miscelazione delle polveri di colaggio, essendo le condizioni operative molto più accentuate, basti pensare alla sola velocità di colaggio, che potrebbe raddoppiare, da 3 a 6 m/min.



LA RIDUZIONE A CUORE LIQUIDO

Nelle ultime campagne è stata simulata una riduzione parziale della bramma a cuore liquido, dotando la colata continua di un prototipo di segmento a tenaglia (TTS) che rappresenta la parte iniziale della futura *"soft reduction"* dell'impianto I.S.P., il quale, per mezzo di una conicità regolabile del settore, si ottiene una riduzione dello spessore.

L'operazione, quasi statica, ha consentito di ridurre lo spessore delle bramme da 60 a 50 mm. Queste prove, ed altre effettuate all'Università di Acquisgrana, mediante l'utilizzo di una lingottiera a pareti mobili, hanno evidenziato che il movimento (disturbo) del cuore liquido all'interno della bramma causato dalla riduzione dello spessore, porta alla formazione di cristalli primari e dendriti molto più fini che nel caso della solidificazione statica, introducendo un'azione simile a quella di un vero e proprio *"stirrer"*. Conseguenza di questo movimento è la formazione di strutture di solidificazione molto fini prive delle macroscopiche inclusioni e segregazioni osservabili all'interno delle bramme convenzionali (vedere Fig. 15).

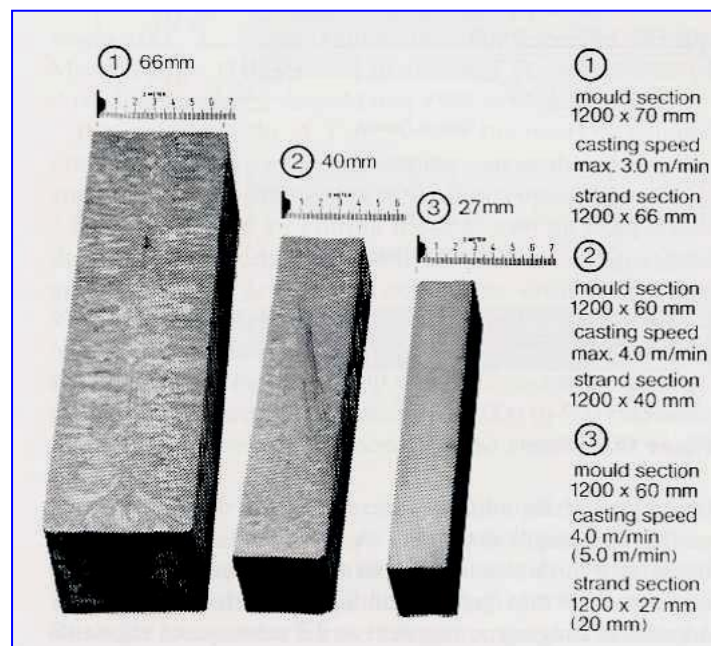


Fig. 15 - Macrostruttura di alcune bramme in funzione della riduzione a cuore liquido - (1) come colata, (2) ridotta da 60 a 40 mm, (3) ridotta da 60 a 40 mm e laminata a 27 mm



IL FORNO A INDUZIONE

Anche per il forno a induzione è stato realizzato un prototipo in scala reale, avente lunghezza e potenza pari a un decimo del forno previsto per l'impianto I.S.P. (2MW).

Costituito da 4 bobine, due per portare la temperatura della lamiera oltre il punto di Curie (760°C ~) ossia nelle condizioni di entrata della lamiera nel futuro impianto, due per simulare il riscaldamento facendo scorrere più volte la lamiera sotto le bobine.

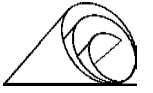
Dopo una prima fase, dalla quale sono emersi dei problemi di scintillio tra bobina e lamiera con conseguenti difetti superficiali (butterature) causate dalle scariche elettriche, le quattro bobine sono state dotate di concentratori di flusso distribuiti su tutta la loro larghezza (denominati "special coil"), e questo ha eliminato tale problema.

Le prove sono state eseguite variando lo spessore e la larghezza della lamiera, la velocità di passaggio, la qualità dell'acciaio, la potenza erogata dai convertitori e ciò ha permesso di:

- valutare la possibilità di trasferire, con rendimenti accettabili, l'energia su sezioni aventi rapporti larghezza/spessore superiori a 100 (rendimenti ottenuti 65% dell'energia erogata),
- definire i circuiti magnetici e le modalità per modificarli elettricamente al fine di adattare, senza cambiare le dimensioni geometriche, l'accoppiamento con lamiere di varie larghezze,
- sperimentare la possibilità di concentrare l'energia in modo differenziato sulla lamiera per compensare eventuali disomogeneità termiche della stessa,
- verificare gli effetti del raffreddamento provocato dal contatto tra rulli e lamiera e, gli isolamenti termici ed elettrici per garantire il corretto funzionamento del forno stesso.

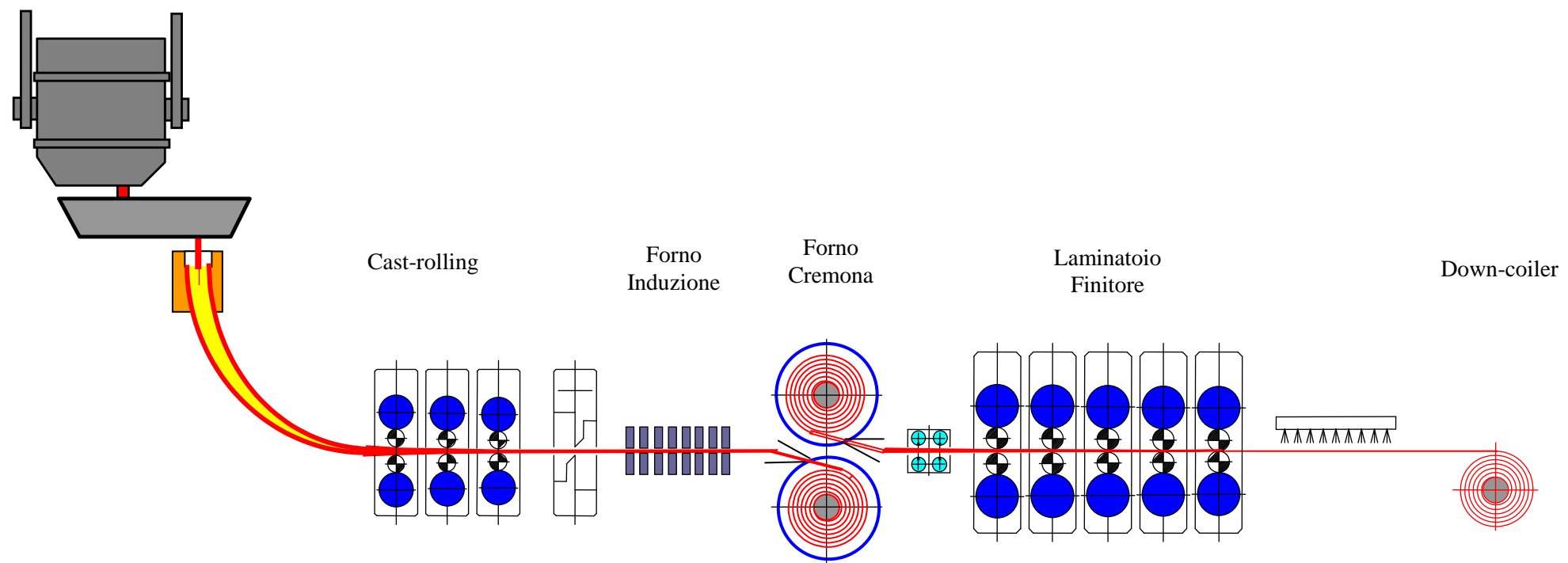
I risultati ottenuti hanno evidenziato la fattibilità di un forno a induzione per il riscaldamento in continuo delle lamiere previste dal progetto I.S.P. ed hanno fornito le indicazioni necessarie per la progettazione dell'unità finale.

Gli studi, le indagini e le prove sperimentali di questo periodo hanno portato a risolvere in via preliminare alcune importanti problematiche, a definire e completare gli elementi progettuali in fase di definizione ed a individuare le direttrici dell'indagine sperimentale da proseguire sul futuro impianto I.S.P..



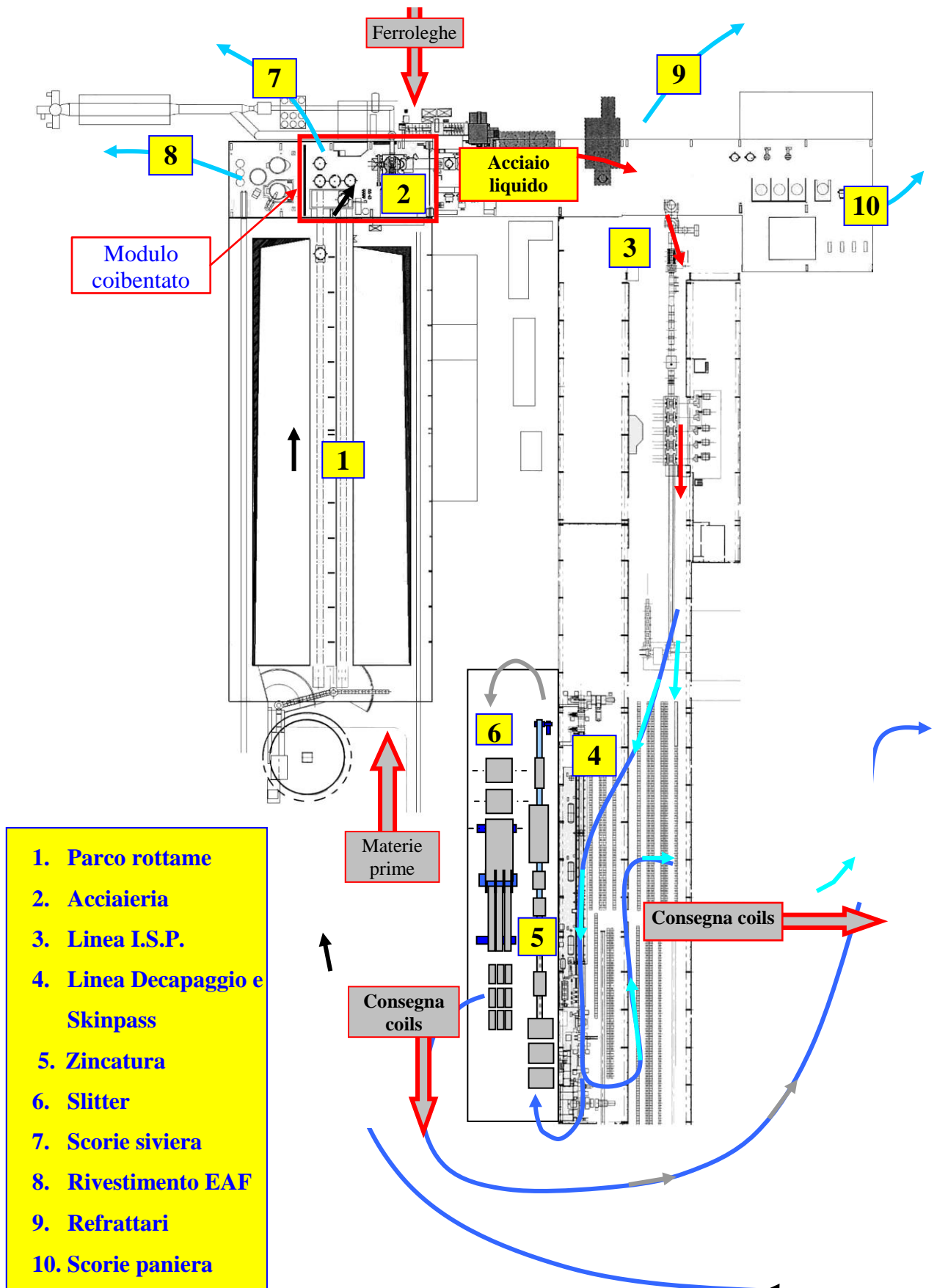
4 – LAY-OUT LINEA I.S.P. e di STABILIMENTO

LAY-OUT LINEA I.S.P.





FLUSSO MATERIALI





5 - SIVIERA

INCREMENTO CAPACITA' SIVIERA

Durante la fermata dell'agosto 1993 è stata modificata la capacità delle siviere portandole dalle 100 tonnellate iniziali a 120 tonnellate, al fine di sfruttare al meglio le capacità produttive della linea I.S.P. resa possibile da alcuni interventi significativi operati in alcune delle sue parti, quali *lingottiera, tuffante ecc.*

L'incremento della capacità delle siviere è stato ottenuto saldando nella parte alta un anello di 500 mm, passando da un'altezza iniziale di 3965 mm a 4465 mm.

Con questa modifica è stato ottenuto un notevole incremento della produttività dell'impianto, passando da circa 50 t/h del mese di luglio alle 60 e oltre dei mesi successivi, come si può notare dal grafico qui riportato.

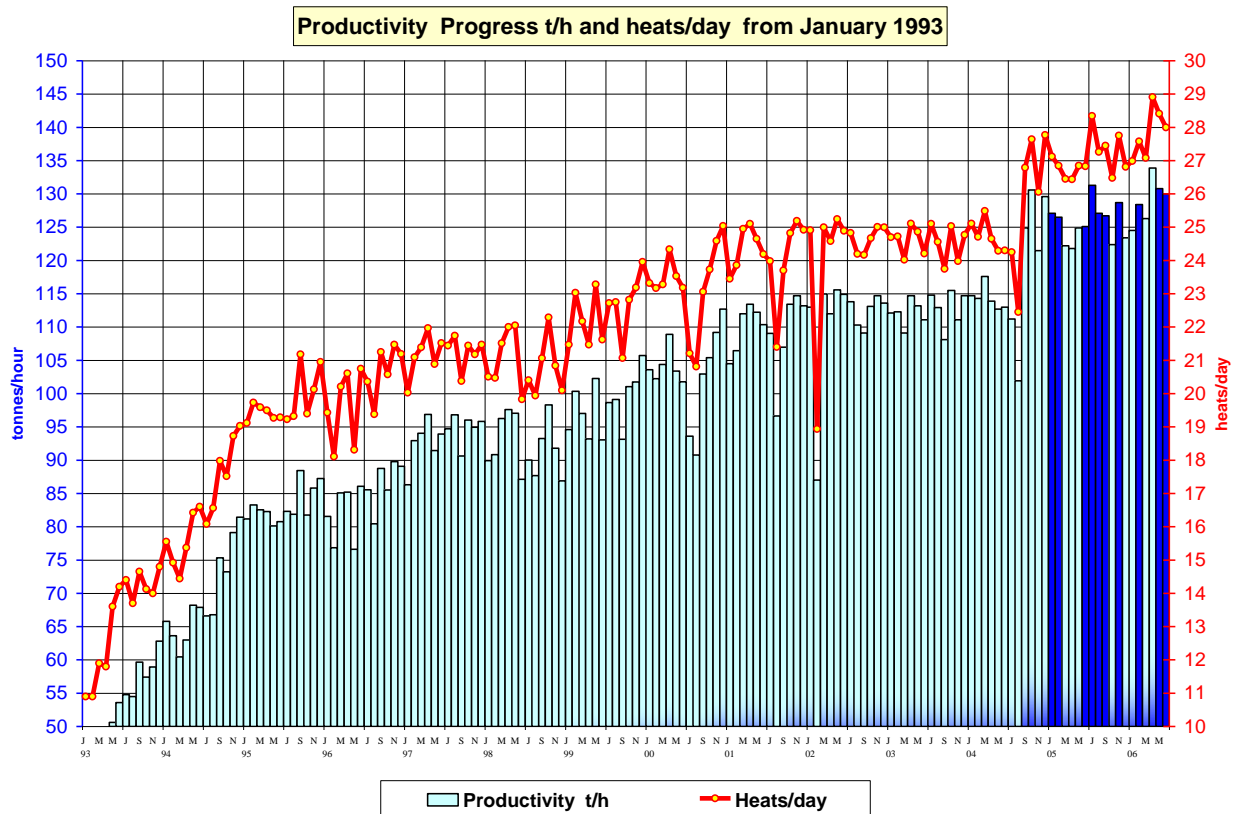


Fig. 1



Nello stesso periodo è stato messo a punto un sistema di controllo del livello in paniera, intervenendo sull'apertura e la chiusura del cassetto della siviera.

REGOLAZIONE AUTOMATICA DEL FLUSSO DI ACCIAIO DURANTE IL COLAGGIO

DESCRIZIONE E FUNZIONAMENTO DEL SISTEMA

Il controllo del livello in paniera viene effettuato tramite la regolazione del cassetto della siviera che chiudendo o restringendo il foro di uscita regola di conseguenza il flusso di acciaio secondo le necessità del momento.

Tale flusso, una volta iniziato, non deve più interrompersi fino ad esaurimento dell'acciaio contenuto nella siviera, pertanto il cassetto non deve mai chiudersi completamente.

Il movimento di apertura o chiusura del cassetto è generato da un pistone idraulico a doppio effetto comandato da un sistema di elettrovalvole ed è proporzionale al tempo di pressione dei pulsanti di apertura o chiusura (quando lavora in manuale) o alla durata degli impulsi spediti dal PLC (quando lavora in automatico).

La velocità di spostamento del pistone è di 30 mm/sec.

Tutte le funzioni sono gestite elettronicamente per mezzo di un controllore **SIEMENS S5 100U**, in grado di mantenere il peso in paniera costante su un valore medio stabilito dall'operatore, dal momento in cui cambia il controllo da manuale ad automatico.

Il funzionamento del controllo automatico deve essere quindi inserito quando il livello in paniera ha raggiunto un valore opportuno in manuale (circa 15,5 ton).

Sul pulpito del colatore (**P20**) sono presenti i comandi per la movimentazione del cassetto siviera e le relative segnalazioni:

Ad inizio colata l'operatore apre manualmente il cassetto completamente tramite la pressione del pulsante "APERTURA", portando rapidamente il livello in paniera fino a circa 12 ton.

A questo punto l'operatore comincia a chiudere il cassetto a piccoli passi per diminuire la velocità di aumento del peso, quindi lo stabilizza cercando la posizione ideale per arrivare circa a 15,5 ton.

Una volta che ciò è avvenuto viene inserito l'automatico e la regolazione del peso avviene tramite gli appositi selettori.

A questo punto l'apertura o chiusura del cassetto viene gestita dal PLC fino a quando non viene eseguito un qualsiasi comando manuale o il disinserimento dell'automatico.

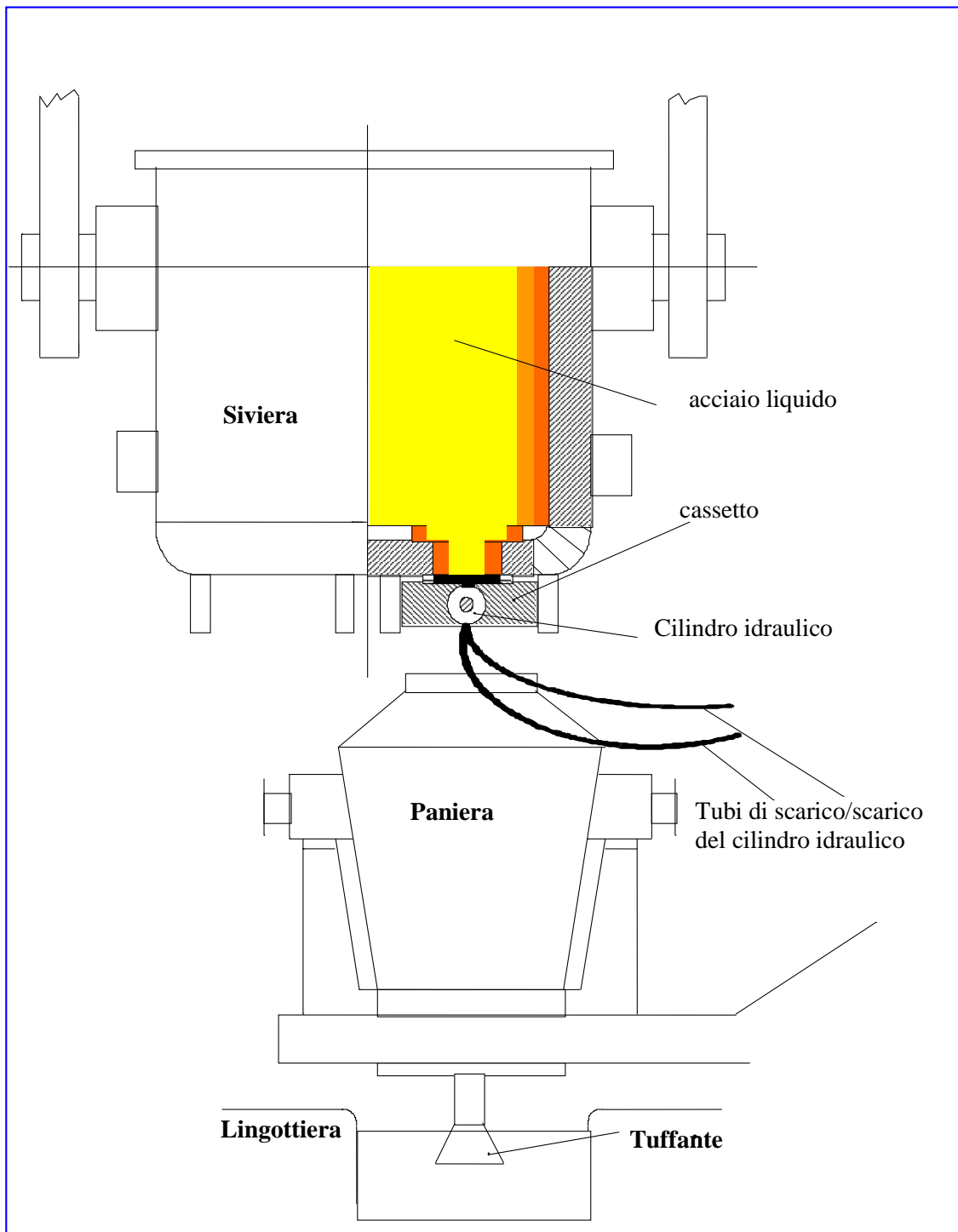


Fig. 2 -Vista d'insieme della Siviera, della Paniera e della Lingottiera



DESCRIZIONE FUNZIONAMENTO AUTOMATICO

La gestione del controllo automatico del cassetto è strutturata all'interno di uno speciale programma denominato PB2.

La prima operazione eseguita dal sistema di controllo consiste nel valutare la differenza fra peso di riferimento e **peso attuale**:

$$\text{differenza} = (\text{peso di riferimento}) - (\text{peso attuale})$$

Essa viene calcolata ad ogni ciclo di programma, cioè con un periodo inferiore a 100 ms, sulla base delle seguenti valutazioni:

Se DIFFERENZA è minore di ± 300 Kg il cassetto sivierra non viene mosso in alcun modo, cioè la banda compresa fra ± 300 Kg intorno al riferimento è la banda morta di non regolazione del controllore.

Se DIFFERENZA è maggiore ± 300 Kg il regolatore entra in funzione perché:

- quando DIFFERENZA assume un valore positivo significa che il **peso attuale** è al disotto del **peso riferimento**,
- quando DIFFERENZA assume un valore negativo il **peso attuale** è al disopra del **peso riferimento**.

Quindi il segno di DIFFERENZA determina la posizione della curva del **peso attuale** rispetto al riferimento.

Nel momento in cui il peso attuale esce dalla banda morta viene spedito un treno di 3 impulsi in apertura se DIFFERENZA è positiva, oppure un treno di 2 impulsi in chiusura se DIFFERENZA è negativa i quali vanno a muovere il pistone a piccoli passi (i due treni hanno un numero diverso di impulsi in quanto le due camere del cilindro hanno volumi diversi).

Tali impulsi sono intervallati da un tempo di 1 sec ed hanno una durata variabile relativamente a alle condizioni che verranno descritte successivamente.

Una volta spedito questo primo treno di 3 o 2 impulsi viene memorizzato il **peso attuale** e si attendono 60 sec per vedere come il sistema reagisce (ATTESA=60 sec).



Allo scadere di ATTESA viene memorizzato un altro valore di **peso attuale** che viene confrontato con il precedente e quindi viene eseguita la differenza.

$$K = \frac{\Delta P}{\Delta t} \Rightarrow K = \frac{\Delta P}{15 \text{ sec}}$$

$$ATTESA = \frac{\text{cost}}{K} \Rightarrow ATTESA = \frac{200}{K}$$

delta peso = (peso attuale2) - (peso attuale1)

Se **delta peso** é negativo il **peso attuale** DECRESCe, se **delta peso** é positivo il **peso attuale** CRESCE.

In questo modo il controllore rileva la tendenza del peso nel tempo ATTESA.

Con lo stesso metodo viene inoltre calcolato un **delta peso** negli ultimi 15 sec di ATTESA e viene diviso per il tempo di 15 sec, consentendo al regolatore di rilevare la pendenza della curva del **peso attuale** e quindi la sua velocità nel cambiare tendenza.

Trascorso il tempo ATTESA, dopo un treno di apertura, se il **peso attuale** DECRESCe viene spedito un altro treno di 2 impulsi in apertura e riparte ATTESA, questa volta però non di 60 sec ma con un nuovo valore calcolato in base alla pendenza della curva del peso attuale (più la curva é verticale più ATTESA sarà breve; più la curva é orizzontale più ATTESA sarà lunga), il calcolo del valore della nuova attesa variabile viene eseguito secondo la formula di seguito riportata.

cost = costante numerica trovata sperimentalmente

Non avendo a disposizione l'utilizzo di variabili a virgola mobile ma solo intere si ricava la tabella in figura 3.



Delta Peso (Kg)	0 ÷ 29	30 ÷ 44	45 ÷ 59	60 ÷ 74	75 ÷ 89	90 ÷ 104	105 ÷ 119	120 ÷ 134	135 ÷ 150
K	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Figura 3

All'interno di questo nuovo tempo di ATTESA vengono eseguiti gli stessi campionamenti di **peso attuale** e gli stessi calcoli per stabilire l'attesa successiva e così via, mantenendo come numero di impulsi 2 per ogni treno.

Se il **peso attuale** CRESCE non viene spedito nessun impulso in quanto il peso stesso tende a rientrare nella banda morta. Se questo avviene tutti i **delta peso** e ATTESA vengono azzerati. (Riferirsi a figura 4).

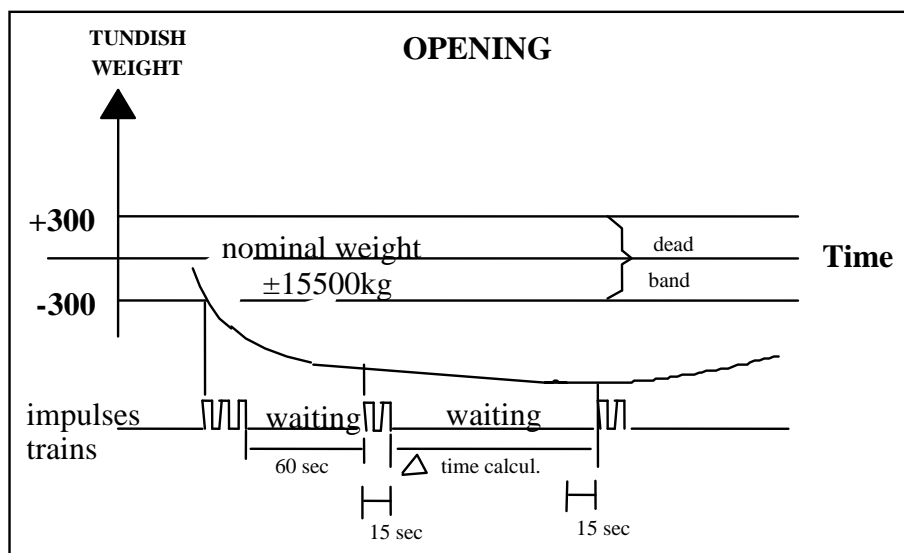


Figura 4

Parallelamente, trascorso ATTESA dopo un treno di chiusura, se il **peso attuale** CRESCE viene spedito un altro treno di 1 impulso in chiusura e riparte ATTESA con le condizioni prima descritte, se il **peso attuale** DECRESCe non viene spedito nessun impulso; quando si rientra nella banda morta i vari dati vengono azzerati. (Riferirsi a figura 5).

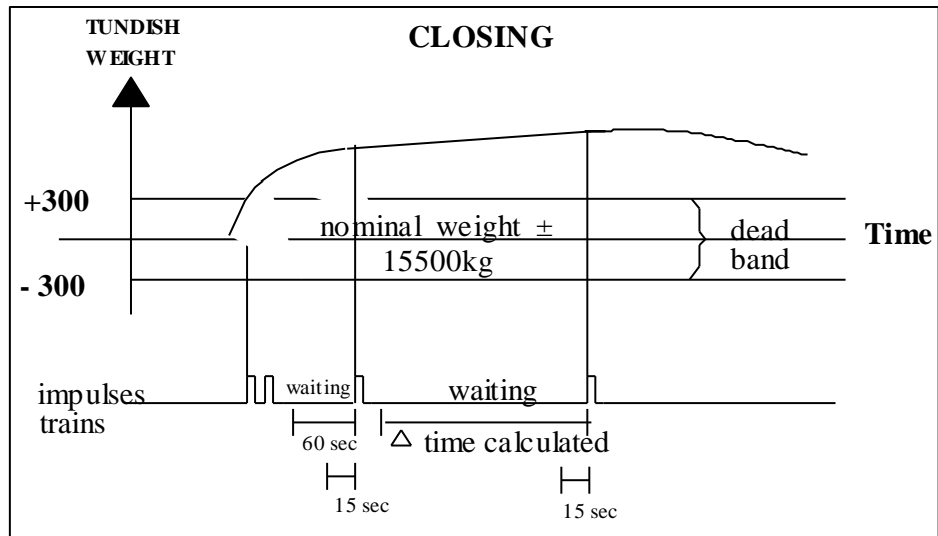


Figura 5

Si può presentare il caso in cui il **peso attuale** tenda a rientrare nella banda morta mentre nel tempo cambia direzione. Per questo esiste un tempo di ATTESA MAX pari a 150 sec che parte dal momento in cui viene rilevata la tendenza, cioè alla fine di un ATTESA normale, se trascorso questo tempo massimo il **peso attuale** non è rientrato nella banda morta allora viene spedito un altro treno di impulsi. (Vedere figure 6a e 6b).

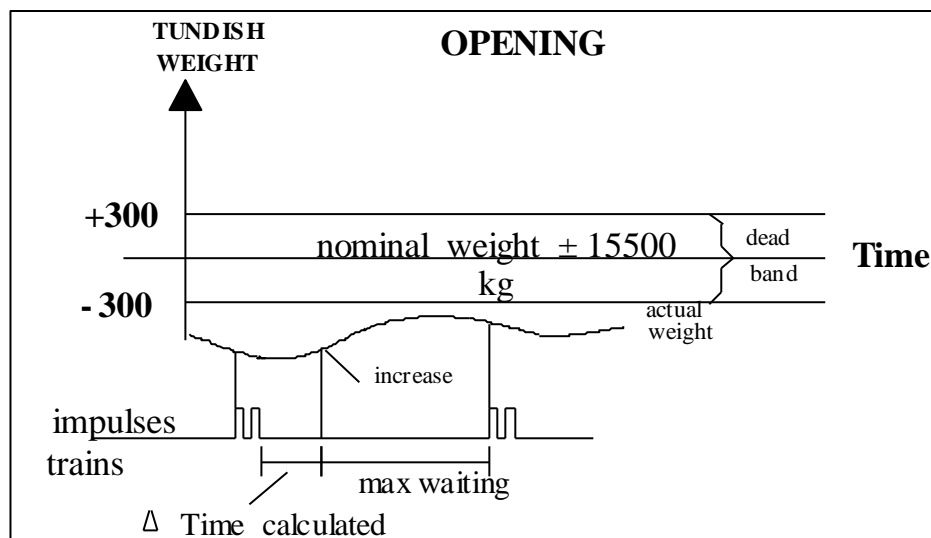


Figura 6a

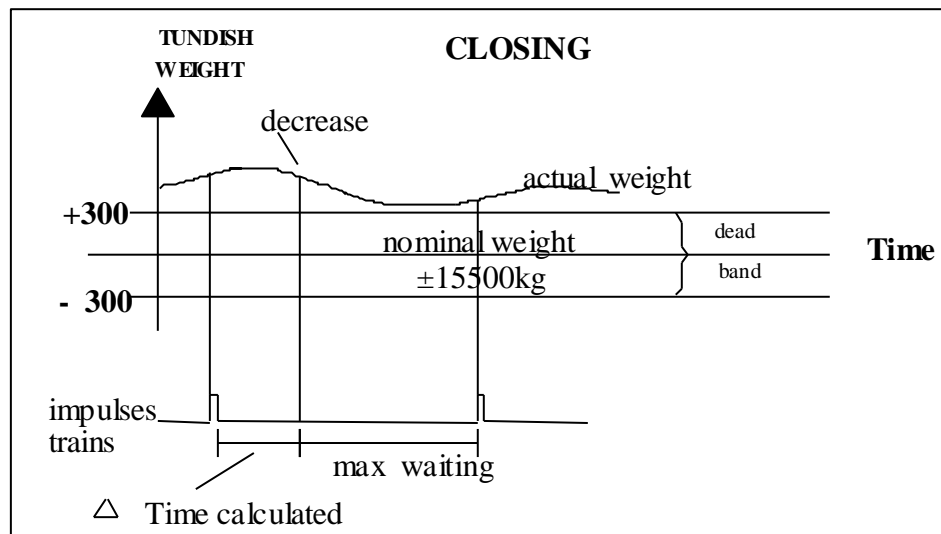


Figura 6b

Quando la curva del **peso attuale** interseca quella del riferimento viene spedito un impulso (preimpulso) in chiusura o apertura a seconda della tendenza a crescere o decrescere, questo per smorzare la verticalità della curva **peso attuale**.

Questi preimpulsi non sono relativi ai tempi di ATTESA e vengono spediti solo se nel passo precedente è stato spedito un treno in senso opposto, vale a dire che viene spedito un preimpulso in apertura solo se prima è stato spedito un treno in chiusura oppure un preimpulso in chiusura solo se prima è stato spedito un treno in apertura. (vedere figura 7).

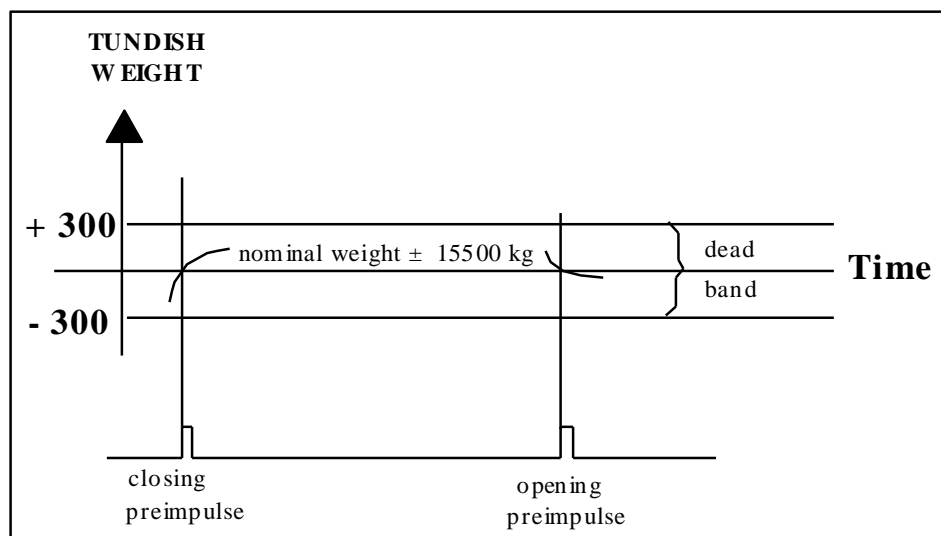


Figura 7



La durata degli impulsi o dei preimpulsi è la stessa e può assumere tre valori differenti:

Al momento della commutazione da manuale a automatico la durata degli impulsi viene impostata automaticamente di 180 ms, nel momento in cui inizia la regolazione in un senso vengono contati gli impulsi necessari a far cambiare direzione al peso:

Se il **peso attuale** non tende a rientrare nella banda morta dopo 6 impulsi in apertura o 5 in chiusura, la durata degli stessi si porta a 250 ms; se anche questi sono insufficienti, dopo altri 4 in apertura o 3 in chiusura la durata viene portata a 320 ms. In questo modo la durata degli impulsi si adatta alle caratteristiche dei cassettei che sono diversi per ogni siviera e quindi reagiscono in modo diverso alla regolazione.

Quando viene trovata la costante di tempo adatta a far reagire il sistema questa viene mantenuta fino al rientro nel modo manuale.

STRUTTURA del PROGRAMMA

Come già descritto, il controllore deve mantenere il **peso attuale** in paniera vicino al **peso di riferimento** usando come ingresso di retroazione solo il segnale di peso attuale, non esistono trasduttori di posizione sul cilindro quindi non si conosce la quantità di apertura del cassetto.

Il programma è diviso in tre blocchi programma principali:

- PB1 dedicato alla gestione dei comandi manuali con la regolazione inserita.
- PB2 dedicato al controllo automatico.
- PB3 dedicato alla gestione delle segnalazioni su pulpito.

OB1 blocco organizzativo per i PB.

Esiste una serie di FB utilizzati nei vari PB:

- FB2 dedicato ad eseguire la media su 15 valori di peso reale (**peso attuale** non mediato) e trasferisce il risultato nel **peso attuale**, questo per filtrare le oscillazioni del segnale stesso.
- FB6 dedicato alla memorizzazione di 2 valori di **peso attuale** campionati con un delta tempo di 5 sec.
- FB7 calcola il delta peso fra i 2 valori campionati in FB6 e divide per il tempo di campionamento, calcola quindi la pendenza della curva del peso da cui ricava una costante di tempo.

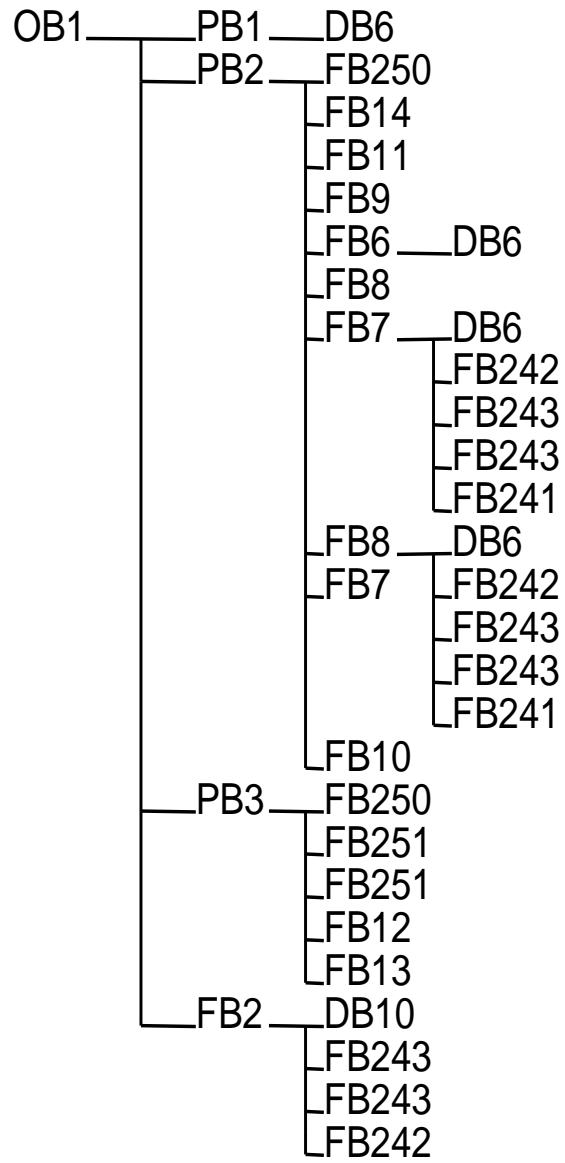


- FB8 assegna una costante di tempo fissa a dei timers.
- FB9 rileva la tendenza a crescere o decrescere **del peso attuale**.
- FB10 rileva l'intersezione tra la curva del **peso attuale** ed il peso di riferimento per smorzare, tramite dei preimpulsi di apertura o chiusura, la velocità a crescere o decrescere del peso attuale.
- FB11 rileva in che modo il peso attuale reagisce relativamente alla durata degli impulsi in automatico, se questa non è sufficiente a far cambiare la tendenza del peso attuale viene aumentata fino a trovare un equilibrio nel sistema.
- FB12/FB13/FB14 sono dei generatori di onda quadra a frequenza diversa.
- FB241 è un FB standard convertitore di parole binarie a virgola fissa in parola BCD.
- FB242 è un FB standard moltiplicatore a 16 bit.
- FB243 è un FB standard divisore 16 bit.
- FB250 è un FB standard di lettura e normalizzazione di valori analogici.
- FB251 è un FB standard di emissione di valori analogici.

Vi sono due blocchi dati DB6/DB10 che servono da contenitori per i dati calcolati e relative costanti nei vari FB.



STRUTTURA AD ALBERO DEL PROGRAMMA





SISTEMA DI RILEVAMENTO DELLA SCORIA IN SIVIERA "AMEPA"

Nel periodo fine 1995 inizio del 1996, tutte le siviere sono state dotate di un sistema di rilevamento della scoria a fine colaggio.

Questo sistema, basato sul principio delle correnti indotte, è stato installato per ridurre le perdite di acciaio alla fine di ogni siviera e per evitare, cosa molto importante, di travasare la scoria nella panierina compromettendo inevitabilmente la qualità del prodotto finito.

Fino a quel momento, questa operazione veniva fatta a vista dall'operatore colatore con risultati più o meno buoni, ma la necessità di ottenere standards qualitativi sempre più elevati richiesti per la produzione di acciai speciali sempre più presenti nel mix produttivo, ha indotto l'azienda ad installare un sistema automatico ed affidabile in grado di garantire con assoluta certezza che tale fenomeno non si verificasse.

Dopo un periodo di prove per verificarne la reale affidabilità, il sistema è stato montato su tutte le siviere del loop produttivo.

La figura 8 di seguito riportata, mostra l'andamento del segnale da inizio a fine colata quando il sistema interviene per interrompere il flusso di acciaio appena il campo viene disturbato dal passaggio della scoria (picco linea blu).

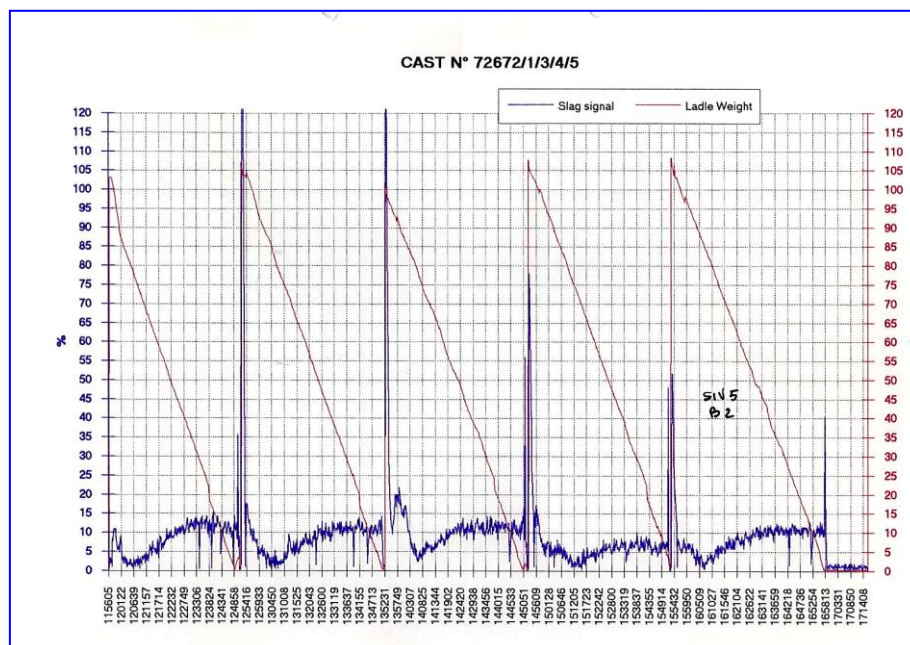


Fig. 8



PRINCIPIO DI MISURAZIONE

Per rilevare il passaggio della scoria nel getto d'acciaio liquido, viene impiegato un metodo di misurazione elettromagnetica. Correnti parassite sono indotte nel getto di acciaio liquido da bobine disposte concentricamente attorno ad esso, con formazione di un campo elettromagnetico indotto.

(vedi fig. 9).

In caso di presenza di scoria, la conduttività elettrica del getto subisce una variazione, e di conseguenza anche il campo elettromagnetico indotto (vedi fig. 10 - la conduttività della scoria è più bassa rispetto l'acciaio di un fattore 1000). Tale variazione viene rilevata da un sistema secondario di bobine e trasformato in un segnale elettrico.

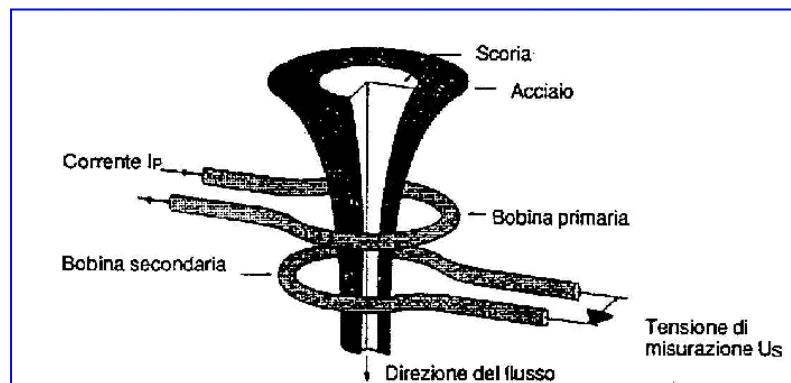


Fig. 9

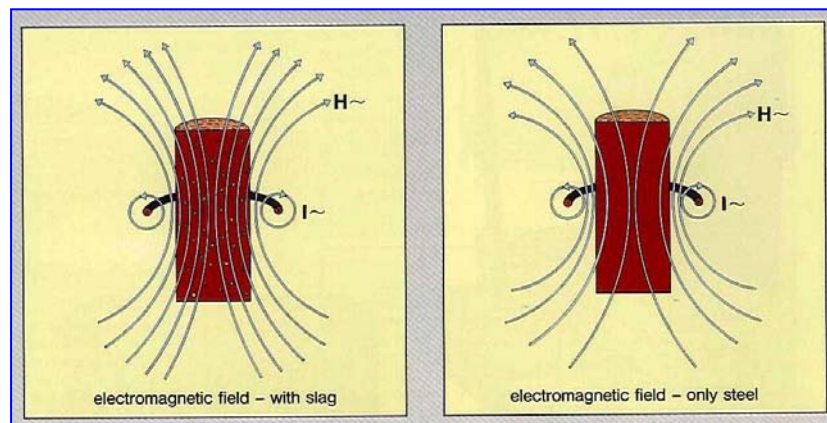


Fig. 10



CONFIGURAZIONE DEL SISTEMA

Il sistema installato sulla linea I.S.P. e' essenzialmente composto da:

- sensori montati su ogni singola siviera
- cavi, connettori speciali e preamplificatore sulla torretta siviere
- interfaccia di commutazione ed unita` di controllo/misurazione situate nella sala PLC
- sistemi di registrazione e stampa dei messaggi e delle misurazioni (sala PLC e cabina data logging)

Le Figg. 11-12-13 mostrano questi particolari

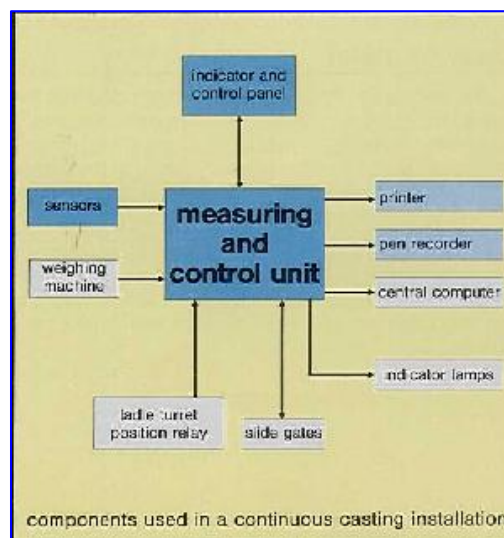


Fig. 11

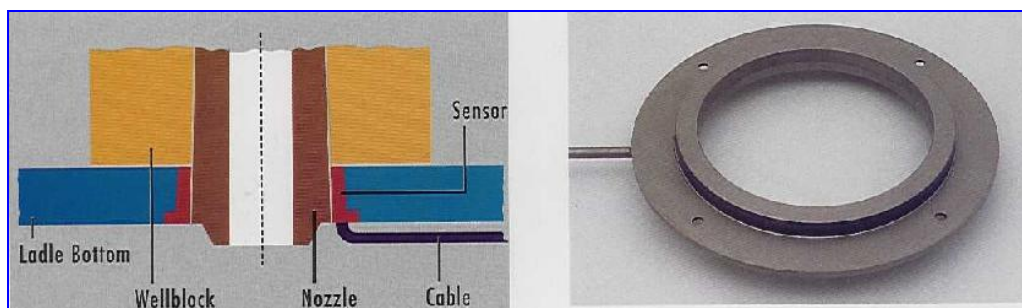


Fig. 12

Fig. 13



MODALITA` DI FUNZIONAMENTO

Il sistema di rilevamento scoria “AMEPA” entra in funzione appena collegato al sensore della siviera e immediatamente esegue un ciclo di regolazioni automatiche di taratura dell’installazione e del sensore tramite una routine di monitoraggio. Tale regolazione necessita di una decina di secondi, dopo i quali appare il messaggio di “system ready”.

Successivamente la taratura del sistema viene continuamente verificata mediante cicli di misurazioni, controllate in automatico dal microprocessore dell’unità di controllo/misurazione, per garantire l’affidabilità del sistema.

In prossimità dello svuotamento della siviera (10 t dal termine), il sistema viene attivato automaticamente, e da questo momento il segnale rilevato viene confrontato con un limite d’allarme preimpostato (10 %); quando il segnale di scoria supera il limite prestabilito, scatta l’allarme che chiude il cassetto siviera (vedi Fig. 14), tale operazione può essere effettuata anche manualmente dall’operatore.

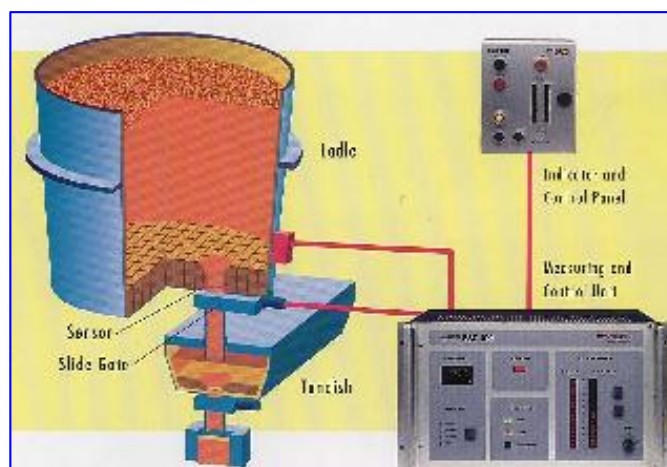


Fig. 14

VERIFICA FUNZIONAMENTO DEL SENSORE

Prima di ogni rifacimento siviera, il sensore è controllato tramite uno strumento appositamente dedicato, per verificarne il corretto funzionamento.



6 – PANIERA

MODIFICHE ALLA PANIERA

I principali interventi eseguiti sulla paniera dal 1992 al 1998 hanno interessato in parte la struttura base e in parte, alcuni particolari all'apparenza insignificanti, che nel contesto hanno contribuito in modo determinante a migliorare la produttività dell'impianto e la qualità del prodotto finito.

In sintesi i principali interventi hanno interessato :

- COPERCHIO
- ARGON BOX
- LA STRUTTURA INTERNA DELLA PANIERA
- IL MURETTO PRINCIPALE E QUELLO FRANGI FLUSSO
- RILEVAMENTO DELLA TEMPERATURA IN CONTINUO
- IL SISTEMA DI APPLICAZIONE DEL TUFFANTE
- IL TAMPONE

Per meglio chiarire i vari interventi eseguiti e le parti che sono state modificate si riporta nella figura che segue (Fig. 1), uno schizzo della paniera nella sua ultima configurazione.

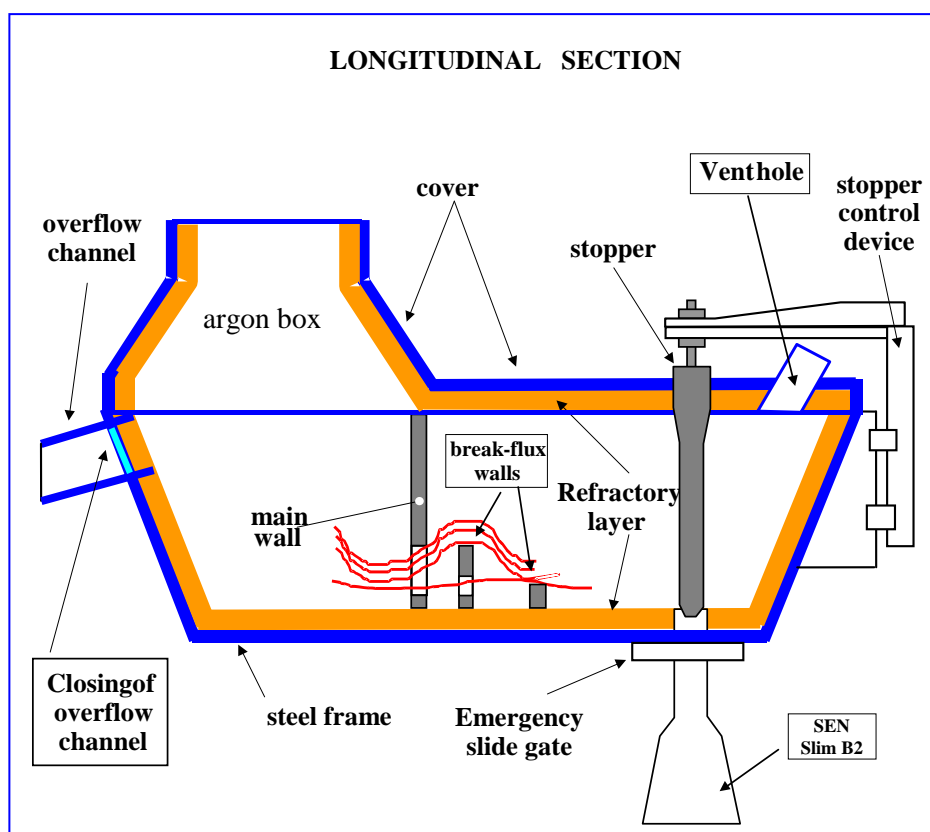
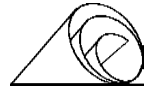


Fig. 1



CANALE DEL TROPPO PIENO (overflow-channel) - Questo canale ha la funzione di far uscire l'acciaio liquido dalla paniera convogliandolo verso l'apposito sistema di emergenza, nel caso fosse impossibile arrestare il flusso di acciaio dalla siviera.

Inizialmente, questa apertura non veniva chiusa, ma alcune verifiche della percentuale di azoto nell'acciaio, rilevata alla fine del trattamento al forno siviera e successivamente durante il colaggio, hanno evidenziato un significativo incremento del contenuto di tale elemento.

Tale variazione si è pensato fosse dovuta ad infiltrazioni nella zona dell'argon-box dove l'acciaio liquido non è protetto dalle polveri di copertura, e si è individuato come causa principale l'apertura del canale del troppo pieno.

Non potendo però chiudere il canale del troppo pieno per i motivi di sicurezza sopra descritti, il problema è stato risolto chiudendo tale apertura con un lamierino di acciaio dello spessore di 2mm. In questo modo si evita l'infiltrazione di aria dall'esterno e quindi di azoto, e si è fatto salvo il sistema di sicurezza, perché, qualora il livello di acciaio dovesse raggiungere il lamierino lo forerebbe all'istante lasciando libero sfogo alla sua fuoriuscita.

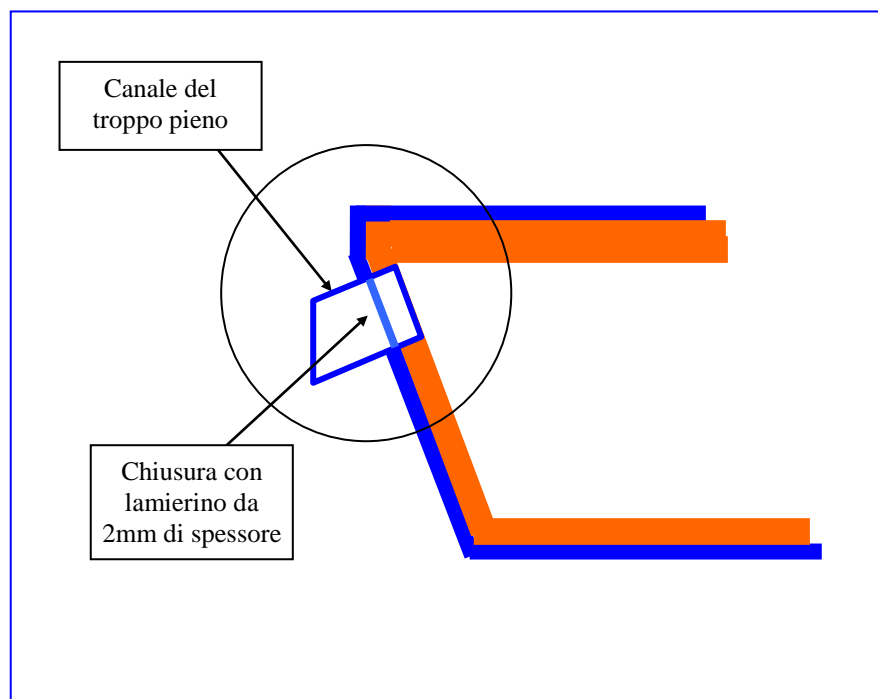


Fig. 1a - Particolare del canale del troppo pieno



COPERCHIO

Il primo intervento ha interessato la dimensione del coperchio, perché, essendo composto da un blocco unico di notevole lunghezza e sottoposto ad alte temperature, era soggetto a notevoli deformazioni che non permettevano più il corretto accoppiamento con la paniera. Condizione questa molto negativa perché favoriva le infiltrazioni di aria dall'esterno che causavano l'ossidazione del bagno di acciaio.

Dopo alcuni tentativi di scarsa praticabilità, il problema è stato risolto tagliando a metà il coperchio, riducendo così la deformabilità del coperchio e di conseguenza i problemi di tenuta riscontrati con la versione precedente.

Le Figg. 2-3 mostrano i due casi.

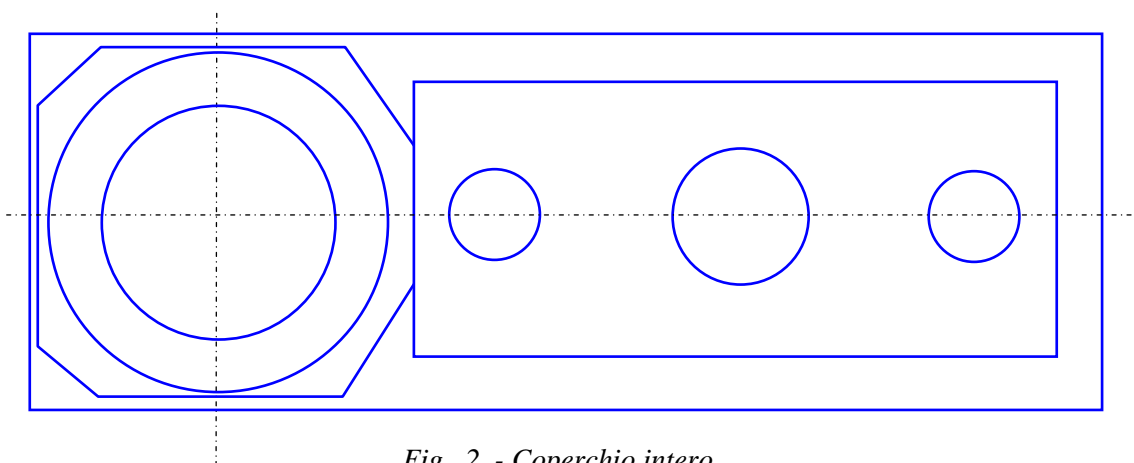


Fig. 2 - Coperchio intero

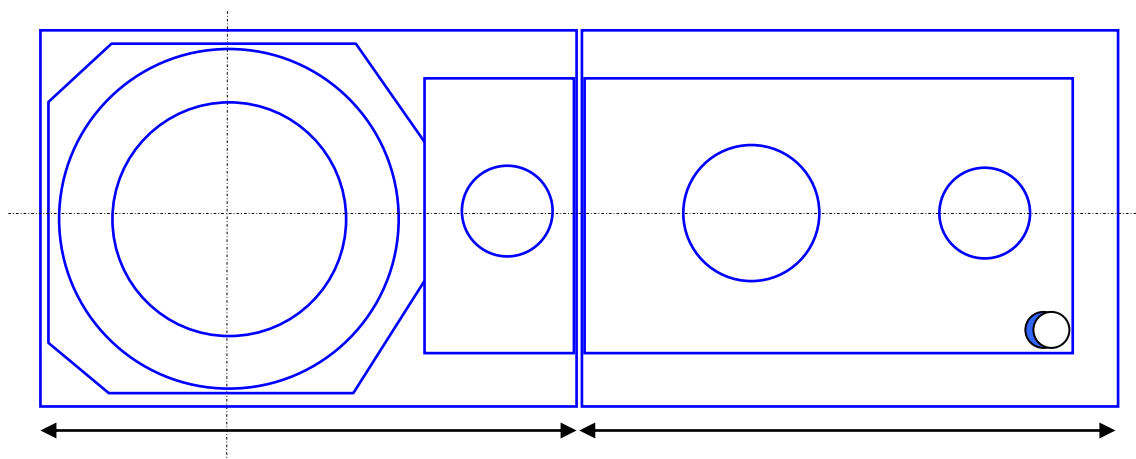


Fig. 3 - Coperchio diviso a metà

Un successivo intervento, che ha interessato sia il coperchio sia la paniera, riguardava il sistema di tenuta tra coperchio e paniera, in una prima fase ottenuto per mezzo di un incastro tra le due parti con la presenza di sabbia.



Anche questa soluzione, nonostante l'intervento sul coperchio avesse ridotto notevolmente i rischi di infiltrazione dell'aria, non risultava molto efficace e inoltre, era poco pratica, dovendo ogni volta ripristinare la sabbia all'interno della scanalatura; operazione non sempre eseguita allo stesso modo dai vari operatori, e quindi non sempre affidabile dal punto di vista della tenuta.

Si è pensato quindi di togliere il sistema ad incastro tra coperchio e paniera, sostituendoli con dei piatti di lamiera, e di interporre fra di essi uno strato di materiale isolante refrattario (fibra ceramica a base di silice).

Il sistema tuttora in uso, non ha mai creato problemi sia in fase di applicazione sia in fase operativa.

Nelle Figg. 4 e 5 sono evidenziati i particolari di questo intervento.

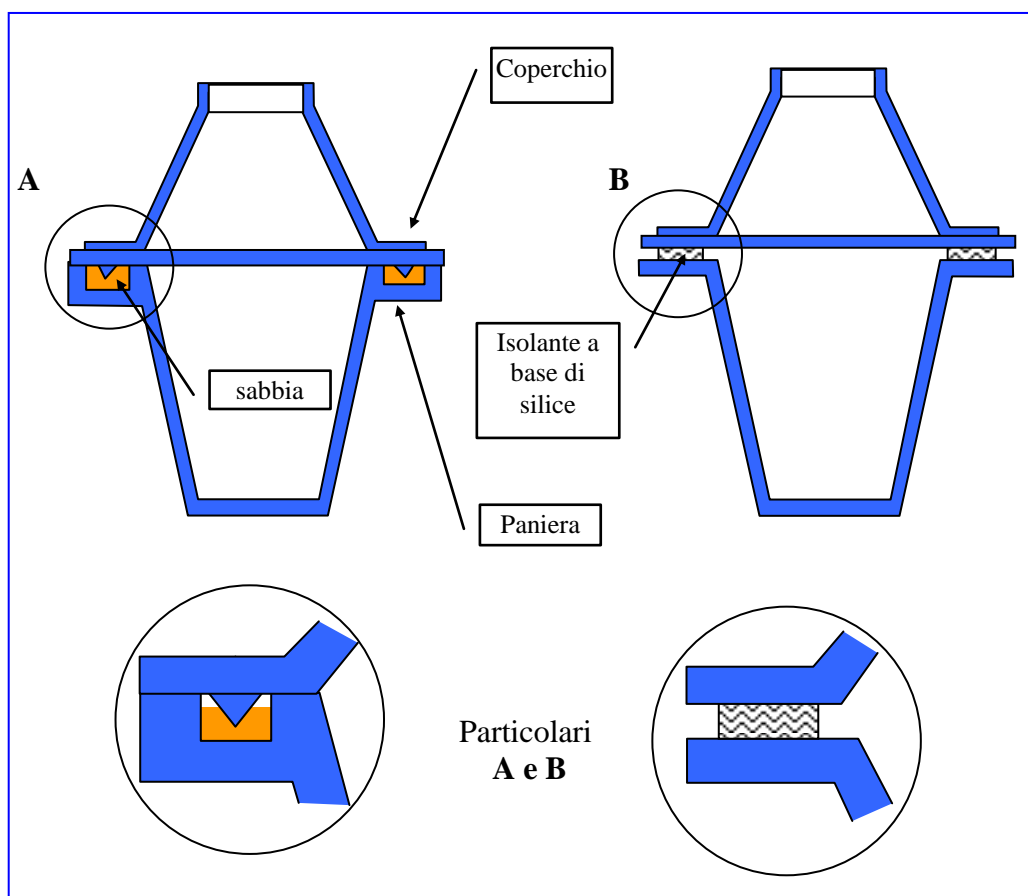


Fig. 4
Sigillatura ad incastro con sabbia

Fig. 5
Sigillatura con fibra refrattaria

Un'altra modifica al coperchio è stata l'introduzione di un foro di sfogo per attenuare la pressione interna alla paniera durante il preriscaldamento.



L'assenza di questo foro causava una pressione interna eccessiva che dava luogo alla fuoriuscita di fiamme laterali che bruciavano le sigillature del coperchio e corrodavano lo strato di magnesite interno posto a protezione dei refrattari.

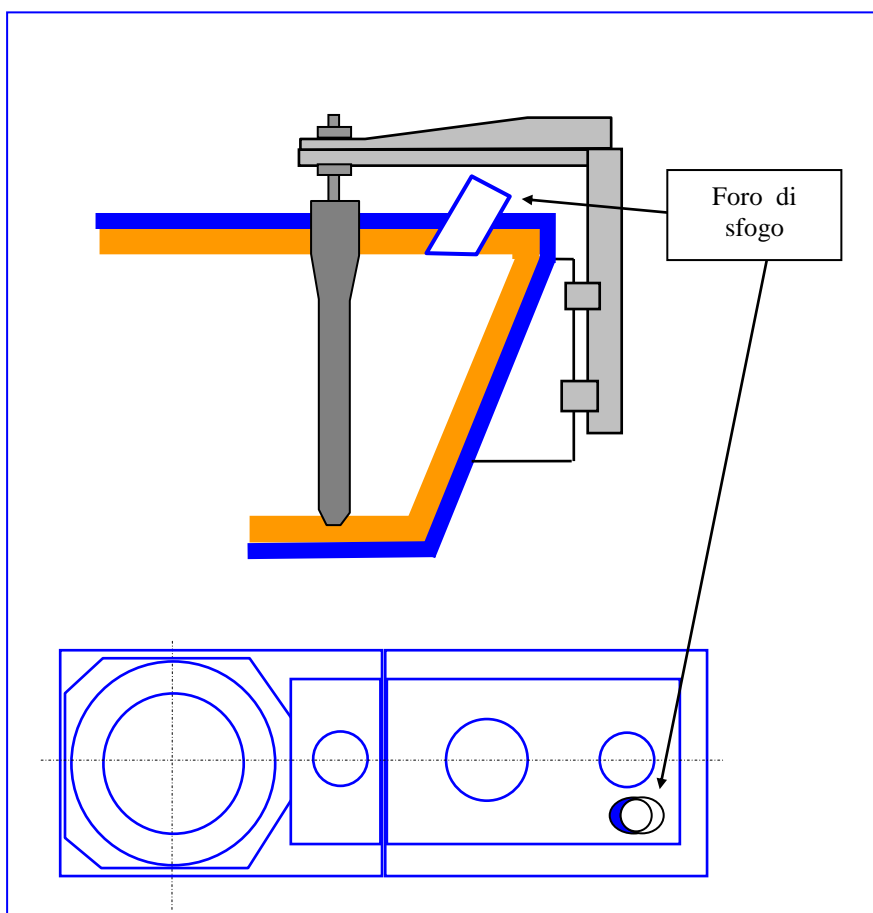
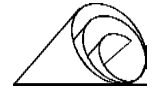


Fig. 6 - foro di sfogo applicato al coperchio delle siviere

In tempi più recenti, il coperchio è stato oggetto di una sperimentazione con pannelli in ghisa anziché di materiale refrattario e con pannelli prefabbricati in materiale refrattario.

In entrambi i casi l'esito è stato negativo; nel primo caso perché i pannelli in ghisa si sono fusi durante la fase di preriscaldamento della paniera e nel secondo, perché la struttura dei refrattari cedeva dopo breve tempo, inoltre si sono dimostrati molto costosi e per niente affidabili.

Pertanto si è deciso di proseguire con il sistema nostro tradizionale composto da uno strato a base di Allumina (Al_2O_3) fissata al coperchio con ancoraggi metallici.



ARGON-BOX

Questa parte della paniera ha la funzione di proteggere il getto di acciaio liquido dal contatto con l'atmosfera esterna per evitare la formazione di ossidi permanenti che comprometterebbero la qualità del prodotto finale.

Per evitare che questo avvenga, viene insufflato del gas argon in prossimità del collare superiore di questo contenitore troncoconico (da qui il nome di argon-box), attraverso degli ugelli opportunamente posizionati (Fig. 7).

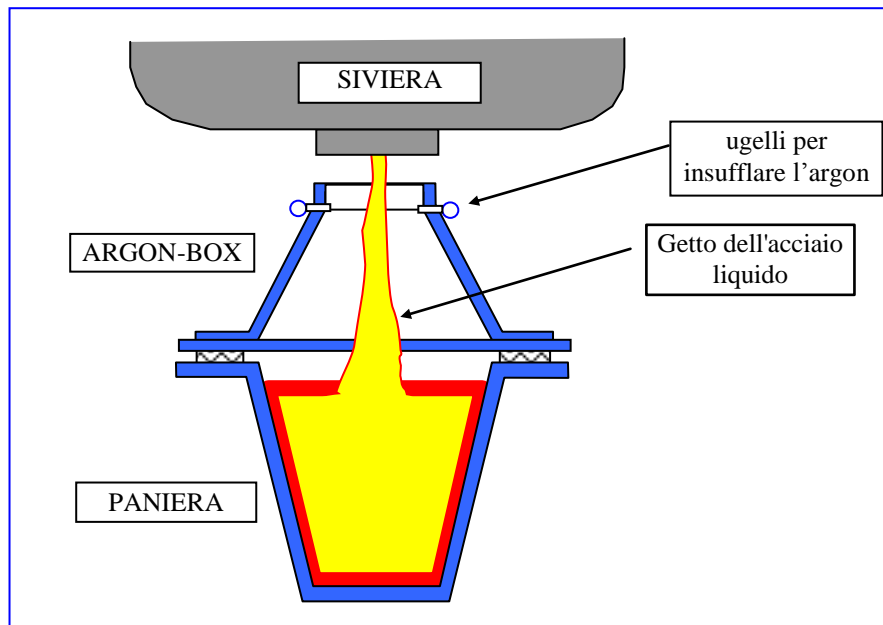
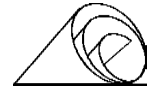


Fig. 7 - vista d'insieme della paniera con l'argon-box

In precedenza, il getto era protetto dal contatto con l'atmosfera da un sistema ad incastro tra cassetto della siviera e la parte superiore dell'argon-box, simile a quello utilizzato per sigillare il coperchio della paniera, e da una serie di piccoli ugelli disposti in posizione radiale sul collare dell'argon box.

Entrambi i sistemi, però, non davano risultati soddisfacenti, il primo per problemi di deformazione dell'incastro il secondo perché i fori troppo piccoli si otturavano e causavano una distribuzione asimmetrica del gas, favorendo in entrambi i casi infiltrazioni di aria dall'esterno, motivo per cui dopo un certo periodo entrambi i sistemi sono stati modificati.

Per prima cosa è stato ridotto il numero degli ugelli dell'argon, passati da una decina a tre solamente, di maggior diametro (5 mm) e disposti a 120° e successivamente al posto del sistema ad incastro del cassetto/siviera è stata posta una semplice lamiera tra siviera e argon-box per schermare il cassetto e comprimere l'atmosfera dell'argon-box favorendo in questo modo una pressione interna all'argon-box sufficiente per evitare infiltrazioni di aria dall'esterno. Questa lamiera viene fissata alla siviera con dei gancetti.



Le Figg. 8 e 9 mostrano le modifiche adottate per migliorare la protezione del getto dall'ossidazione.

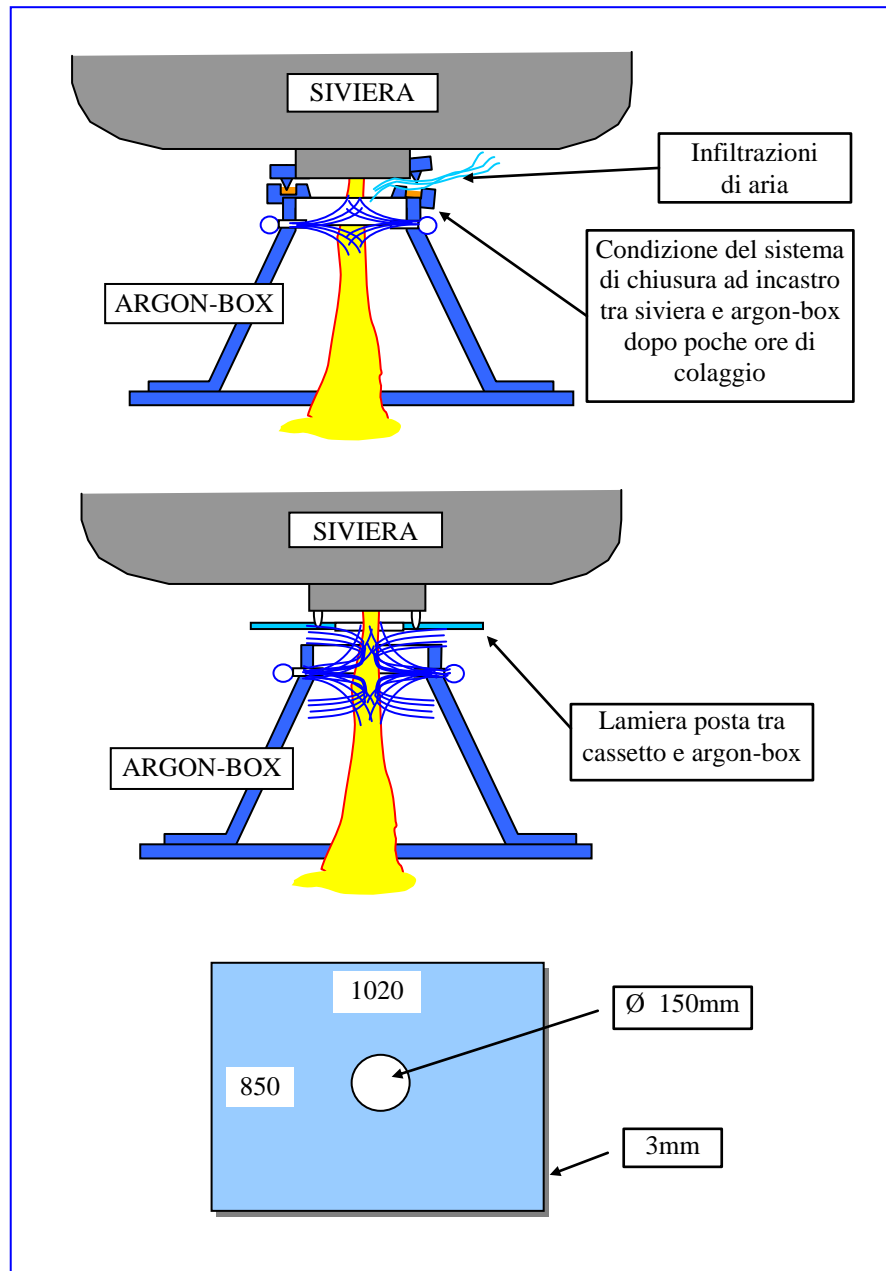


Fig. 8 - Sistema di protezione dell'Argon-box

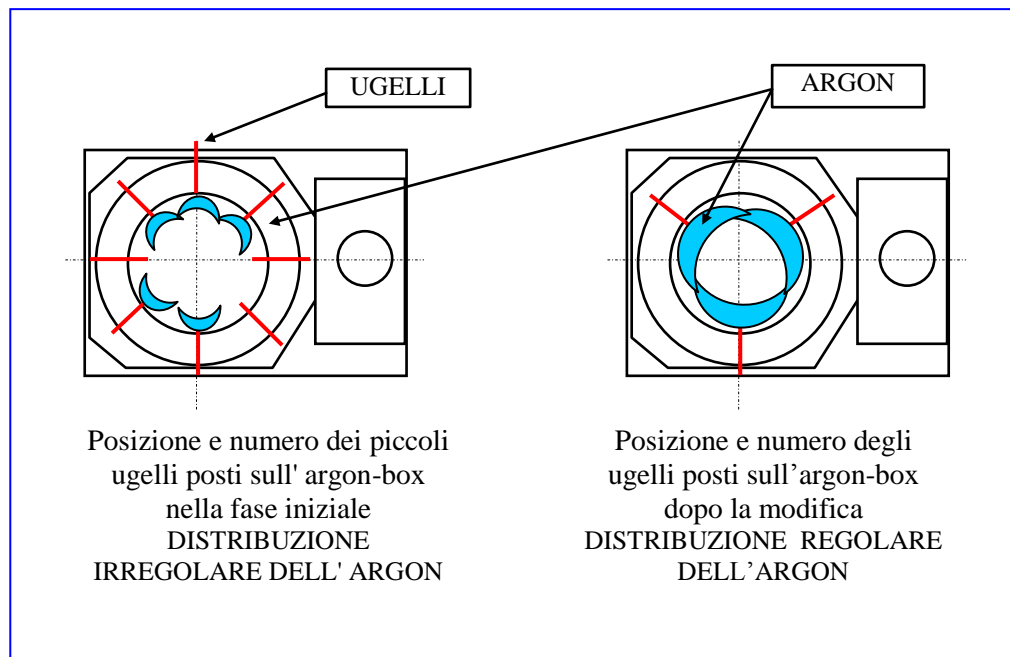
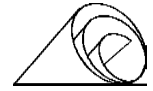


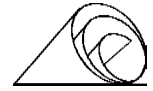
Fig. 9 - Argon-box visto dall'alto (posizione degli ugelli e flusso dell'argon prima e dopo la modifica)

La portata del gas, in uso a tutt'oggi, è indicata nella seguente tabella:

CONDIZIONI STANDARD E PARAMETRI

Protective gas : ARGON

Steel	Delivery	Pressure
Low Silicon content	50Nm ³ / h	3.0 bar
All other steels	44Nm ³ / h	2.5 bar



STRUTTURA INTERNA

La struttura interna della panierina, è stata oggetto di alcune modifiche che hanno interessato la zona del menisco dove staziona il livello dell'acciaio e la parte del fondo dove cade il getto di acciaio liquido quando si apre il cassetto della siviera.

Tali modifiche sono state necessarie per far fronte all'azione erosiva del menisco che a seguito dei tempi di colaggio sempre più lunghi conseguenti alle colate in sequenza, passate da 2 a 12 per un totale di oltre le 11 ore, andava ad intaccare i mattoni di sicurezza posti in quel punto. Inizialmente si è provato con un doppio strato di materiale di usura in MgO, ma con scarsi risultati e in un secondo tempo, raddoppiando lo strato di mattoni refrattari antiusura con risultati decisamente migliori. Nel secondo caso invece, è stato posto sul fondo una mattonella di materiale molto duro (85% Al_2O_3) in grado di sopportare l'urto e l'erosione del getto iniziale.

Le Figure 10 e 11 mostrano una sezione trasversale della panierina con le parti oggetto di modifica.

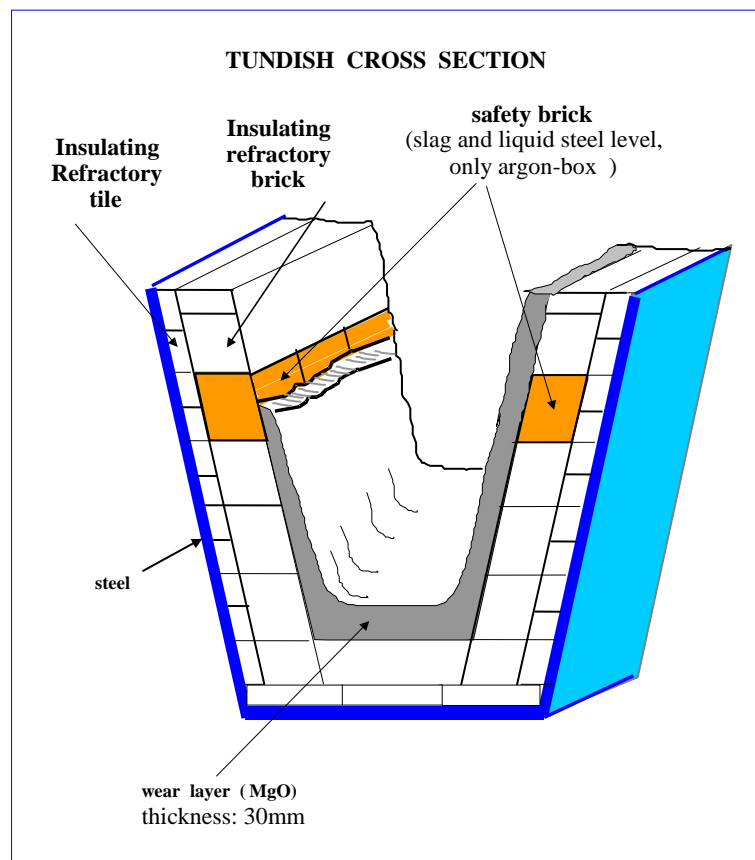


Fig. 10 - Sezione dell'argon-box prima delle modifiche.

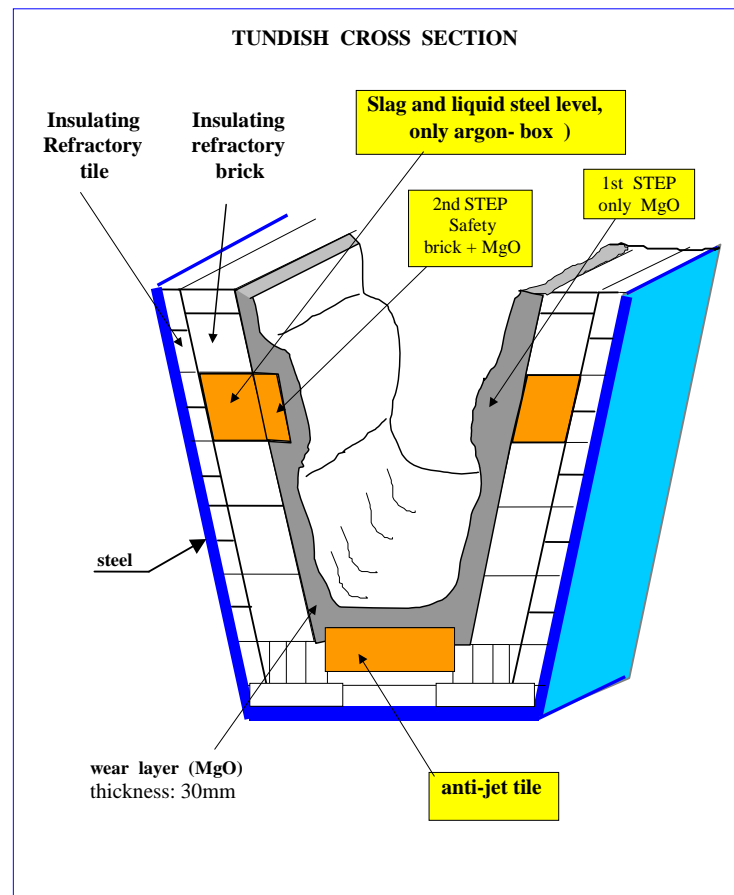
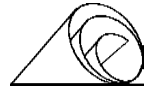
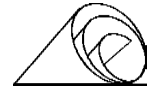


Fig. 11 - Sezione dell'argon-box dopo le modifiche.

Questi interventi hanno consentito di prolungare la durata della paniera e di operare in condizioni di completa sicurezza anche con tempi di colaggio molto lunghi, fino a 12 ore e di prolungare la vita delle paniere (rifacimento completo una volta all'anno).



MURETTO PRINCIPALE E MURETTI FRANGIFLUSSO

Anche il muretto principale e i muretti frangiflusso hanno subito modifiche a seguito dei tempi di colaggio più lunghi ottenuti con le colate in sequenza.

In un primo tempo infatti, il muretto principale che separa la zona dell'argon-box dal resto della paniera era molto più sottile, circa 60mm, e presentava 4 fori per il deflusso dell'acciaio nella zona inferiore.

Nelle figure che seguono viene evidenziata la condizione iniziale e l'evoluzione nel tempo.

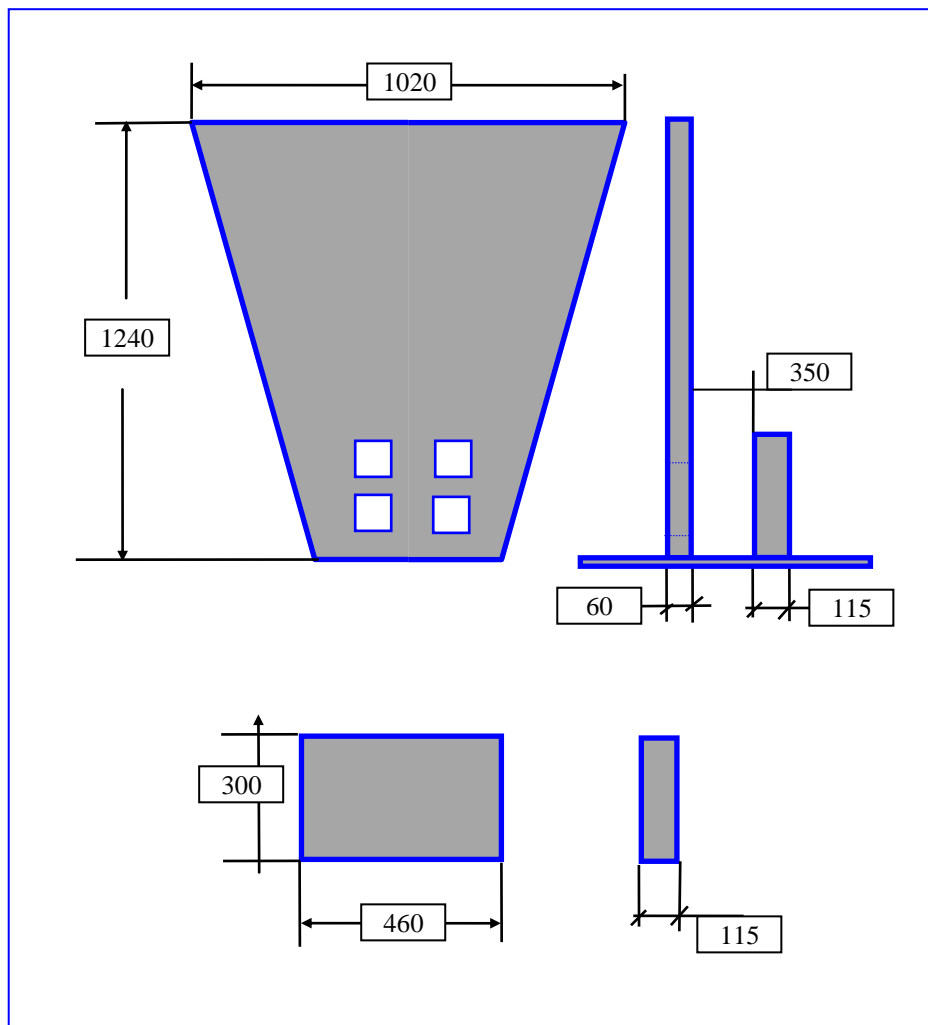
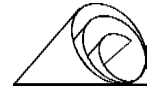


Fig. 11 - Forma iniziale del muretto principale e del muretto frangiflusso



Al fine di migliorare i flussi di acciaio liquido verso il tampone si era pensato di raggruppare i 4 fori in un'unica finestra, condizione questa che ha indebolito il muretto, e in concomitanza di sequenze molto lunghe, oltre le 5 ore, collassava su se stesso, come rappresentato nella fig. 13.

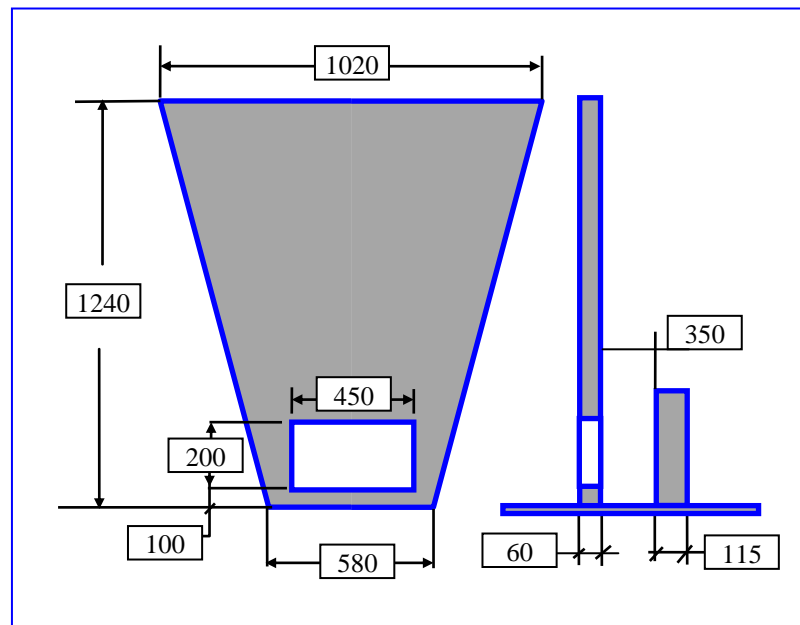


Fig. 12 - Muretto principale dopo la prima modifica (apertura della finestra nella parte inferiore).

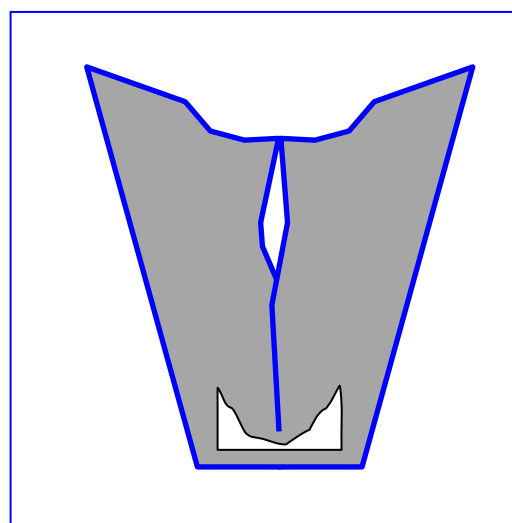
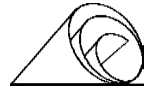


Fig. 13- Aspetto del muretto principale dopo 5-6 ore di colaggio



Si è pensato quindi come primo intervento di aumentare lo spessore del muretto da 60 a 115 mm e di supportare la zona centrale con un sostegno al centro della finestra come indicato in Fig. 14.

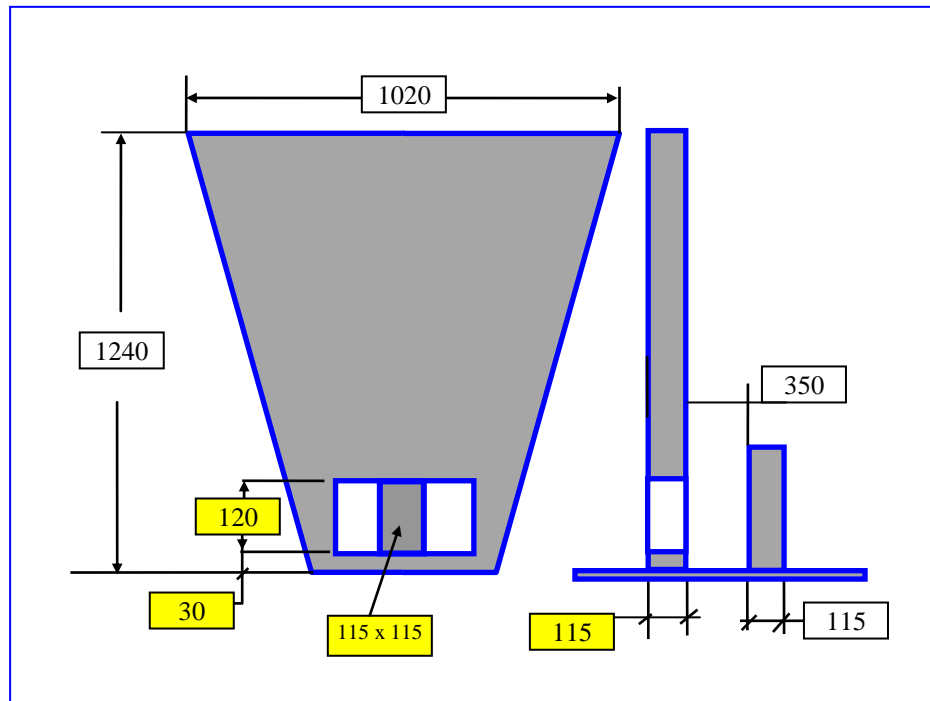
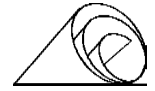


Fig. 14- Aspetto del muretto principale dopo il primo intervento

Con questa configurazione, la durata del muretto si è prolungata fino a coprire senza alcun problema le sequenze di colaggio più lunghe, comprese quelle oltre le 12 ore consecutive.

Successivamente una volta ottimizzata la durata del muretto si è passati a un successivo intervento per stabilizzare ulteriormente il flusso verso il tampone.

Intervento necessario per ridurre al minimo le vibrazioni del tampone responsabili di una certa instabilità del flusso in lingottiera.



In questo caso si è intervenuti sul muretto frangi flusso, il quale oltre ad essere modificato, introducendo 2 finestrelle è stato anche raddoppiato, così come schematizzato in Fig. 15.

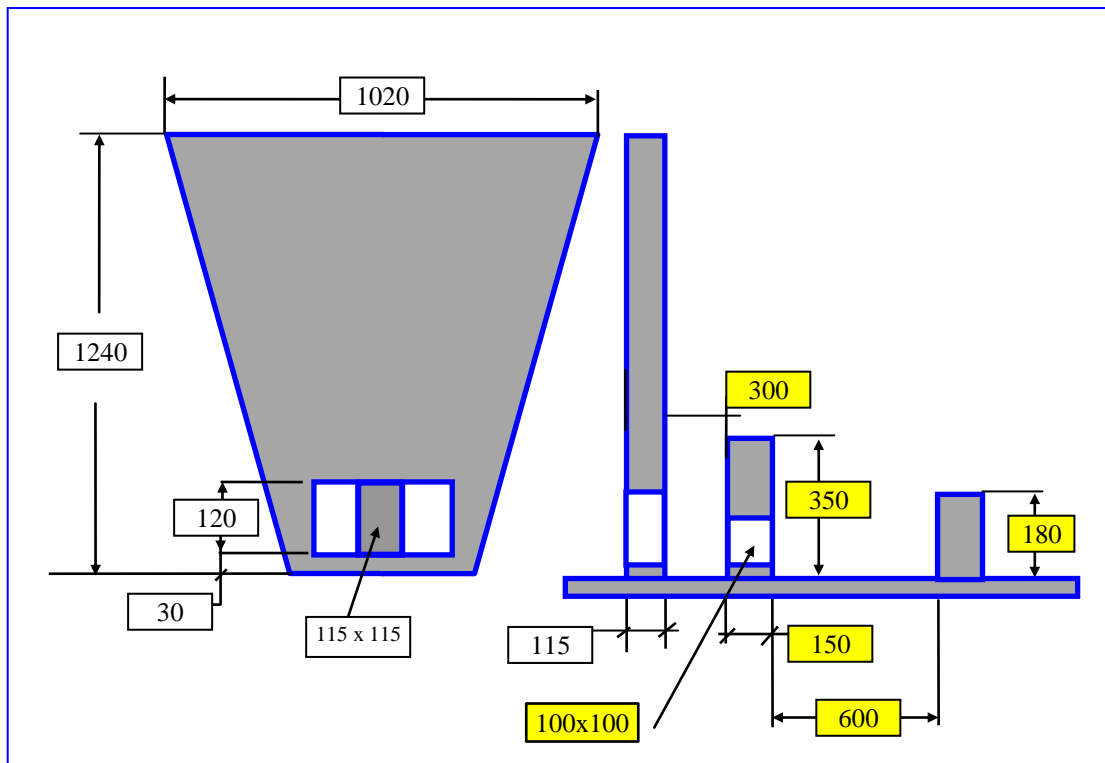


Fig. 15 - Ultima configurazione del muretto principale e dei muretti frangi flusso



RILEVAMENTO DELLA TEMPERATURA IN CONTINUO

Inizialmente la temperatura in paniera era rilevata manualmente tramite una sonda montata dall'operatore di colata su un apposito supporto.

La frequenza delle misure era stabilita dal responsabile di macchina in base alle necessità del momento.

Il sistema utilizzato per tale prova è schematizzato in fig. 16

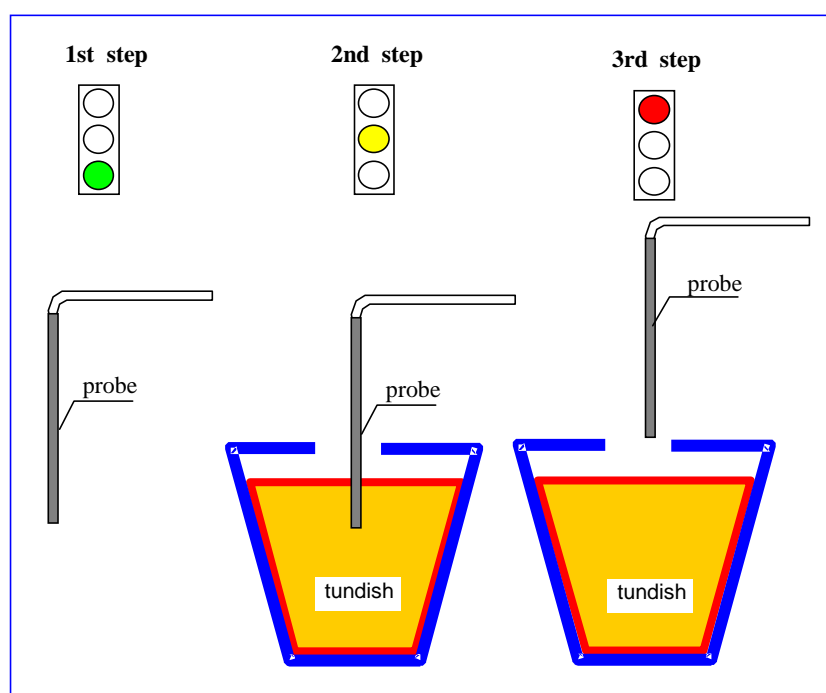


Fig. 16 - Sequenza operativa per il rilevamento della temperatura in paniera con il sistema manuale

Come si può vedere un sistema molto pratico che però si scontrava con la necessità di avere la situazione della temperatura dell'acciaio in paniera in tempo reale e soprattutto l'andamento della temperatura nel tempo da consultare in ogni momento.

Questa necessità si è ulteriormente manifestata con la produzione di acciai speciali e velocità di colaggio sempre più elevate, per cui si è pensato ad un sistema di rilevazione in continuo che potesse soddisfare le nostre esigenze.



Per tale scopo, è stato installato un sistema di rilevazione in continuo della ditta VESUVIUS (tipo Accumetrix) in grado di soddisfare le nostre esigenze sia dal punto di vista dell'affidabilità che della precisione, anche per periodi di colaggio molto lunghi (oltre le 10 ore).

Il sistema è composto da una termocoppia in platino-rodio, da una guaina in molibdeno, da un tubo ceramico di protezione e da un display digitale per visualizzare il valore della temperatura.

Operativamente la termocoppia o sonda viene inserita nel tubo ceramico posto nella panierina prima del preriscaldamento, quando il peso dell'acciaio nella panierina ha raggiunto all'incirca le 15 tonnellate, dopodiché entro pochi secondi la termocoppia è a regime.

Le caratteristiche del sistema Accumetrix sono descritte nella Tabella "A".

Tab. A - CARATTERISTICHE DELLA SONDA

Sensor	- Thermocouple	:	Pt-Rh 30%/Pt-Rh 6% (type B)
	- Casing	:	Molybdenum
	- Operating range	:	1450 to 1650°C 2700 to 3000°F
	- Error	:	± 0.25%
	- Thermal response time constant	:	approx. 90 sec
	- Length of time	:	200/300 hours
Ceramic protector tube		:	Aluminium/graphite mix Thermal conductivity at 1500°C approx. 14.5 W/m°K

Per ottenere un buon risultato la sonda dev'essere immersa nell'acciaio liquido per un tratto di 350 mm con una tolleranza di ± 50 mm, le figg. 17-18 evidenziano come operare correttamente con la sonda, mentre le figg. 19 e 20 rappresentano la sonda e il tubo ceramico di protezione.

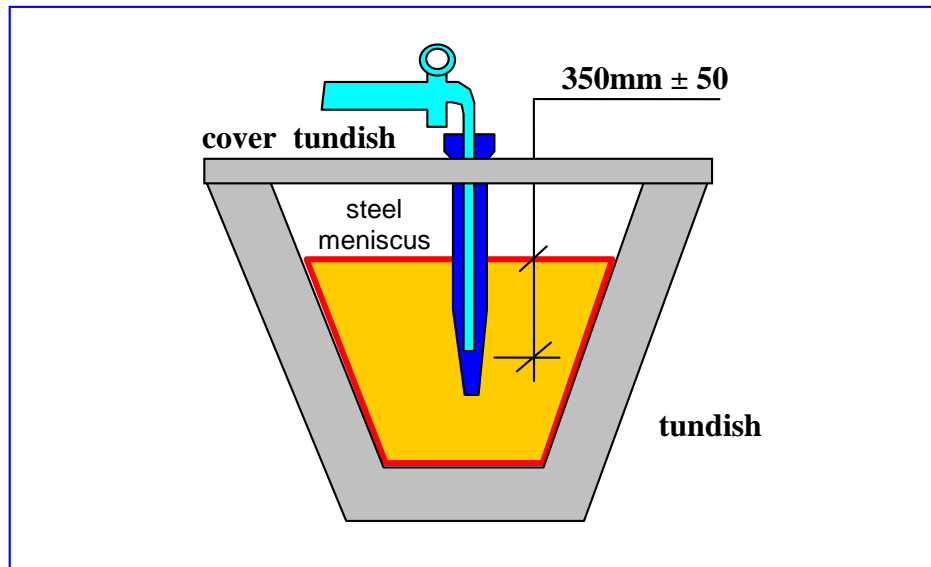
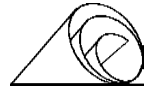


Fig. 17 - Posizione operativa della sonda

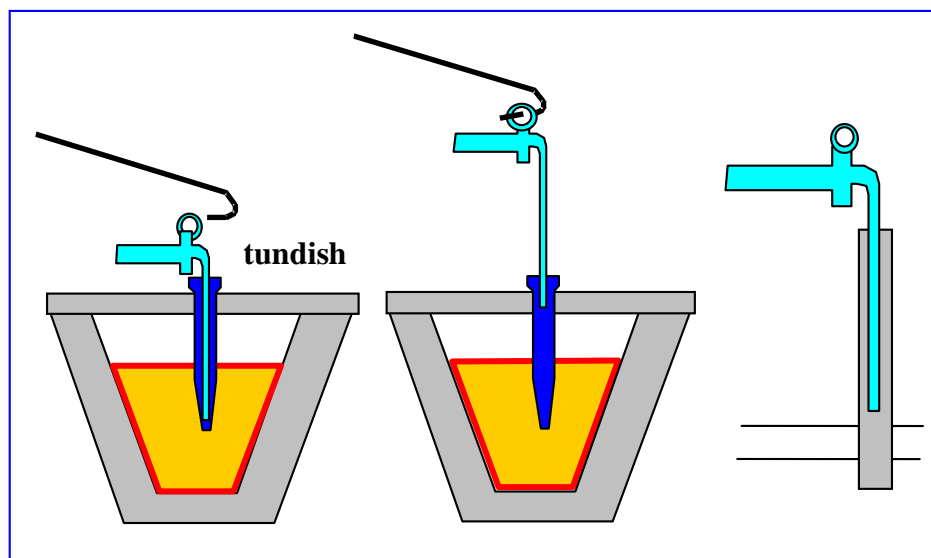


Fig. 18 - Modalità di immersione ed estrazione della sonda

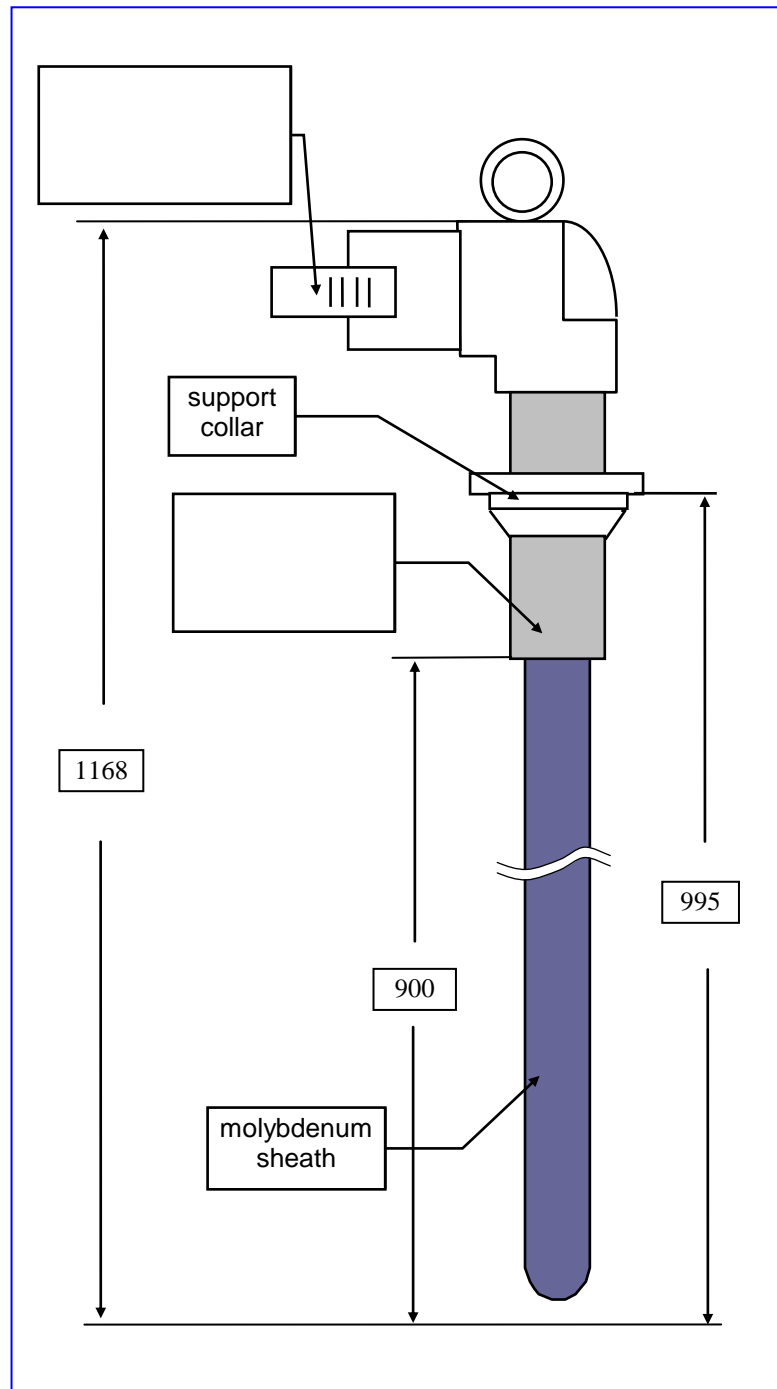
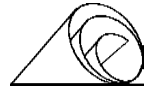


Fig. 19 - Vista d' insieme della sonda

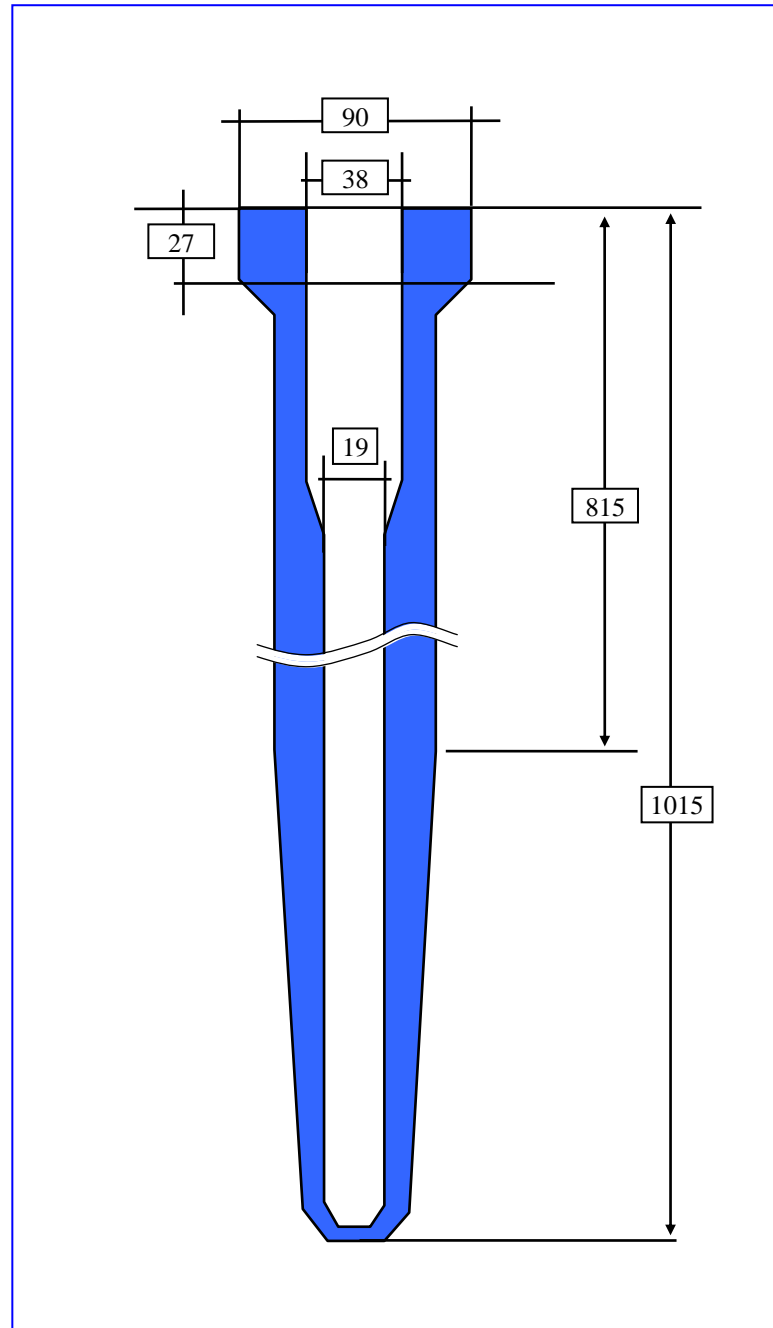
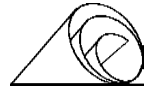
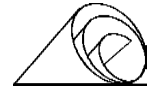


Fig. 20 - Rappresentazione grafica del tubo ceramico di protezione



APPLICAZIONE DEL TUFFANTE

Questa operazione riveste una particolare importanza perché, date le ridotte dimensioni dell'apertura della lingottiera, anche il minimo spostamento dalla simmetria può dar luogo a gravi ripercussioni sulla qualità del prodotto finito.

In particolare, si possono avere ripercussioni sulla stabilità degli scambi termici e comportamenti anomali delle polveri di colaggio che a loro volta generano disomogeneità termiche nella bramma.

Per evitare queste anomalie, è stata studiata una speciale attrezzatura che consente la corretta applicazione del tuffante alla paniera, le cui modalità operative sono descritte qui di seguito.

La sequenza delle operazioni da eseguire è la seguente:

1. fissare alla paniera l'apparecchiatura per la messa in squadra del tuffante;
2. controllare che la parte superiore del tuffante non presenti anomalie o asperità, diversamente asportarle con la mola oppure se non eliminabili scartare il tuffante;
3. posizionare il tuffante sull'apposita piattaforma e introdurlo nel foro del porta tuffante;
4. introdurre le due parti della bussola nel porta-tuffante dopo aver depositato un leggero strato di cemento refrattario (DURAL 95);
5. far scendere il tuffante con l'apposita apparecchiatura fino a quando è completamente inserito nella bussola ;
6. controllare che il tuffante sia perfettamente in squadra con l'asse orizzontale e verticale;
7. fissarlo con l'apposito cemento refrattario.

Nella figura 21 sono rappresentate le varie operazioni qui descritte, mentre la fig. 22 mostra le condizioni di montaggio irregolari da evitare.

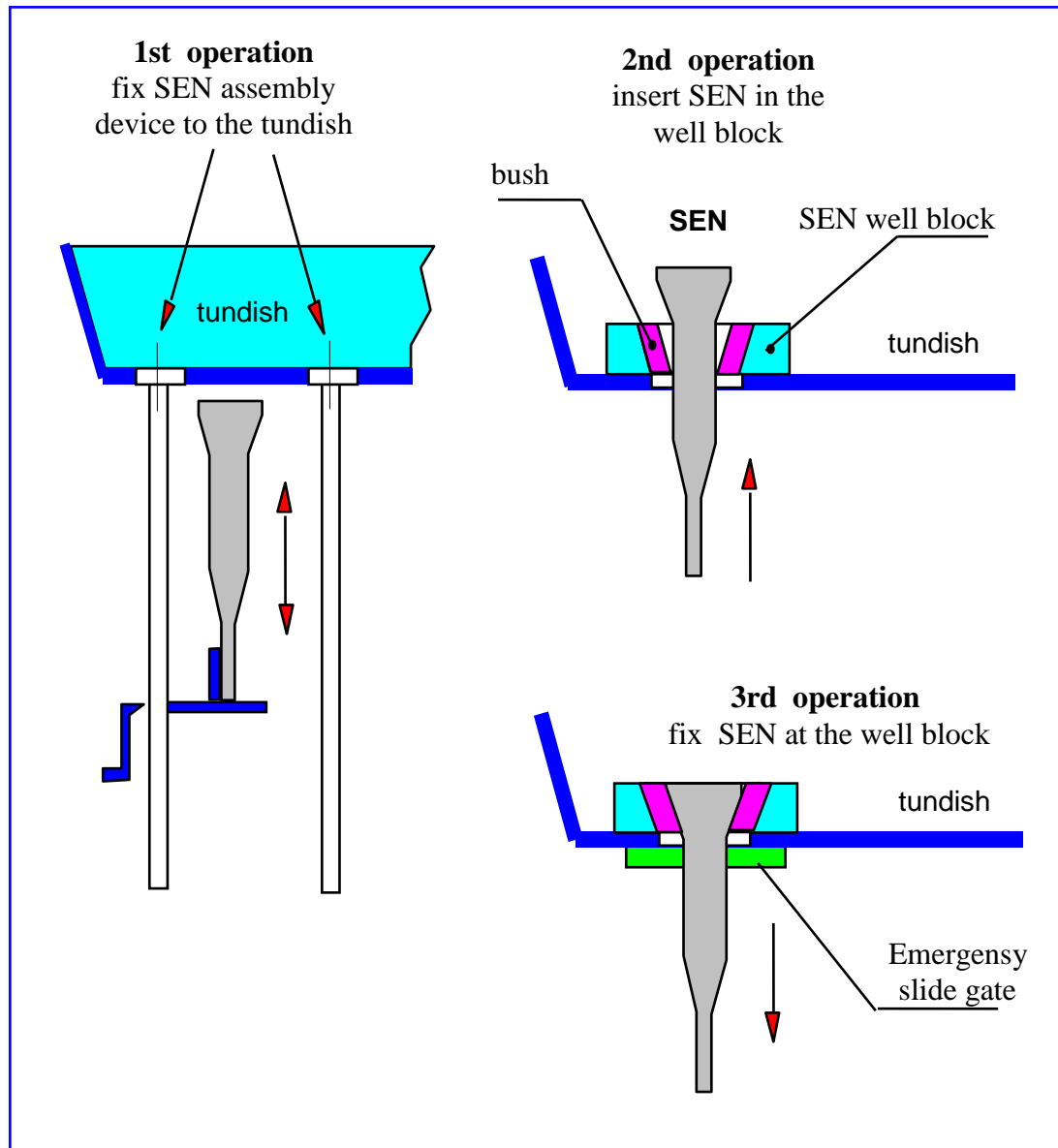
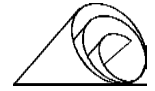


Fig. 21

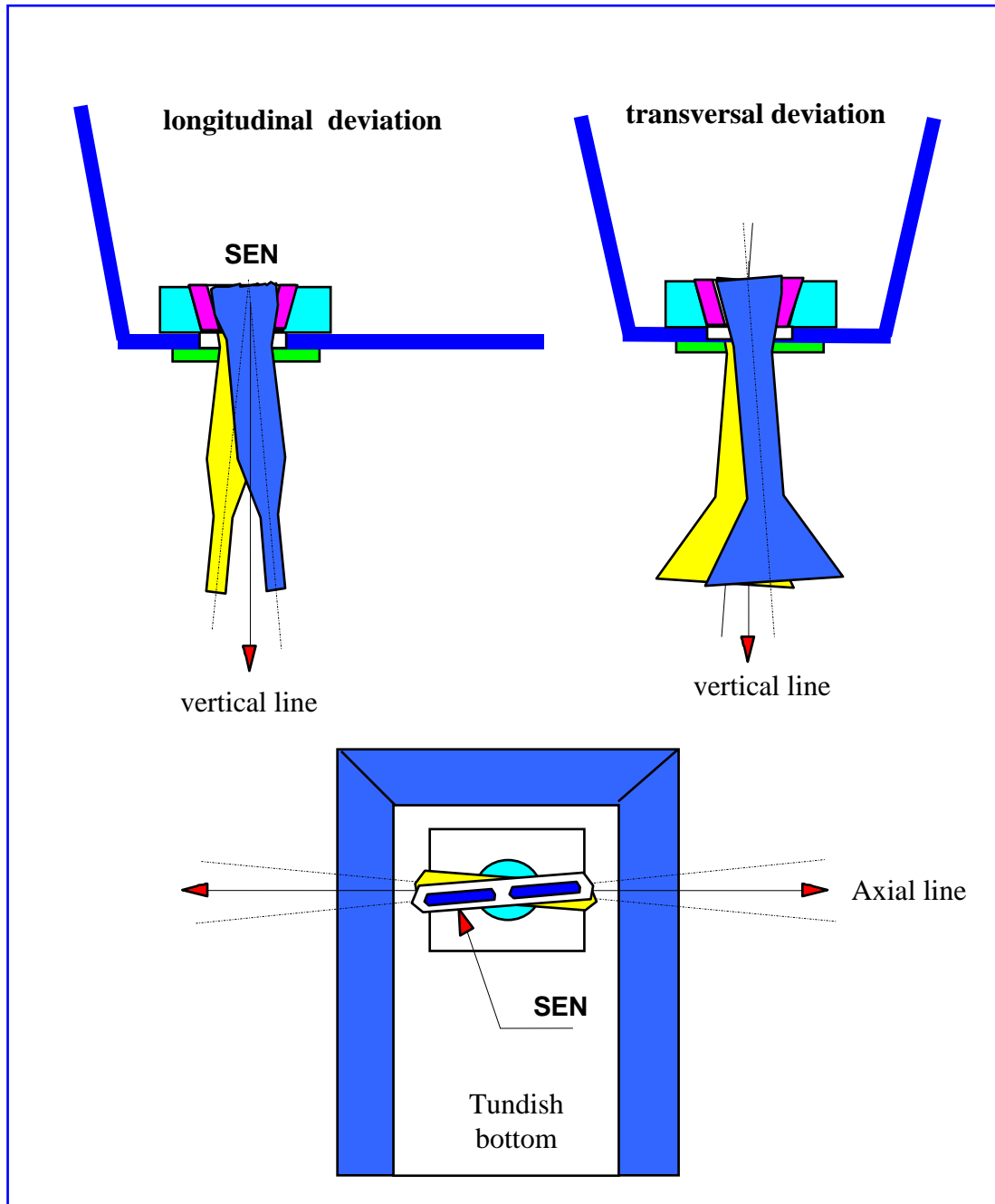
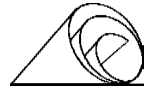


Fig. 22 - Condizioni irregolari che devono essere evitate

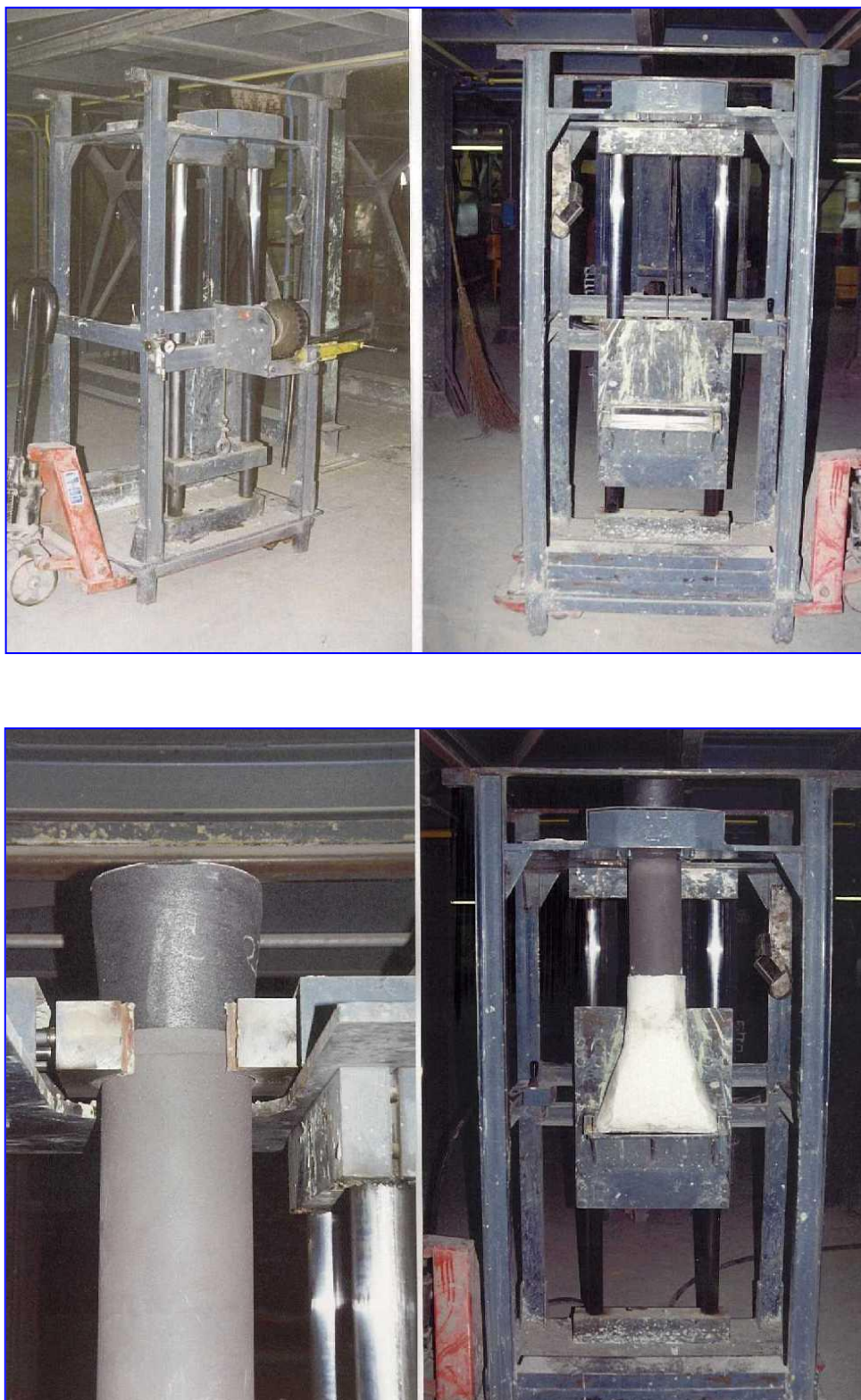
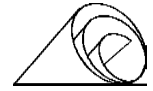


Fig. 23 - Dispositivo per l'applicazione del tuffante alla paniera



TAMPONE

La funzione di questo particolare é quella di garantire e regolare la continuit  del flusso di acciaio liquido da trasferire alla lingottiera.

E' facile comprendere quindi l'importanza che riveste ai fini della produttivit  dell'impianto e della qualit  del prodotto, infatti, entrambi questi aspetti dipendono dal consumo e dall'usura del tampone.

Dopo una breve esperienza iniziale con tampone forato, attraverso il quale si immetteva Argon con lo scopo di proteggere il getto di acciaio da eventuali infiltrazioni di aria, questo modello   stato abbandonato e sostituito da un tampone chiuso per le turbolenze ingenerate dall'Argon stesso che rendevano il flusso di acciaio instabile e poco protetto contro l'ossidazione (condizione risolta successivamente con opportune modifiche all'argon-box).

Nella Fig. 24 sono rappresentati i due modelli sopra descritti e il problema emerso con il tampone forato.

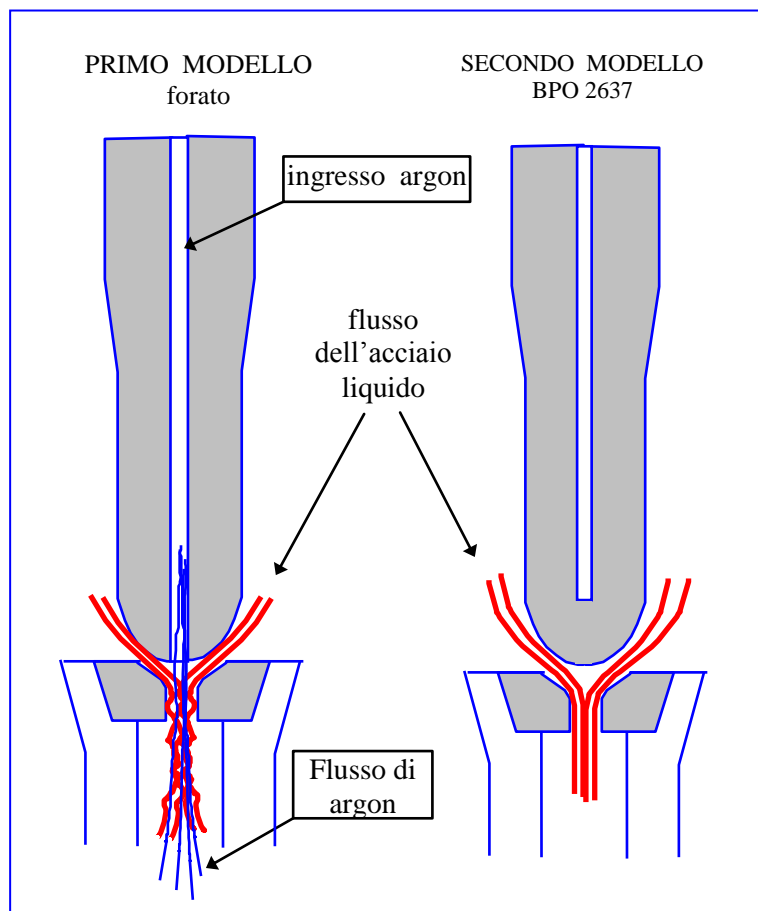
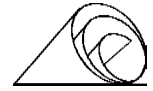


Fig. 24 - Comportamento del flusso di acciaio con e senza insufflazione di argon Attraverso il tuffante



Il modello utilizzato attualmente é del tipo chiuso (punta senza foro), uno della ditta Vesuvius denominato BPO2637 e uno della ditta Foseco tipo DB371MSW.

Con entrambi, si é raggiunto un ottimo grado di affidabilità e durata anche nei casi delle 16 colate in sequenza e i fenomeni di usura sono molto rari e contenuti.

Particolarità di questo tampone, é la punta rivestita da uno strato di magnesite (MgO) trattata con una speciale vernice antiossidante che la protegge durante il preriscaldamento della paniera.

Oltre a questa protezione, al fine di evitare che la fiamma dei bruciatori venga a contatto direttamente con la punta, che ne danneggerebbe irrimediabilmente la struttura essendo composta di grafite, viene inserita a protezione una cuffia in materiale ceramico (SiO_2), dotata di 4 finestrelle che consentono il passaggio del calore evitando nello stesso tempo il contatto diretto con la fiamma dei bruciatori.

Questa cuffia, ha anche lo scopo di evitare che eventuali frammenti di materiale refrattario staccatisi dal coperchio durante il preriscaldamento, possano otturare il foro di uscita al momento dell'apertura, il che porterebbe inevitabilmente alla chiusura del tuffante. A contatto con l'acciaio liquido la cuffia galleggia senza intralciare il deflusso di acciaio e così pure i frammenti del coperchio.

Come si vede, un particolare all'apparenza insignificante, la cui funzione però consente di conseguire lunghe sequenze di colaggio con tutti i vantaggi che ne derivano.

La fig. 25 mostra le tipiche forme di usura della punta del tampone emerse dalla nostra esperienza, mentre la 25a evidenzia la forma e la posizione della cuffia di protezione sopra descritta.

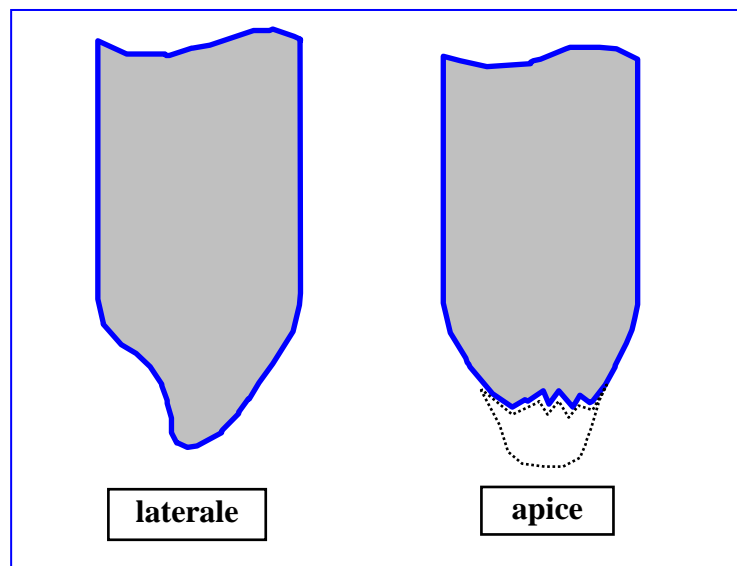


Fig. 25 - Aspetto delle più comuni forme di usura della punta dei tamponi riscontrate nell'esperienza I.S.P.

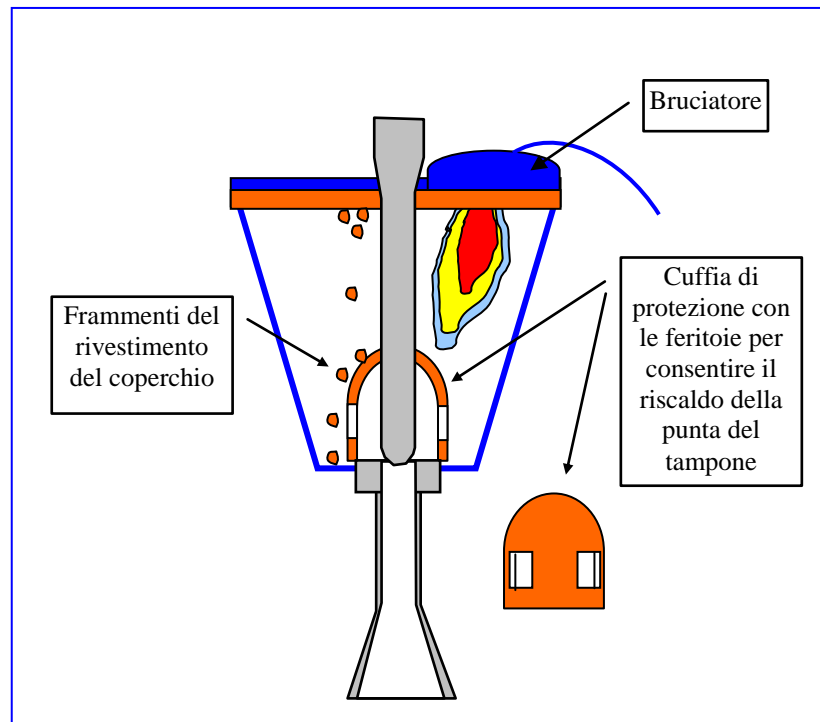
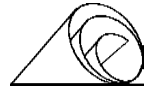


Fig. 25a - Forma e posizione della cuffia di protezione all'interno della panier

Durante il colaggio la condizione di lavoro del tampone viene controllata mediante un sensore posto sull'asta di regolazione che secondo i casi può evidenziare o l'usura del tampone, quando tende a scendere, o la chiusura del tuffante, quando tende a salire.

La fig. 26 rappresenta le condizioni e i grafici che descrivono queste due situazioni.

In caso di emergenza per forte usura del tampone oppure per la perdita del tuffante, il flusso di acciaio può essere bloccato utilizzando il cassetto di emergenza posto sotto la panier (emergency slide gate) che tagliando il tuffante alla base della panier elimina ogni possibile perdita di acciaio liquido (fig.27).

Nelle figg. 28 e 29 sono riportati i disegni dei due tamponi sopra citati e tuttora in uso, Vesuvius BPO3763 e Fosco DB371 MSW.

La protezione di Fig. 25a dopo un periodo di sperimentazione è stata abbandonata perché ritenuta non più necessaria.

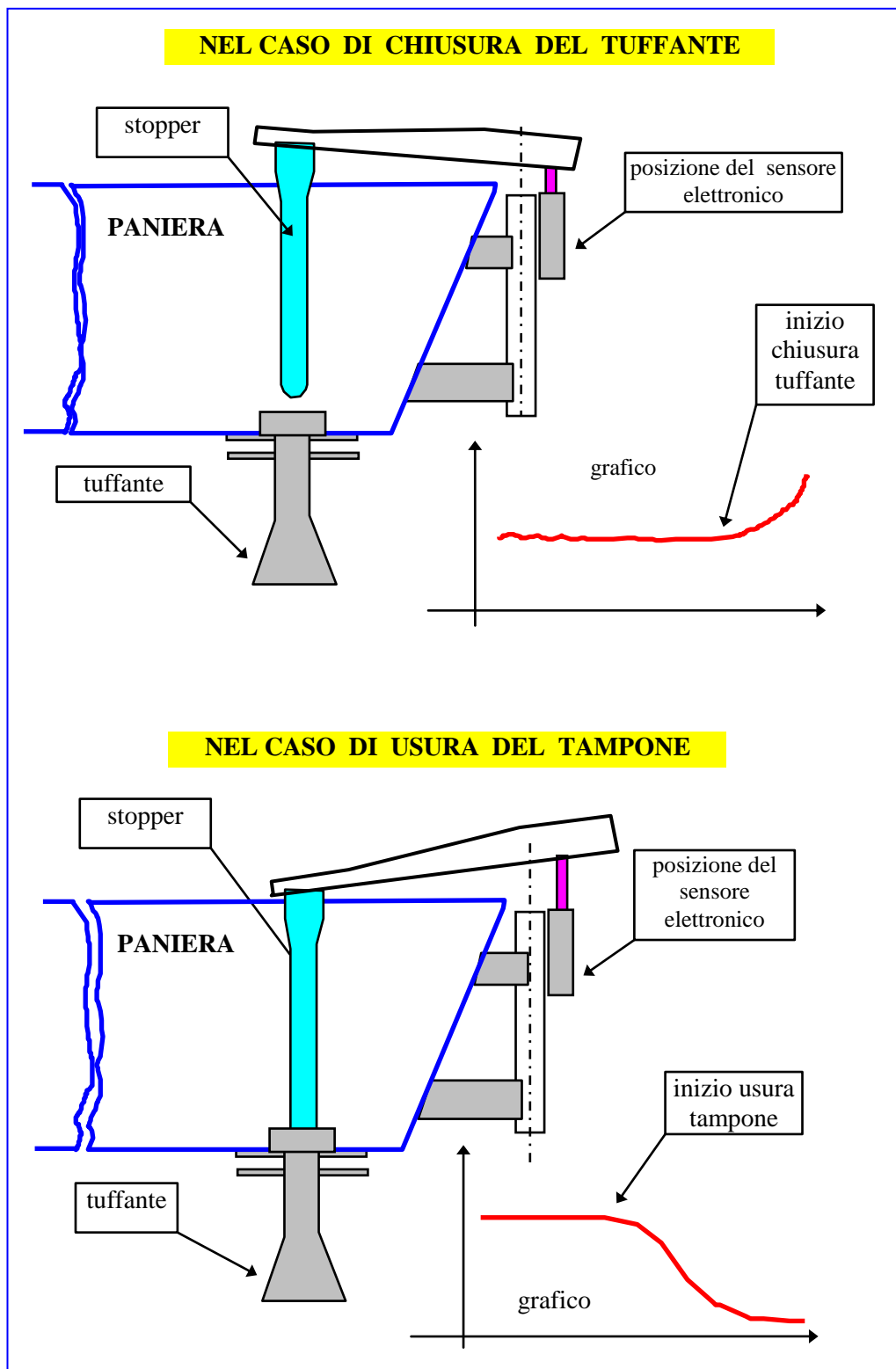
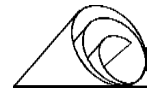


Fig. 26 - Rappresentazione grafica del comportamento del tampone in caso di chiusura e di usura del tuffante

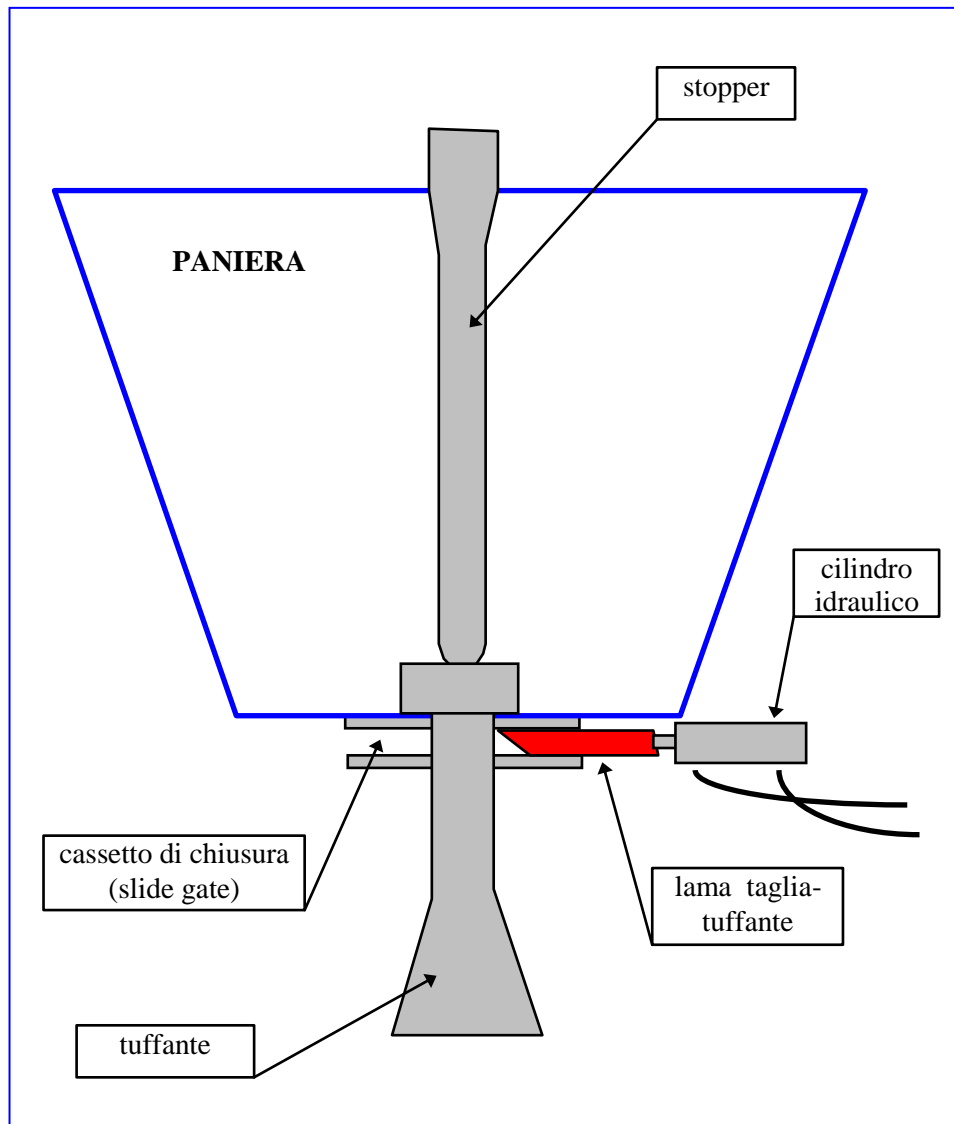
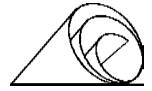


Fig. 27 - Sistema di emergenza per la chiusura immediata del tuffante

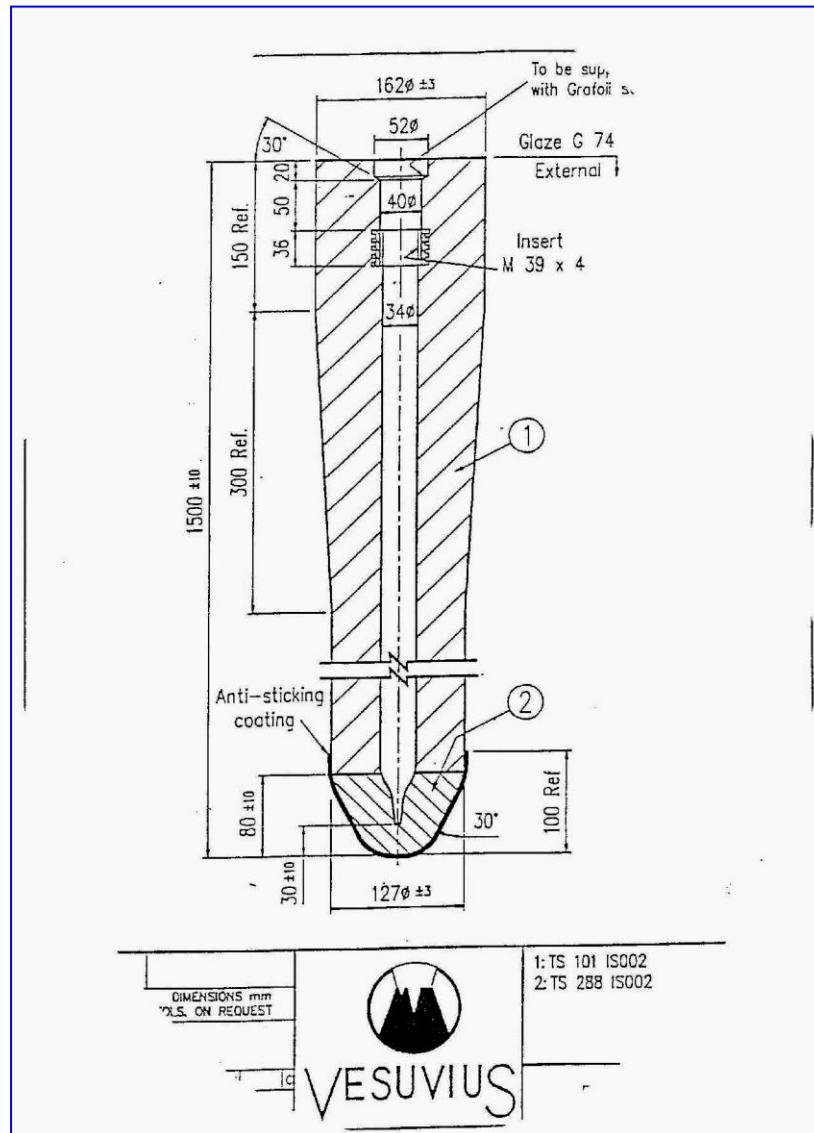
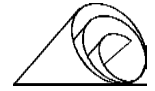


Fig. 28 - Tampon VESUVIUS

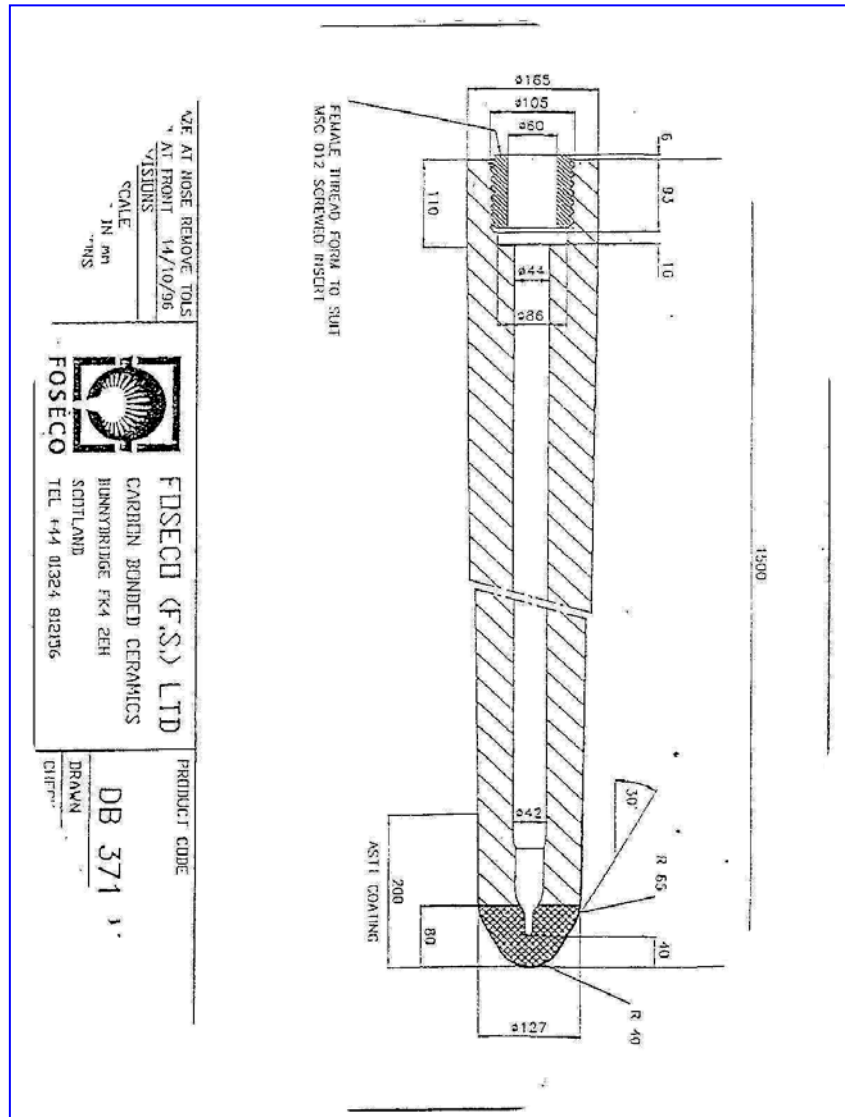
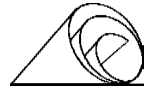


Fig. 29 - Tampone FOSECO



7 – TUFFANTE

La sperimentazione del tuffante è stata caratterizzata fin dall'inizio dalla necessità di prolungare il più possibile la durata di questo componente, dal quale dipende la produttività e l'economicità dell'intero impianto.

In sintesi la fasi che hanno contraddistinto la sperimentazione si possono identificare con i modelli base utilizzati:

- 1^a fase con tuffante STRETTO (Hönningen - Vesuvius),
- 2^a fase con tuffante LARGO (" - "),
- 3^a fase con tuffante JUMBO (Vesuvius),
- 4^a fase con tuffante SLIM e SLIM B/2 (Vesuvius).

All'interno di queste fasi sono state sperimentate delle varianti di questi tuffanti, diverse tra di loro per la composizione dei materiali base oppure per il trattamento antiossidante delle superfici a contatto con l'acciaio liquido, senza però mutare o alterare la forma del modello, pertanto la suddivisione cronologica dei modelli sperimentati si riferisce ai soli modelli base qui considerati.

TUFFANTE STRETTO

Nella fase iniziale il tuffante utilizzato era del tipo stretto caratterizzato da un'uscita trapezoidale e piatta separata dal deflettore interno, da qui la denominazione "hot pants". Tale forma anche se con dimensioni diverse ha caratterizzato tutti e tre i modelli sperimentati nei primi due anni di attività dell'impianto I.S.P..

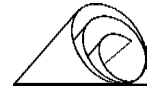
Questa particolare configurazione è stata dettata dallo spazio molto limitato esistente tra le piastre della lingottiera da noi adottata, con la quale risultava impossibile utilizzare tuffanti tradizionali disponibili sul mercato essendo la luce tra le piastre larghe di soli 80 mm.

Il modello sperimentato in I.S.P., contrariamente ai primi tuffanti sperimentati in A.T.A., era costruito in un unico pezzo, mentre i precedenti erano composti da due pezzi.

La soluzione di adottare un tuffante monoblocco è stata dettata dal timore che nell'altro tipo si potessero verificare delle infiltrazioni di aria a seguito delle dilatazioni termiche a cui era soggetto il tuffante, il che avrebbe portato alla formazione di ossido di alluminio e quindi all'otturazione del tuffante stesso.

A questo proposito, per un certo periodo è stato insufflato Argon nel tuffante attraverso il tampone, al fine di prevenire otturazioni da allumina (vedere pag. 24 del capitolo paniera).

Questa pratica però, oltre a non dare risultati apprezzabili contribuiva a creare condizioni di instabilità del getto per le turbolenze create dal flusso dell'argon, pertanto dopo un certo periodo di prova questa pratica è stata abbandonata a favore di una maggior protezione con il sistema "dell'argon box" della paniera.



Nelle Figg. 1 e 2, sono rappresentati i due modelli di tuffante stretto utilizzati per le prove A.T.A. e successivamente nella fase iniziale in I.S.P..

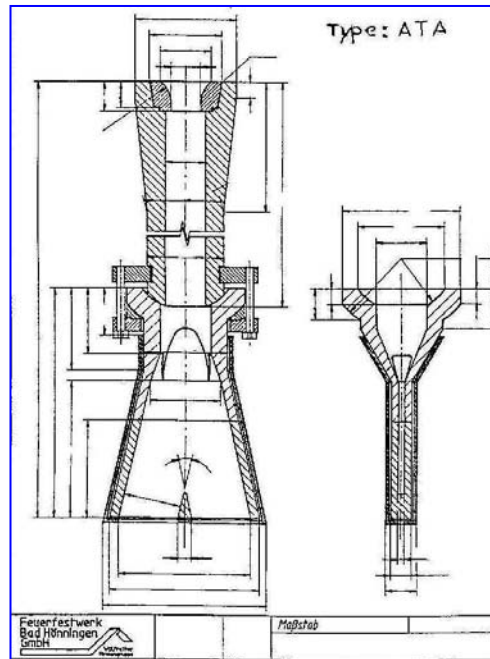


Fig. 1- Tuffante stretto sperimentato in A.T.A.

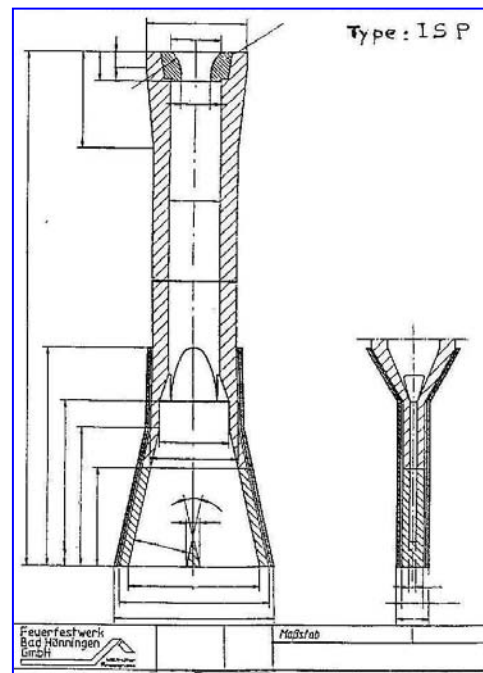
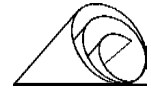


Fig. 2 – Tuffante stretto sperimentato in I.S.P.



Dal punto di vista dei materiali, fin dalla fase iniziale, il tuffante stretto I.S.P. era composto da un corpo in allumina grafitata (Al_2O_3 + grafite) al quale venivano applicate esternamente nella parte inferiore (parte immersa a contatto con l'acciaio liquido), delle placche in materiale ceramico di varia composizione.

In prevalenza sono stati sperimentati dei rivestimenti al nitrato di boro (NB) e all'ossido di zirconio (ZrO_2).

Dopo una serie di prove è stato scelto il secondo tipo in ZrO_2 , essendo risultato il più affidabile per il colaggio in sequenza di più colate.

Infatti con il primo, non si superavano le 2 colate in sequenza a causa dell'eccessiva erosione delle pareti nella zona del menisco, mentre con il secondo, era possibile effettuare sequenze di 3 colate con un certo margine di sicurezza.

In prevalenza il modello STRETTO è stato fornito dalla Hönningen essendo risultato il più affidabile, sia in termini di durata che di omogeneità di comportamento.

Arrivando verso la fine della sperimentazione (ultimi mesi del 1993), a produrre il 60/70% delle colate in sequenze di 3 colate, incrementando notevolmente la produttività dell'impianto.

I pochi tests effettuati con Vesuvius hanno evidenziato in particolare una durata molto limitata del componente, con forature e rottura delle facce larghe, usura dello strato interno in Al_2O_3 e una certa irregolarità e instabilità nel deflusso dell'acciaio liquido, con spostamenti da un lato all'altro della feritoia di uscita.

Rispetto al tuffante dell'altro fornitore questo ha dimostrato una maggior resistenza all'usura esterna, ma anche una maggiore fragilità.

Le figg. 3 e 4 mostrano le caratteristiche base dei due tuffanti stretti prodotti dalla Hönningen e dalla Vesuvius.

Problemi incontrati

Le problematiche emerse dall'utilizzo del tuffante STRETTO si possono così riassumere:

HÖNNINGEN

- tuffante al nitrato di boro, precoce foratura delle facce larghe (Fig. 5),
- tuffante all'ossido di zirconio, decarburazione delle pareti interne correlate con i tempi di preriscaldamento (Fig. 6), usura delle facce esterne in corrispondenza del menisco, maggior usura della zona adiacente al bordo del tuffante, rottura della faccia larga, cricatura della faccia larga, distacco della spatola (Fig. 7),
- differente spessore delle pareti delle facce larghe (Fig. 8)
- profondità erosione in funzione delle colate per sequenza (Fig. 9)

VESUVIUS

- usura e rottura delle facce larghe, usura dello strato interno nella zona di uscita, usura eccessiva nella zona del menisco (Fig. 10).



Soluzioni adottate

- eliminazione dei tuffanti al NB,
- modificato curva di preriscaldamento (Fig. 11), ridotto quando possibile il tempo di preriscaldamento, adottato un nuovo sistema di immersione a step multipli (Fig. 12).

La Fig.13 mostra i vari tipi di tuffanti (Hönningen e Vesuvius) con la composizione del tratto immerso.

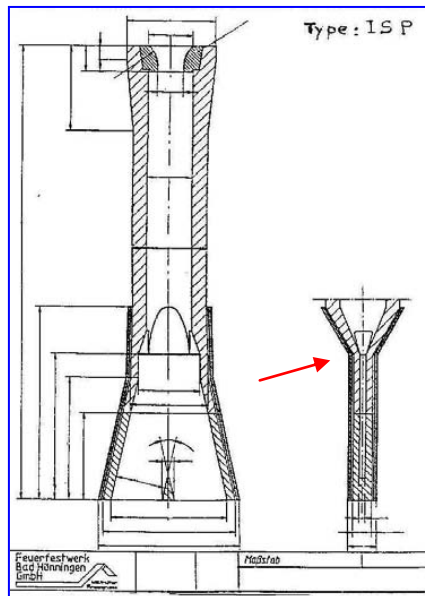


Fig. 3 - Tuffante stretto HÖNNINGEN

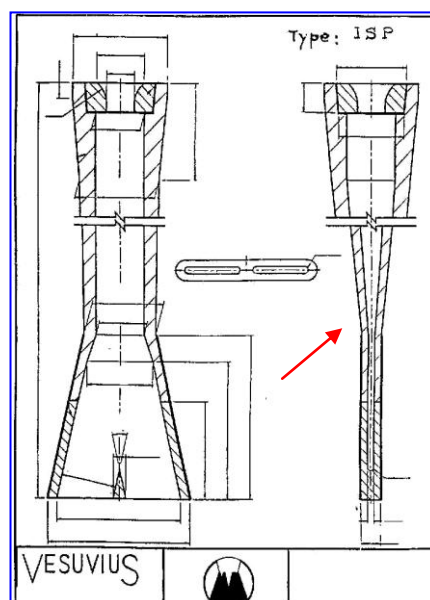


Fig. 4 - Tuffante stretto VESUVIUS

I due tuffanti si differenziano in particolare per la diversa forma del raccordo tra gambo e spatola.

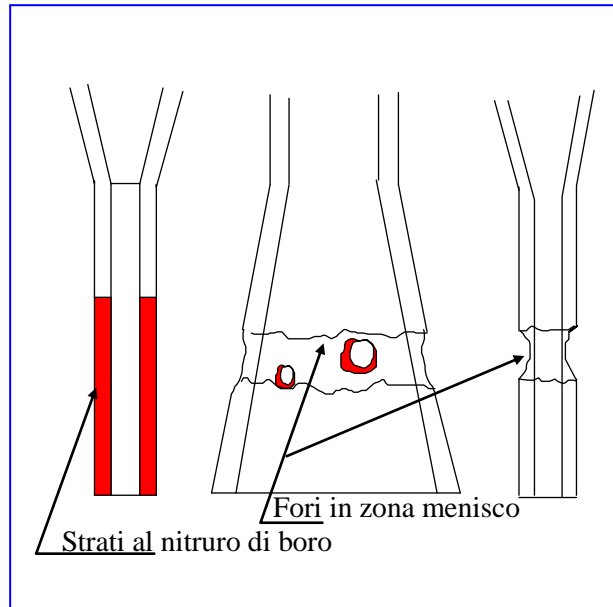
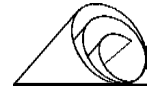


Fig. 5- Tuffante stretto Hönningen

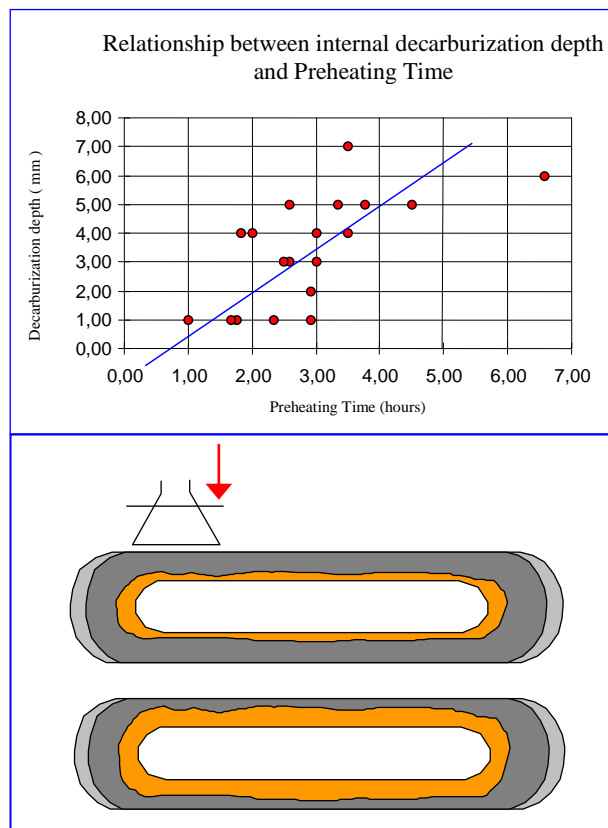


Fig. 6 - Tuffante stretto Hönningen

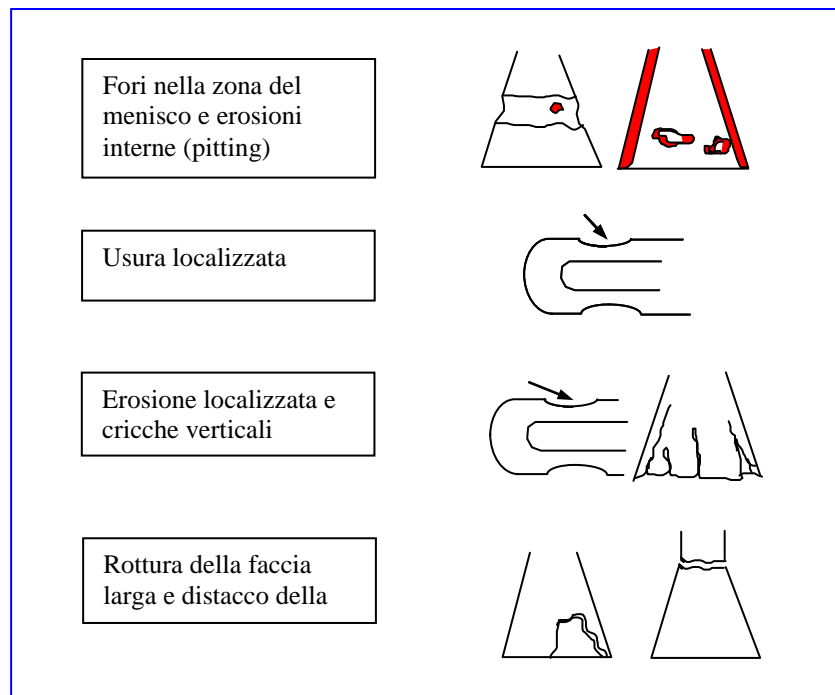
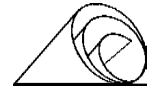


Fig. 7 – Tuffante stretto HÖNNINGEN - Principali problemi incontrati

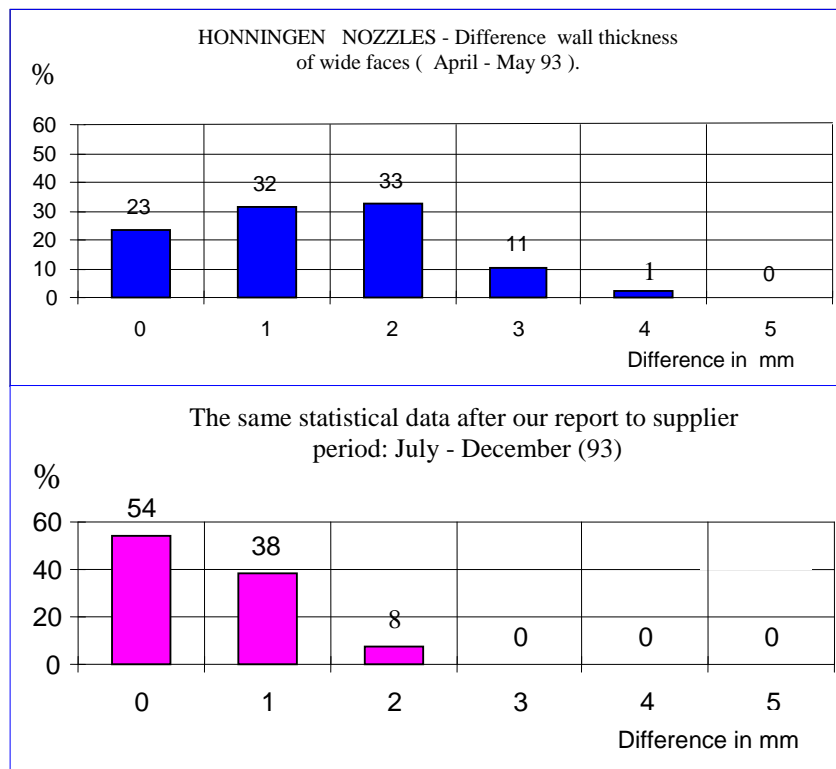


Fig. 8 – Tuffante stretto Hönninge - Differente spessore delle facce larghe

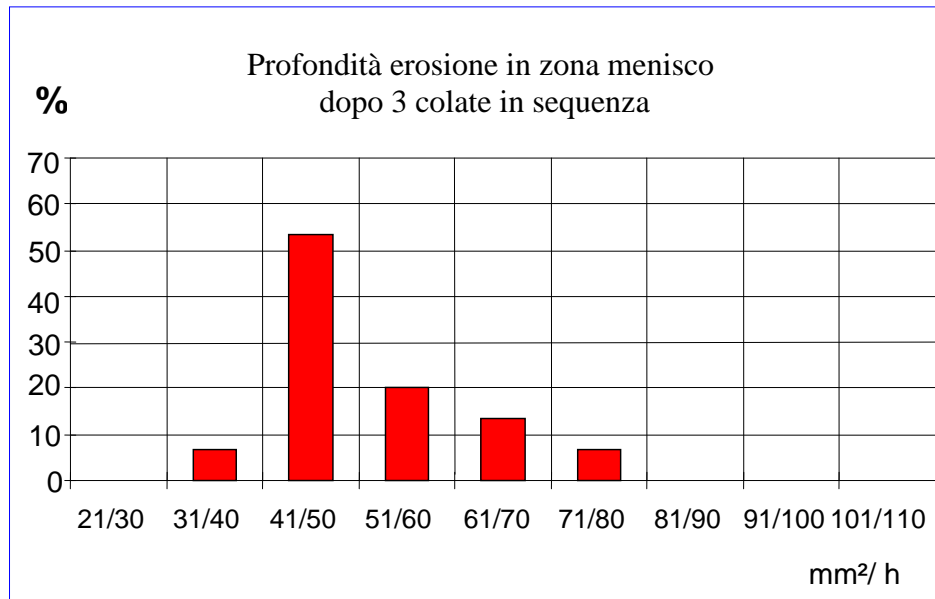
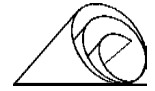


Fig. 9 – Tuffante stretto Hönningen

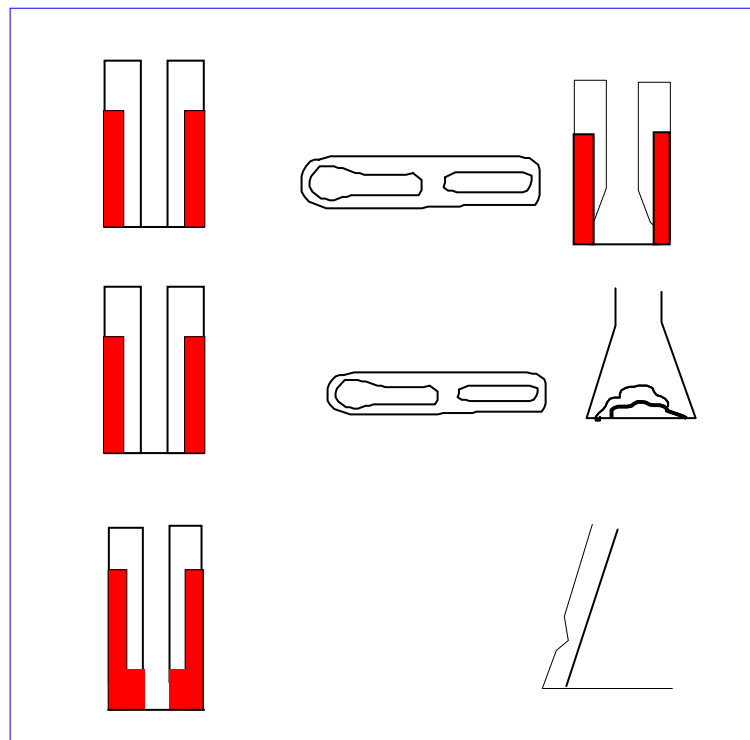


Fig. 10 – Tipico aspetto dell'usura e della rottura delle facce larghe dei tuffanti Vesuvius

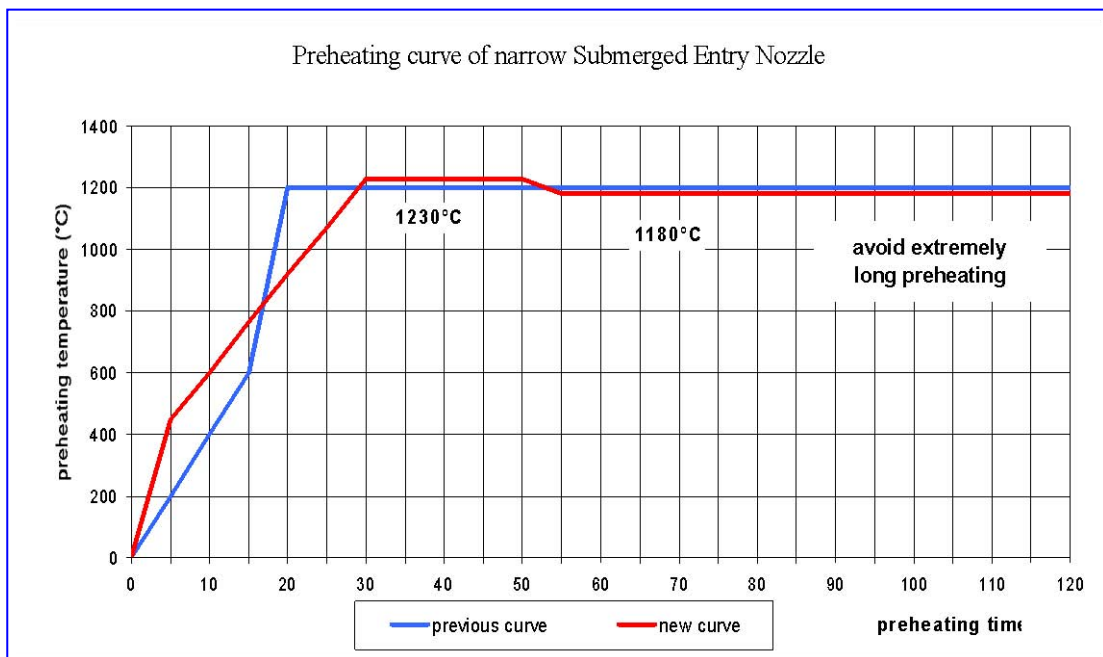
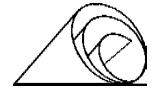


Fig. 11 – Curva di preriscaldamento de tuffante stretto

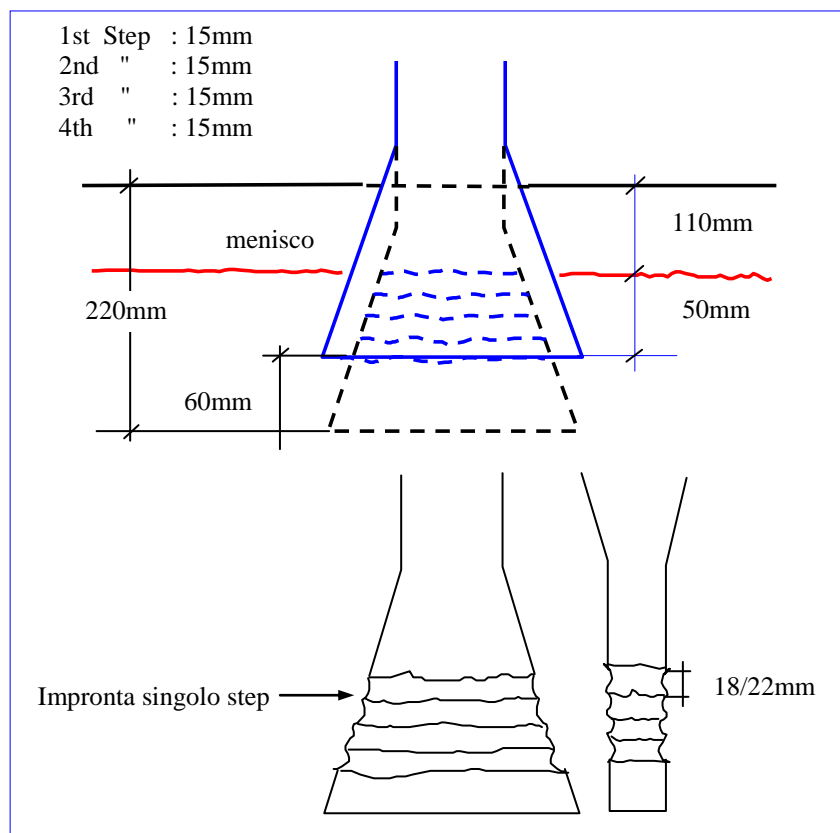


Fig. 12 – Sistema di immersione del tuffante a step multipli

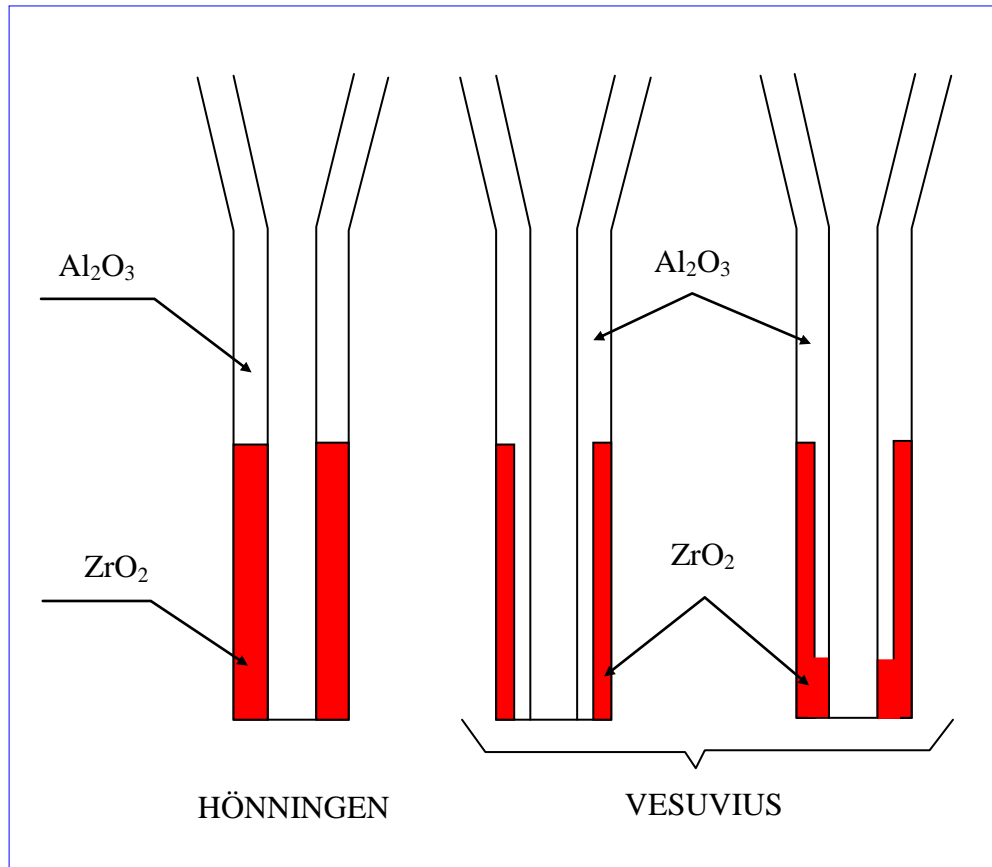
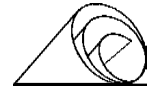
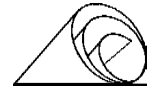


Fig. 13 – Composizione dei vari tipi di tuffante (Hönningen e Vesuvius)



TUFFANTE LARGO

Questo tuffante è stato introdotto gradualmente a metà del 1993 e la sua sperimentazione è durata fino alla metà del 1994.

Rispetto al modello "stretto" si differenzia per la maggior larghezza della spatola, 360 mm contro 280 mm e per la presenza di un deflettore interno molto più alto (150 mm contro 50 mm del precedente modello).

Entrambe queste modifiche sono state introdotte per stabilizzare il flusso dell'acciaio, sia all'interno del tuffante che nella lingottiera.

Aumentando infatti la portata del tuffante in uscita e dividendo il flusso in una zona più alta del tuffante, a parità di condizioni di colaggio, si potevano ottenere questi miglioramenti.

Cosa che si è verificata e mantenuta fino a quando non si è incrementata la velocità di colaggio da 4,3 a 4,5 m/min, oltre le quali sono emerse delle condizioni di instabilità del flusso che hanno evidenziato i limiti di questo modello.

In prevalenza è stato utilizzato il modello 73886 della Hönningen composto da una parte in ossido di alluminio (Al_2O_3 - parte superiore) e da una parte in ossido di zirconio (ZrO_2 - parte immersa).

Molto inferiore è stato il numero dei tuffanti Vesuvius sperimentati più che altro per la messa a punto dei materiali e della composizione della parte immersa, a uno o più strati.

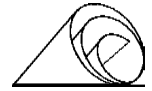
Tuffante Largo HÖNNINGEN

La sua introduzione ha permesso, a pari condizioni di colaggio, di eseguire sequenze di 4 colate con una certa ripetitività, cosa che non era stata possibile ottenere con i tuffanti stretti fino a quel momento sperimentati.

Ovviamente questa condizione ha portato un notevole aumento della produttività dell'impianto dovuta alla riduzione dei tempi morti tra una sequenza e l'altra, consentendo di aumentare le tonnellate/ora da 54 a 70 circa (vedere Fig. 14)

Durante la sperimentazione, pur sempre positiva per le condizioni di cui sopra, sono emerse tuttavia delle limitazioni, legate in parte alla maggiore velocità di colaggio e in prevalenza alla scarsa resistenza delle pareti nei confronti dell'azione erosiva del menisco, che hanno condizionato lo sviluppo di questo tuffante, prima fra tutte la durata.

Infatti, nonostante l'ottimizzazione di tutti i parametri e le soluzioni adottate per i tuffanti stretti, come ad esempio, il trattamento superficiale con vernici antiossidanti, limitazione del tempo di preriscaldamento, immersione a step multipli ecc..., non si è mai andati oltre le 4 colate in sequenza.



E in buona parte dei casi, almeno il 40%, benché si sia giunti al termine della sequenza, si è osservata la completa foratura delle pareti prima del termine della quarta colata.

La Fig. 15 mostra il tipico aspetto di questi tuffanti a fine sequenza.

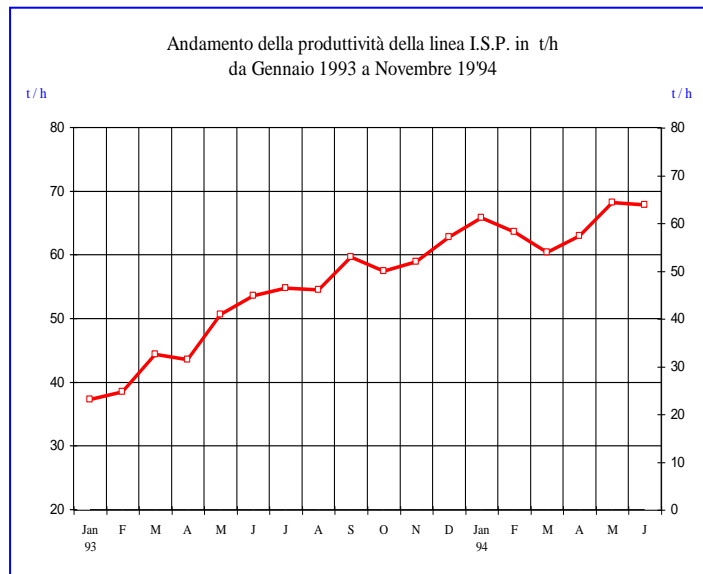


Fig. 14 – Andamento produttività della linea I.S.P. con l'introduzione del tuffante largo

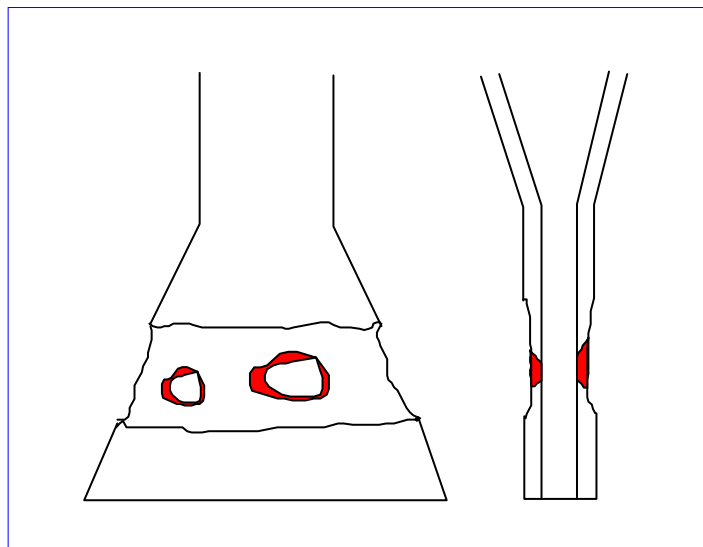
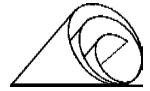


Fig. 15 – Tipico aspetto del tuffante largo al termine delle 4 colate in sequenza



Un'altra limitazione emersa durante l'utilizzo è stata la scarsa resistenza manifestata dalle pareti interne nel tratto di raccordo tra gambo e spatola, colando gli acciai medio carbonio con alto tenore di manganese ($Mn = 1.5\%$ circa - Fig.16).

In questi casi la foratura della parete, dall'interno verso l'esterno, si è verificata più volte durante la terza colata.

Sempre colando questi acciai, si sono verificati diversi casi di ancoraggio del tuffante alla bramma nella fase di partenza, con distacco dello stesso e interruzione della colata (vedere Fig. 17).

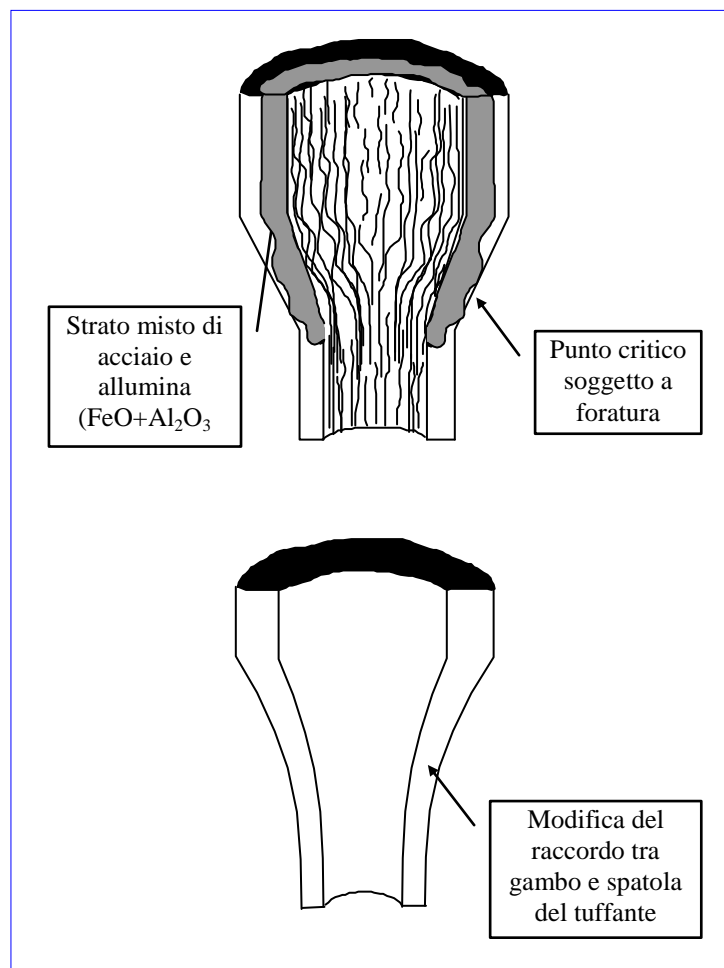


Fig. 16 – Fenomeno di usura interna nel tratto di raccordo tra il gambo e la spatola del tuffante, riscontrato durante il colaggio degli acciai medio carbonio con alto contenuto di manganese ($Mn = 1,5\%$).



Questo fenomeno è risultato essere legato in parte alla risalita incontrollata del livello (risalita troppo veloce), in parte al maggior spessore del tuffante e prevalentemente, alle nuove condizioni di raffreddamento delle facce larghe della lingottiera AR4 MB Iso 20, dotate di un'uscita dell'acqua sopra il livello del menisco e raffreddate da maggiori portate d'acqua - 5600 l/min. contro i 4700 l/min. dei periodi precedenti.

Il fenomeno è stato risolto limitando la risalita del livello nella fase di partenza, aumentando la temperatura dell'acciaio in siviera di 5° C, portando la temperatura di preriscaldamento del tuffante da 1230 a 1260°C e riducendo le portate delle facce larghe a 5000 litri/min per gli acciai medio carbonio e 5400 litri /min per quelli a basso carbonio (C <0.07%).

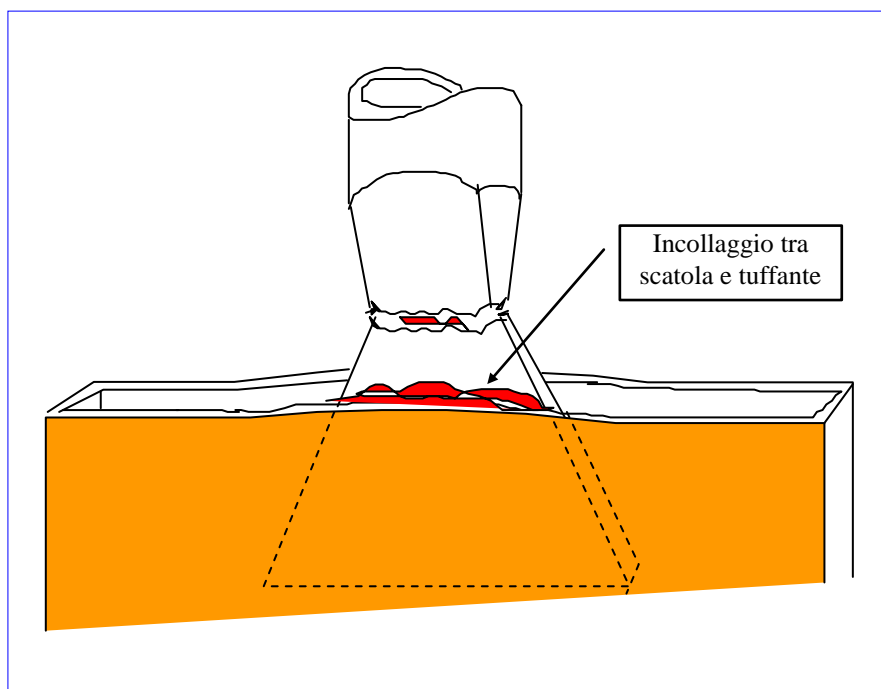
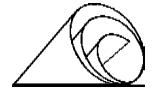


Fig. 17 – Particolare del fenomeno di ancoraggio tra scatola e tuffante riscontrato in diversi casi alla partenza

Un accenno merita anche il fenomeno del menisco irregolare con depressione nella zona centrale in prossimità del tuffante.

Questo fenomeno, apparso con l'aumentare della velocità di colaggio, resa possibile dall'introduzione della lingottiera AR9 dotata di una bombatura più ampia, ha evidenziato i limiti di questo tuffante.



Infatti, la maggior portata del flusso non compensata da una maggiore apertura, ha aumentato la velocità del getto e di conseguenza il risucchio del menisco in corrispondenza del tuffante stesso (Fig. 18), dando luogo a depressioni e cricche in quei punti.

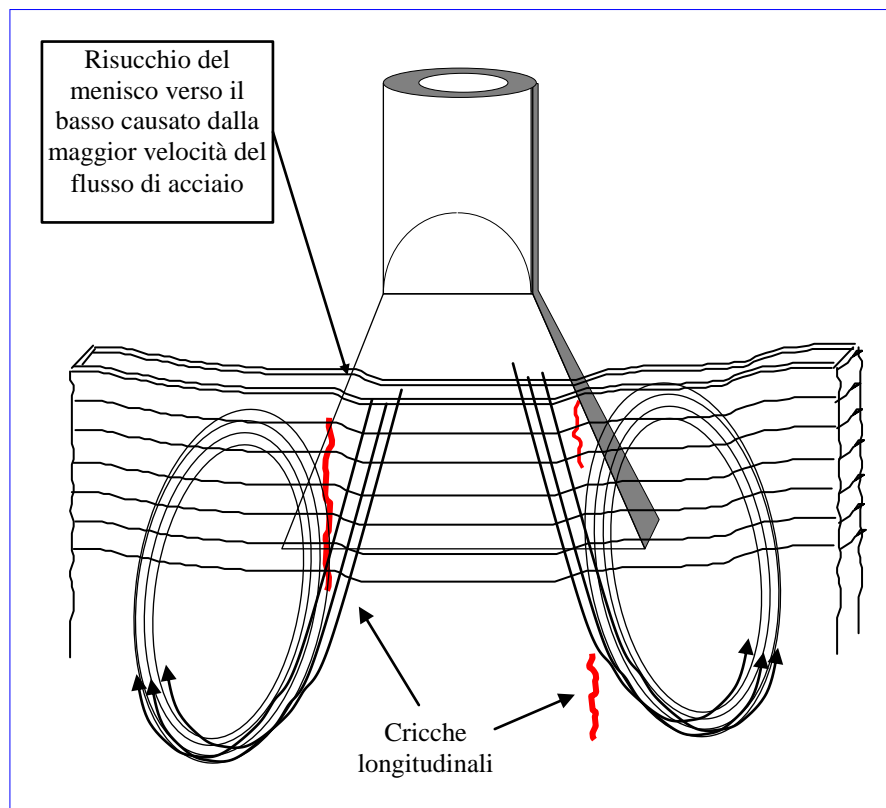


Fig. 18 – Rappresentazione grafica del processo di deformazione del menisco (livello dell'acciaio in lingottiera) causato dalla maggior velocità del flusso di acciaio in uscita dal tuffante

Queste condizioni hanno portato alla convinzione della necessità di un tuffante di maggiori dimensioni che fosse in grado di superare il limite delle 4 colate in sequenza e di garantire una maggior portata senza aumentare la velocità del getto in uscita.

Tuffante che si poteva realizzare a seguito dell'introduzione della nuova lingottiera AR9 che, essendo dotata di una luce tra le piastre larghe di 100 mm anziché di 80 come nel caso della lingottiera AR4, consentiva l'alloggiamento di un tuffante di maggiori dimensioni senza limitare il flusso dell'acciaio al menisco, tuffante che per le sue dimensioni decisamente maggiorate è stato denominato "Jumbo".



Tuffante Largo VESUVIUS

I pezzi utilizzati di questo modello sono stati una minima parte rispetto al modello Hönningen (10% circa), ma sono state sperimentate più varianti dal punto di vista dei materiali e del loro trattamento, specialmente per la zona inferiore destinata al contatto con il menisco (livello dell'acciaio in lingottiera).

Per prima cosa si è dovuto risolvere il problema legato al deflusso dell'acciaio, spesso soggetto a fluttuazioni da un lato all'altro del tuffante, che si ripercuoteva sulla stabilità del menisco, dando luogo a livelli molto asimmetrici con differenze di vari centimetri tra un lato e l'altro della lingottiera (vedere Fig. 19).

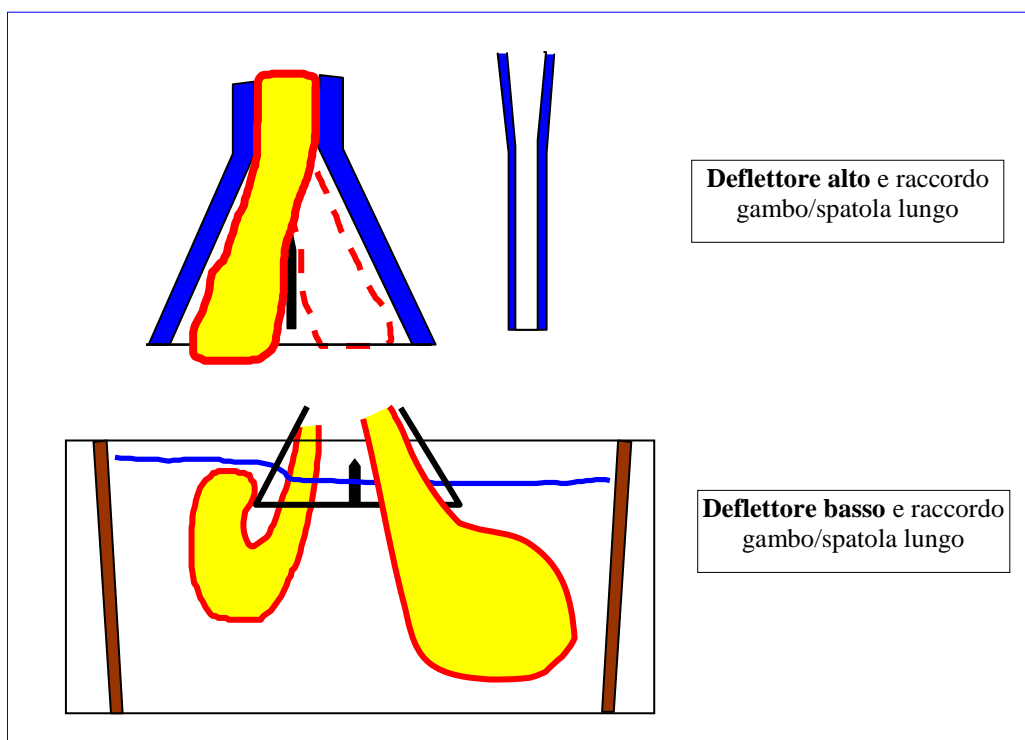


Fig. 19 – Distribuzione del flusso di acciaio all'interno del tuffante in funzione del deflettore interno

Fenomeno che è stato risolto, dopo varie modifiche al deflettore interno (più alto, più basso) e introducendo un raccordo tra gambo e spatola molto corto, in grado di rallentare la velocità del getto di acciaio in arrivo dalla paniera, cosa che non avveniva nei modelli precedenti essendo dotati di un raccordo molto allungato (vedere Fig. 20).

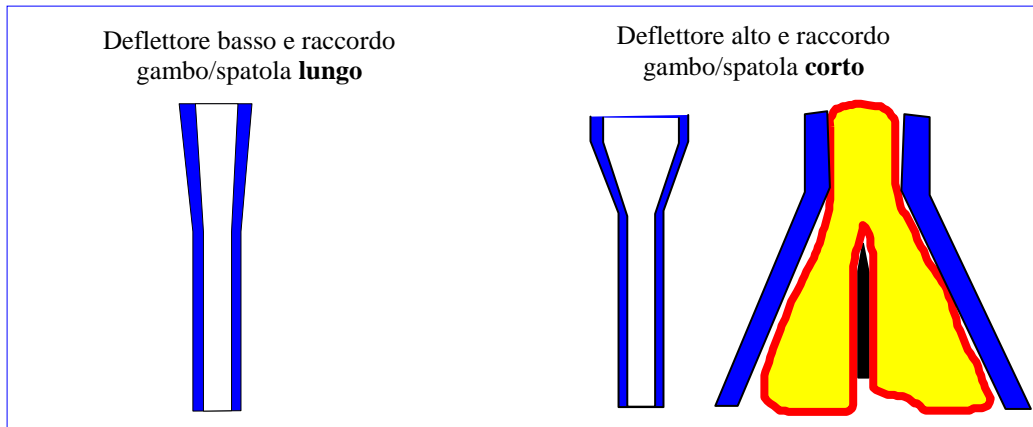
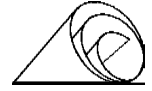


Fig. 20 – Distribuzione del flusso di acciaio all'interno del tuffante dopo le modifiche al deflettore interno e alla forma del raccordo tra gambo e spatola.

In un secondo tempo, si è affrontato il problema della durata dei tuffanti, non tanto per l'usura delle pareti che a parte qualche caso particolare nella fase iniziale in cui si è verificato il completo scioglimento della parte immersa, è sempre risultata inferiore rispetto allo stesso modello Hönningen, ma perché il tratto immerso era particolarmente sensibile alle cricche da shock termico. Fenomeno che in più occasioni ha causato il distacco di ampie zone delle facce larghe causando la fuoriuscita del getto al di sopra del menisco.

Un' altro aspetto negativo emerso durante le prove è stata l'usura della parte terminale interna, presente in particolare sui tuffanti a doppia parete come già osservato anche sul modello stretto. La Fig. 21 mostra entrambi questi aspetti negativi caratteristici del tuffante largo della Vesuvius. Pertanto, visti gli aspetti tutto sommato non eccellenti, si è preferito indirizzare la sperimentazione su un nuovo modello con pareti maggiorate e una feritoia di uscita più ampia (il modello Jumbo di cui sopra accennato) e utilizzare per la produzione i soli tuffanti Hönningen .

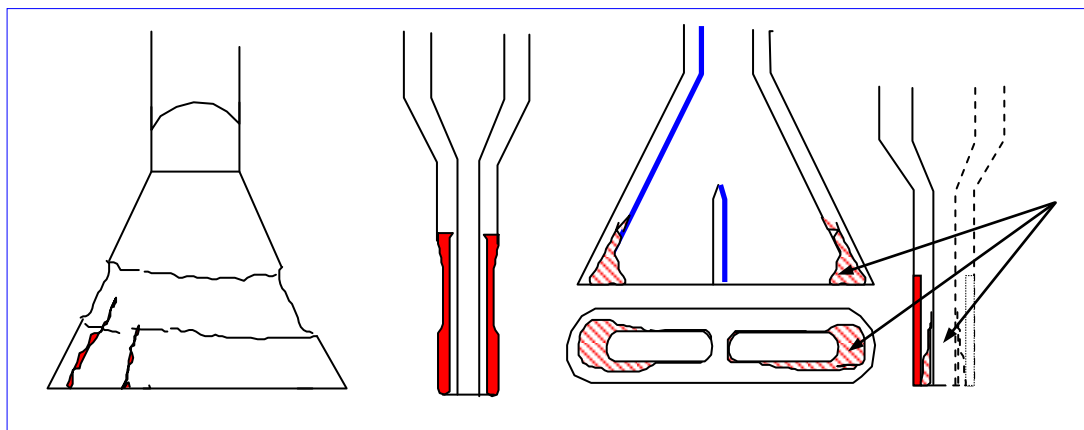
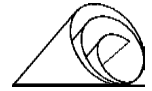


Fig. 21 – Rappresentazione dei difetti del tuffante Vesuvius sopra menzionati



Entrambi i tuffanti, visti nel loro insieme hanno dato buoni risultati e con la loro introduzione è stato possibile incrementare la produttività fino a superare gli obiettivi prefissati.

Naturalmente questo è stato possibile per merito della notevole sperimentazione a tutto campo fatta sui materiali e sulle le forme dei tuffanti, nonché del sistema di immersione a steps multipli passato da 4 a 8, che hanno consentito di ridurre l'azione erosiva dell'acciaio e di conseguenza prolungare la durata del tuffanti (vedere Fig. 22).

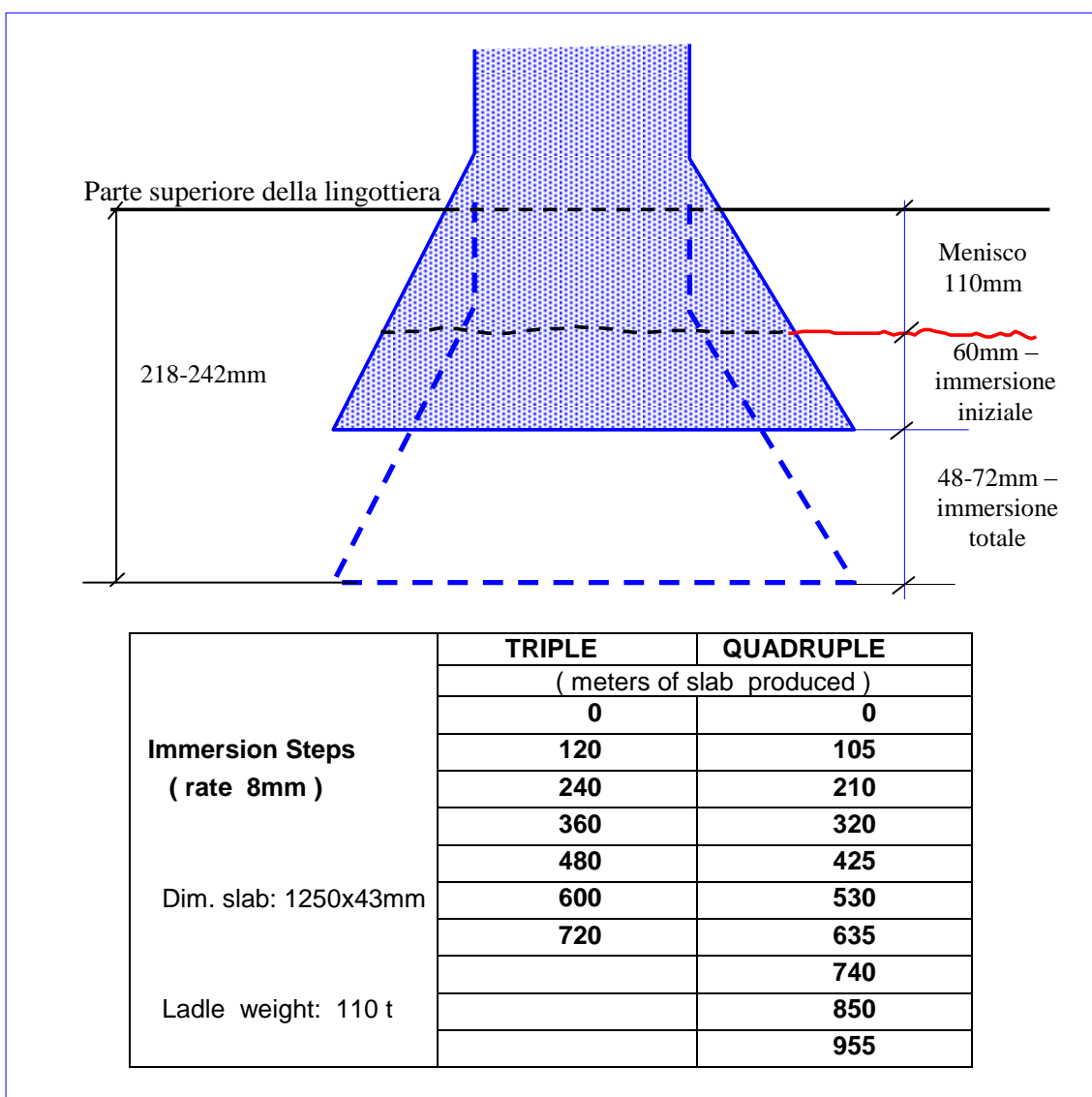
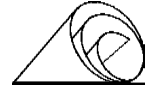


Fig. 22 – Sistema di immersione a steps multipli studiato appositamente per il tuffante largo



Problemi incontrati

HÖNNINGEN

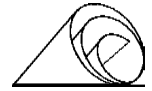
- marcata usura della parte a contatto con il menisco (Fig. 15);
- usura interna nel tratto di raccordo tra gambo e spatola colando acciai medio carbonio con alto tenore di manganese (Fig. 16);
- distacco della spatola del tuffante per ancoraggio con la bramma nella fase di partenza (Fig.17);
- depressione del menisco in prossimità del tuffante adottando velocità di colaggio più elevate (Fig. 18).

VESUVIUS

- fluttuazioni del flusso di acciaio e irregolarità del menisco (Fig. 19);
- sensibilità alle cricche da shock termico (Fig. 20);
- usura della parete interna nella parte immersa (Fig. 21).

Soluzioni adottate

- Introduzione di un tuffante di maggiori dimensioni, composto con nuovi materiali in grado di ridurre l'usura interna ed esterna e quindi di prolungarne la durata e, dotato del nuovo deflettore interno per stabilizzare il deflusso dell'acciaio (tuffante Jumbo).



TUFFANTE JUMBO

Questo modello, prodotto dalla sola Vesuvius, è stato adottato con il preciso scopo di aumentare il numero delle colate in sequenza (ferme a 4 utilizzando i modelli precedenti), di poter colare a velocità superiori ai 4,3 m/min. e di rendere più stabili il menisco e le condizioni di colaggio in generale. Obiettivi che sono stati raggiunti fin dalle prime fasi della sperimentazione con sequenze di 5 e in alcuni casi di 6 colate con velocità fino a 5 m/min. e buona stabilità del menisco.

La caratteristica principale di questo tuffante è quella di avere uno spessore totale maggiore dei precedenti, 60 mm contro 43. Questo ha consentito di aumentare lo spessore delle facce larghe da 15 a 21 mm e di allargare la sezione di uscita da 13,5 a 18 mm, condizioni che hanno permesso di conseguire gli obiettivi sopra menzionati.

Và evidenziato che l'utilizzo di questo tuffante è stato possibile a seguito dell'introduzione di una nuova lingottiera denominata AR9, che essendo dotata di una bombatura più ampia (distanza tra le facce larghe – 100 mm contro i precedenti 80) era in grado di accogliere questi tuffanti maggiorati. Dopo una serie di prove con varie tipologie, differenti fra di loro, per la forma e la composizione dei materiali della parte terminale, è stato scelto il modello XD05517 con il corpo in allumina graffittata e un inserto di ossido di zirconio (ZrO_2) nella parte terminale (vedere tab. Fig. 23). La durata del tuffante è sempre stata più che soddisfacente e anche nel caso delle sestuple, lo spessore residuo delle facce larghe non è mai sceso sotto i 10mm.

Con altri tuffanti invece, benché della stessa forma ma con inserti diversi, i risultati non sono stati così buoni. La Fig. 24 mostra alcuni dei principali problemi emersi durante la sperimentazione

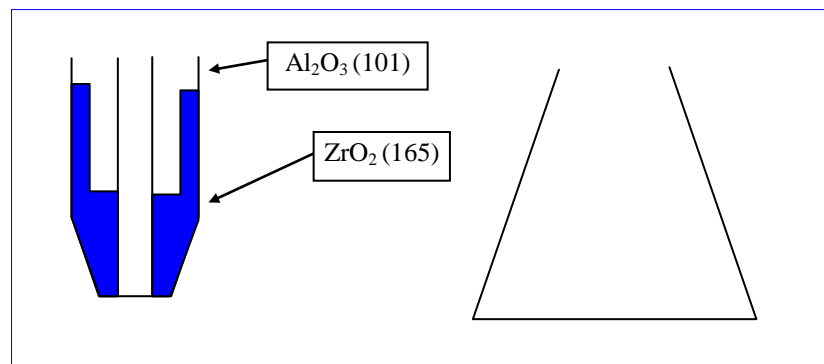


Fig. 23 – Particolare della parte terminale del tuffante Jumbo della Vesuvius XD0 5517

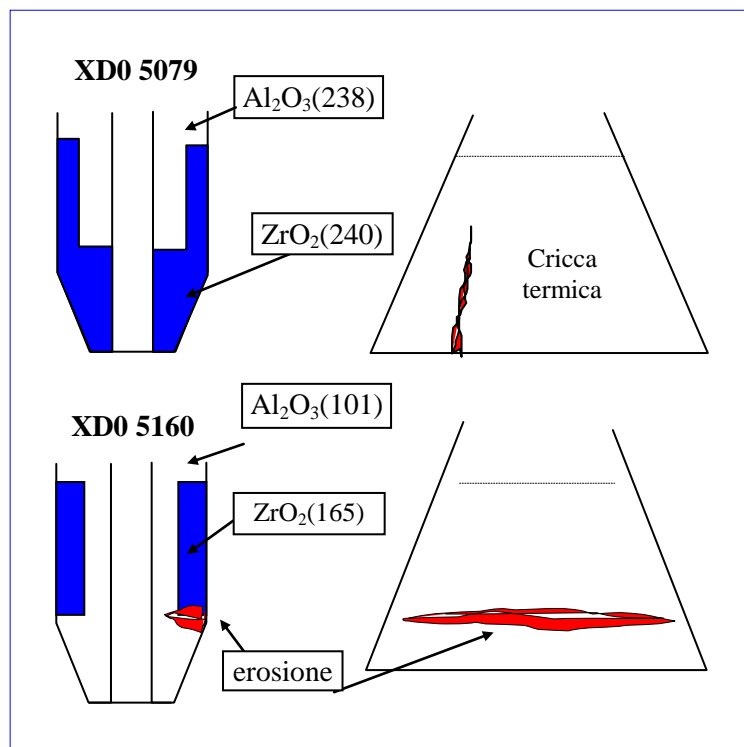


Fig. 24 – Principali problemi incontrati durante la sperimentazione del tuffante Jumbo della Vesuvius.

Anche per questo tuffante, come nei casi precedenti, è stata messa a punto una nuova curva di riscaldamento e un nuovo sistema di immersione caratterizzato da una maggiore escursione (vedere le Figg. 25 e 26). L'accoppiamento tuffante lingottiera si può considerare molto buono, specialmente per le buone condizioni di stabilità del menisco e per la buona uniformità degli scambi termici. Infatti, nonostante la velocità di colaggio più elevata, sono sparite le depressioni del menisco in corrispondenza del tuffante (vedere Fig. 27).

Da segnalare invece, come aspetto negativo, l'ancoraggio del tuffante alle pareti della bramma alla partenza o durante il colaggio, che in alcune occasioni ha causato la rottura del tuffante e l'arresto della colata (Fig. 28).

In prevalenza questo fenomeno si è manifestato con gli acciai a medio tenore di carbonio, probabilmente favorito dalla temperatura di colaggio leggermente più bassa e dal minor spazio tra tuffante e pareti della bramma.

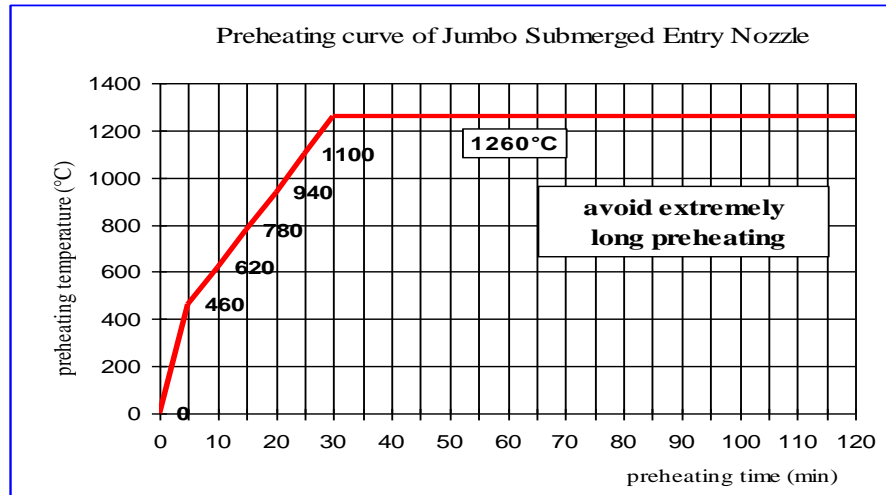


Fig. 25 – Curva preriscaldamento tuffante Jumbo.

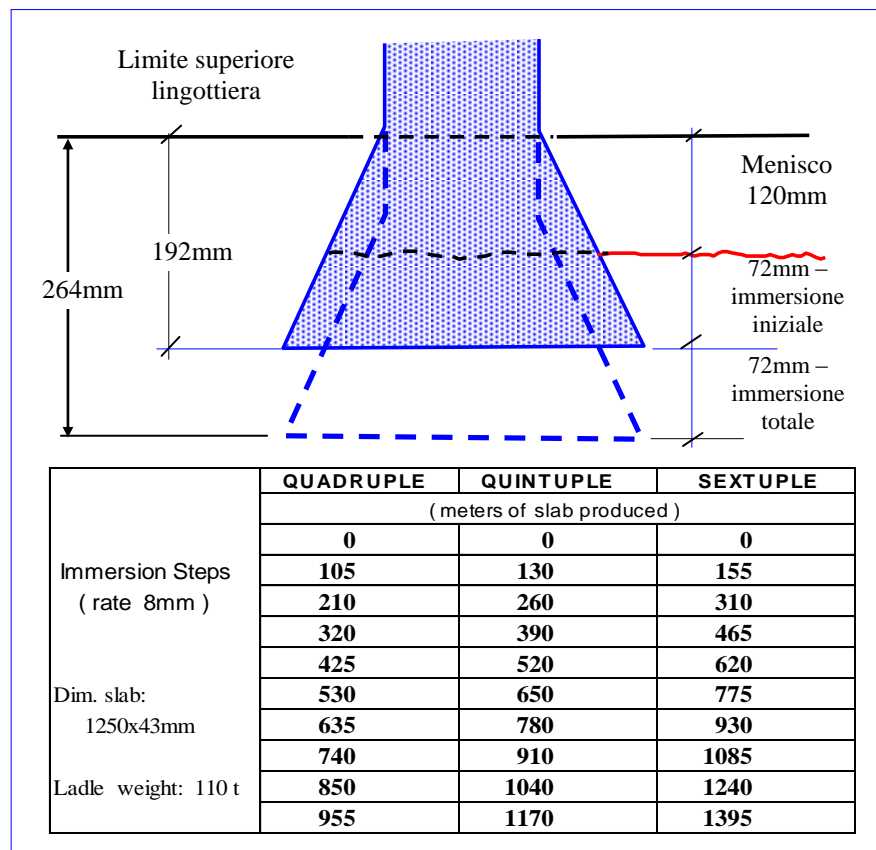


Fig. 26 – Sistema di immersione a steps multipli utilizzato per il tuffante Jumbo

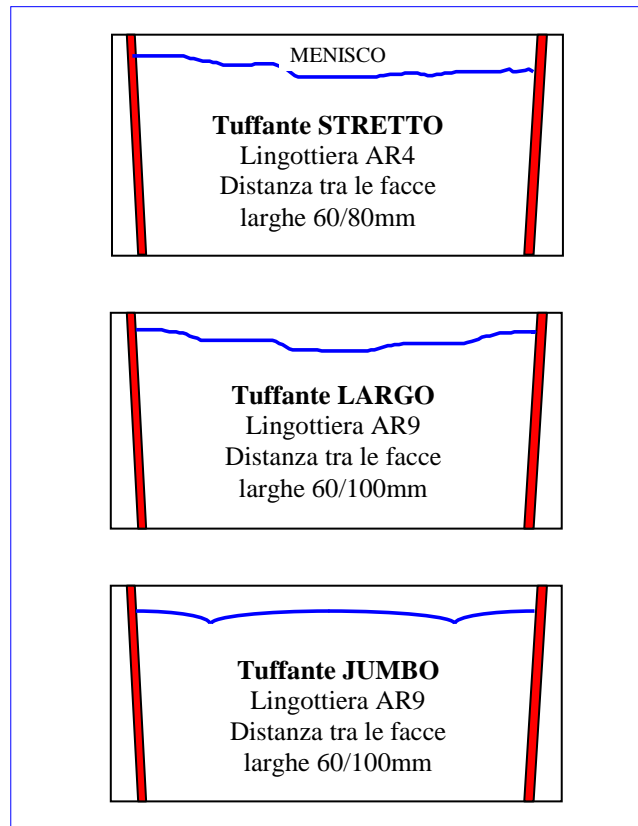
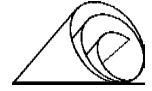


Fig. 27 – Forma del menisco in funzione della lingottiera e del tuffante usati

Vista l'impossibilità di modificare più di tanto la temperatura di colaggio di questi acciai (+5°C), per evitare conseguenze dal punto di vista metallurgico, si è pensato di mettere a punto un tuffante specifico del tipo Largo, da 43mm di spessore totale, in modo da aumentare lo spazio tra il tuffante e la pelle della bramma in lingottiera. L'impiego di questi tuffanti è stato possibile a seguito della minore velocità di colaggio richiesta per questi acciai, una velocità media di 4,1 m/min contro i 4,8 m/min del basso carbonio, ciò ha consentito di ottenere un menisco molto stabile senza le alterazioni osservate in passato con gli stessi tuffanti colando a velocità superiori.

Questo tuffante della Vesuvius, denominato XDO7638 nella sua ultima versione, con inserti in ZrO₂, ha dimostrato una buona resistenza all'usura consentendo di eseguire sequenze di 5 colate senza grossi problemi, anche con gli acciaia medio carbonio che generalmente sono causa una maggiore usura delle pareti del tuffante. Nella Fig. 29 sono riportate le principali caratteristiche di questo tuffante

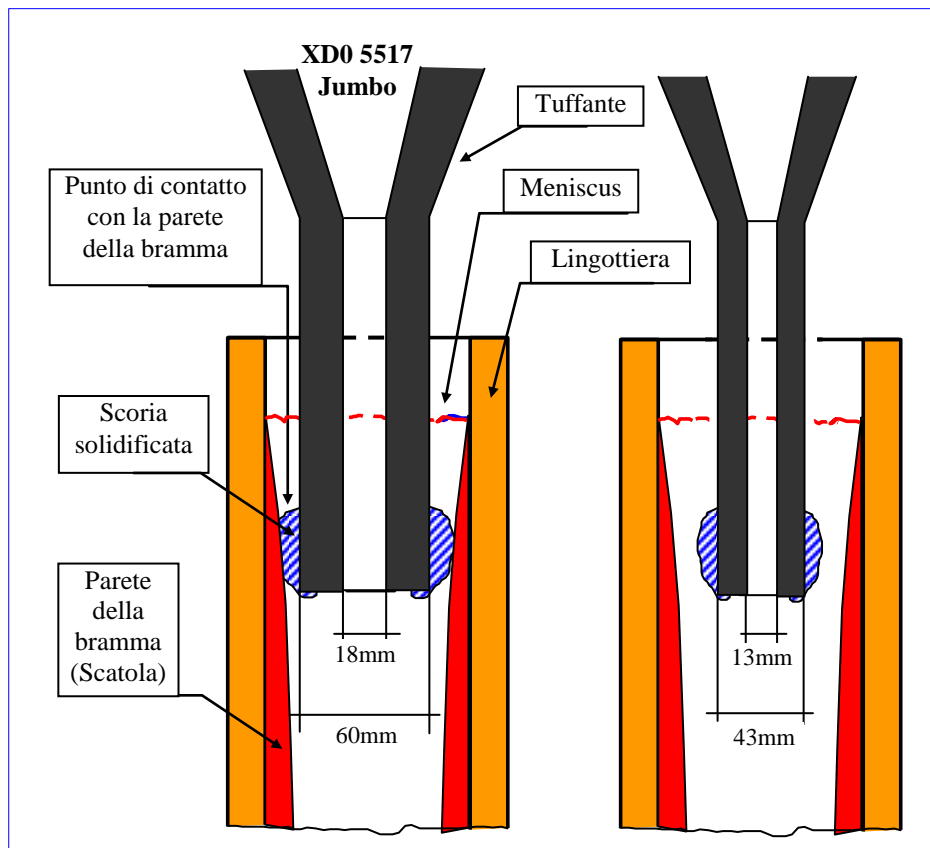
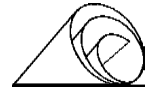


Fig. 28 – Rappresentazione grafica del fenomeno dell'incollaggio tra tuffante Jumbo e bramma durante il colaggio degli acciai medio carbonio e della nuova condizione utilizzando il tuffante largo XD 7638

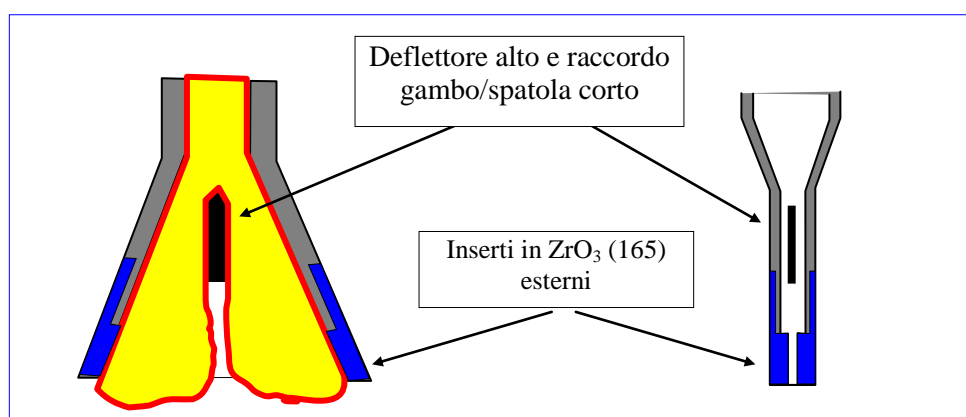
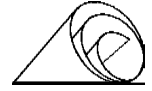


Fig. 29 – Rappresentazione schematica del tuffante "Largo XDO7638" utilizzato per il colaggio degli acciai medio carbonio.



Il salto di qualità ottenuto con il tuffante JUMBO, abbinato alla nuova lingottiera AR9, è rappresentato dalla buona qualità dei prodotti finiti e dalla produttività raggiunta dall'impianto, passata da circa 65 t/h a 81 t/h con produzione del prodotto finito del 110% sui dati di progetto (Fig. 30).

Tali risultati sono stati conseguiti per merito delle nuove dimensioni del tuffante e del nuovo sistema di immersione che hanno ridotto notevolmente l'usura delle pareti larghe (Fig. 26).

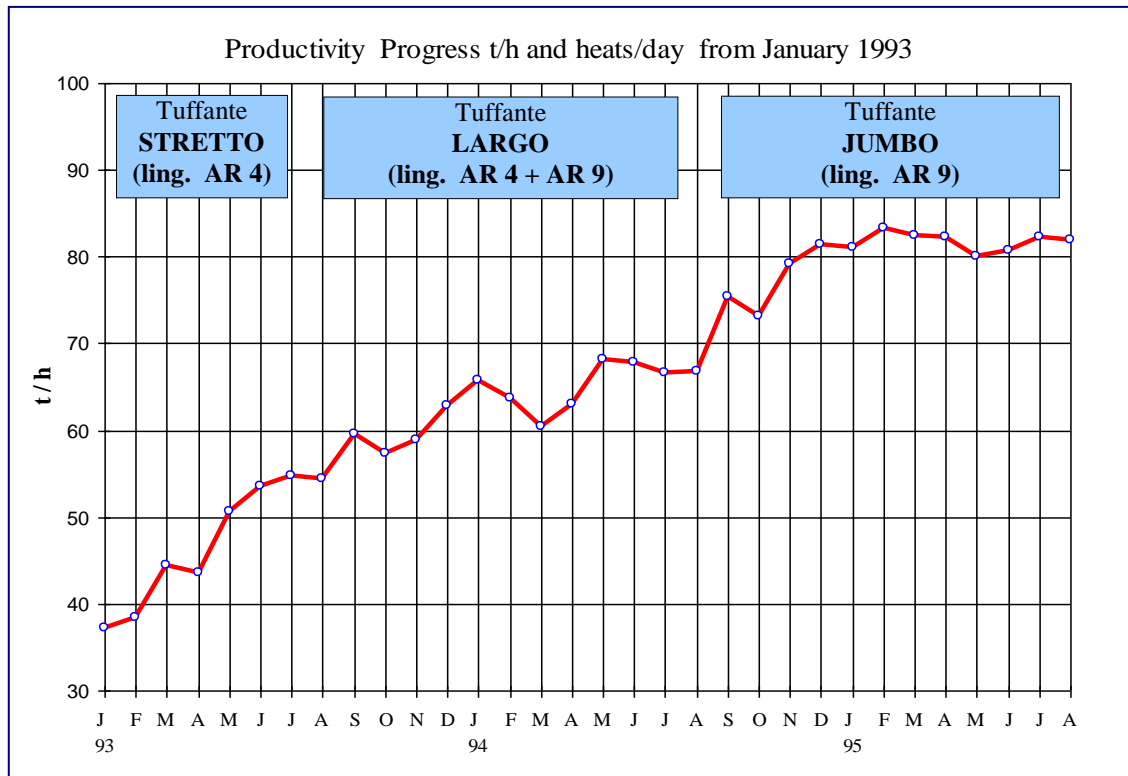
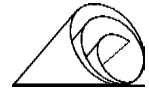


Fig. 30 – Andamento delle tonnellate/ora riferite al tipo di lingottiera e tuffante utilizzati

Problemi incontrati - ancoraggio del tuffante alle pareti della bramma con gli acciai a medio tenore di carbonio (Fig. 28).

Soluzioni adottate - Utilizzato un tuffante "tipo Largo" da 43 mm di spessore, modello XD05368 della Vesuvius (Fig. 29).



TUFFANTE SLIM e SLIM B/2

Contemporaneamente alla sperimentazione dei nuovi tuffanti dotati di deflettore spostato verso l'alto, XD0 7638 wide e XD06986 jumbo e delle nuove lingottiere della serie AR12-13 e 14, è stato sperimentato un tuffante lungo e stretto denominato SLIM.

Caratteristica principale di questo tuffante era la spatola molto lunga senza deflettore interno e una ridotta conicità delle facce strette.

Questa configurazione, era stata studiata per conferire stabilità al flusso di acciaio che, passando attraverso un condotto lungo e stretto ne favoriva il completo riempimento e un maggior contatto con le pareti, riducendo così la possibilità che il flusso seguisse vie preferenziali o spostamenti laterali, come si era osservato in passato con altri modelli.

Le misure d'ingombro erano di 60 x 314 mm, mentre lo spessore delle pareti e la feritoia di uscita erano rispettivamente di 21 mm e 18 mm (vedere Fig. 31).

I primi test sono stati fatti a inizio Luglio 95 con un tuffante denominato SLIM XD07091 e sono proseguiti fino alla fine del '95.

I risultati conseguiti non furono del tutto soddisfacenti, infatti, se da un lato si aveva una certa stabilità del flusso di acciaio all'interno del tuffante, osservabile dalla simmetria delle tracce lasciate all'interno del tuffante stesso (Fig. 32), a questo non corrispondeva un'altrettanta stabilità del livello in lingottiera, generalmente caratterizzato da alte e asimmetriche onde laterali (30 mm e più), con dislivelli tra una e l'altra di 15 mm (Fig. 33).

La situazione tendeva a migliorare con la profondità d'immersione del tuffante, senza però ridurre il fenomeno in misura significativa e peggiorava ulteriormente aumentando la velocità di colaggio.

Naturalmente questa instabilità del livello aveva ripercussioni sul comportamento delle polveri di colaggio che si traduceva poi in disomogeneità termica della bramma, spesso caratterizzata da un'ampia fascia calda centrale e una più piccola nella zona intermedia dei due lati (DS oppure OS - vedere Fig. 35) e con problemi di qualità superficiale dei prodotti finiti.

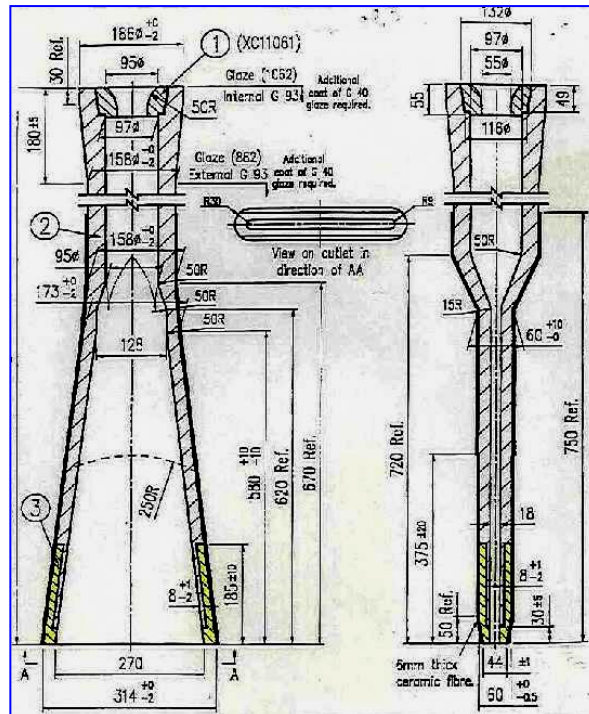


Fig. 31 – Disegno del tuffante SLIM della Vesuvius

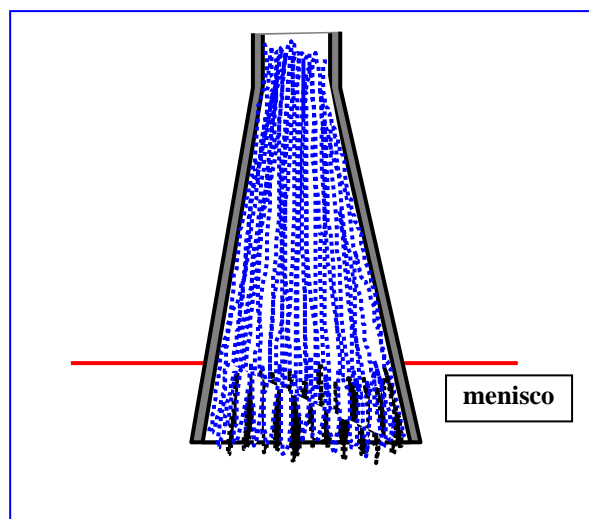


Fig. 32 – Tracce del flusso di acciaio osservabili all'interno del tuffante SLIM conseguenti al deposito di allumina sulle pareti del tuffante stesso.

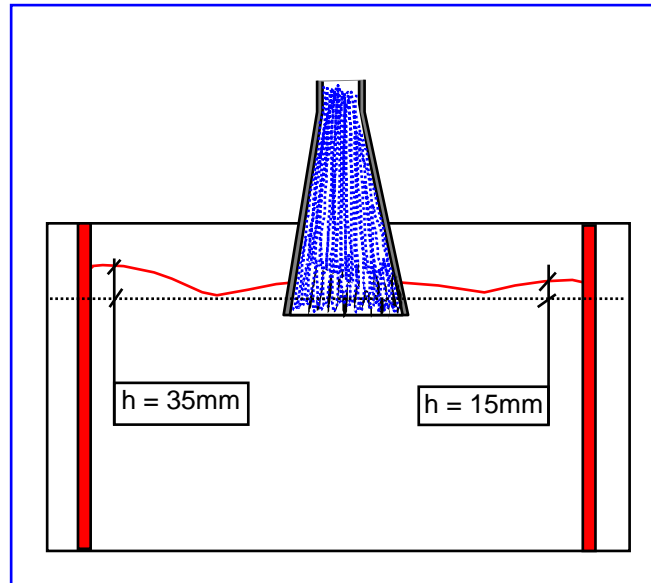
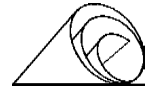


Fig. 33 – Aspetto delle onde laterali del menisco utilizzando il tuffante SLIM.

Le misure delle onde laterali del menisco, rilevate mediante l'immersione di un lamierino durante la fase di colaggio (Fig. 34), hanno evidenziato l'impossibilità di migliorare più di tanto la stabilità del menisco, essendo questi influenzato dal deposito di allumina (Al_2O_3) che si formava all'interno del tuffante durante il colaggio, che di fatto, alterava la regolarità del flusso di acciaio e la velocità del getto.

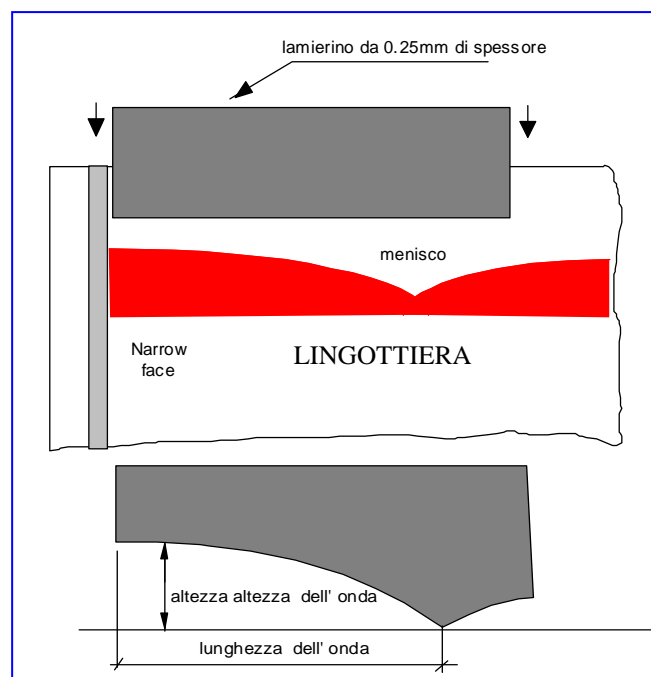


Fig.34 – Metodo per misurare le onde laterali del menisco.



Questo fenomeno, alquanto singolare, mai osservato in precedenza in modo così evidente con altri modelli, era dovuto probabilmente all'effetto concomitante di due cause, una di tipo meccanico l'altra di tipo termo-chimico, entrambi connessi con la forma della spatola.

La prima, dovuta alla forma particolare della spatola che, essendo più lunga rispetto a quella dei modelli precedenti (580 mm contro 260), aumentava il tempo di contatto tra l'acciaio liquido e le pareti della spatola favorendo così il deposito di allumina lungo le pareti.

La seconda, legata alla massa della spatola che essendo molto piccola tendeva a raffreddarsi, in particolare durante l'attesa di inizio colata, fino a raggiungere temperature tali da favorire la separazione di allumina dal flusso di acciaio colata, che depositandosi sulle pareti interne del tuffante dopo un certo periodo di tempo alterava il deflusso dell'acciaio.

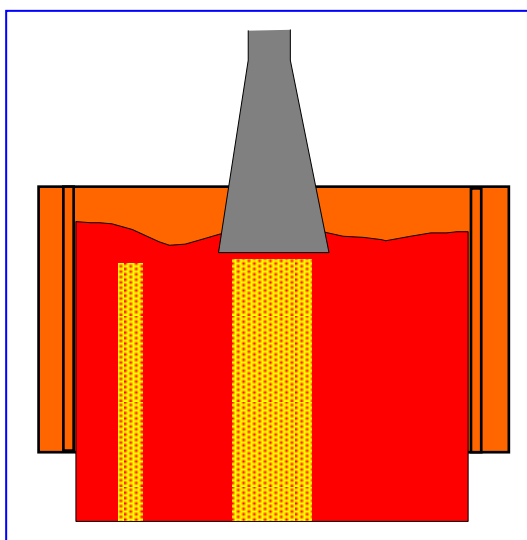


Fig. 35 – Configurazione termica della bramma utilizzando il tuffante SLIM.

A seguito dei risultati non sempre soddisfacenti e all'impossibilità di governare la fase di colaggio per i problemi sopra esposti, a fine 95 è stata sospesa la sperimentazione dei tuffanti SLIM della Vesuvius.

Un tuffante simile proposto dalla TYK giapponese (Fig. 36), con spatola meno inclinata ma più corta, provato a inizio Dicembre 95, ha evidenziato più o meno gli stessi problemi, anche se dal punto di vista del bilanciamento termico della bramma i risultati erano migliori.

Tuttavia la limitata possibilità di incrementare la velocità di colaggio a seguito delle turbolenze che si verificavano nelle zone laterali e la durata limitata delle sequenze (2-3 colate per sequenza), ne hanno condizionato lo sviluppo limitando la sperimentazione a due soli test.

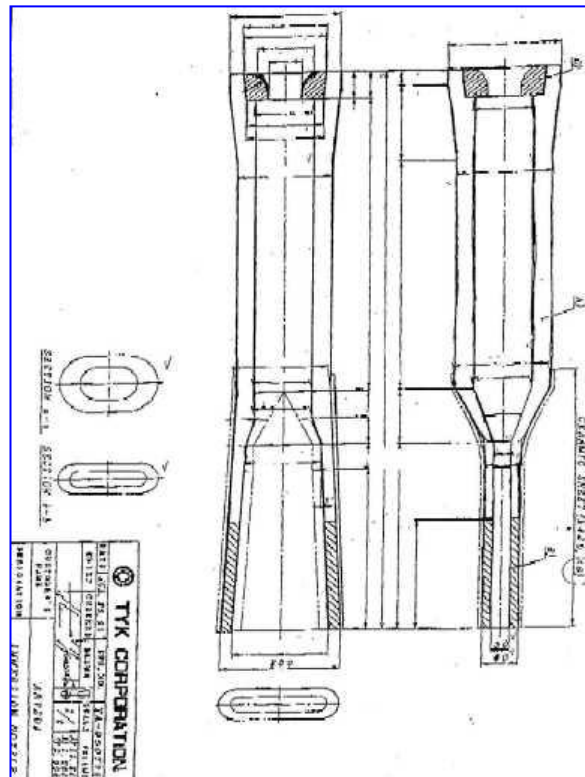
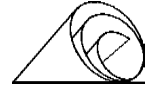
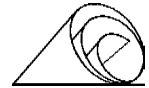


Fig. 36 – Tuffante SLIM della giapponese TYK

I vari test con il tuffante tipo SLIM hanno evidenziato, oltre ai problemi sopra accennati, l'impossibilità di effettuare sequenze oltre le 6 colate, un limite troppo penalizzante per la linea I.S.P. in grado di soddisfare obiettivi ben superiori.

Si è pensato quindi di studiare un nuovo modello in grado di consentire un incremento significativo della produttività dell'impianto cui si auspicava da tempo e di garantire una stabilità del livello di acciaio in lingottiera sia alle basse che alle alte velocità di colaggio.

Questo obiettivo è stato raggiunto con un tuffante progettato dai tecnici I.S.P., denominato SLIM B/2 (Fig. 37), il quale, pur tenendo conto degli aspetti positivi dei precedenti modelli, vale a dire; la dimensione e la spatola corta del modello "jumbo" e la ridotta inclinazione delle facce strette dei modelli "SLIM", nonché della posizione del deflettore interno, presentava aspetti innovativi riguardanti le funzioni delle varie parti che lo componevano.



Infatti, la forma particolare della spatola e del deflettore interno sono stati studiati in modo tale che la parte alta della spatola funzioni da **“camera di distribuzione”**, entro la quale il getto dovendo passare in una sezione più piccola è accelerato e nello stesso tempo la riempie completamente evitando fluttuazioni del getto al suo interno, mentre la parte bassa funziona da **“diffusore”**, che avendo una sezione più ampia rallenta il flusso di acciaio e di conseguenza le turbolenze in lingottiera.

Condizione ottimale per ottenere un getto stabile all'interno del tuffante e un regolare deflusso dello stesso verso l'esterno (vedere Fig. 38).

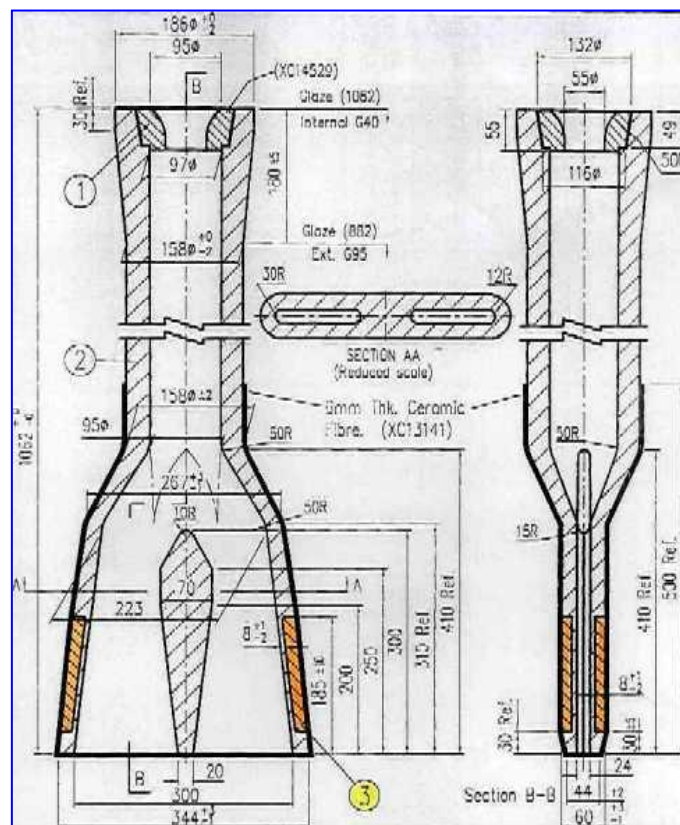
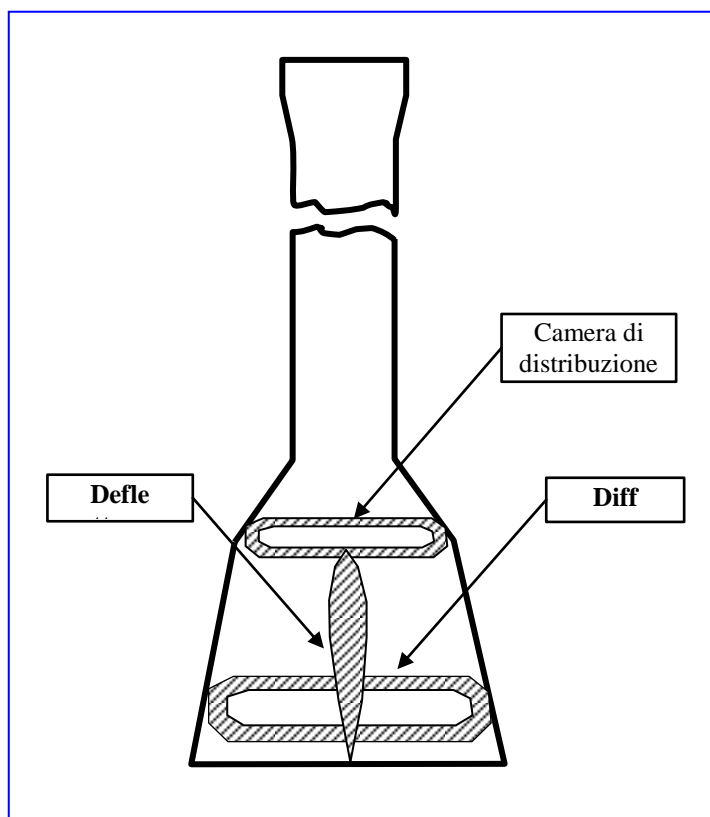


Fig. 37 – Tuffante SLIM B/2 progettato dai tecnici I.S.P.



*Fig. 38 – Rappresentazione grafica del tuffante SLIM B/2
Progettato dai tecnici I.S.P.*

I primi test con questo tuffante abbinato alla lingottiera AR14, sono stati effettuati a fine gennaio 1996, evidenziando un comportamento nettamente migliore rispetto alle situazioni precedenti.

In particolare la condizione delle onde laterali, simmetriche e dimezzate in altezza anche a velocità elevate, 5÷10 mm contro 30-35 (vedere Fig.39), con riflessi positivi sul bilanciamento termico della bramma, sulla qualità superficiale dei coils e sull'usura delle pareti esterne del tuffante a contatto con il menisco.

Dopo un certo periodo di messa a punto dei parametri di colaggio e, la sperimentazione di nuove polveri poco erosive nei confronti del tuffante (es. Dam SLM6), si è dato corso ad un programma per incrementare il numero delle colate in sequenza.

Inizialmente con 7-8 colate e più avanti con 10-11 e infine 12, il tutto con buoni margini di sicurezza.

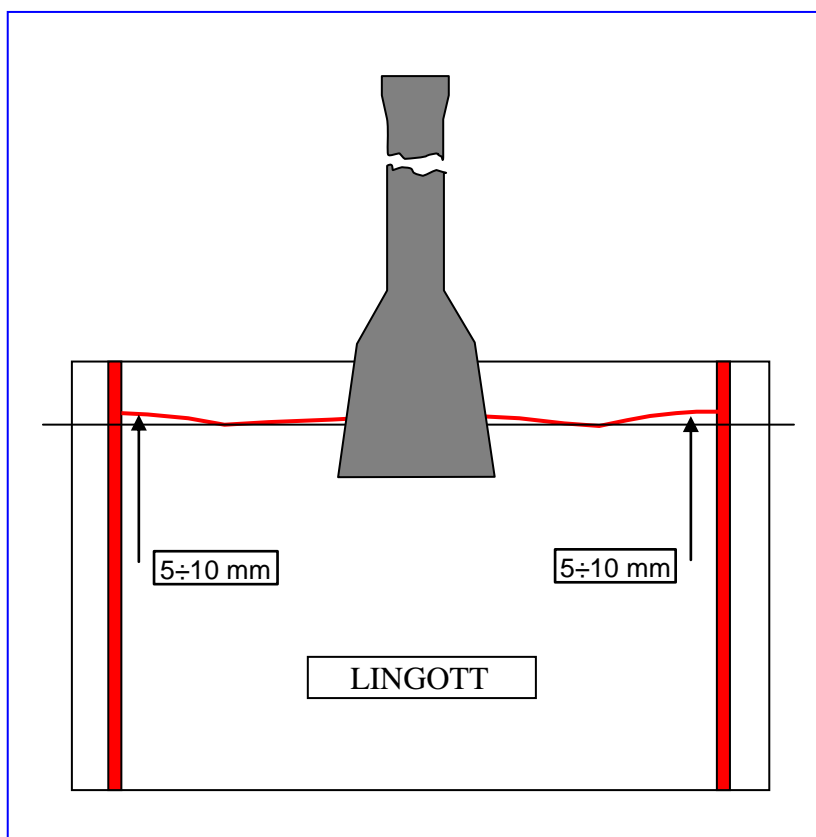


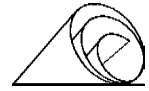
Fig. 39 – Aspetto del livello in lingottiera utilizzando il tuffante SLIM B/2.

Il notevole incremento del tempo di colaggio passato da circa 6 ore a oltre le 10 ore, ha evidenziato una certa limitazione dell'inserto del tuffante (parte alta – superficie che regola il flusso), non sempre in grado di sostenere l'azione erosiva del flusso di acciaio per tempi così lunghi.

Pertanto, dopo alcuni test, è stato introdotto un nuovo inserto uguale per forma e dimensione ai precedenti, ma diverso come materiale e trattamento superficiale antiossidante.

Con quest'inserto l'usura è risultata meno evidente, ma soprattutto uniforme su tutta la sezione.

Dopo aver consolidato il colaggio in sequenza delle 12 colate per un lungo periodo, con l'introduzione della lingottiera AR18 (1999) e una leggera modifica allo spessore delle pareti del tuffante Slim B/2 passate da 18 mm a 20,5, a fine marzo 2000 è stata fatta una prima sequenza di 16 colate pari a oltre 14 ore di colaggio ininterrotto, senza arrivare al limite dell'usura. Aspetto questo che lascia intravedere la possibilità di incrementare ulteriormente il numero delle colate in sequenza attorno alle 18-20 colate.



A seguito dei buoni risultati conseguiti, il tuffante SLIM B/2 è stato brevettato e con opportuni accordi con il produttore Vesuvius dal 1999 è iniziata la commercializzazione a livello internazionale.

Nella Fig. 40 è riportato un grafico che sintetizza il numero delle colate per sequenze in funzione dei tuffanti utilizzati, mentre la Fig. 41 mostra l'andamento delle colate in sequenza su base semestrale.

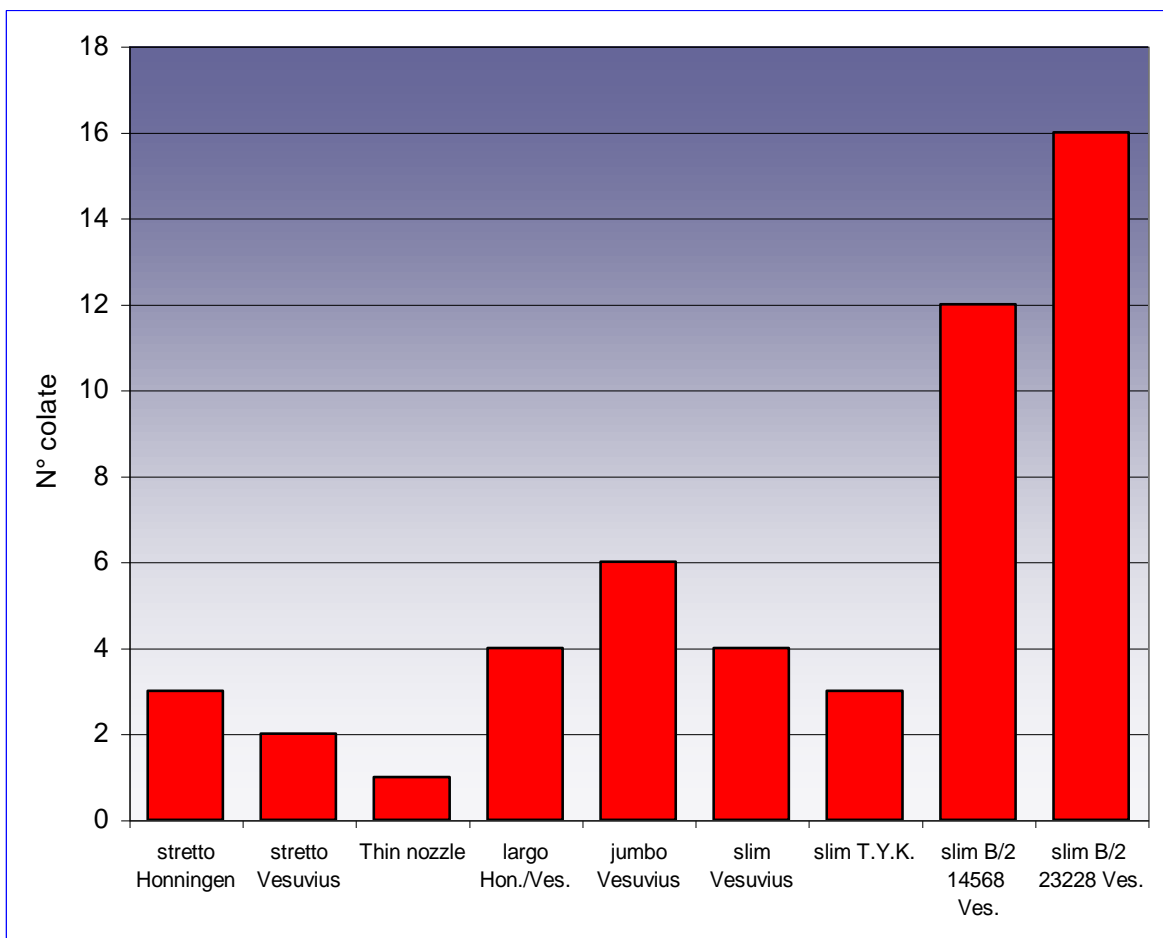


Fig. 40 - Distribuzione del numero delle colate in sequenza in funzione del tipo di tuffante utilizzato

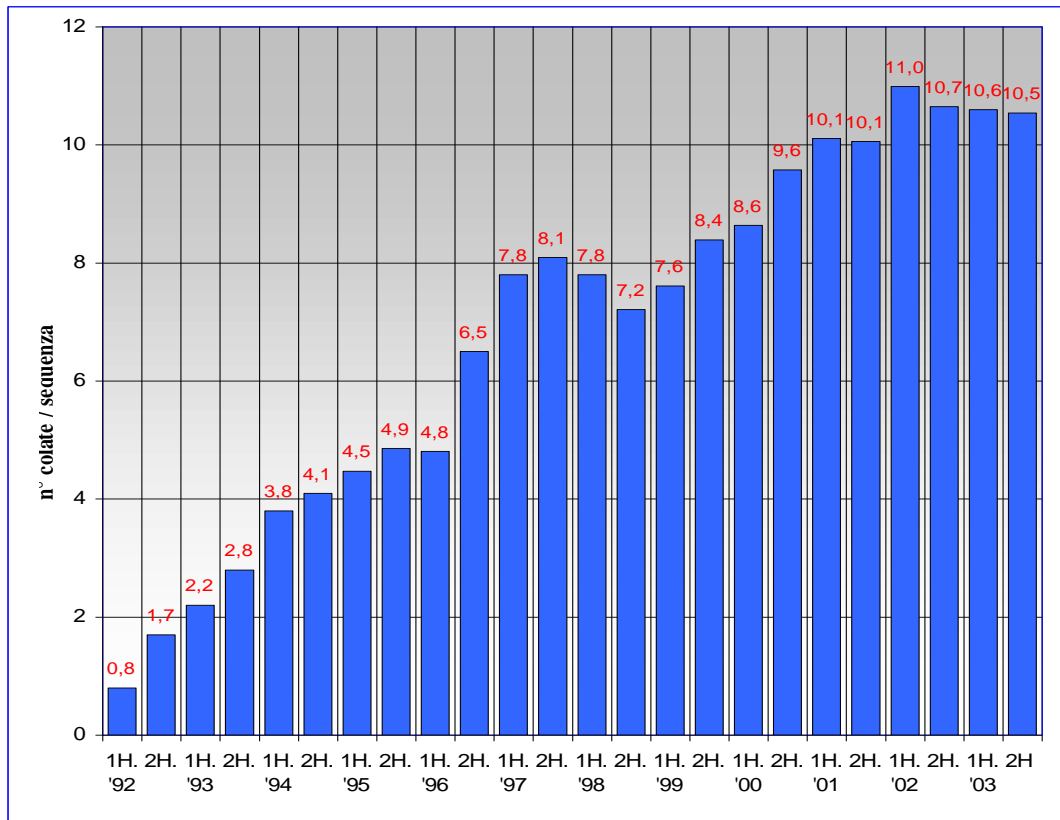
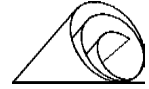


Fig. 41 - Andamento numero colate in sequenza per semestre

In prospettiva dell'imminente modifica alla colata continua con l'incremento dello spessore della bramma da 50 a 55 mm, prevista per agosto 2004, a inizio anno è stata introdotta una variante del tuffante Slim/B2 con feritoia di uscita da 28 mm anziché 24 come finora utilizzato. Il nuovo tuffante della Vesuvius denominato XD39615 è stato studiato per poter alimentare correttamente la lingottiera nella futura condizione, più larga di 5 mm, 137 mm al menisco, 75 mm all'uscita e 70 mm ai lati, con lo scopo di mantenere bassa la velocità del flusso e di conseguenza la stabilità del menisco, condizioni indispensabili per ottenere un prodotto di qualità esente da difetti esterni ed interni. Infatti dalle prove eseguite con il precedente modello XD 24492 a velocità superiori ai 5m/' per simulare la portata necessaria per un corretto colaggio, il menisco è risultato instabile come pure il trasferimento di calore.

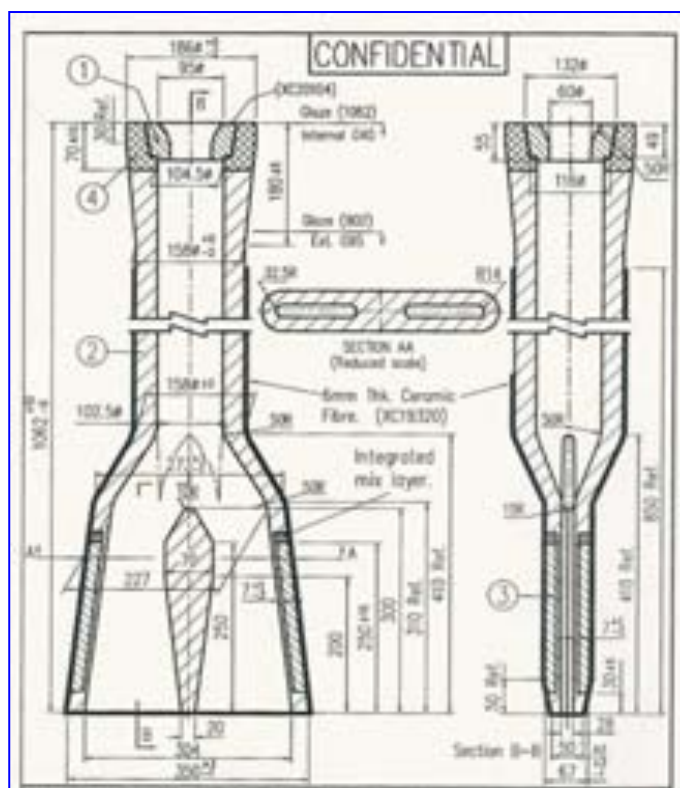


Fig. 42 - Ultima versione del tuffante SLIM/B2 con feritoia di uscita da 28 mm.- modello XD39615 della Vesuvius

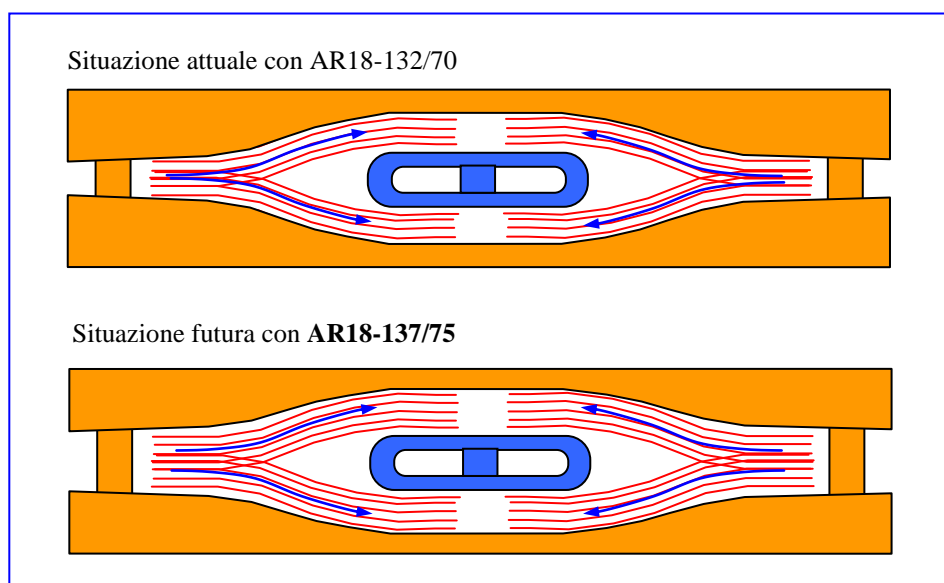
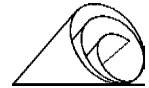


Fig. 43 - Rappresentazione grafica della lingottiera AR18 e dello SLIM/B2 modello XD39615 nella condizione attuale e futura



Successivamente, verso fine 2004, il tuffante XD39615 è stato sostituito da un modello analogo per dimensioni, denominato XD40878 ma, differente per la forma del deflettore interno Fig. 44, così studiato per favorire la stabilità del flusso in uscita dal tuffante e quindi all'interno della lingottiera.

Inoltre, avendo variato la posizione del livello in lingottiera rispetto alla posizione del tuffante per uniformare l'usura causata dal menisco (il livello si muove in contro fase rispetto al movimento del tuffante, vedere Fig. 45) è stato tolto l'insero posto sopra la fascia di protezione (3) del disegno di Fig. 42, non essendo più necessario (vedere freccia).

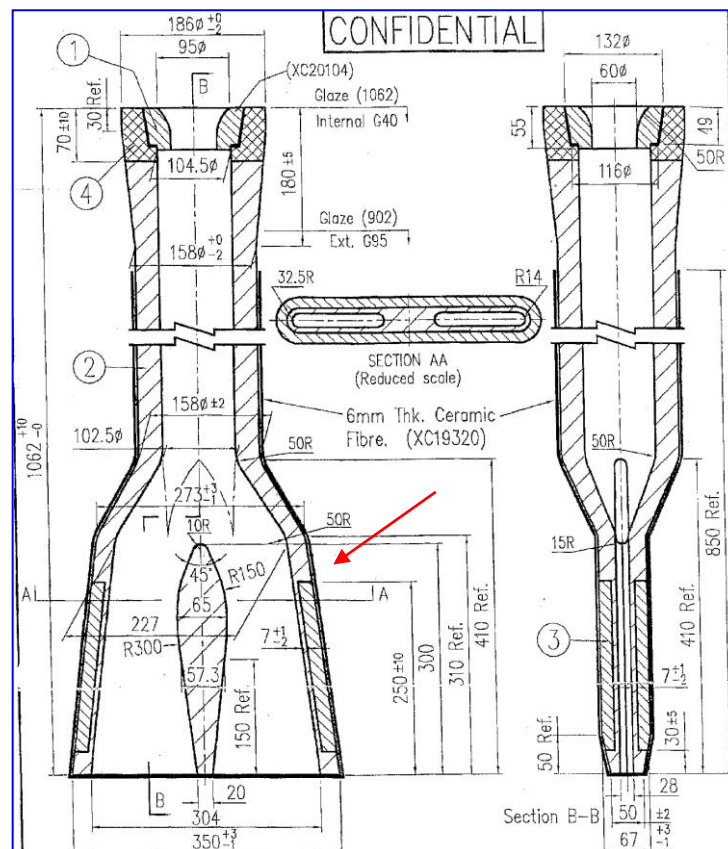


Fig. 44 - Disegno del tuffante SLIM/B2 della Vesuvius, modello XD40878, nel quale è ben evidente la diversa forma del deflettore interno

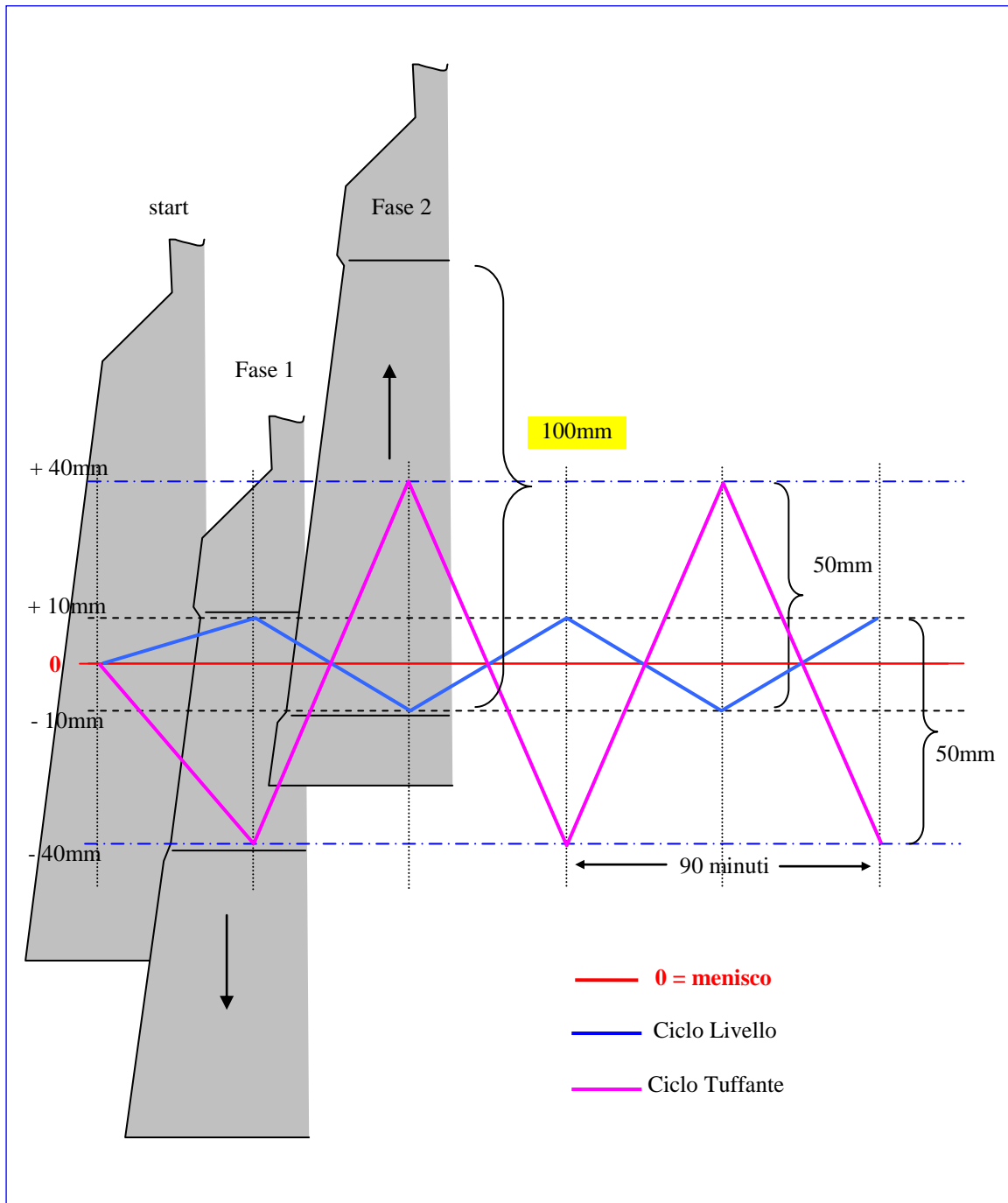
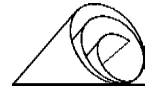
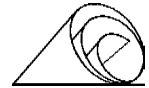
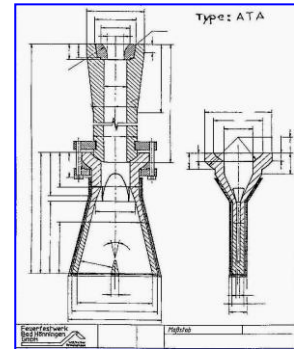


Fig. 45 - Rappresentazione grafica del ciclo operativo adottato per ridurre l'usura del tuffante

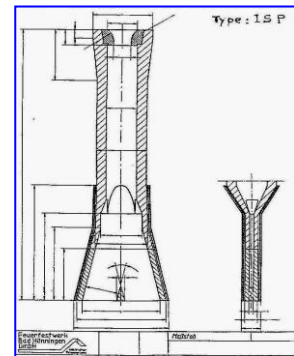


SCHEMA RIASSUNTIVO SVILUPPO TUFFANTI

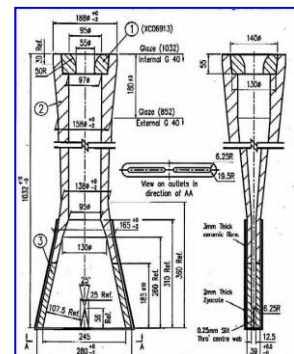
PERIODO	TIPO	FORNITORE
1990/1991	NARROW (A.T.A.)	Hönningen



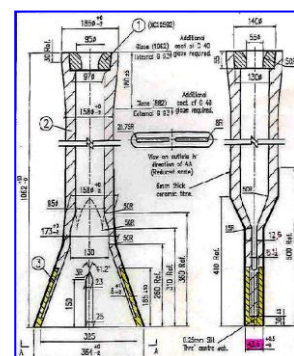
1992/1993	NARROW (I.S.P.)	Hönningen
-----------	-----------------	-----------

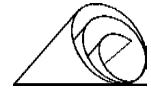


1992/1993	NARROW (I.S.P.)	Vesuvius
-----------	-----------------	----------

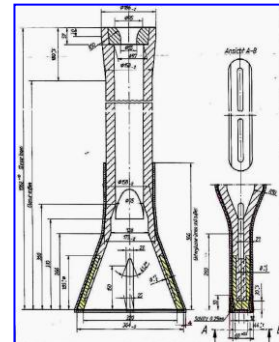


1993/1994	WIDE (I.S.P.)	Hönningen/Vesuvius
-----------	---------------	--------------------

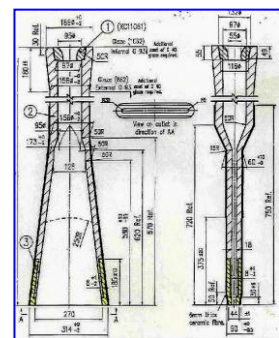




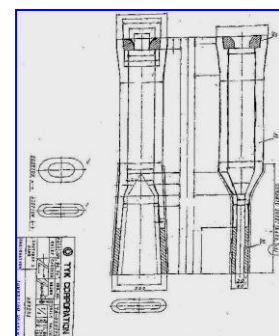
PERIODO	TIPO	FORNITORE
1994/1995	JUMBO (I.S.P.)	Vesuvius



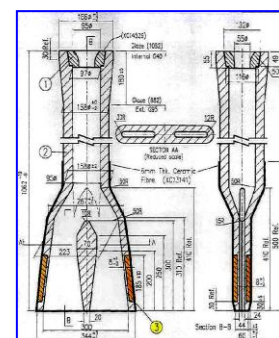
1995/1996	SLIM (I.S.P.)	Vesuvius
-----------	---------------	----------

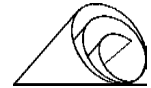


1995	SLIM (I.S.P.)	T.Y.K.
------	---------------	--------

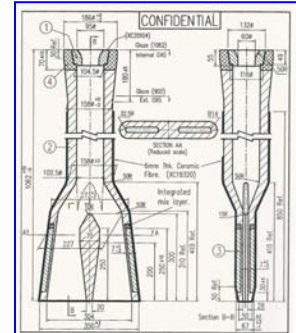


dal 1996	SLIM B/2 (I.S.P.)	Vesuvius
----------	-------------------	----------

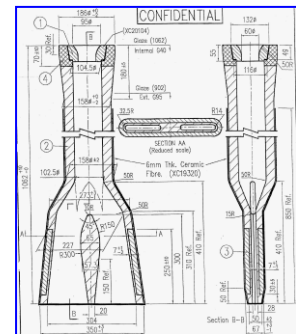




PERIODO	TIPO	FORNITORE
Since August-2004	SLIM B/2 <i>XD39615 (28mm)</i>	Vesuvius



da fine 2004	SLIM B/2 <i>XD40878 (28mm)</i>	Vesuvius
--------------	--------------------------------	----------





8 - LINGOTTIERA

Questo importante componente della tecnologia I.S.P. ha richiesto fin dalle prime fasi della sperimentazione un notevole impegno, in particolare modo, nel risolvere i problemi di accoppiamento con il tuffante, condizionato dallo spazio molto esiguo tra le facce larghe della lingottiera. Infatti, contrariamente alle lingottiere convenzionali larghe 200 mm e oltre che non ponevano limiti alla dimensione del tuffante, l'impiego di una lingottiera per bramma sottile con 50 – 70 mm di spessore, imponeva l'uso di tuffanti altrettanto sottili e per questo si è ricorsi a tuffanti tipo a "spatola" cioè larghi e piatti, per avere almeno un minimo spazio tra i due componenti tale da garantire il movimento del flusso di acciaio e delle polveri di colaggio. Di conseguenza i nostri tecnici sono stati costretti ad intraprendere scelte e soluzioni completamente innovative, che solo la sperimentazione diretta ha consentito di valutare in tutti i suoi aspetti, non essendoci esperienze o studi precedenti da prendere come riferimento.

Si è dovuto quindi modificare di volta in volta il profilo verticale e orizzontale della lingottiera, la forma e la dimensione del tuffante, le caratteristiche delle polveri di colaggio ecc.

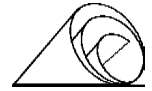
LINGOTTIERA ATA

La prima fase della sperimentazione di un prototipo presso la vecchia acciaieria ATA, ha evidenziato quanto fosse difficile ottenere un livello stabile con un tuffante piccolo e velocità di colaggio elevate.

Con questo modello infatti, del tipo diritto a facce parallele, di cui riportiamo uno schizzo in Fig. 1, la massima velocità raggiunta è stata di 2,3 m/min, oltre la quale era impossibile colare a causa delle forti turbolenze dell'acciaio in lingottiera e delle rotture della bramma in fase di estrazione dalla macchina continua.

Una prima importante modifica introdotta dopo le prime campagne di prova effettuate con una tale lingottiera avente una distanza tra le piastre di 60mm e un' altezza di 700, è stata quella di introdurre una leggera bombatura nella zona centrale delle facce larghe, dapprima profonda 8mm e poi 10 mm, e un profilo concavo alle facce strette (Figg. 2-3).

A seguito della bombatura, la luce tra le facce larghe nella zona centrale è passata da 60 a 80mm, favorendo un miglior accoppiamento con il tuffante in conseguenza del quale si è ottenuto una migliore lubrificazione della bramma, una riduzione del rischio di formazione di ponti di scoria tra tuffante e lingottiera e una migliore stabilità della bramma in uscita dalla lingottiera, avendo la bombatura centrale anche la funzione di guida.



Il profilo concavo delle facce strette ha invece contribuito ad aumentare la temperatura dei bordi, riducendo il “ ΔT ” tra bordo e centro bramma, passato da 100 a 30 °C, lasciando intravedere la possibilità di evitare il riscaldamento dei bordi prima della laminazione.

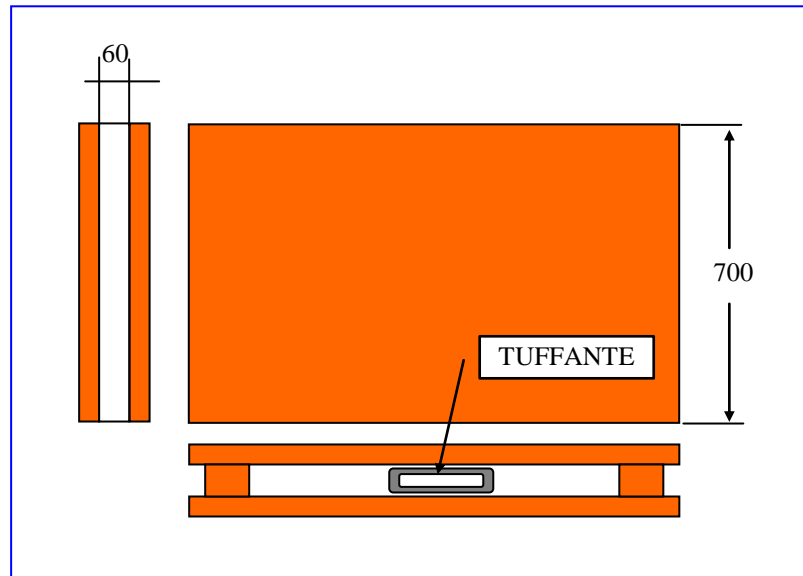


Fig. 1- Lingottiera ATA diritta tipo *parallela*

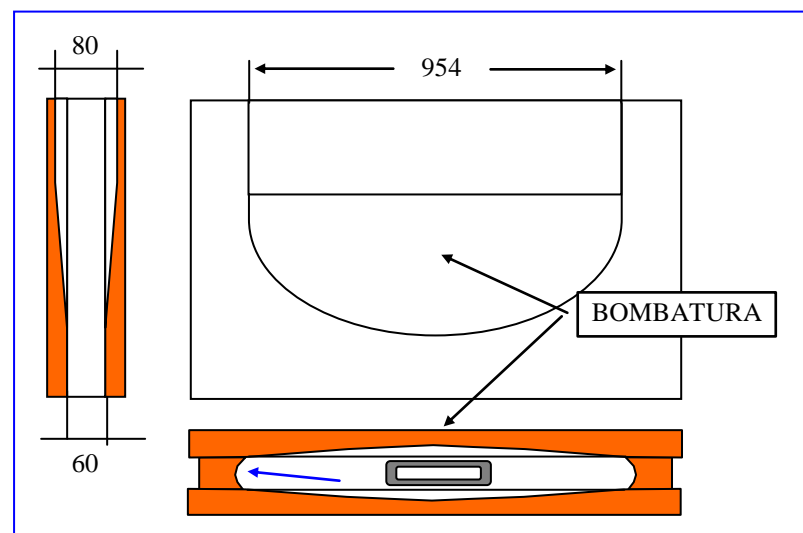


Fig. 2- Lingottiera ATA diritta con *bombatura* al centro



Complessivamente con la lingottiera ATA sono state fatte 17 campagne di prova per un totale di 6000 t circa, che comprendevano tutta la gamma degli acciai dal basso all'alto carbonio agli acciai legati e inossidabili, con ottimi risultati dal punto di vista qualitativo. Con queste modifiche è stato possibile aumentare la velocità di colaggio dai 2,3 m/min iniziali a 2,8 m/min.

Le prove con la lingottiera ATA hanno dimostrato chiaramente che era possibile produrre bramme sottili di buona qualità con tempi e costi competitivi rispetto ai sistemi tradizionali, evidenziando inoltre la possibilità di un processo in linea Colata-Laminazione quale appunto il nuovo impianto I.S.P. di Cremona.

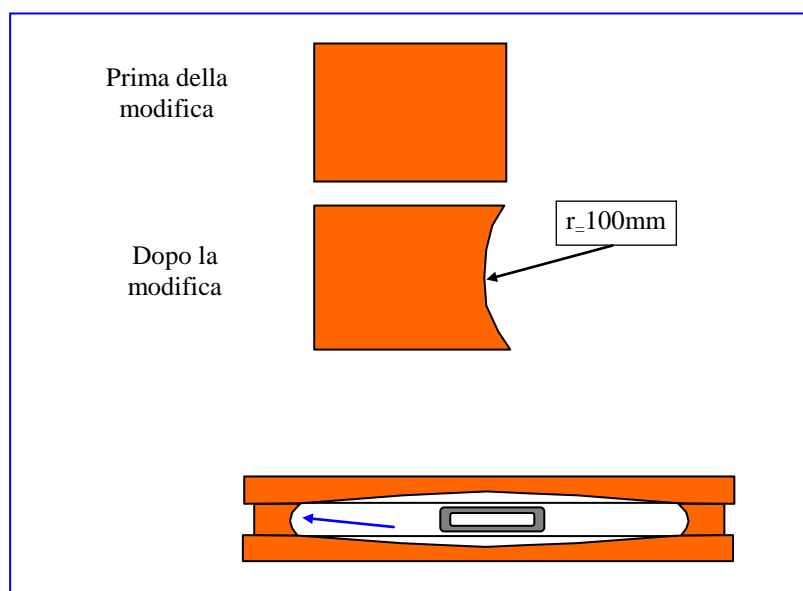


Fig. 3- Particolare delle facce strette della Lingottiera ATA prima e dopo la modifica

Dalla 14^a campagna in poi sono stati fatti dei test sistematici con una lingottiera dalla bombatura più stretta pari a 680 mm per simulare la fattibilità delle bramme strette (Fig. 4). I risultati ottenuti sono stati del tutto analoghi a quelli della lingottiera con bombatura più larga cioè di 954 mm, così pure le velocità di colaggio da 2,8 m/min a 3 m/min.

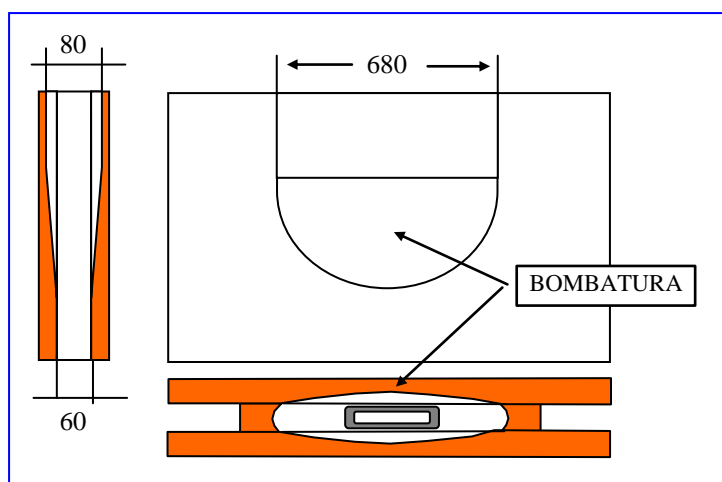


Fig. 4- Variante della Lingottiera ATA con bombatura stretta

Successivamente, sulla base delle prove fatte a Duisburg dalla Mannesmann con una colata continua composta da una curvilinea multirulli, in grado di curvare, trascinare e nello stesso schiacciare la bramma in fase di solidificazione, sistema per questo denominato “Riduzione a cuore liquido” o “Soft Reduction”, si è passati da una lingottiera a profilo verticale *diritto* a una con profilo *diritto-curvo* (Fig.5). Questo profilo, introdotto nella fase iniziale della produzione I.S.P. perché non era stato possibile sperimentarlo direttamente sulla colata continua ATA, si pensava potesse accompagnare meglio la bramma alla curvilinea, almeno così era apparso dalle prove preliminari a Hücking. Purtroppo nella fase di industrializzazione sono emersi dei limiti notevoli che hanno indotto i tecnici I.S.P. a trovare altre soluzioni (vedere dettagli nel seguito).

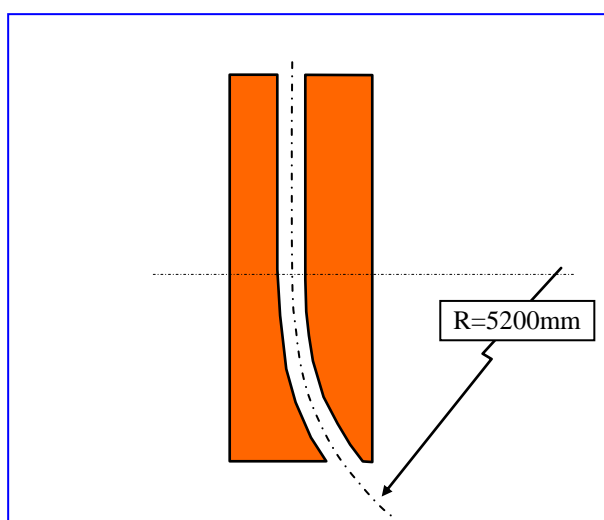
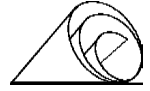


Fig. 5 – Profilo verticale *diritto-curvo* della lingottiera sperimentata nella fase iniziale sull'impianto I.S.P.



LINGOTTIERE I.S.P.

I principali settori d' intervento che hanno interessato la lingottiera nell'esperienza I.S.P., si possono così riassumere:

- MODALITÀ COSTRUTTIVE ,
- SISTEMA DI RAFFREDDAMENTO,
- PROFILO VERTICALE DELLE FACCE LARGHE ,
- PROFILO DELLE FACCE STRETTE (Spallette),
- BOMBATURA DELLE FACCE LARGHE,
- MATERIALI.

MODALITÀ COSTRUTTIVE

La lingottiera I.S.P. é stata progettata semplificando al massimo le parti da assemblare al fine di ridurre i tempi e le operazioni di manutenzione ad essa connesse.

Le parti principali che la compongono sono tre:

- **casce d'acqua**, strutture metalliche in carpenteria alle quali vengono fissate ermeticamente le facce larghe della lingottiera, al cui interno circola l'acqua di raffreddamento delle casce stesse e delle facce larghe della lingottiera,
- **facce larghe**, piastre di rame direttamente a contatto con l'acciaio liquido,
- **facce strette**, o spallette laterali, barre di rame che unitamente alle facce larghe formano la lingottiera e danno forma e dimensione alla bramma.

Le facce larghe sono fissate alle casce d'acqua mediante tiranti filettati, mentre le facce strette sono tenute da due tiranti per la regolazione della conicità e pressate tra le facce larghe con un sistema di molle a tazza.

Entrambe sono ricavate da sbazzati di rame, in seguito trattati termicamente per conferire loro le opportune caratteristiche meccaniche.

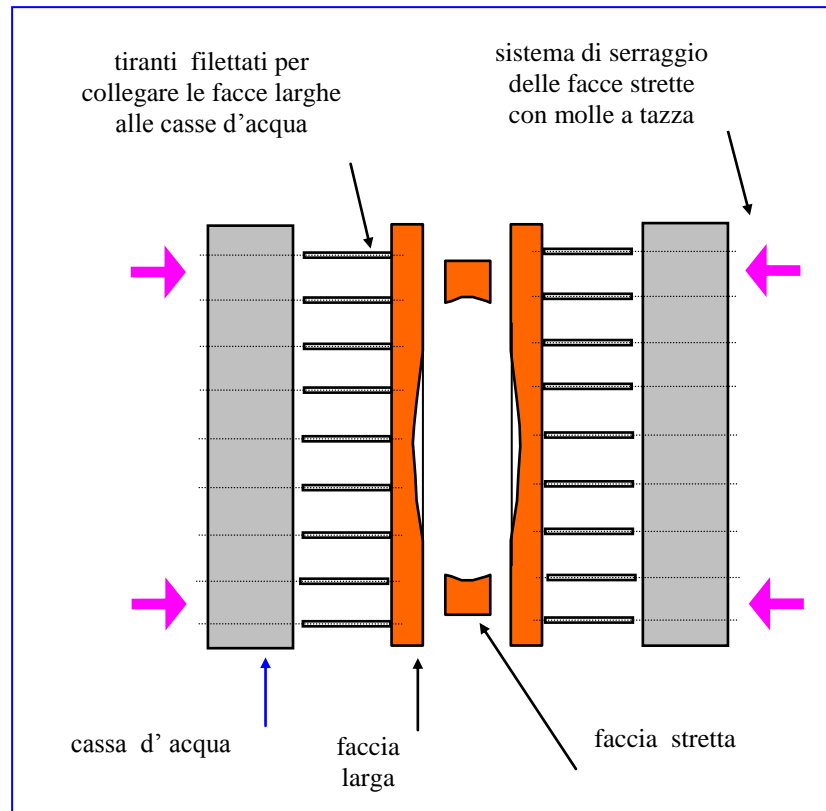
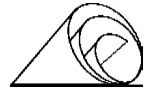


Fig. 6 – Principali componenti della lingottiera I.S.P.

RAFFREDDAMENTO

CASSE D'ACQUA (WATER JACKET)

Il circuito di raffreddamento all'interno delle casse d'acqua è stato studiato per raffreddare l'intera struttura nel modo più omogeneo possibile.

Come si può notare dalla Fig. 8, l'acqua di raffreddamento entra dall'alto, si raccoglie in un serbatoio centrale, da qui passa ad un serbatoio inferiore dal quale attraverso delle feritoie comunica con i canali delle facce larghe della lingottiera e da questi, sempre con lo stesso sistema, ritorna nelle casse d'acqua nel serbatoio superiore dal quale defluisce.

In questo modo l'intera cassa d'acqua e le facce larghe della lingottiera sono raffreddate in modo omogeneo.



A questa soluzione si é giunti dopo aver sperimentato un primo modello (1° semestre 1992) in cui la distribuzione dell'acqua avveniva lateralmente e tramite il solo serbatoio inferiore. Condizione che dava luogo a scambi termici irregolari e instabili nel tempo con conseguenti break-outs, per la distribuzione disuniforme dell'acqua tra un lato e l'altro della lingottiera e per la presenza di una vasta zona centrale non raffreddata. Le differenze tra le due soluzioni e i loro effetti sull'heat transfer sono evidenziati nelle Figg. 7-8 e 9.

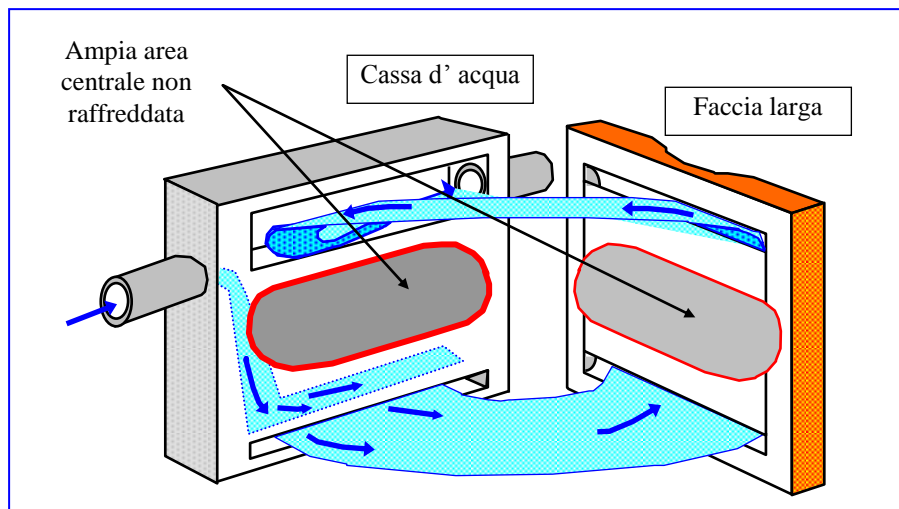


Fig. 7 – Flusso dell'acqua di raffreddamento tra le casse d'acqua e le facce larghe della lingottiera (inizio produzione linea I.S.P. – 1° semestre 1992)

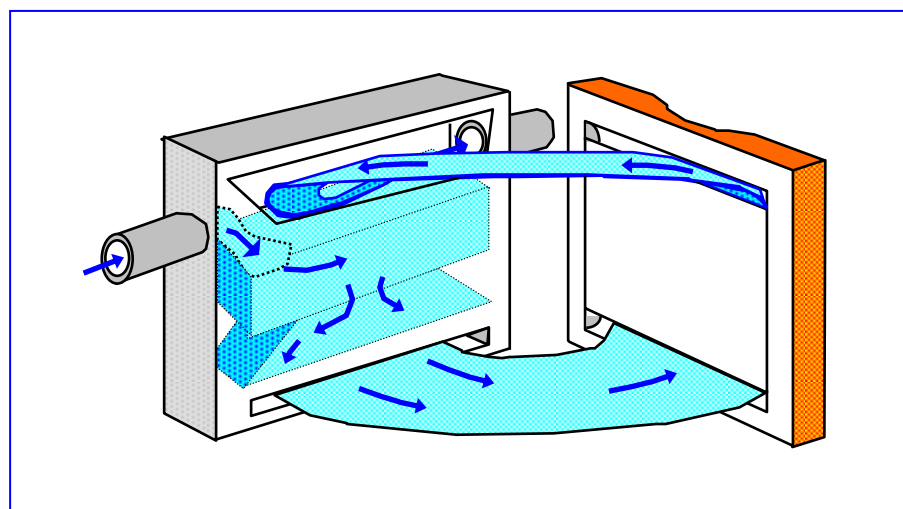


Fig. 8 – Flusso dell'acqua di raffreddamento tra le casse d'acqua e le facce larghe della lingottiera dopo la modifica (nella parte centrale non esiste più la zona non raffreddata).

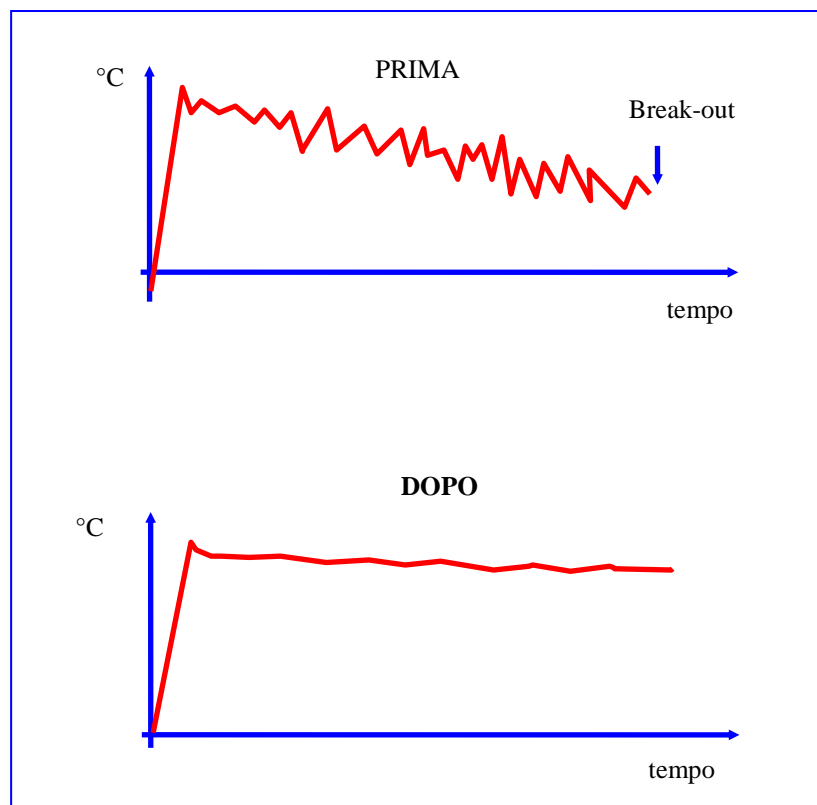


Fig. 9 - Andamento dell'heat transfer delle facce larghe "prima e dopo" le modifiche alle casse d'acqua .

FACCE LARGHE

Il raffreddamento delle facce larghe della lingottiera avviene per mezzo di canaletti ricavati nella parte posteriore delle stesse, entro i quali scorre l'acqua proveniente dalle casse d'acqua che circolando continuamente asporta il calore trasferito dall'acciaio liquido alle piastre della lingottiera. In questo modo, le piastre sono mantenute ad una temperatura costantemente inferiore a quella dell'acciaio che essendo direttamente a contatto con le piastre solidifica immediatamente dando luogo alla così detta "pelle oppure scatola".

La messa a punto di questi canaletti ha comportato una ricerca piuttosto lunga, indirizzata a trovare la loro corretta dimensione e posizione, in quanto direttamente correlati con l'uniformità termica della bramma.

Condizione questa, indispensabile per produrre coils con spessori inferiori ai 2 mm, colare alle alte velocità imposte dal sistema a bramma sottile e ottenere un buon prodotto finale.



Per prima cosa si é modificato il numero dei canali posteriori portandoli da 1 ogni 15 mm a 1 ogni 5mm, in pratica raddoppiandoli; questo ha portato come beneficio immediato un **heat transfer** molto più stabile e uno spessore della pelle solidificata molto più regolare (Fig. 10).

In un secondo tempo, si é portata la distanza dei canali dalla superficie a contatto con l'acciaio liquido, equidistante in ogni punto del profilo (distanza acqua / acciaio).

Dando luogo ad un nuovo modello di lingottiera denominato "ISO 20", per questa sua caratteristica di avere la distanza acqua/acciaio costante in ogni punto del profilo, sia verticale che orizzontale.

In precedenza tale distanza era asimmetrica tra il centro e i lati a causa della bombatura centrale, 25 mm ai lati e 15 mm al centro (Fig. 11) .

L'intervento ha portato come miglioramenti, una maggiore uniformità termica della bramma e la possibilità di elevare la velocità di colaggio (fino a 5 m/minuto), con riflessi positivi e immediati sulla stabilità della barra e sulla produttività dell'impianto.

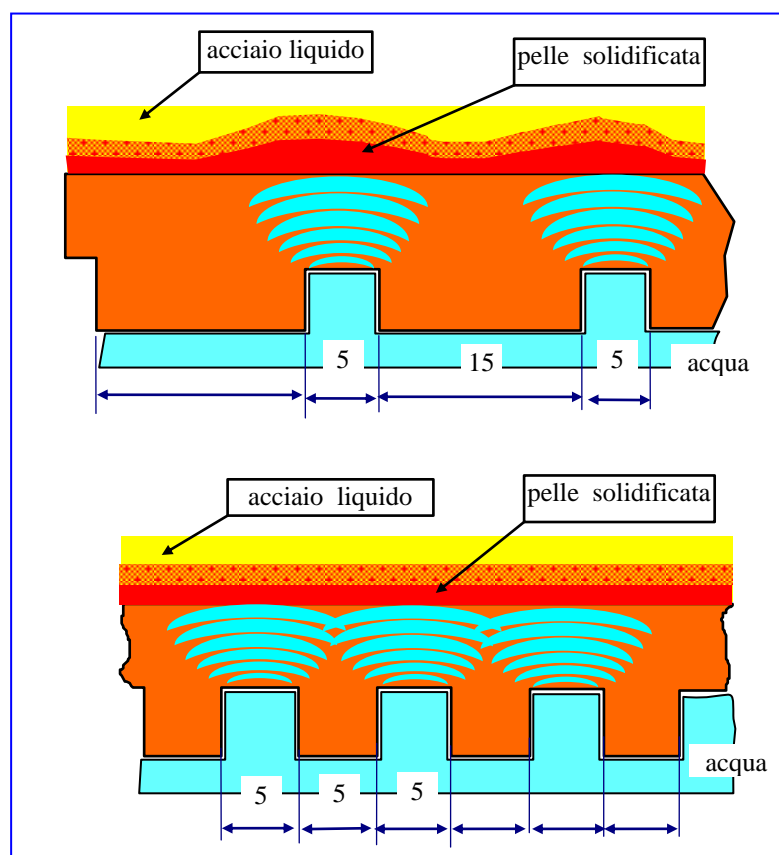


Fig. 10 - Modifiche dei canali di raffreddamento per migliorare l'heat transfer e lo spessore della pelle solidificata

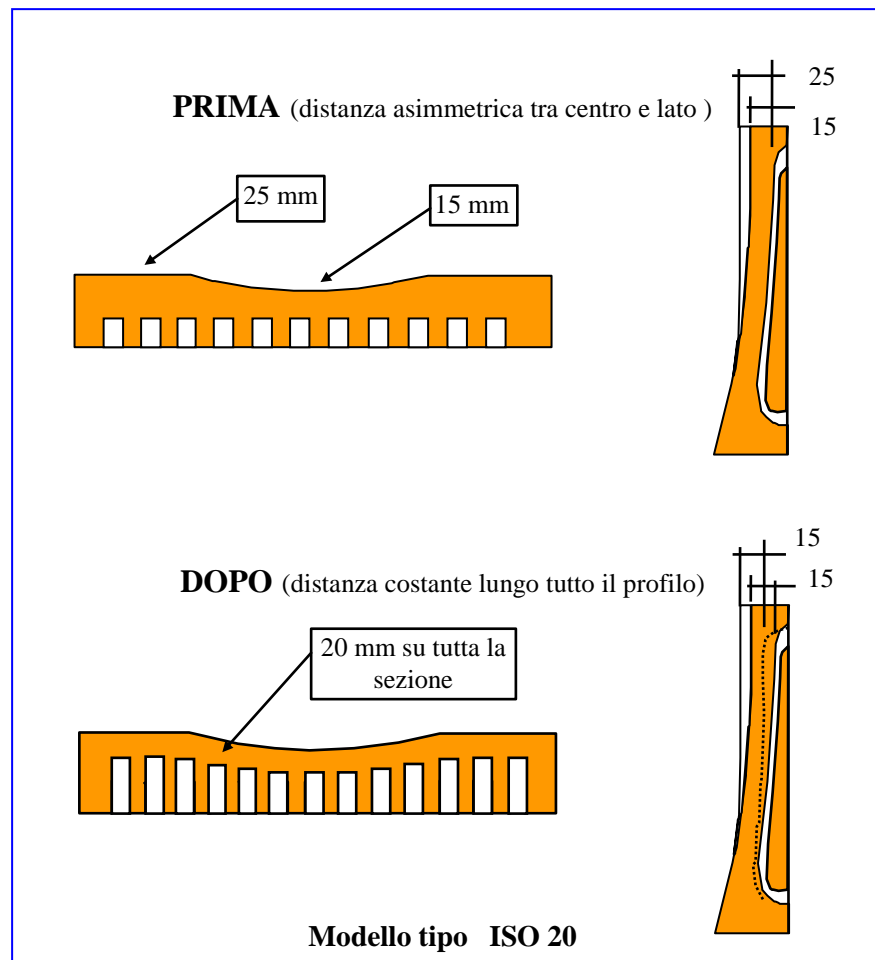
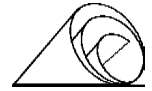


Fig. 11 - Schematizzazione delle modifiche ai canali di raffreddamento delle facce larghe

Successivamente, al fine di migliorare la zona del menisco, spesso interessata da cricche termiche e da un notevole consumo conseguenti ad un raffreddamento anomalo, si è deciso di abbassare il livello dell'acciaio in lingottiera da 100 a 120 mm e ridurre la finestra di uscita dei canali posteriori da 90 a 20 mm. Con lo scopo di portare il menisco completamente sotto il livello dell'acqua e al tempo stesso raffreddarlo di più aumentando la velocità dell'acqua in uscita dai canali (vedere Fig. 12).

Questi interventi, uniti al nuovo materiale utilizzato per le facce larghe (rame legato con cromo e zirconio) più tenero e quindi meno soggetto a shock termico, hanno contribuito a limitare il fenomeno delle cricche nelle zone laterali del menisco, e di conseguenza, a prolungare la durata delle piastre.

La Fig. 13 mostra il fenomeno delle cricche termiche prima e dopo la modifica all'uscita dei canali.

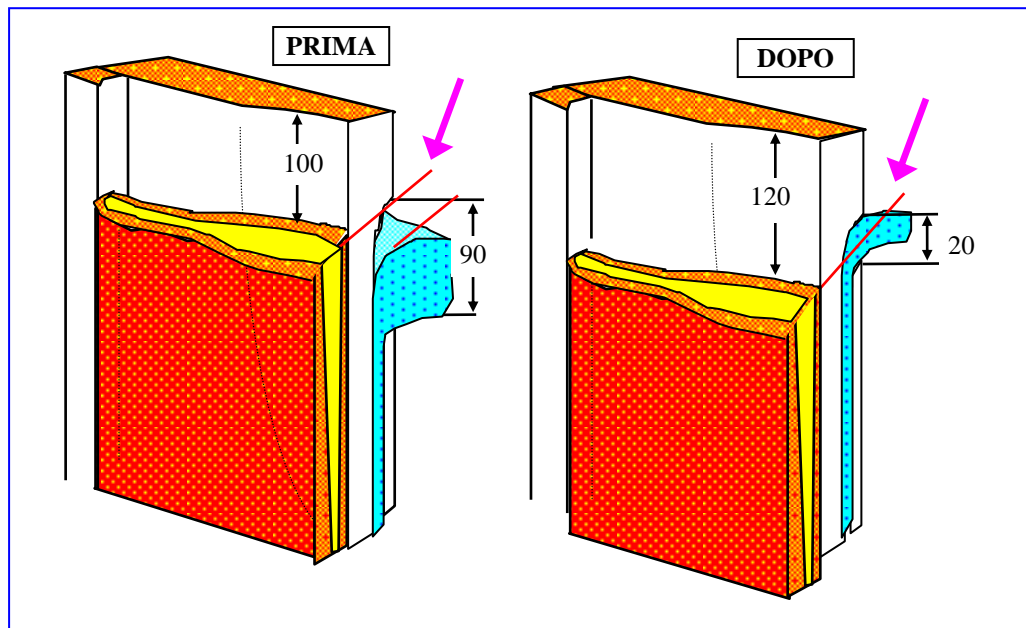


Fig. 12 - Modifiche all'uscita superiore dei canaletti delle facce larghe

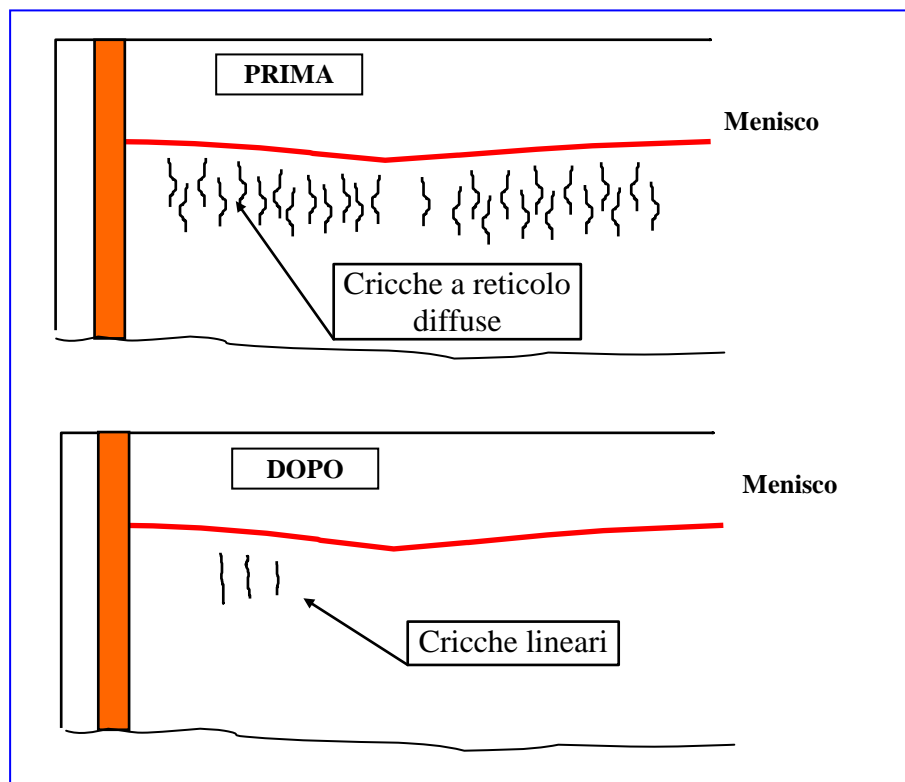


Fig. 13 - Fenomeno delle cricche laterali prima e dopo le modifiche all'uscita dei canaletti



Un ulteriore contributo all'uniformità termica della bramma e alla durata delle piastre, è stato dato dal raffreddamento delle bande porta tiranti che si trovano sul retro delle facce larghe della lingottiera.

Queste bande, entro le quali sono ricavati i fori filettati per alloggiare i tiranti necessari per fissare le facce larghe alle casse d' acqua (vedere fig. 6 di pag. 6), nella fase iniziale della produzione I.S.P. erano prive di raffreddamento.

Condizione questa che, abbinata ad un tiro eccessivo dei tiranti ed alla diversa massa di queste bande rispetto alle zone adiacenti interessate dai canaletti di raffreddamento, portava alla formazione di cricche in corrispondenza delle bande più esterne (zone più calde) ed alla deformazione delle piastre.

Fenomeno che appariva più evidente verso la fine della vita della lingottiera quando lo spessore residuo delle piastre si assottigliava (5^a-6^a campagna)

Infatti a fine campagna, le piastre mostravano zone più chiare e in rilievo in corrispondenza delle bande porta tiranti e più scure e infossate in corrispondenza delle zone con i canaletti, così come evidenziato in Fig. 14.

Il problema è stato risolto introducendo dei canaletti di raffreddamento anche nelle barre porta tiranti (Fig. 15) e cambiando il sistema e la forza di tiraggio dei tiranti (Figg. 16, 17).

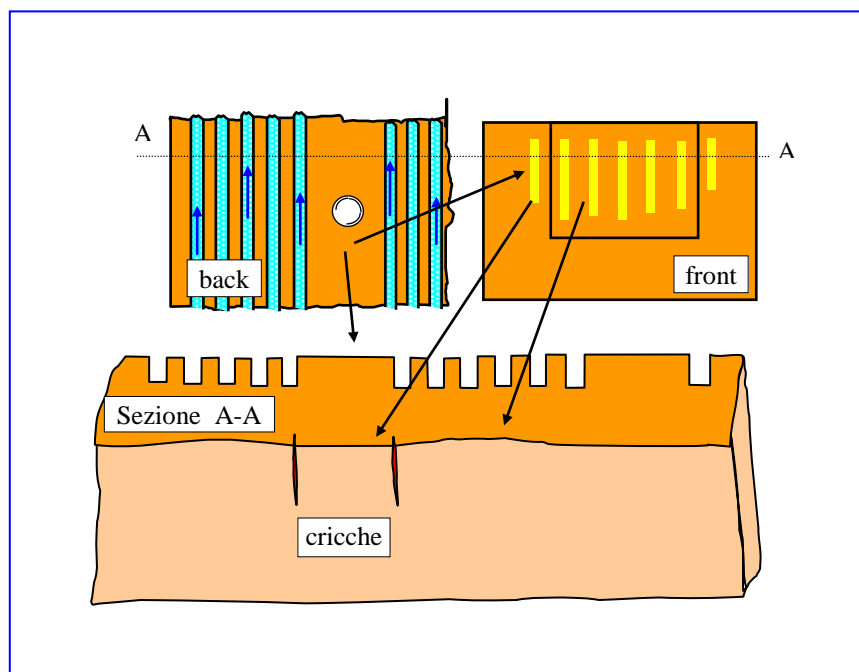


Fig. 14 - Fenomeno delle cricche e della deformazione delle facce larghe della lingottiera prima dell'intervento alle bande porta tiranti

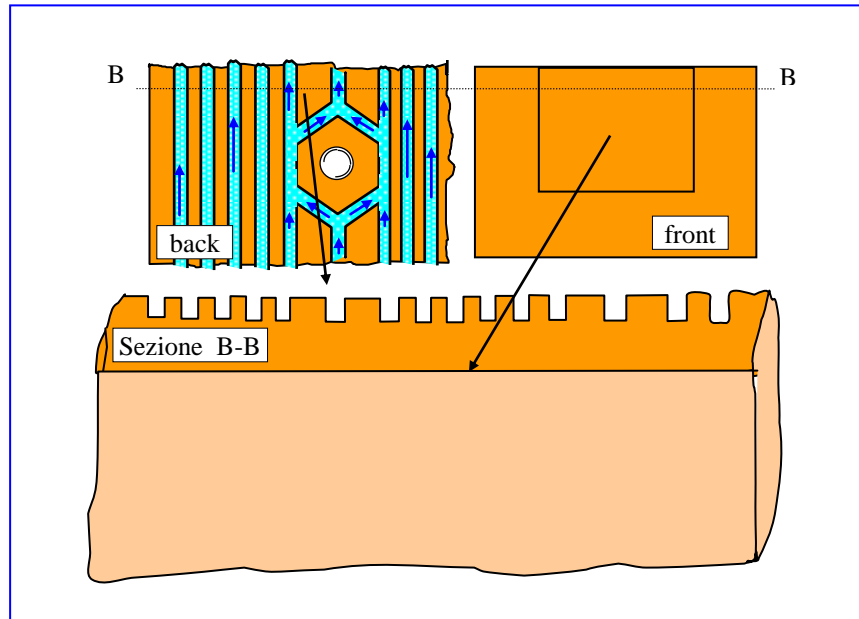


Fig. 15 - Sistema di raffreddamento delle barre porta tiranti.

Il sistema di serraggio dei tiranti è stato diviso in due fasi ben distinte:

La prima, applicando un carico di 45-65 Nm partendo dai tiranti degli spigoli esterni e di seguito lungo gli assi ortogonali (Fig. 16), la seconda, applicando un carico di 80 Nm partendo dal centro con un andamento a spirale come indicato in Fig. 17.

In precedenza il serraggio dei tiranti veniva eseguito in modo più casuale e la forza applicata era di 120 Nm e questo, come si è visto, portava alla formazione di cricche e alla deformazione delle piastre.

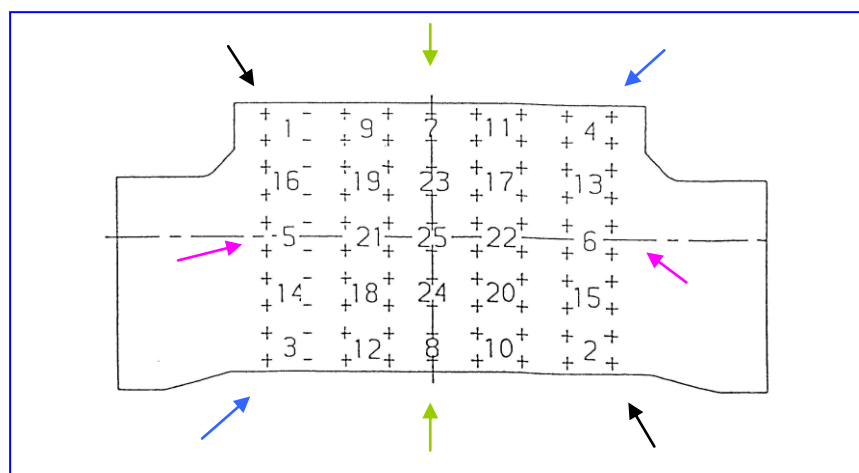


Fig. 16 - Sistema di serraggio dei tiranti nella 1^ FASE (carico: 45-60 Nm)

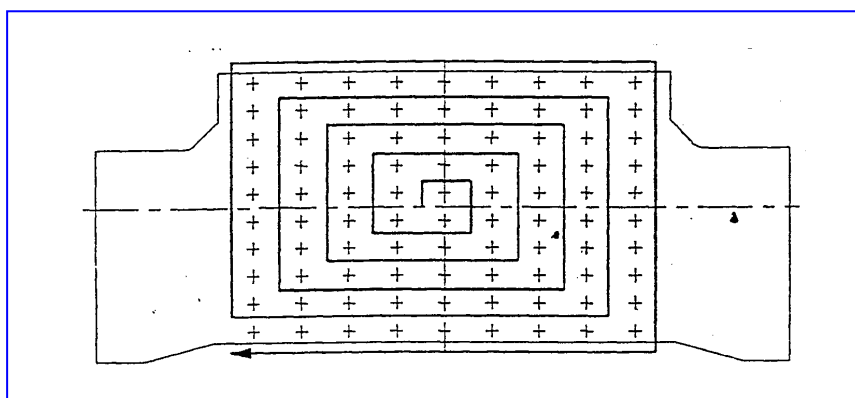


Fig. 17 - Sistema di serraggio dei tiranti nella 2^a FASE (80 Nm)

FACCE STRETTE

Nel secondo semestre del 1992 è stato modificato anche il sistema di raffreddamento delle facce strette o spallette.

Inizialmente veniva utilizzato a tale scopo un solo foro da 22 mm posto al centro dello spessore, ma questo comportava un maggior ispessimento della pelle nella sola zona centrale mentre in prossimità degli spigoli lo spessore era più sottile (Fig. 18).

Questa differenza di spessore aveva come conseguenza una deformazione asimmetrica del bordo della bramma durante la "Soft Reduction" per cui gli spigoli si deformavano di più della zona centrale lasciando nei migliore dei casi una cricca continua nel punto di maggior deformazione e nel peggiore dei casi tendevano a slittare su se stessi causando un "break-out" di spigolo. La Fig. 19 mostra la sequenza di questo fenomeno.

Si è pensato quindi di adottare spallette con 2 fori, di minor diametro – 18 mm contro i 22 mm del foro singolo - disposti in modo tale da raffreddare anche la zona degli spigoli.

L'effetto principale ottenuto con questo intervento è stata la deformazione più regolare del bordo della bramma, favorito da un minor spessore nella zona centrale. In questo modo è stata eliminata la deformazione localizzata in corrispondenza dello spigolo che si verificava con il raffreddamento a un solo foro.

Questo intervento oltre ad eliminare il pericolo di break-outs di spigolo, ha eliminato anche le cricche che si formavano in prossimità del bordo durante la laminazione (a 10 mm circa dal bordo), per effetto della ricalcatura dello spigolo.

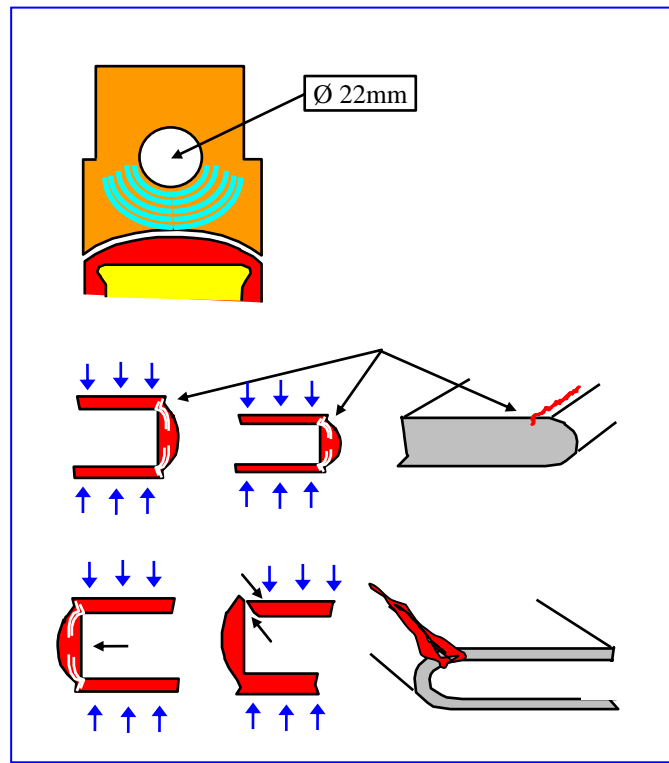
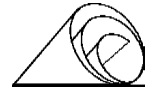


Fig. 18 - Sequenza della deformazione e della rottura dello spigolo della bramma nel caso delle spallette raffreddate con un solo foro

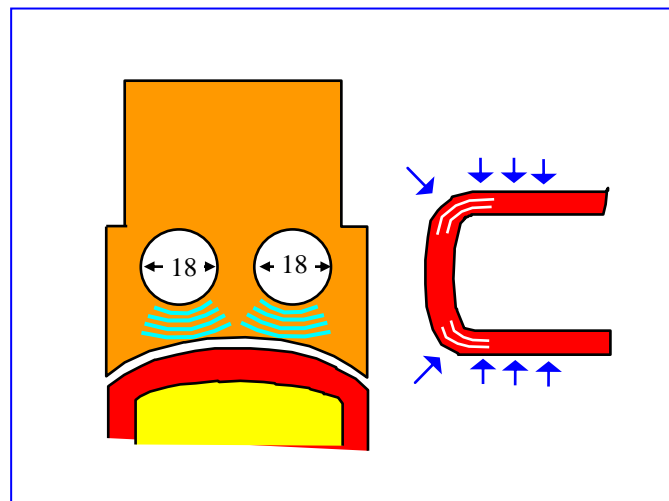
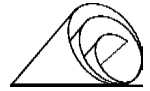


Fig. 19 - Comportamento e aspetto dello spigolo della bramma con spallette raffreddate con due fori



In sintesi, da questi primi interventi sulla lingottiera, i principali benefici ottenuti sono stati i seguenti:

- maggiore uniformità termica della bramma
- drastica riduzione del numero dei break-outs,
- incremento della velocità di colaggio da 4 a 4,5 m/minuto,
- maggiore durata delle piastre, passata da 140 a 300 colate.



PROFILO VERTICALE DELLE FACCE LARGHE

Il profilo verticale della lingottiera é un altro degli aspetti importanti che hanno caratterizzato lo sviluppo di questo componente della tecnologia I.S.P..

Come visto all'inizio del capitolo il primo profilo verticale della lingottiera sperimentato in A.T.A. era diritto, mentre per la linea I.S.P. è stato adottato un profilo diritto-curvo.

Questo profilo suggerito dal costruttore della linea, la Mannesmann Demag, a seguito dell'installazione di una macchina di colata continua composta da due soli segmenti, è risultato non idoneo per raggiungere i target di progetto.

Di conseguenza si è dato corso ad una ricerca per superare il momento di stallo al quale si era arrivati.

I profili verticali delle facce larghe fin qui sperimentati, vale a dire con un certo numero di colate, tale da consentire un'analisi dei risultati, si possono raggruppare in tre tipologie ben distinte:

- DIRITTO-CURVO, suggerito da Mannesmann (1992 - Inizio 1993)
- TUTTO-CURVO o BOW-TYPE suggerito da Mannesmann (gennaio- aprile93)
- MULTIBANDING suggerito da Arvedi (dal 1993 a tutt'oggi)

Nella figura 20 sono rappresentati mediante uno schizzo le caratteristiche principali di questi tre profili.

I primi due profili “**diritto - curvo**” e “**tutto - curvo**”, dopo varie esperienze e modifiche al tuffante alle polveri ed ai parametri di operativi, sono stati eliminati perché non idonei per il colaggio a velocità superiori a 4,5 m/minuto e per l'elevato numero di break-outs registrati durante il loro utilizzo. Il primo, a causa dello stress a cui era soggetto il guscio della bramma appena solidificato durante il passaggio dal tratto diritto al tratto curvo che spesso dava origine a break-outs di spigolo o sul bordo, la seconda per i problemi legati al tuffante, che dato lo spazio esiguo tra le due piastre, veniva a trovarsi in posizione asimmetrica rispetto alle facce larghe della lingottiera, alterando di conseguenza lo scambio termico e la solidificazione dell'acciaio. Un ulteriore problema era la scarsa durata di questo tuffante che limitava il colaggio a non più di 2 colate. Condizione questa, determinata dall'esiguo spessore delle pareti, conseguente al particolare disegno a cui si era dovuti ricorrere per adattarlo alla forma della lingottiera (profilo a gradini). Viste quindi, le difficoltà operative connesse sia alla lingottiera che al tuffante, entrambi sono stati abbandonati dopo un centinaio di colate.

Le Figg. 21 e 22 mostrano le problematiche emerse durante la sperimentazione di questi due profili.

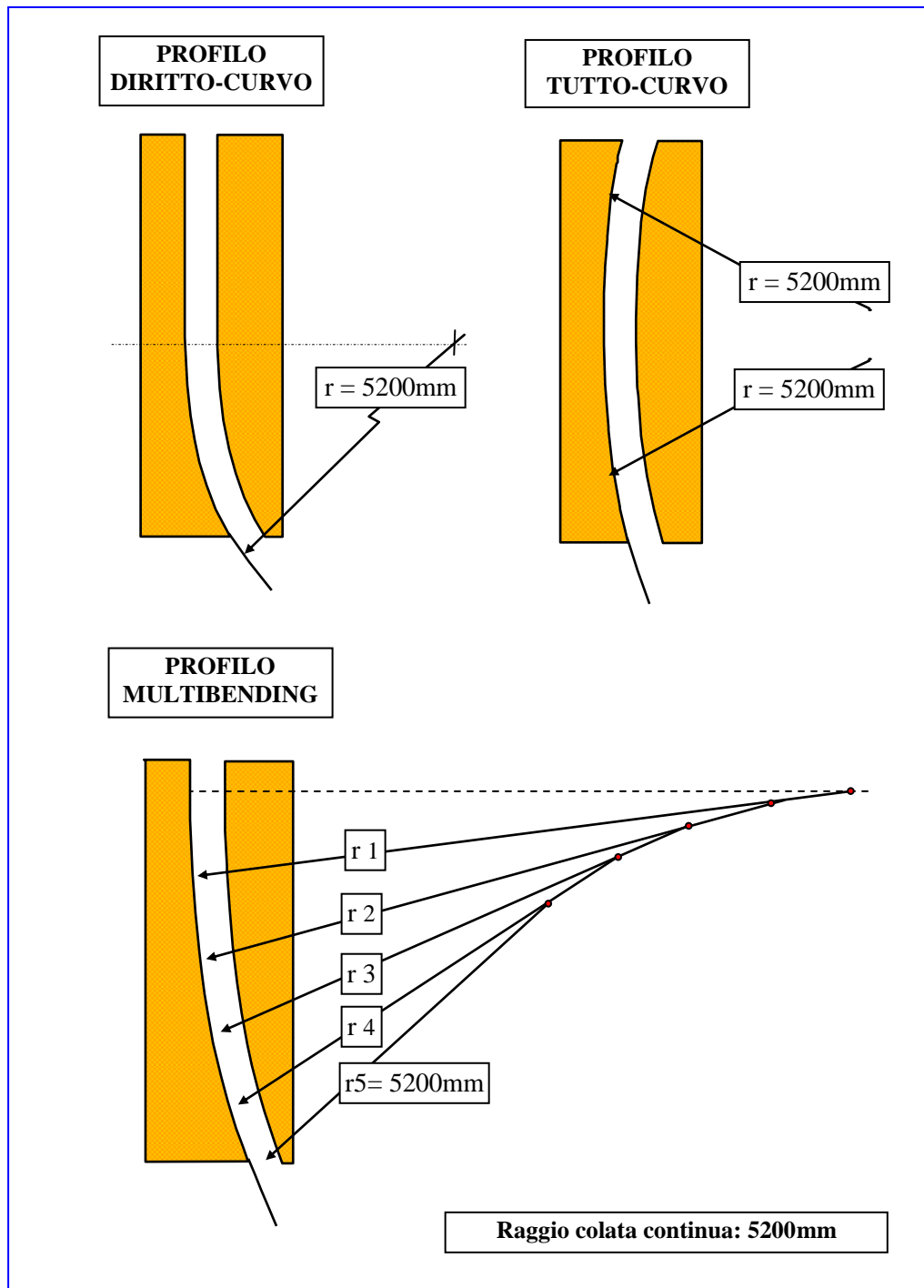
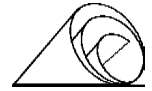


Fig. 20 - Rappresentazione grafica dei tre profili verticali delle facce larghe della lingottiera fin qui sperimentati



Sulla base dei risultati negativi con i profili **diritto-curvo** e **tutto-curvo** anche dopo alcune modifiche alla bombature è stato ridisegnato un nuovo profilo denominato “MULTIBENDING composto da 5 raggi raccordati tra loro, con il quale è stato possibile limitare il fenomeno dei break-outs, passato drasticamente dal 18% del mese di Dicembre 92 al 6% del gennaio 1993 (Fig. 24) e finalmente intravedere la possibilità di arrivare agli obiettivi di progetto della linea I.S.P..

Obiettivi pienamente raggiunti con l'introduzione del modello MULTIBENDING ISO 20 utilizzato a pieno regime a partire dal gennaio 1994 (ISO 20 sta per distanza di 20 mm tra acqua e acciaio costante lungo tutto il profilo, sia in senso verticale che orizzontale).

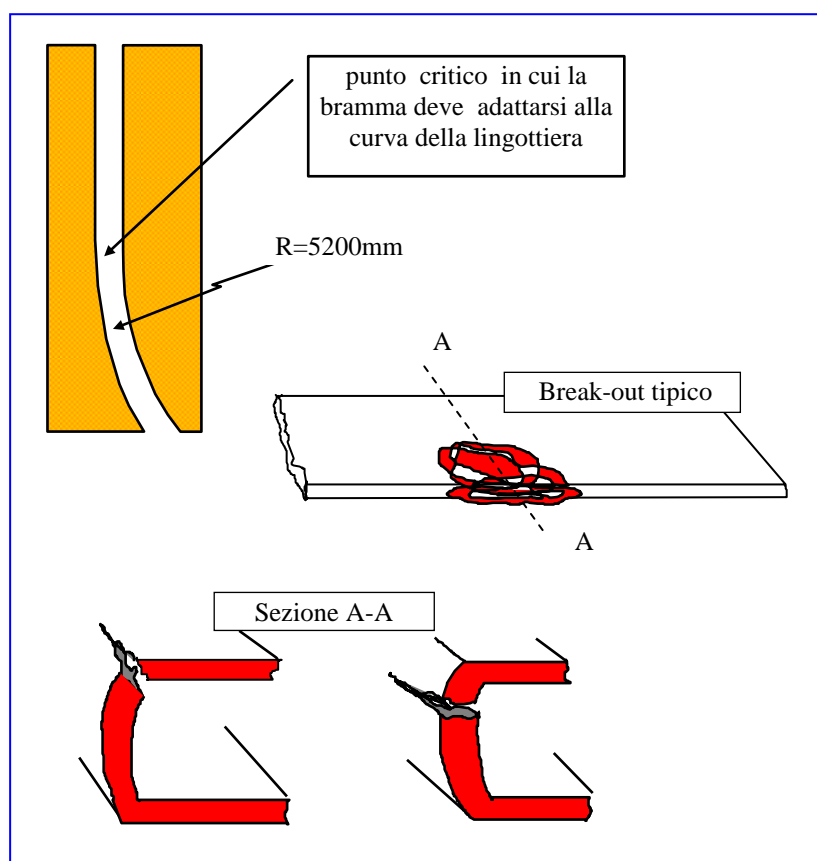


Fig. 21- Break-out tipico riscontrato durante l'utilizzo della lingottiera a profilo diritto-curvo

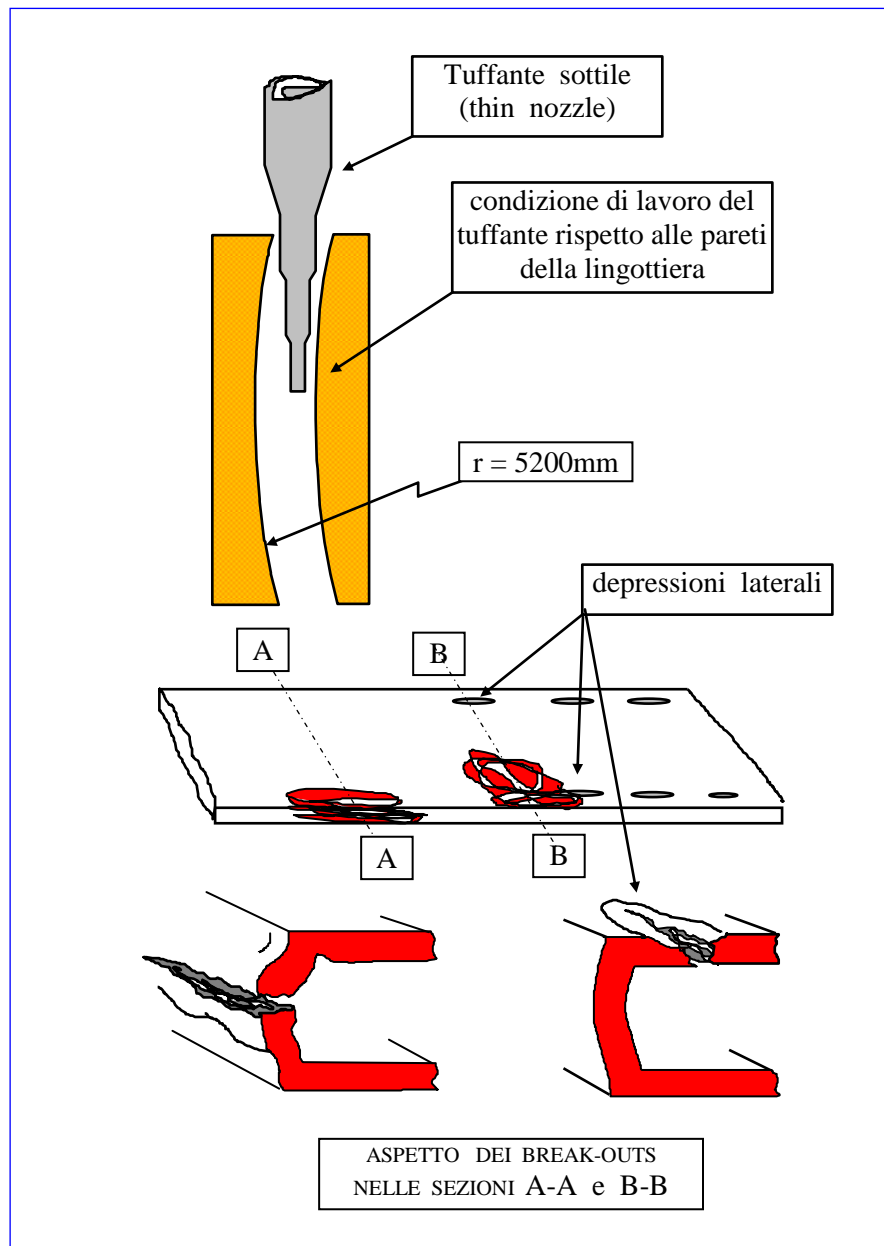


Fig. 22 - Rappresentazione grafica dei problemi emersi durante l'utilizzo della lingottiera con profilo tutto-curvo (bow type)

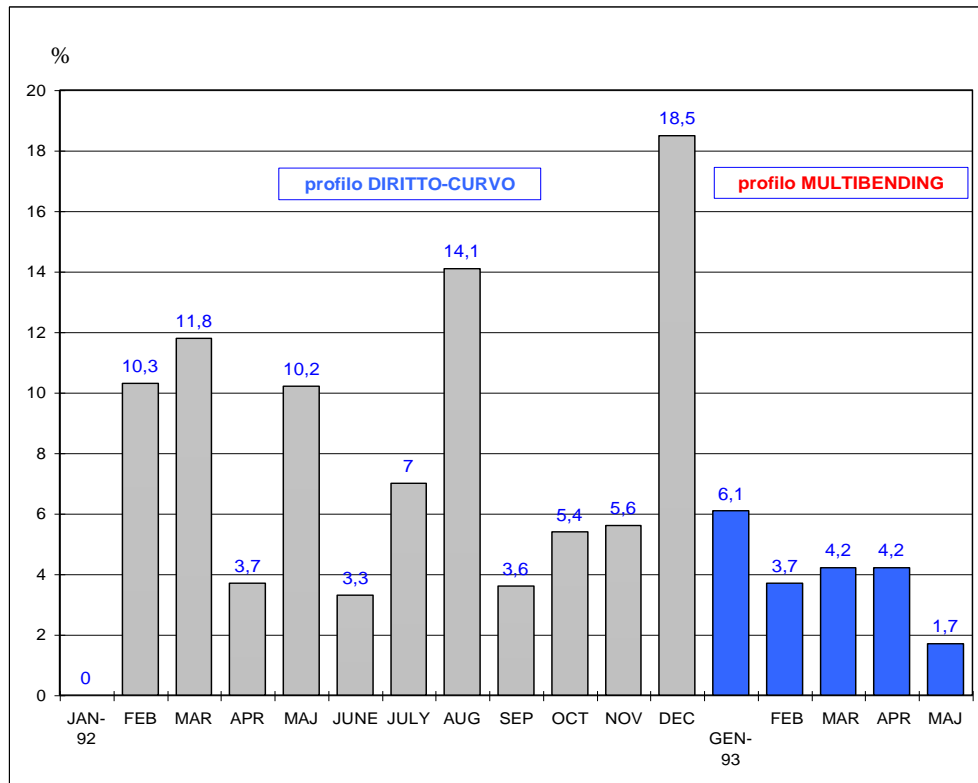
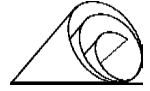


Fig. 23 - Andamento dei break-outs in funzione del profilo verticale della lingottiera

Contemporaneamente e in parte successivamente alle modifiche del profilo verticale della lingottiera, ci si è resi conto che era necessario rivedere anche la bombatura nella sua forma e dimensioni se si volevano realizzare appieno gli obiettivi di progetto. Pertanto si è dato corso ad una serie di prove per ottimizzare questo particolare della lingottiera la cui evoluzione è di seguito riportato.



BOMBATURA DELLE FACCE LARGHE

La bombatura della lingottiera é stata oggetto di notevoli attenzioni perché fin dalle prime fasi si é visto che la sua forma e dimensione potevano influenzare l'equilibrio termico della bramma.

Le modifiche attuate nel tempo hanno interessato sia la forma della bombatura sia le sue dimensioni.

In particolare si é lavorato sulla larghezza, sulla lunghezza, sulla profondità e sui raggi di raccordo con le parti laterali ove si collocano le spallette, con lo scopo di garantire il corretto contatto tra bramma e lingottiera. Condizione primaria per ottenere una buona uniformità termica e di conseguenza limitare la formazione di grossolani difetti superficiali ed interni.

Per quanto concerne la bombatura, due sono state le tipologie più a lungo sperimentate; una a forma di scudo più o meno larga o lunga, ma sempre riconducibile a questa forma iniziale e una rettangolare, rispettivamente denominate AR4 e AR9.

La Fig. 23A mostra queste bombature, tre del il tipo AR4 e una tipo AR9.

Il modello AR9 é la diretta evoluzione del precedente modello ed é caratterizzata da una bombatura più profonda, introdotta per poter utilizzare tuffanti maggiorati in grado di consentire il colaggio in sequenza di 6 colate e più.

I miglioramenti ottenuti con questa modifica abbinata al tuffante maggiorato, si possono così sintetizzare:

- velocità di colaggio più elevata,
- maggiore stabilità degli scambi termici,
- menisco meno disturbato
- elevata produttività dell'impianto.

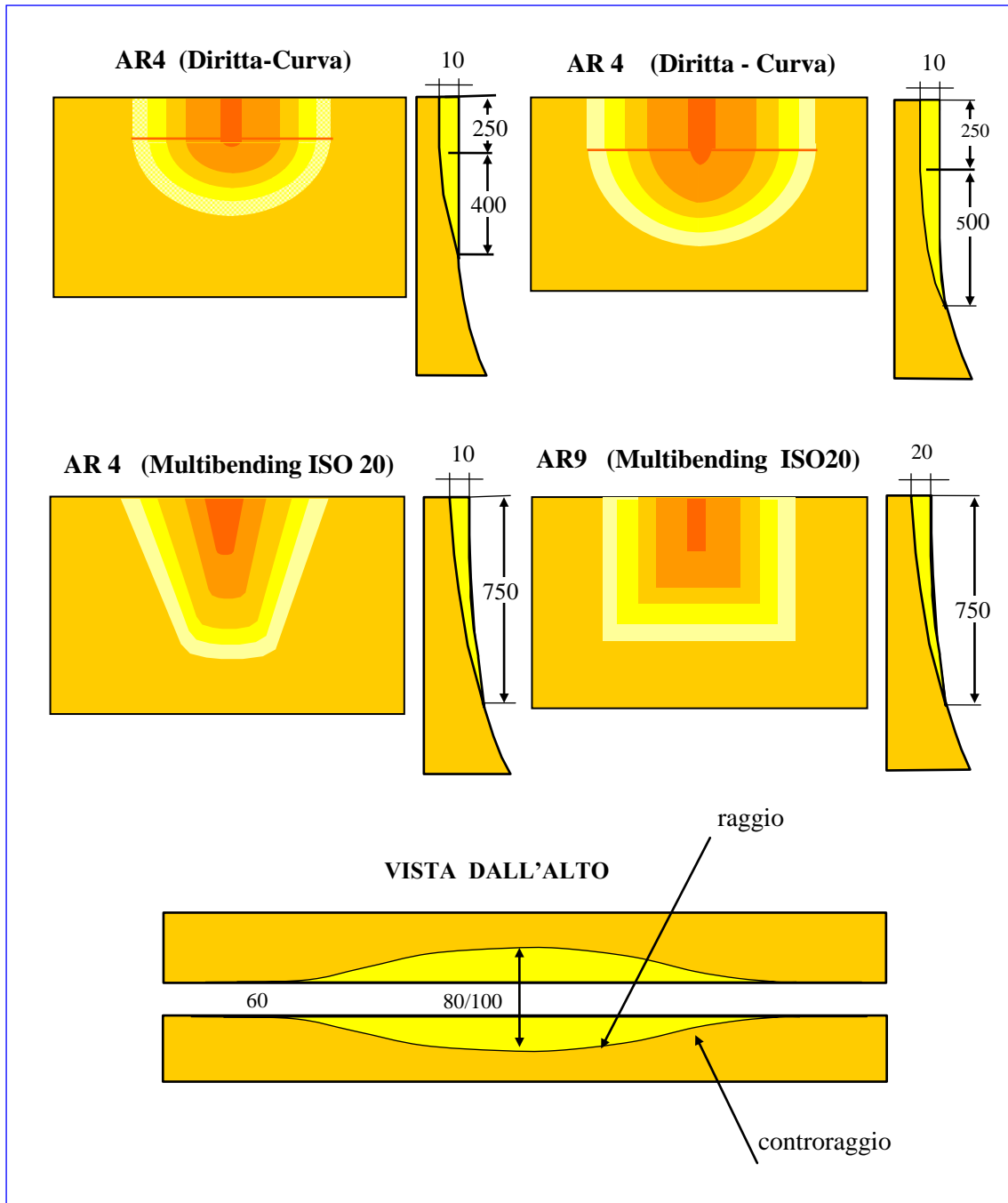


Fig. 23A - Rappresentazione grafica delle tipologie di bombatura sperimentate nella fase iniziale della produzione I.S.P.



PROFILO DELLE FACCE STRETTE (Spallette)

Anche il profilo delle facce strette (profilo orizzontale) è stato oggetto di modifiche, essendo risultato non idoneo per garantire la completa saldatura degli spigoli, infatti nella fase iniziale era formato da un raggio di 80 mm senza raccordarsi completamente alle facce larghe e questo non consentiva il normale ritiro del materiale, Fig. 24.

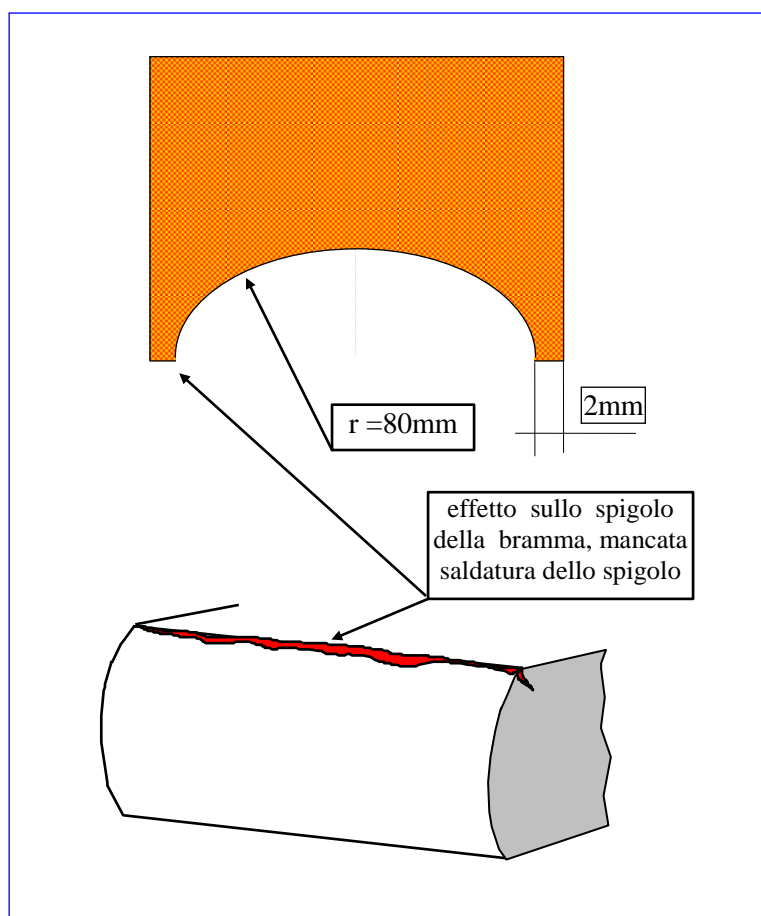


Fig. 24 - Forma del profilo orizzontale della faccia stretta e la sua influenza sulla solidificazione dello spigolo della bramma

Successivamente, aumentando il raggio da 80 a 120 mm, si era raccordato completamente la faccia stretta alla faccia larga (Fig. 25), ma la forma troppo acuminata dello spigolo ne causava la deformazione durante il colaggio con conseguente infiltrazione dell'acciaio liquido tra spalpetta e faccia larga che a sua volta bloccava e portava alla rottura lo spigolo della bramma.

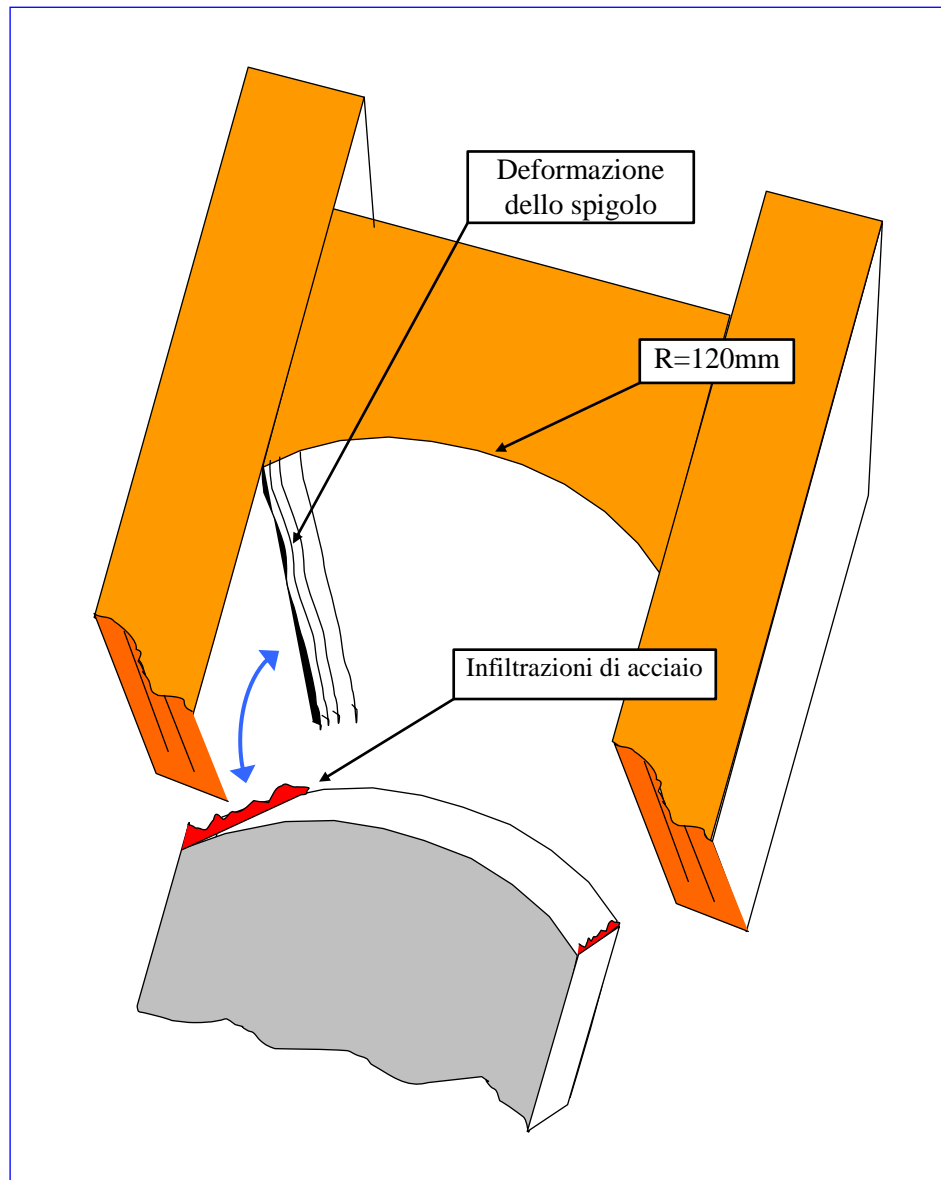
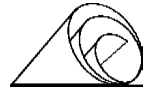
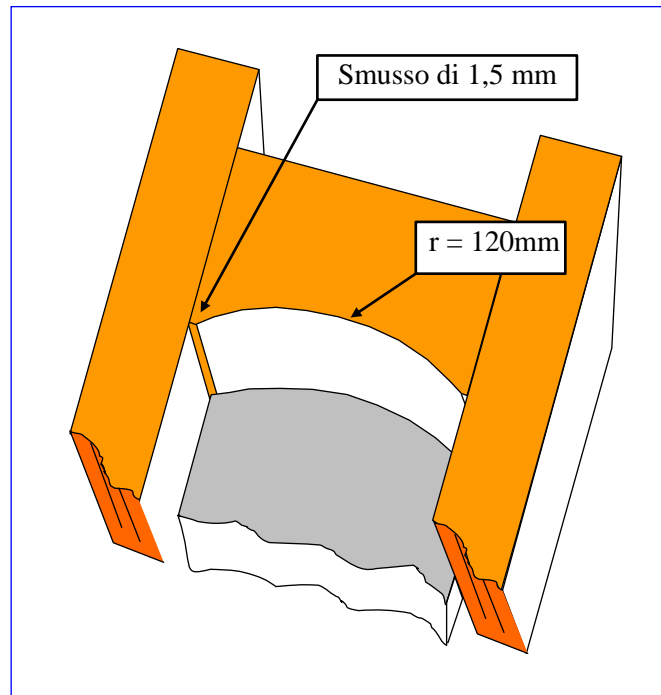
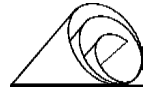


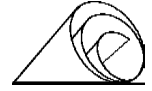
Fig. 25 - Effetto dello spigolo acuminato con le infiltrazioni laterali che causavano il bloccaggio e la rottura dello spigolo

Tale problema è stato risolto smussando leggermente lo spigolo della spalletta con un tratto piano di 1,5 mm così come evidenziato in Fig. 26.

Tale modifica è tuttora in uso con risultati soddisfacenti.



*Fig. 26 - Aspetto della bramma dopo le modifiche
allo spigolo delle facce strette*



MATERIALI

Il materiale utilizzato per la costruzione delle piastre della lingottiera è il rame, legato con cromo e zirconio in percentuale dello 0,70% e dello 0,15% circa.

Materiale, quindi, abbastanza normale senza particolari caratteristiche, che richiede però un trattamento termico appropriato per essere sfruttato al meglio.

Infatti, a seguito di questo trattamento i due elementi di lega precipitano sotto forma di particelle sferoidali la cui dimensione e disposizione può influenzare l'elasticità del materiale favorendo o meno la formazione delle cricche termiche nella zona del menisco.

Problema questo legato anche altri fattori, come ad esempio l'assorbimento dello zinco da parte del rame durante il colaggio che ha una notevole influenza su tale fenomeno, oppure al tipo di polvere di colaggio utilizzata, ma in buona parte legato anche all'aspetto microstrutturale del materiale.

Nelle Fig. 27 e 28 sono rappresentate le microstrutture di due piastre il cui comportamento nei confronti delle cricche termiche è stato completamente diverso, nonostante le condizioni operative fossero le stesse.

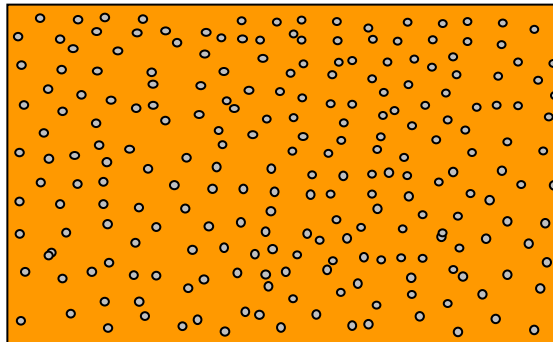
La prima, con poche cricche in zona menisco, la seconda, con una presenza decisamente superiore tale da far pensare a qualche differenza del materiale base che componeva le due piastre, come appunto è stato rilevato dall'esame microscopico.

Quanto evidenziato dai nostri controlli è stato a suo tempo analizzato e discusso con il fornitore il quale ha rivisto le metodologie di lavorazione e trattamento del materiale base al fine di evitare il ripetersi di tale anomalie.

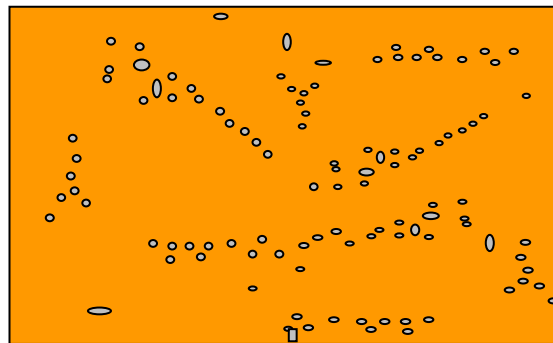
Uno dei provvedimenti intrapresi che ha influito positivamente sul fenomeno delle cricche termiche, è stato quello della laminazione incrociata dei lingotti o delle bramme di rame grezzo (Fig. 29).

In tal caso le fibre dell'ultima passata erano sempre opposte al senso di lavoro delle piastre della lingottiera, mentre in precedenza tale posizione era casuale e quindi poteva coincidere anche con il senso di lavoro favorendo una certa predisposizione alla formazione di cricche.

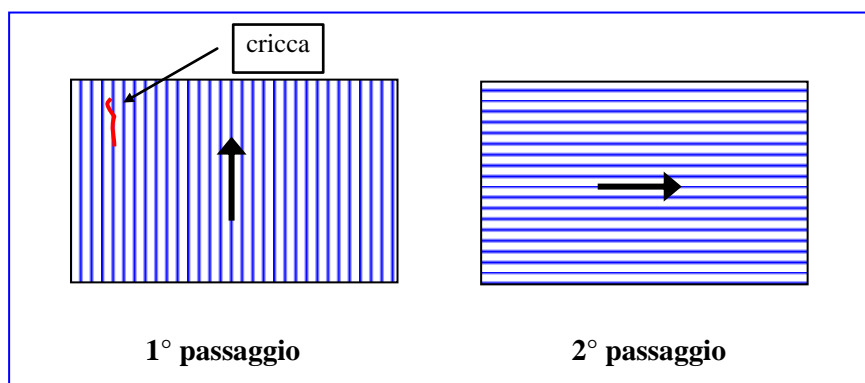
Nella tabella di Fig. 30 sono riportate le caratteristiche tecnologiche del materiale utilizzato per le piastre della lingottiera tipo AR4 e AR9 multibending.



*Fig. 27 - Condizione ottimale
precipitati di forma globulare senza orientamenti preferenziali
(cricche termiche assenti o in forma molto ridotta)*



*precipitati di forma mista disposti al contorno dei grani primari
(presenza di cricche termiche molto evidenti > 25 mm)*



*Fig. 29 - Senso di laminazione delle piastre della lingottiera.
Il 2° passaggio rappresenta il passaggio finale con andamento delle fibre
trasversali al senso di colaggio e di formazione delle cricche*



***Analisi Chimica (%)**

Cr	Zr	Cu
0.60÷0.70	0.10÷0.20	rimanenza

*** Caratteristiche Meccaniche e Fisiche**

Carico di Rottura R N/mm ²	Carico di Snervamento Rp 02% N/mm ²	Allungamento Ap 5 %	Durezza 2.5 / 62.5 HB	Conducibilità elettrica m/Ωmm ²
380/450	260/310	22/28	120/130	45/55

* (dati certificati dal fornitore)

Fig. 30 - Caratteristiche tecnologiche delle piastre di rame della lingottiera



PRINCIPALI PROBLEMI INCONTRATI

In prevalenza le problematiche emerse durante l'utilizzo della lingottiera sono state di due tipi:

- **Legati alla forma della lingottiera** - scambi termici irregolari per mancanza di contatto tra bramma e lingottiera, break-outs di spigolo e per incollaggio.
- **Dovuti ai materiali** - usura nelle zone laterali delle facce larghe in zona menisco causate da alcune polveri di colaggio particolarmente aggressive nei confronti del rame.
Presenza di cricche termiche nelle stesse zone dovute al materiale base e alla diffusione dello zinco nel rame, proveniente dall'acciaio e dalle polveri di colaggio.
Usura dello spigolo delle facce strette in corrispondenza del menisco, dovute al materiale base e usura della parte inferiore nella posizione "Back" dovute all'azione erosiva della bramma in fase di uscita.

CONDIZIONI OPERATIVE - parametri e impostazioni varie.

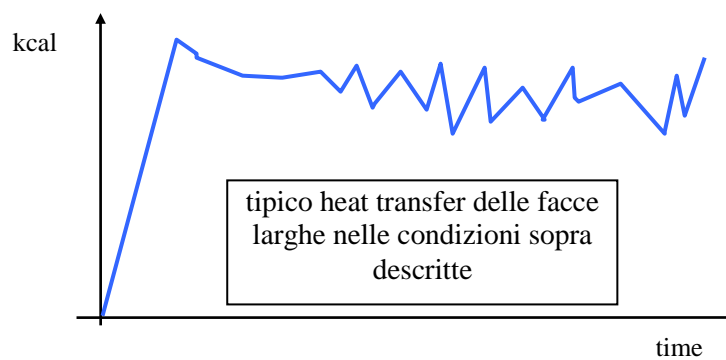
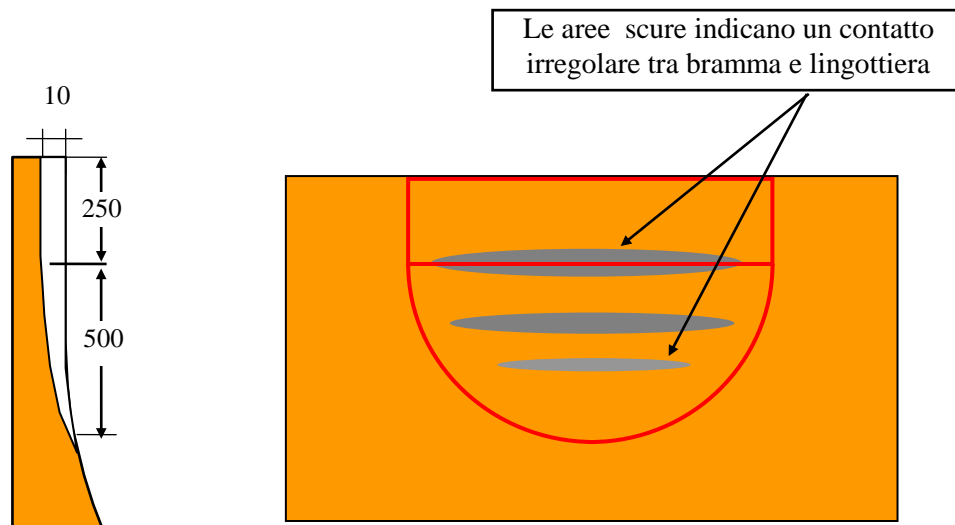
CONSUMO DELLE PIASTRE - usura, rilavorazione eccetera.



PROBLEMI LEGATI ALLA FORMA DELLA LINGOTTIERA

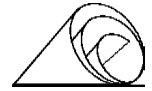
(scambi termici irregolari per contatto irregolare tra bramma e lingottiera)

LINGOTTIERA : AR4 Diritta- Curva



PROVVEDIMENTI ADOTTATI

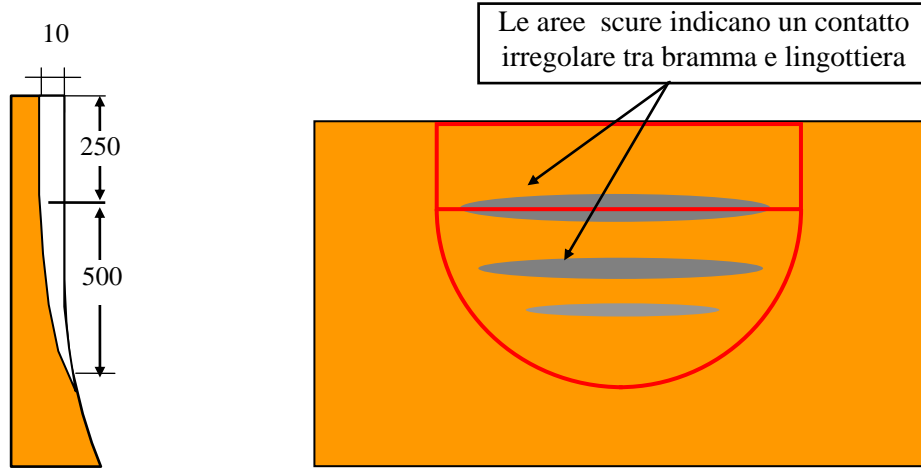
Modificato la forma della lingottiera da “**diritta - curva a multibending**”, prima con il modello AR4 e poi con modello AR9



PROBLEMI LEGATI ALLA FORMA DELLA LINGOTTIERA

(break-outs di spigolo e incollaggio in lingottiera)

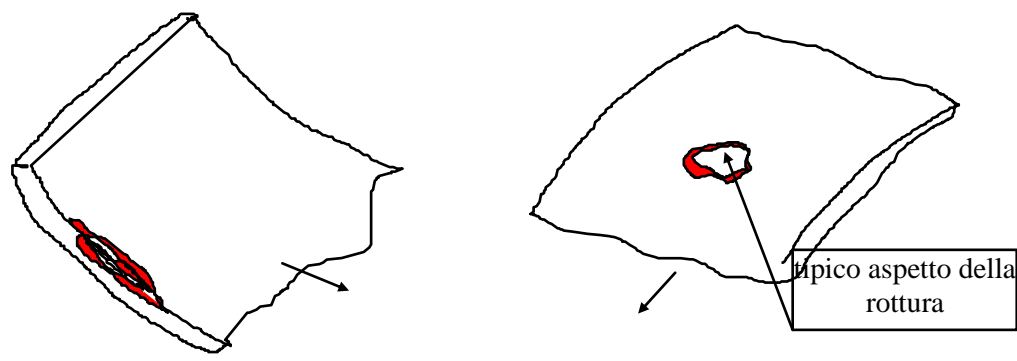
LINGOTTIERA : AR4 Diritta- Curva



Le aree scure indicano un contatto irregolare tra bramma e lingottiera

break-out di spigolo che si verificava quando la bramma passava dal tratto dritto a quello curvo.

break-out a centro faccia per incollaggio della bramma alla parete della lingottiera causato dal contatto irregolare.



tipico aspetto della rottura

PROVVEDIMENTI ADOTTATI

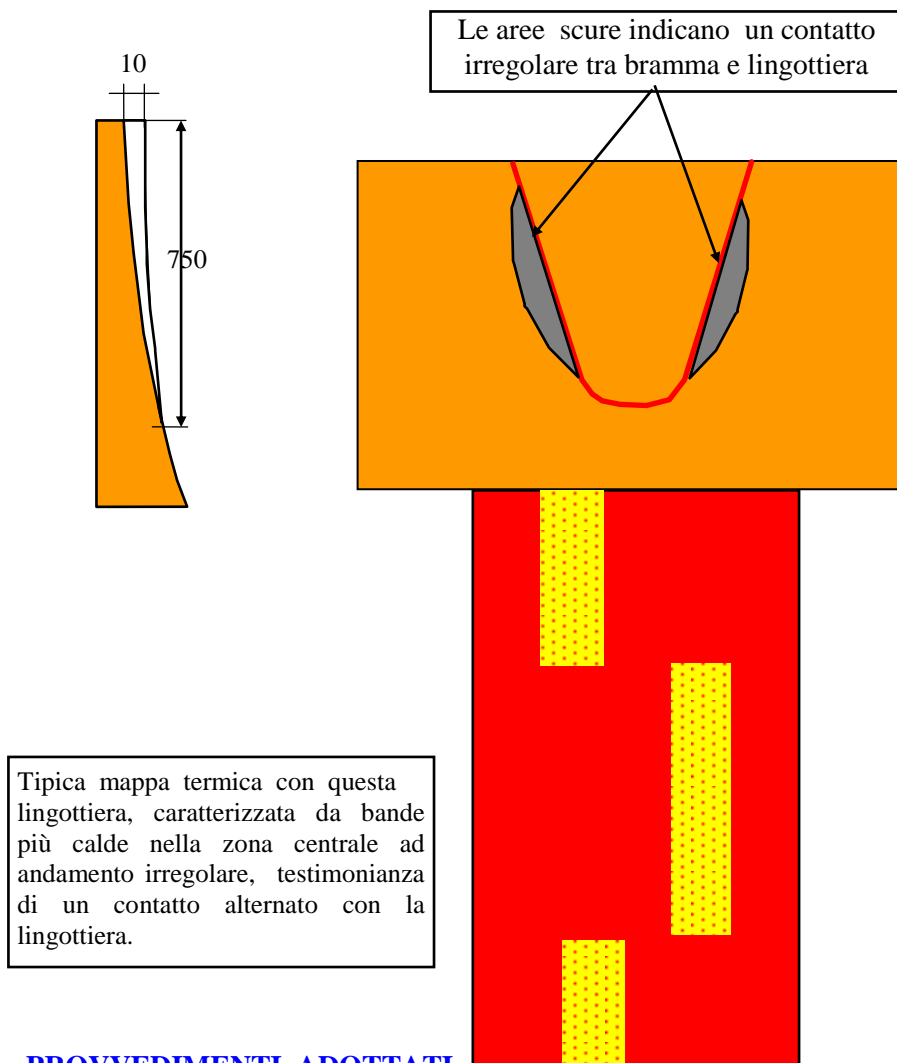
Modificato la forma della lingottiera da “diritta-curva in multibending” e la forma della bombatura, prima con il modello AR4 e poi con il modello AR9



PROBLEMI LEGATI ALLA FORMA DELLA LINGOTTIERA

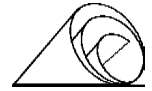
(Instabilità termica della bramma per contatto irregolare con la lingottiera)

LINGOTTIERA : AR4 D Multibending



PROVVEDIMENTI ADOTTATI

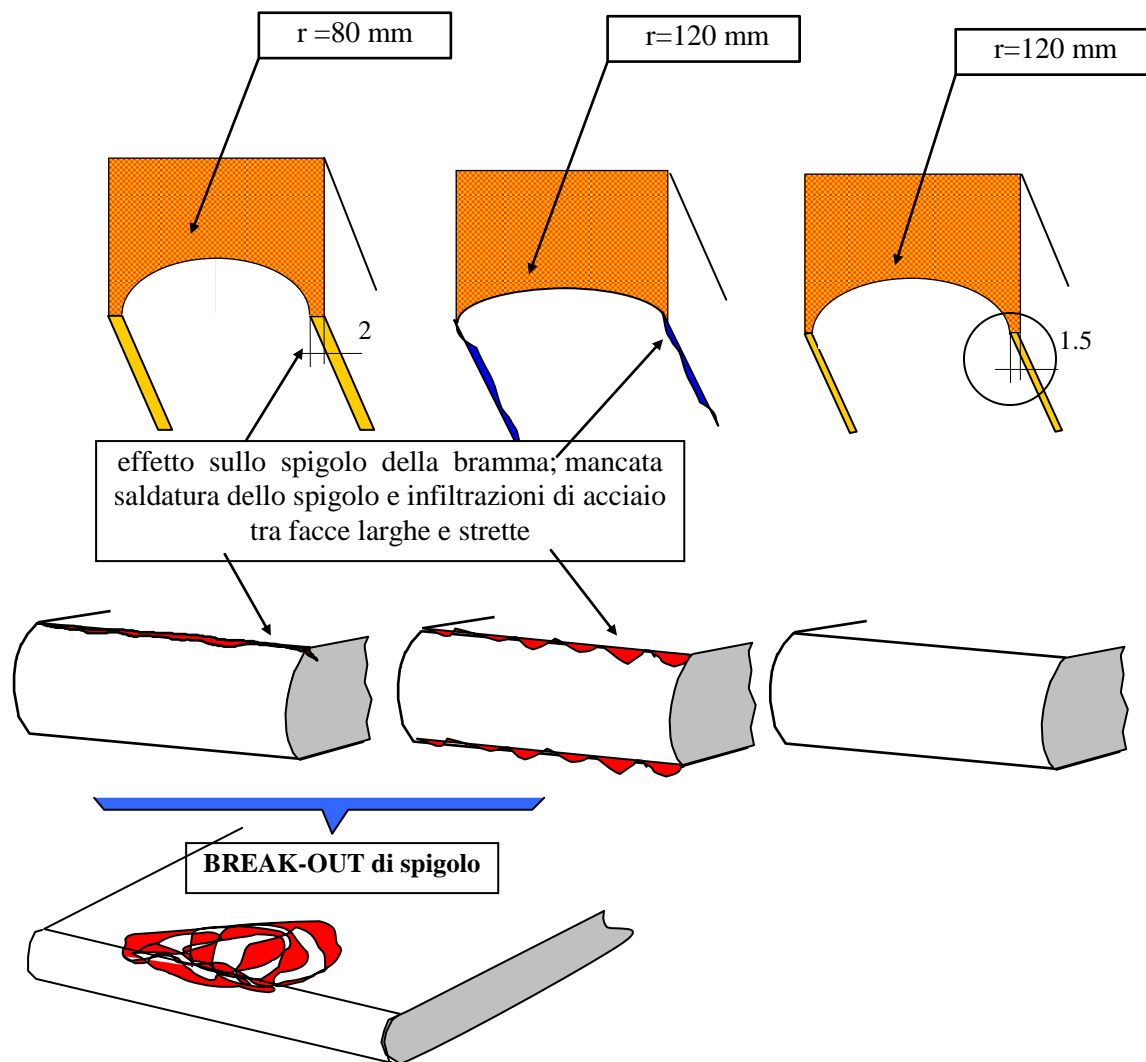
Modificato la forma della bombatura da AR4 a AR9



PROBLEMI LEGATI ALLA FORMA DELLA LINGOTTIERA

(break-outs e cricche di spigolo)

LINGOTTIERA : AR4 Diritta- Curva



PROVVEDIMENTI ADOTTATI

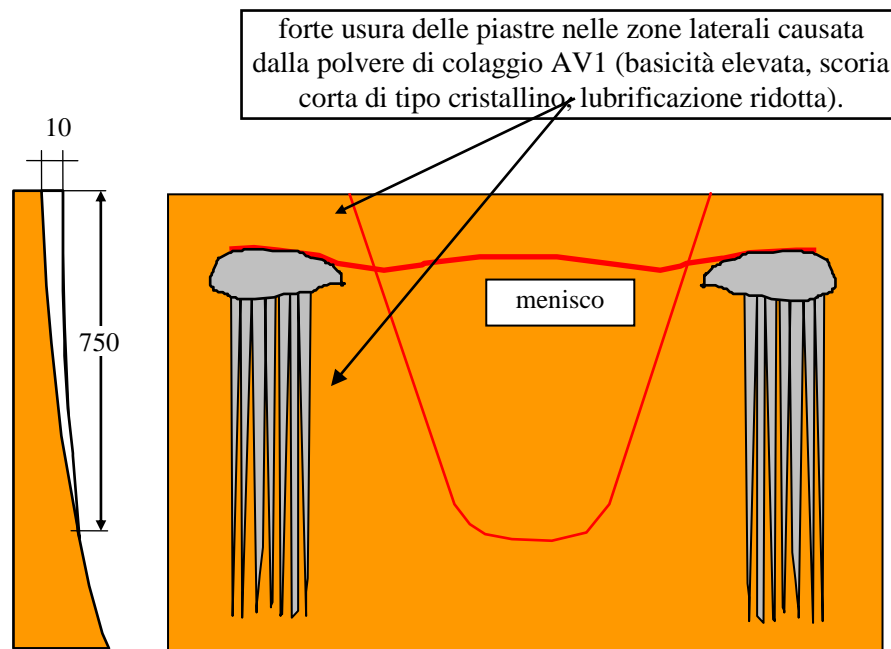
Modificato la forma della faccia stretta aumentando il raggio di curvatura da 80 mm a 20 mm e ridotto il gradino frontale da 2 a 1,5 mm



PROBLEMI LEGATI AI MATERIALI

(effetto della polvere di colaggio Stolberg AV1 sulla superficie della lingottiera)

LINGOTTIERA : AR4 D Multibending



PROVVEDIMENTI ADOTTATI

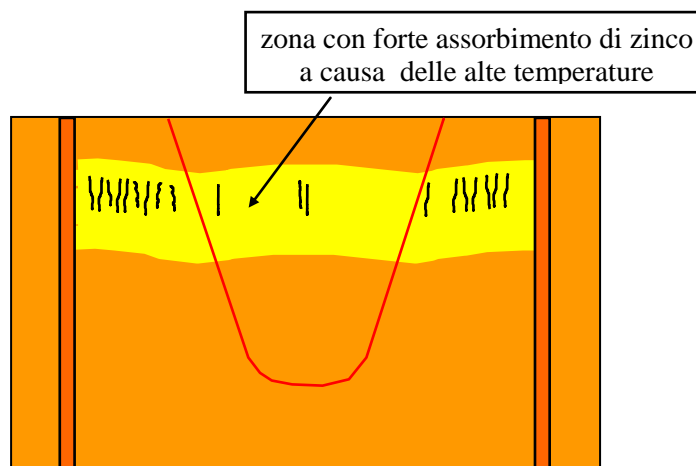
Utilizzato polveri con temperatura di cristallizzazione più elevata.



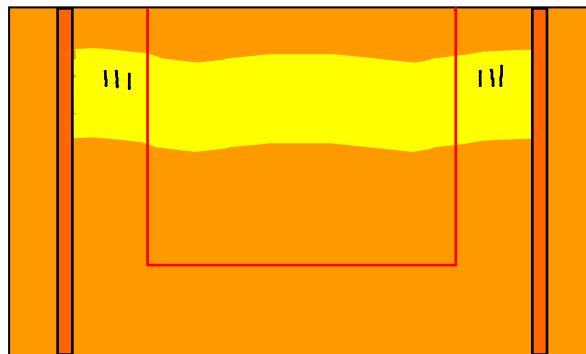
PROBLEMI LEGATI AI MATERIALI

(Presenza delle cricche termiche lungo
la linea del menisco della lingottiera)

LINGOTTIERA : AR4 D Multibending (prima delle modifiche)



LINGOTTIERA : AR9 Multibending (dopo le modifiche)



PROVVEDIMENTI ADOTTATI

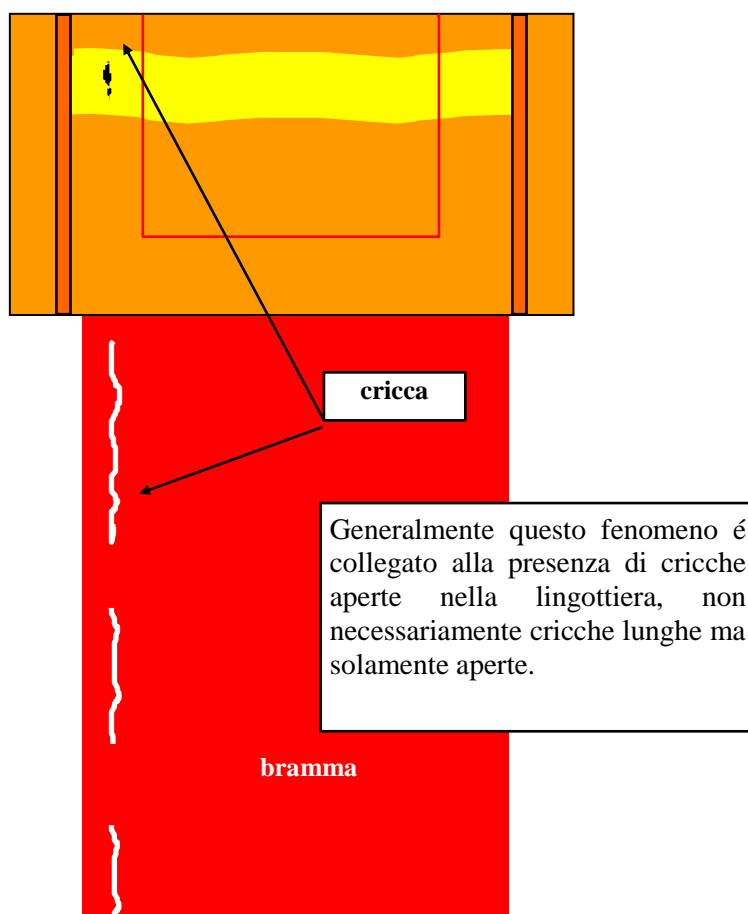
Modificato uscita canali di raffreddamento, raffreddamento bande porta-tiranti, carico e sistema di tiraggio dei tiranti (vedere figure 12 a 17), utilizzato rame più tenero legato al CrZr, distribuito equamente il numero delle colate per montaggio, max 40.



PROBLEMI LEGATI AI MATERIALI

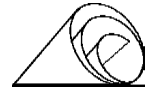
(presenza di cricche sulla bramma in corrispondenza delle cricche della lingottiera, cricche aperte)

LINGOTTIERA : AR9 Multibending



PROVVEDIMENTI ADOTTATI

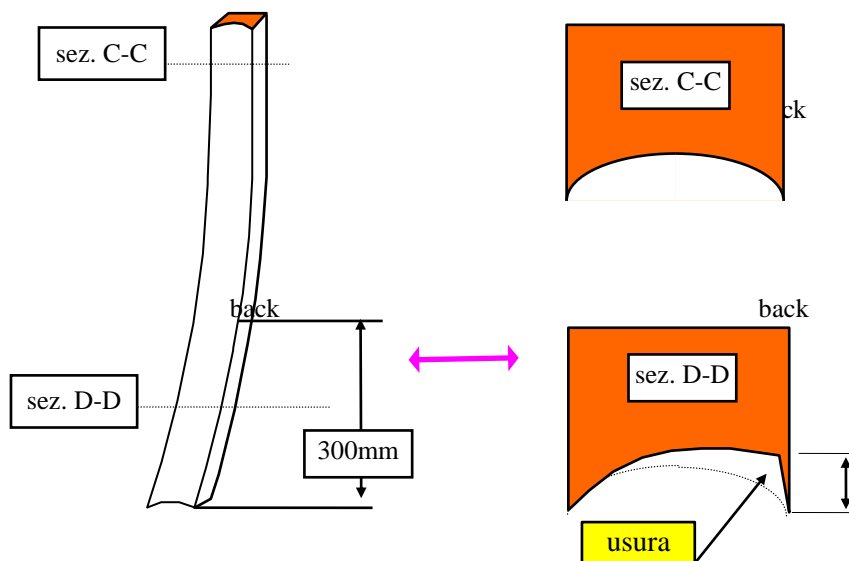
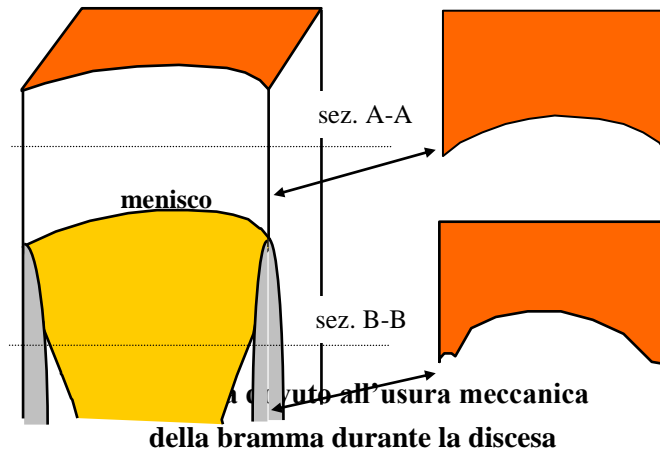
Modificato uscita canaletti di raffreddamento (vedere Fig.12), utilizzato rame più tenero legato al CrZr, distribuito equamente il numero delle colate per montaggio, max 40.



PROBLEMI LEGATI AI MATERIALI

(Usura delle facce strette in corrispondenza del menisco e nella parte inferiore)

Problema dovuto alla qualità del materiale



PROVVEDIMENTI ADOTTATI

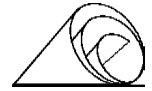
Il primo caso é stato risolto utilizzando lo stesso materiale delle facce larghe, rame legato con CrZr, il secondo allineando meglio il segmento TTS con la lingottiera, rimane tuttavia ancora un cenno di usura dovuto al movimento delle bramma durante l'estrazione ma in misura più contenuta.



CONDIZIONI OPERATIVE
con LINGOTTIERA AR9 Multibending 60/100 mm

ACCIAI BASSO CARBONIO (C ≤ 0.07 %)

Larghezza nastro (nominale)	: 1250 mm
Distanza tra le facce larghe(tratto parallelo)	: 60 mm
Conicità facce larghe	: 0 mm
Conicità facce strette	: 7 mm (sopra 1304 mm, sotto 1290 mm)
Serraggio Lingottiera(per bullone)	: 6 tonnes
Frequenza di oscillazione	: 325 cicli/min
Ampiezza di oscillazione	: ± 3,5 mm
Raffreddamento facce larghe	: 5400 l / min
Raffreddamento facce strette	: 190 l / min
Ultimo rullo della riduzione a cuore liquido da 60 a 43mm	: n. 15
Velocità di colaggio	: 5.0 m/min
Tuffante	: Vesuvius XD0 6382
Polvere di colaggio	: Stollberg AV1 B+AVI T
Controllo livello lingottiera	: ± 3 mm



CONDIZIONI OPERATIVE
con LINGOTTIERA AR9 Multibending 60/100 mm

ACCIAI MEDIO CARBONIO (C > 0.10 < 0.50 %)

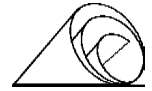
Larghezza nastro (nominale)	: 1250 mm
Distanza tra le facce larghe (tratto parallelo)	: 60 mm
Conicità facce larghe	: 0 mm
Conicità facce strette	: 7 mm (sopra 1304mm, sotto 1290 mm)
Serraggio Lingottiera(per bullone)	: 6 tonnes
Frequenza di oscillazione	: 283 cicli/min
Ampiezza di oscillazione	: ± 3.0 ÷ 3.5 mm
Raffreddamento facce larghe	: 5000 l / min
Raffreddamento facce strette	: 190 l / min
Ultimo rullo della riduzione a cuore liquido da 60 a 43mm	: n. 15
Velocità di colaggio	: 4.1 m/min
Tuffante	: Vesuvius XD06457
Polvere di colaggio	: Stollberg AP1 + HK10B
Controllo livello lingottiera	: ± 3 mm



**PREPARAZIONE DELLA LINGOTTIERA IN FUNZIONE
DELLA LARGHEZZA DEL NASTRO**

ACCIAI BASSO E MEDIO CARBONIO (C < 0.50 %)

Larghezza nastro (nominale)	Misure lingottiera		Conicità facce strette (‰)	Conicità facce larghe (‰)
	alto	basso		
1030	1304	1066	5.8	0
1070	1290	1055	5.8	0
1250	1329	1111	7.0	0
1280	1315	1100	7.0	0



CONSUMI

Durata media di un set di piastre completo (facce larghe e strette) della lingottiera AR9 Iso 20: 300 colate circa suddivise in,

- montaggi per set..... : 8
- colate per montaggio..... : 35÷40
- materiale asportato per montaggio..... : 1,3 mm circa
- distanza acqua/acciaio minima utilizzabile..... :
 - Facce Larghe : 9 mm
 - Facce Strette : 9 mm



SVILUPPO DI NUOVI MODELLI

Dopo un lungo periodo di lavoro con la lingottiera “AR9” durata oltre un anno e mezzo (giugno 1994 - febbraio 1996), sono state sperimentate alcune lingottiere, - sempre del tipo “multibending” - diverse fra loro per la forma e la dimensione della bombatura.

La necessità di modificare la lingottiera si è venuta a creare in seguito alla maggiore velocità di colaggio raggiunta con la messa a punto dell’intero sistema (SEN-MOULD-CASTER), in quanto la maggior velocità dei riflussi di acciaio e l’esiguo spazio tra tuffante e lingottiera, alteravano notevolmente la forma del menisco e in particolare l’onda stazionaria laterale.

Infatti, nelle condizioni ottimali raggiunte con la lingottiera AR9 con luce tra le piastre di 60/100 mm (vedere Fig. 31) e velocità di colaggio 4,7 m/min, il menisco presentava dislivelli di 30 mm e oltre.

Condizione che alterava il comportamento delle polveri di colaggio in conseguenza di una distribuzione anomala dello strato liquido e delle diverse velocità del flusso, con ripercussioni sulla qualità della bramma causate dalla lubrificazione disomogenea che si veniva a creare nei vari punti della lingottiera.

In particolare era favorita la formazione di cricche longitudinali, marche di oscillazione nelle zone laterali molto profonde che in fase di laminazione si aprivano dando luogo strappi trasversali, intrappolamenti di polvere, disomogeneità termica ecc..

La Fig. 32 mostra la condizione tipica di questa situazione, mentre le Figg. 32a e 32b mostrano gli effetti conseguenti sulla bramma.

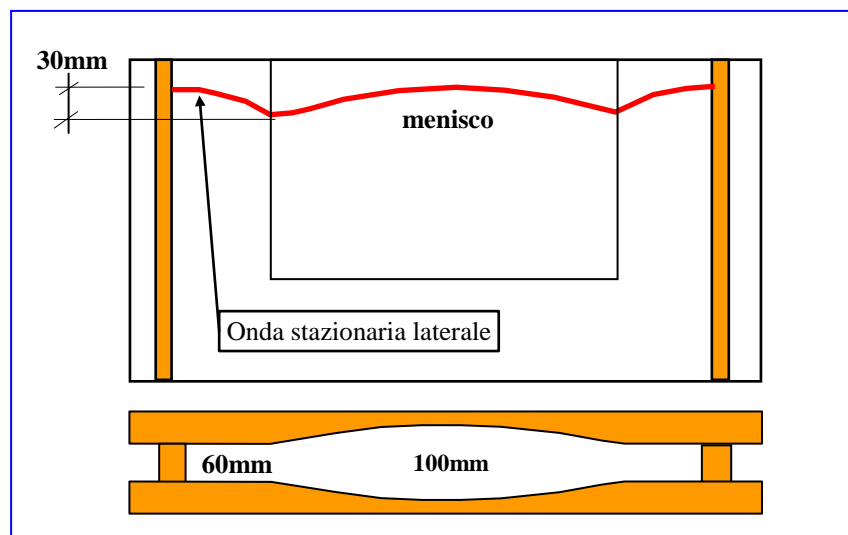


Fig. 31 - Tipico aspetto del menisco utilizzando la lingottiera AR9 e velocità di colaggio $\geq 4,7\text{m/min}$

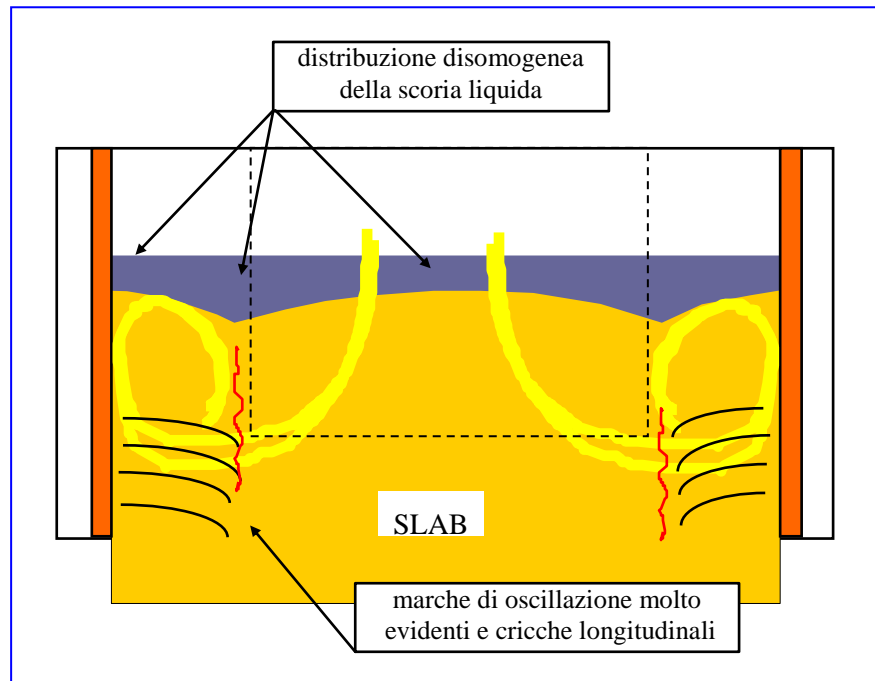


Fig. 32 - Aspetto tipico della scoria liquida e difetti della bramma che si verificavano all' aumentare della velocità di colaggio

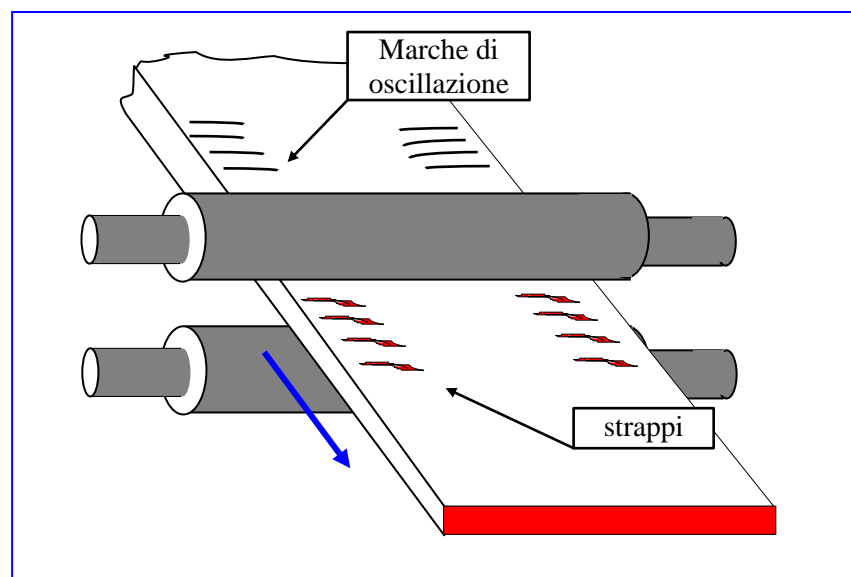


Fig. 32a - Strappi trasversali causati dalle marche di oscillazione troppo profonde

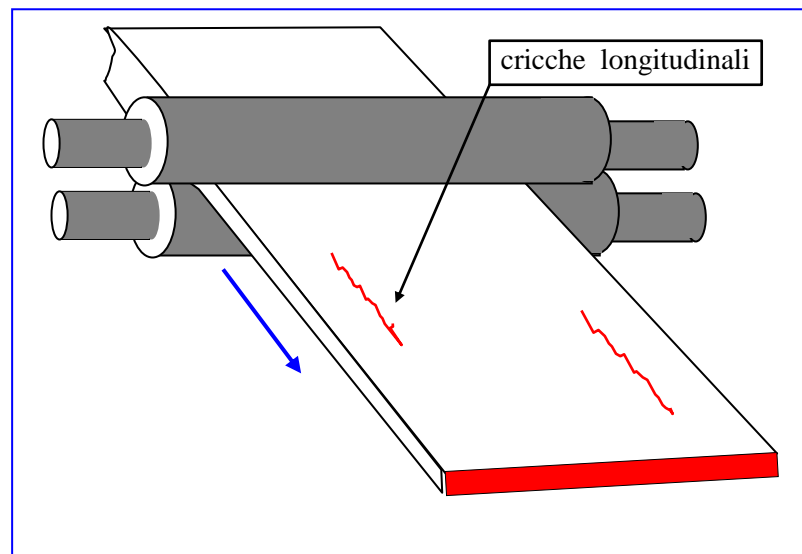
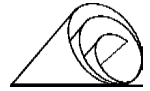


Fig. 32b - Cricche longitudinali in corrispondenza delle depressioni del menisco

Lo sviluppo della lingottiera è iniziato introducendo delle variazioni alla bombatura e in ordine di sperimentazione possono così riassumersi:

- AR10** - con bombatura ellittica fino al piede della lingottiera, profonda da 20 a 0,7 mm e raccordata alle fasce laterali parallele tramite un tratto trapezoidale, luce tra le piastre a livello del menisco 60/100 e 65/105 mm (ultimo test).
- AR11** - bombatura fino al piede non più ellittica ma parallela nella zona centrale, luce tra le piastre al menisco 65/110 mm, profonda da 22,5 a 0,6 mm.
- AR12** - idem come AR11 ma con bombatura decrescente fino a 750 mm dal top e per i restanti 250mm solo una bombatura residua di 0,7 mm.
- AR13** - idem come AR10 ma con la bombatura fino a 750 mm dal top e senza bombatura residua

Le Figg. 33 - 34 - 35 - 36 mostrano queste lingottiere con le differenze che le caratterizzano.

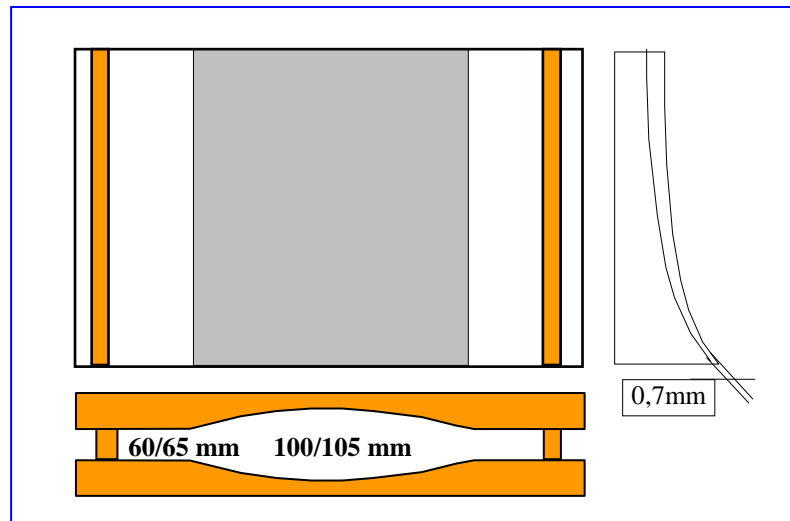


Fig. 33 - Lingottiera AR10

Bombatura a tutta altezza decrescente da 22 mm a 0,7 mm.

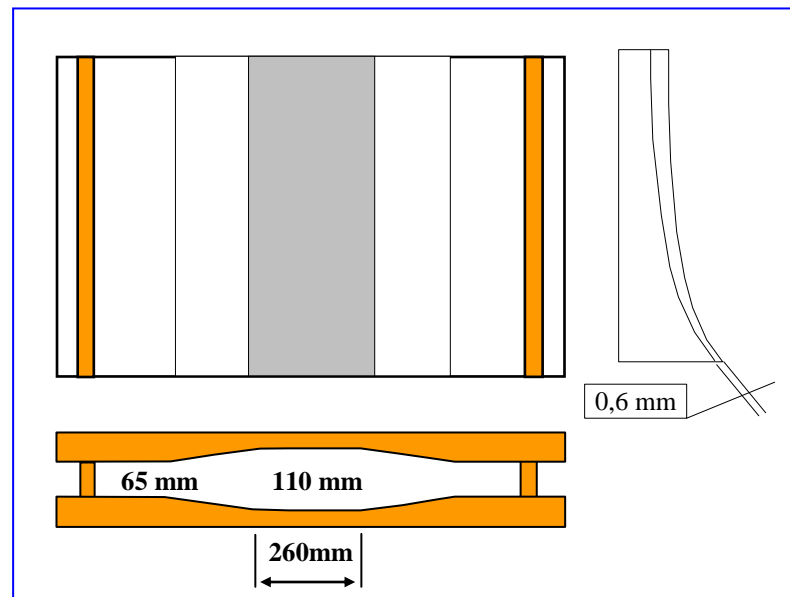


Fig. 34 - Lingottiera AR11

Bombatura a tutta altezza decrescente da 24,5 mm a 0,6 mm.

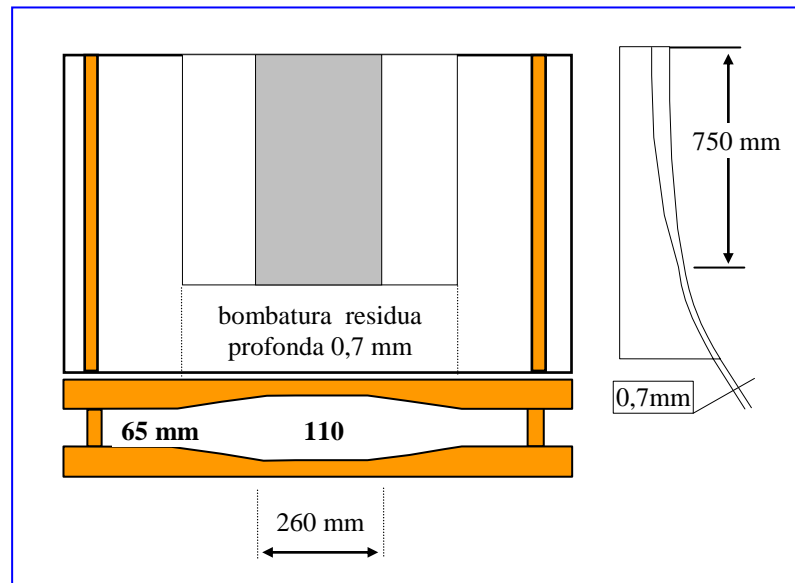
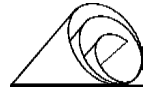


Fig. 35 - Lingottiera AR12

Bombatura residua parallela a partire da 750 mm dal top.

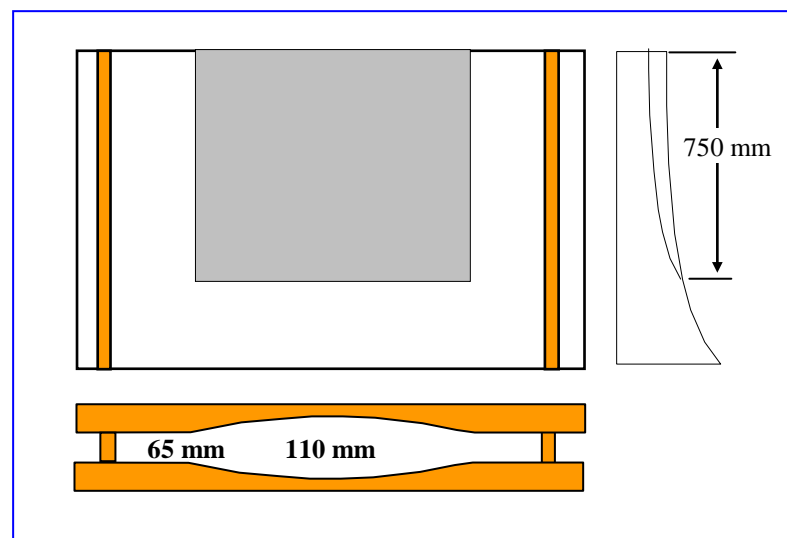
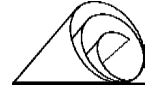


Fig. 36 - Lingottiera AR13

Senza bombatura residua



Dei modelli sopra citati le prime due, la AR10 e 11, sono state subito abbandonate in seguito al fatto che essendo dotate di una bombatura decrescente fino al piede, davano luogo a uno spessore della testa della bramma troppo elevato (la testa si forma a circa 250 mm dal piede e in quel punto la distanza tra le piastre con spallette da 65 mm era di 74 mm), per cui in uscita la testa causava la rottura dei cuscinetti dei rulli al piede, avendo questi una luce di 65 mm.

Con le altre due invece, i test sono proseguiti per circa 6 mesi con risultati più o meno buoni ma senza risolvere il problema dell'ondosità del menisco.

In totale, i test con questa serie di lingottiere sono durati circa 8 mesi (marzo - novembre 1995) e sono serviti per migliorare la stabilità del menisco, favorita anche dall'introduzione di nuovi tuffanti e nello stesso tempo per capire il comportamento dei flussi in lingottiera.

Da questa esperienza è nata una lingottiera definitiva denominata **AR14**, caratterizzata da una bombatura tipo AR12, con luce tra le piastre di 65/125 mm a livello menisco, in grado ospitare agevolmente tuffanti da 60mm di spessore (primi test fine gennaio 1996).

Questa bombatura è stata disegnata con lo scopo di ottenere un menisco molto stabile ed una omogenea fusione della polvere di colaggio in tutte le zone della superficie.

Risultato che è stato ottenuto creando un maggior spazio tra tuffante e parete della lingottiera per dare libero sfogo ai reflussi provenienti dalle zone laterali e, uniformando l'estensione delle aree attorno al tuffante a quelle delle zone laterali, così come evidenziato in Fig. 37.

Il miglioramento delle condizioni di colaggio ottenute con questa lingottiera e un nuovo tuffante denominato SLIM/B2, hanno contribuito a stabilizzare il livello entro limiti di 5-10 mm e ridurre drasticamente i difetti emersi con il precedente modello AR 9.

Le nuove condizioni di colaggio hanno contribuito anche a ridurre l'usura della parete immersa del tuffante, in seguito alla quale è stato possibile colare in sequenza fino a 12 colate, per un totale di oltre 1200 tonnellate e 628 minuti di colaggio ininterrotto, con punte di velocità di 5 m/minuto (ottobre 1996).

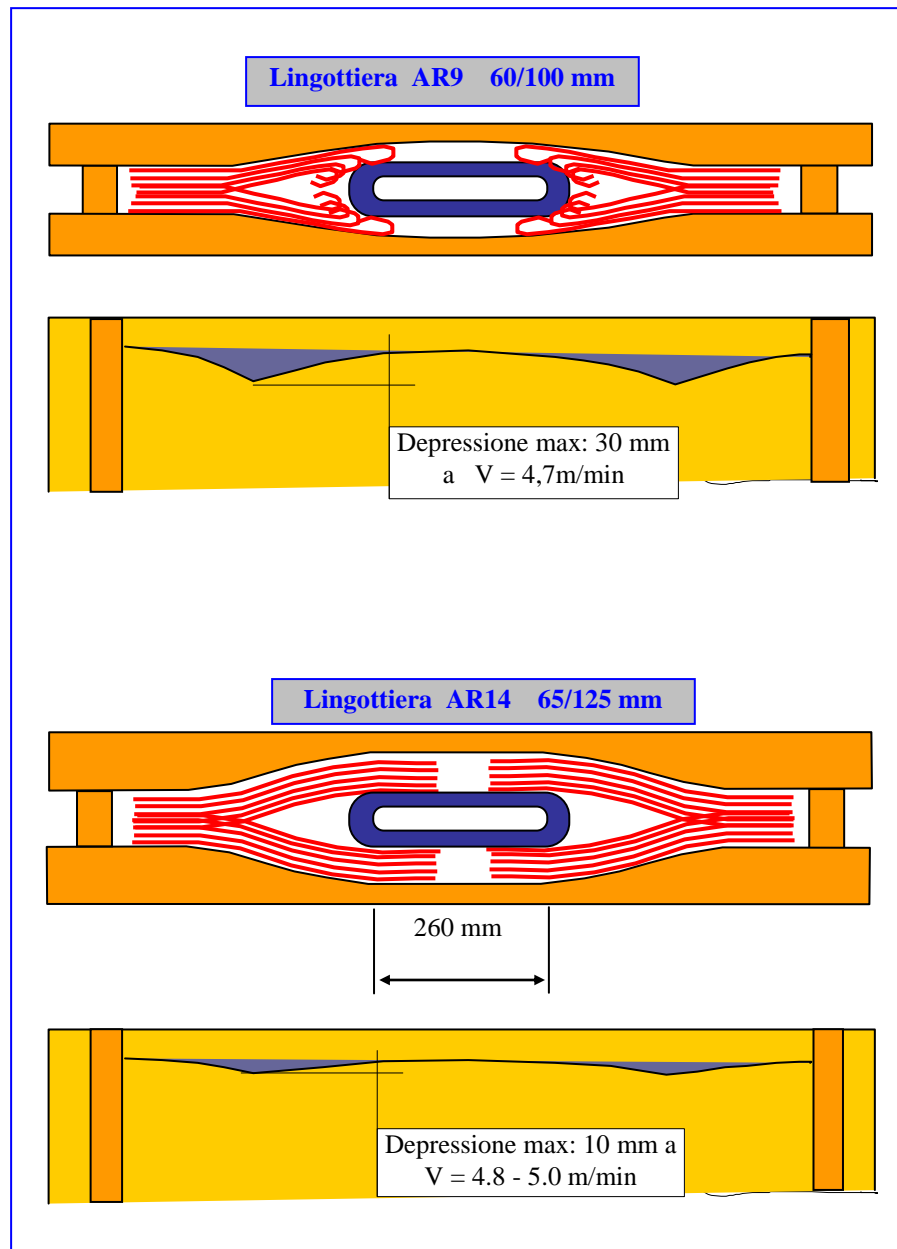
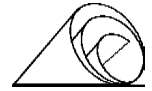


Fig. 37 - Rappresentazione grafica dell'andamento dei flussi di acciaio liquido a livello del menisco in funzione della lingottiera utilizzata AR9 e AR14

Se tutto questo ha portato i benefici sopra descritti tuttavia in conseguenza del notevole incremento della massa liquida in lingottiera e del numero sempre più elevato di colate in sequenza (generalmente 8 colate), si è dovuto modificare il sistema di raffreddamento delle facce larghe e delle facce strette, per evitare alterazioni e deformazioni del materiale base, specialmente nella zona del menisco dove le temperature sono più elevate.



Le prime, modificando la parte alta delle bande porta tiranti, dotandole dove possibile, di un foro da 9 mm di diametro e profondo 400 mm e, dove non possibile, di canaletti particolari così da uniformare il raffreddamento lungo tutta la linea del menisco.

Le seconde invece, aumentando il numero dei fori da 2 a 3, di minor diametro, ma in grado di raffreddare meglio l'intera superficie (3 fori da 13 mm anziché 2 da 18 mm - Figg. 38 e 39).

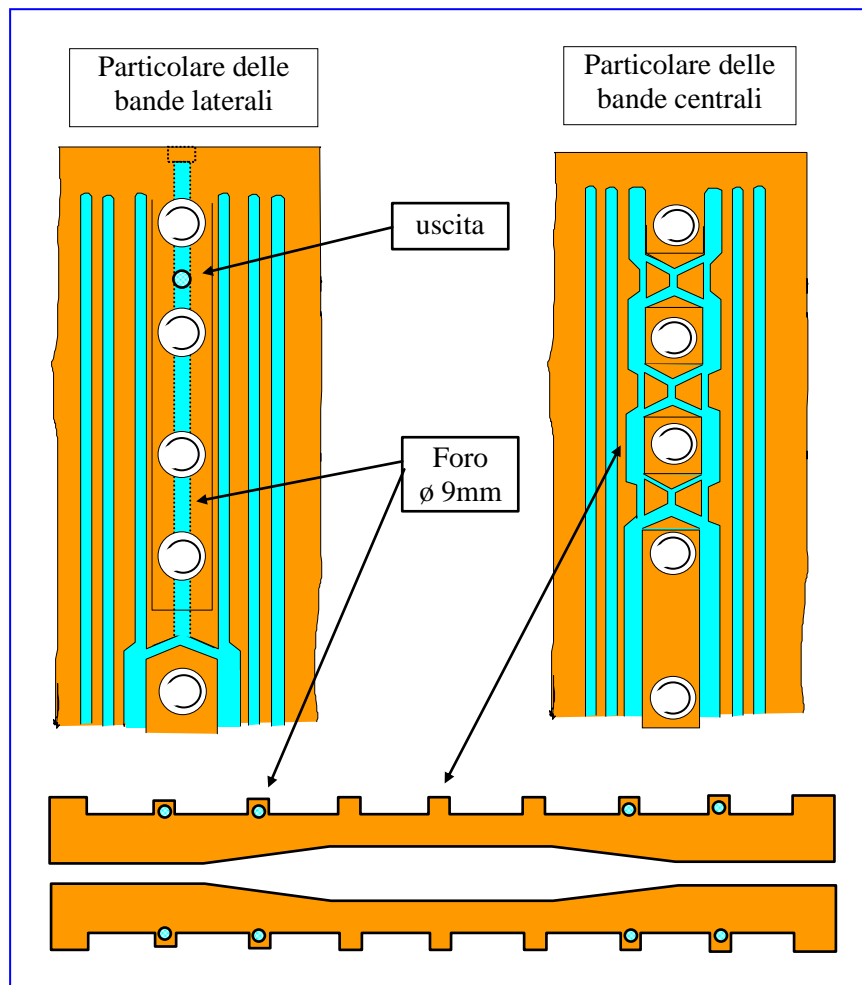


Fig. 38 - Nuovo sistema di raffreddamento della parte alta della Lingottiera **ARI4** (primi 4 fori delle bande portatiranti).

Al fine di uniformare il più possibile il raffreddamento delle barre portatiranti i canaletti di raffreddamento sono stati modificati in funzione della presenza o meno del foro verticale.



In queste condizioni, nonostante il notevole aumento del tempo di colaggio, la durata complessiva delle piastre della lingottiera (facce larghe e strette), ha raggiunto le 350 colate in 9 montaggi.

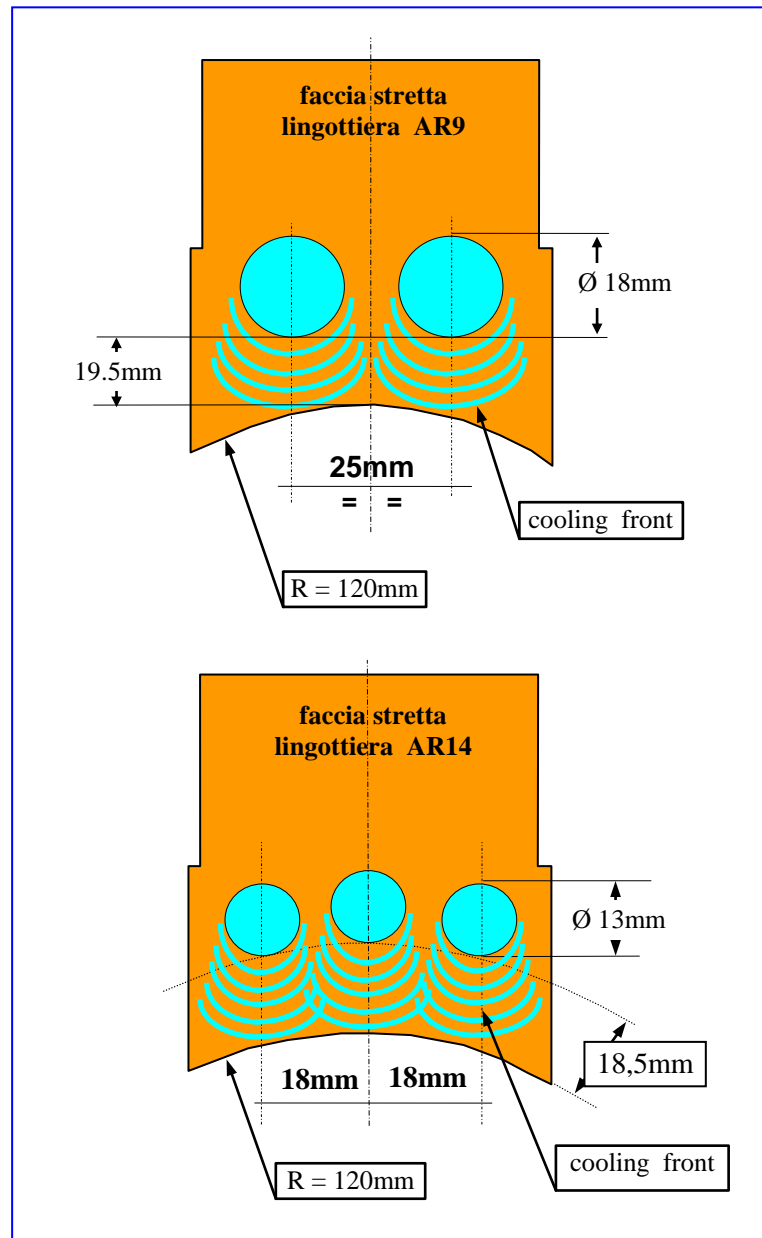
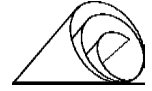


Fig. 39 - Rappresentazione grafica del sistema di raffreddamento delle facce strette delle lingottiere AR 9 e AR 14 (spessore 65 mm).



Nonostante le modifiche al raffreddamento delle facce larghe non è stato eliminato il problema delle cricche termiche nelle zone laterali del menisco, per le quali si sta valutando l'impiego di nuovi materiali meno sensibili a tale fenomeno quali ad esempio il rame legato con l'argento.

Dopo alcuni montaggi della lingottiera AR14 si è notato una certa usura della parte inferiore delle facce strette verso l'intradosso, contrariamente a quanto avveniva con la AR9 con la quale il fenomeno era presente verso l'estradosso (vedere pag. 38).

Si pensa che la probabile causa possa essere il ritiro incompleto della bramma in uscita dalla lingottiera, dovuto alla maggior dimensione della bombatura e l'usura meccanica conseguente alla maggior durata delle sequenze.

Il fenomeno è stato limitato utilizzando spallette di rame legate al **nichel berilio** (CuNiBe).

Visti i notevoli benefici ottenuti con la lingottiera AR14 la cui bombatura era stata allargata in senso trasversale da 100 a 125 mm, si è provato ad ampliare ulteriormente la larghezza del tratto centrale della bombatura in senso orizzontale per meglio favorire il flusso di acciaio in lingottiera. Questa nuova versione denominata AR15, era caratterizzata da una bombatura simile a quella della AR14 ma con un tratto centrale parallelo più lungo (564 mm contro 260 mm, vedere Fig. 40).

Contrariamente alle aspettative questa soluzione è risultata per niente praticabile perché a pochi minuti dalla partenza si è verificato un grosso break-out che ha costretto alla sospensione del test.

Dall'analisi dei dati e dalla diretta osservazione della bramma si è capito che il raccordo con le zone laterali era troppo corto, per cui la pressione ferrostatica sulle pareti in quel punto era minore che in altre zone e questo favoriva il distacco della pelle dalla parete della lingottiera alterando il raffreddamento della stessa e il suo graduale ritiro, causando durante il passaggio nelle sezioni sottostanti sempre più piccole, la formazione di profondi avvallamenti con cricche da ritiro dalle quali si è innescato il break-out.

Nella Fig. 41 sono rappresentati graficamente queste condizioni come da noi interpretate. In seguito ai risultati negativi di questo test questa versione è stata abbandonata.

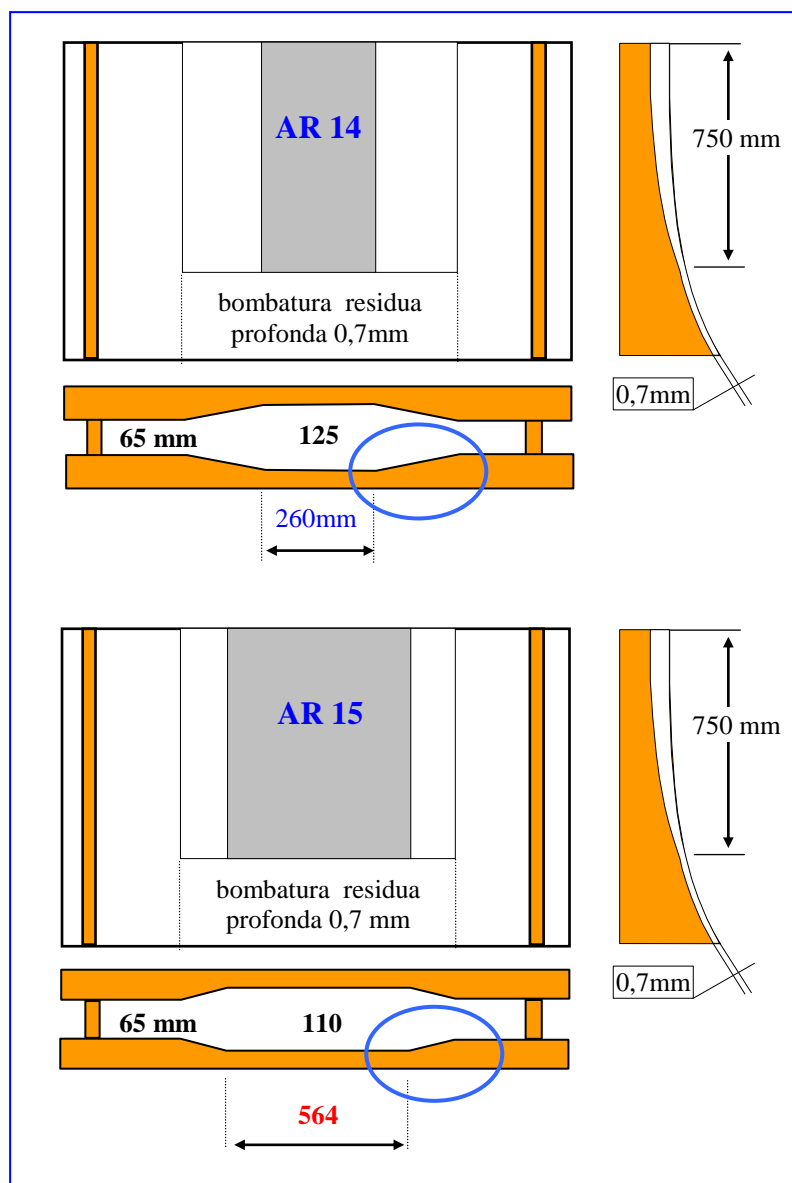


Fig. 40 - Rappresentazione grafica delle lingottiere AR14 e AR15 con evidenziate le differenze esistenti tra le bombature

Nonostante il test sia stato negativo è servito per evidenziare che esiste un limite alle dimensioni della bombatura, ma in particolare al rapporto tra la lunghezza "b" e la profondità "a" del raccordo che collega la zona centrale della bombatura alle zone laterali, oltre al quale il colaggio è praticamente compromesso.

Le figure 42 e 43 mostrano nel dettaglio le diversità esistenti a livello della bombatura tra le lingottiere AR14 e AR15.

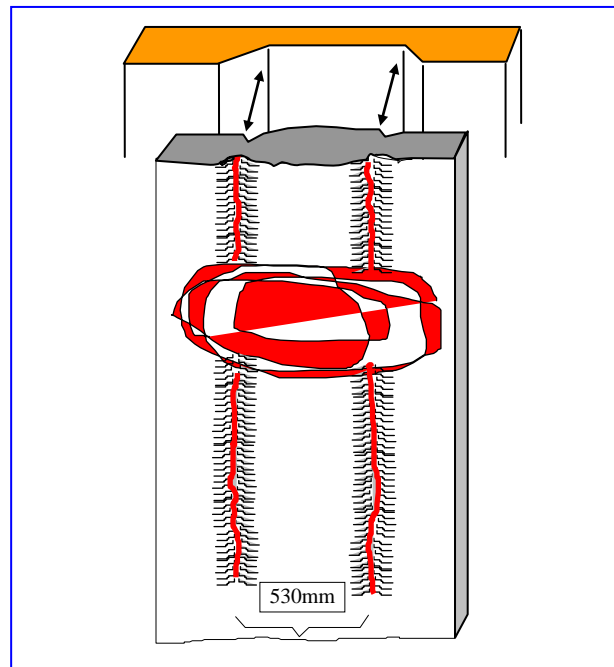


Fig. 41 - Aspetto della scatola (shell) dopo il break-out con la lingottiera AR15.

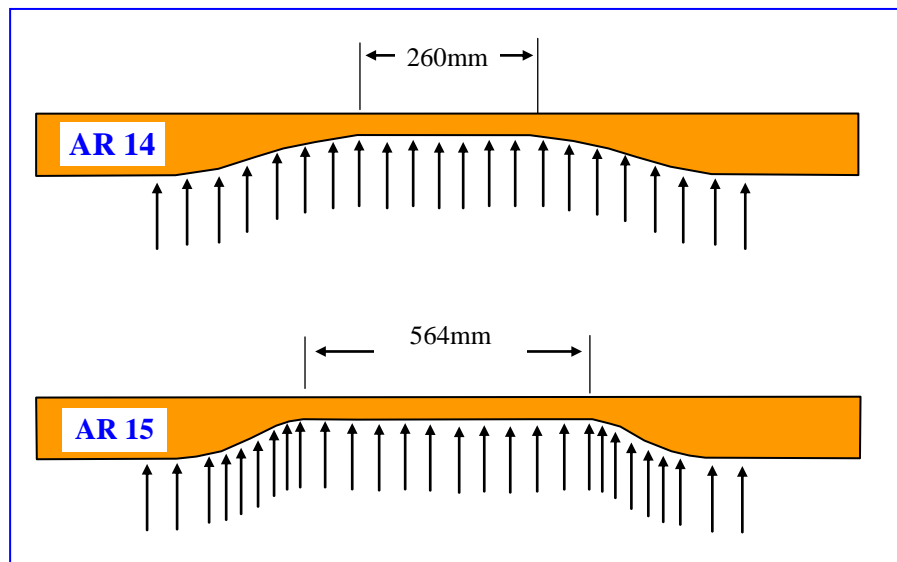


Fig. 42 - Andamento della pressione ferrostatica lungo il profilo della lingottiera AR 14 e AR 15, come si può notare nel caso della AR15 in corrispondenza del raccordo tra centro e lati l'effetto della pressione ferrostatica è minore.

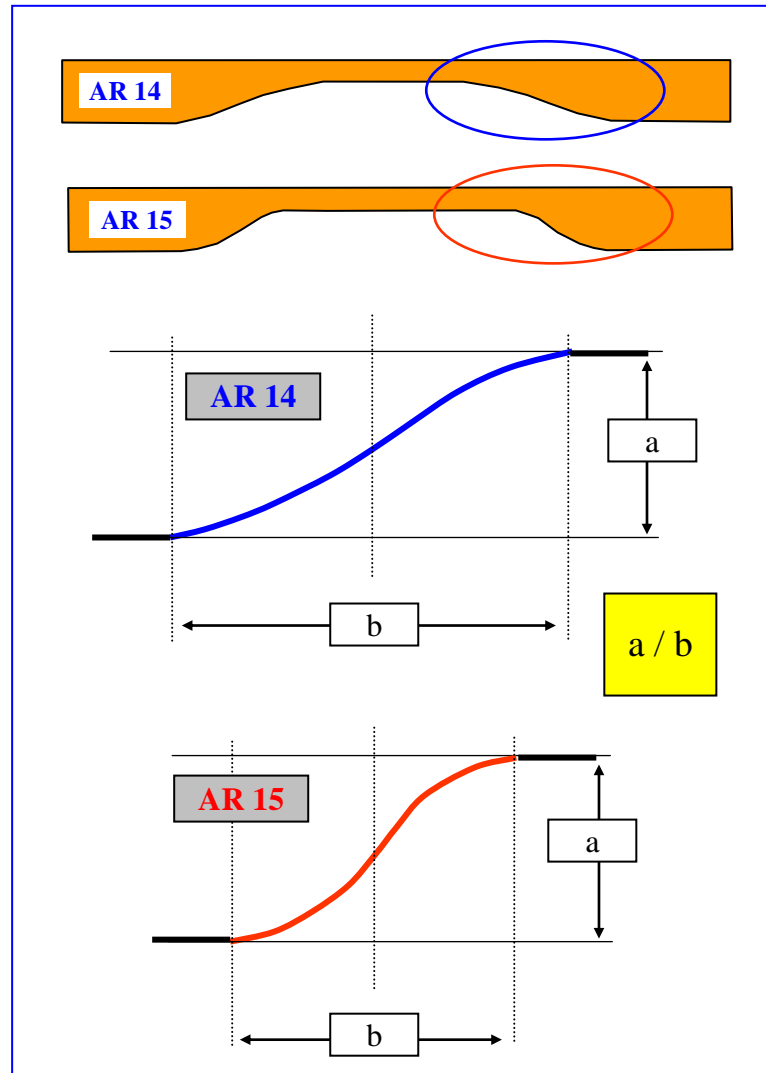
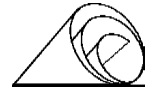
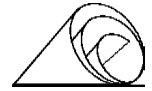


Fig. 43 - Rappresentazione grafica del tratto che raccorda il centro della bombatura con le zone laterali della lingottiera AR14 e AR15, notare il diverso rapporto di a/b

Con la definitiva introduzione della lingottiera AR14 è stata modificata la conicità delle facce strette, i parametri di oscillazione e le portate del raffreddamento delle facce larghe, così come riportato nelle tabelle delle CONDIZIONI OPERATIVE.



CONDIZIONI OPERATIVE
con LINGOTTIERA AR14 Multi-bending 65/125 mm

ACCIAI BASSO CARBONIO ($C \leq 0.07 \%$)

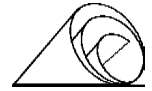
Larghezza nastro (nominale)	:	1250 mm
Distanza tra le facce larghe (tratto parallelo)	:	65 mm
Conicità facce larghe	:	0 mm
Conicità facce strette	:	6.0 mm
Serraggio Lingottiera (per bullone)	:	6 tonnellate
Fattore "K"	:	70
Ampiezza di oscillazione	:	± 3.5 mm
Raffreddamento facce larghe	:	5400 l / min
Raffreddamento facce strette	:	190 l / min
Ultimo rullo della riduzione a cuore liquido (da 65 a 43 mm)	:	n. 15
Velocità di colaggio	:	5 /min
Tuffante	:	SLIM B/2
Polvere di colaggio	:	St AV1 B + Dam SLM 6 or St AV1 B + 221 C4
Controllo livello lingottiera	:	$\pm 3,0$ mm



CONDIZIONI OPERATIVE
con LINGOTTIERA AR14 Multi-bending 65/125 mm

ACCIAI MEDIO CARBONIO (C > 0.10 < 0.50%)

Larghezza nastro (nominale)	:	1250 mm
Distanza tra le facce (tratto parallelo)	:	65 mm
Conicità facce larghe	:	0 mm
Conicità facce strette	:	6,0 mm
Seraggio Lingottiera (per bullone)	:	6 tonnellate
Fattore K	:	70
Ampiezza di oscillazione	:	\pm 3.5 mm
Raffreddamento facce larghe	:	5000 l / min
Raffreddamento facce strette	:	190 l / min
Ultimo rullo della riduzione a cuore liquido (da 65 a 44mm)	:	n. 15
Velocità di colaggio	:	4,2 m/min
Tuffante	:	SLIM B/2
Polvere di colaggio	:	Stollberg 232 AP1 + HK10B o AV1B + 232 MC2
Controllo livello lingottiera	:	\pm 3,0 mm



**AR14 MB – CONDIZIONI OPERATIVE
IN FUNZIONE DELLA LARGHEZZA DEL NASTRO**

ACCIAI ALTO e MEDIO CARBONIO (C < 0.50%)

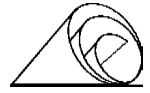
Larghezza nastro (nominale) mm	Misure lingottiera		Conicità facce strette (mm)	Conicità facce larghe (mm)	Falsa bramma (mm)
	alto mm	fondo mm			
1000	1040	1030	5.0	0	1000 (4 denti)
1020	1060	1050	5.0	0	1020 (4 denti)
1030	1070	1600	5.0	0	1030 (4 denti)
1050	1090	1080	5.0	0	1050 (4 denti)
1070	1110	1100	5.0	0	1070 (4 denti)
1110	1150	1140	5.0	0	1110 (4 denti)
1250	1302	1290	6.0	0	1260 (5 denti)
1280	1327	1315	6.0	0	1285 (5 denti)
1300	1342	1330	6.0	0	1300 (5 denti)



CONSUMI

Durata media di un set di piastre completo Iso20 (facce larghe e strette)di una lingottiera AR 14: 350 colate circa suddivise in,

- montaggi per set..... : 9
- colate per montaggio..... : 38÷40
- materiale asportato per montaggio..... : 1,1 mm circa
- distanza acqua/acciaio minima utilizzabile..... :
 - Facce Larghe : 9 mm
 - Facce Strette : 9 mm



MISURATORE DI LIVELLO (NKK)

A seguito delle modifiche al raffreddamento delle facce larghe con l'introduzione di fori verticali nelle bande porta-tiranti (Fig. 38) e la necessità di mantenere un minimo di distanza tra l'acqua di raffreddamento e l'acciaio liquido, è stata aumentata la distanza acqua/acciaio da 20 mm a 23 mm.

Si è ottenuto così con la lingottiera AR14 Iso23, una maggior durata delle piastre passata dalle 350 colate circa alle 400 con.

Un ulteriore incremento della durata delle piastre è stato ottenuto utilizzando piastre in **rame/argento** la cui caratteristica di minor sensibilità allo shock termico ha consentito di raggiungere le 600 colate complessive suddivise in 8 campagne.

Oltre a questi vantaggi, con questo materiale è stato eliminato il problema delle cricche termiche che si verificavano nelle zone laterali del menisco, che nonostante gli sforzi volti ad ottimizzare la forma ed il raffreddamento della lingottiera persistevano ancora.

La soluzione di questo problema ha permesso di focalizzare meglio l'influenza della stabilità del menisco sulle polveri intrappolate, cosa che in passato non era di facile interpretazione perché non sempre era chiaro se erano imputabili alle cricche della lingottiera oppure all'instabilità del livello, mentre, avendo eliminato questa variabile è apparso evidente che si doveva stabilizzare meglio il livello in lingottiera se si voleva migliorare ulteriormente la qualità superficiale dei nastri.

Dopo alcuni tests per valutare l'affidabilità delle misurazioni nel tempo e nelle varie condizioni operative, è stato adottato un modello della "NKK" basato sul principio delle correnti indotte o di "Foucault" (Fig. 44).

L'utilizzo di questa apparecchiatura ha ridotto notevolmente l'ampiezza di oscillazione del livello in lingottiera passata da $\pm 4 \text{ mm}$ a $\pm 1 \text{ mm}$.

Il grafico di Fig. 45 mostra un confronto diretto tra l'ampiezza di un livello controllato con il sistema in dotazione all'impianto "sistema Berthold" e il nuovo sistema NKK.

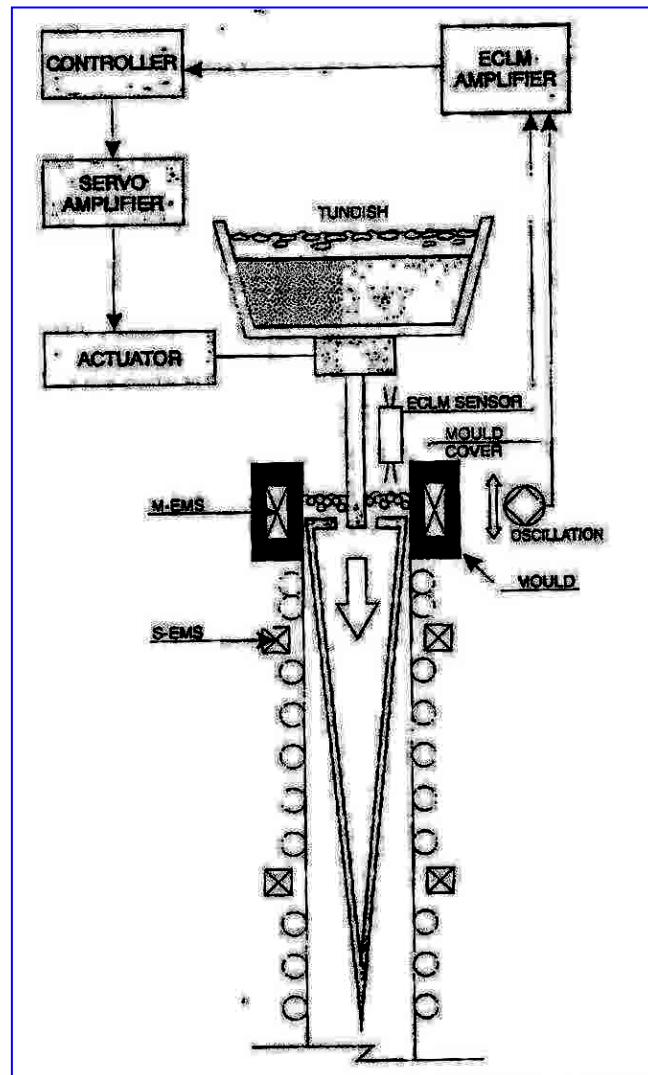


Fig. 44 - Rappresentazione grafica del sistema per il controllo di livello NKK

PRINCIPIO DI MISURAZIONE

Il sistema di misurazione si basa sul principio delle correnti indotte (o di FOUCAULT), generate nell'acciaio liquido da una bobina primaria alimentata da una corrente alternata ad alta frequenza (50 kHz). Tali correnti generano una differenza di potenziale nelle due bobine secondarie del sistema, la cui intensità varia in funzione della distanza tra il livello dell'acciaio e la bobina primaria. L'insieme delle tre bobine, una primaria e due secondarie, è denominato "sensore o sonda".

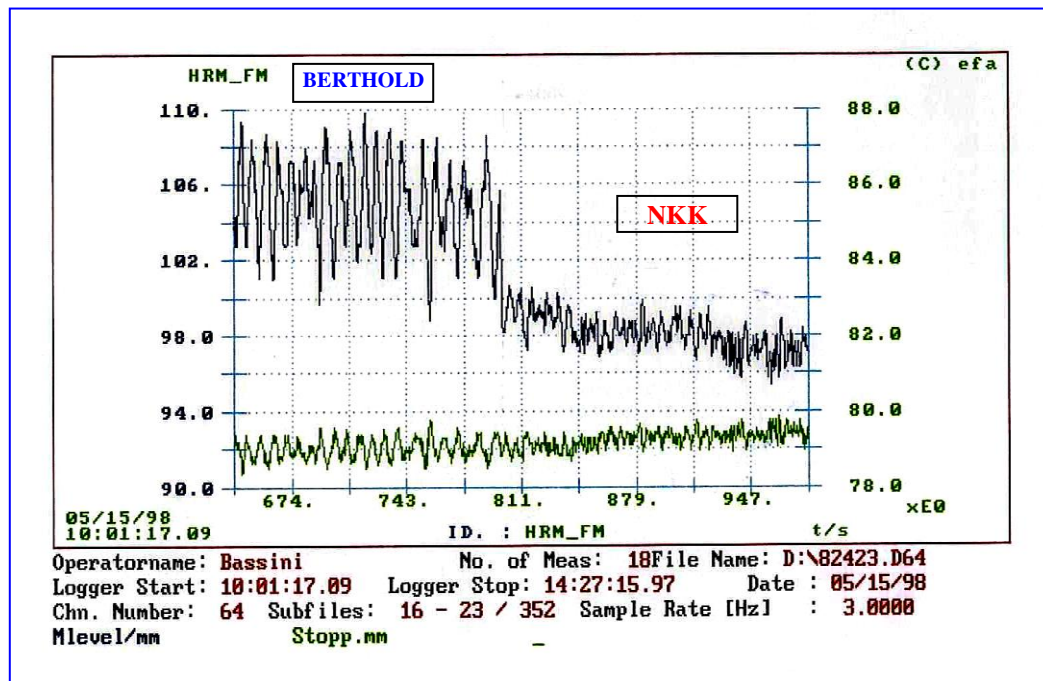
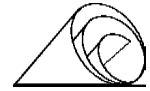


Fig. 45 - Andamento del livello in funzione del sistema di controllo "Berthold e NKK"

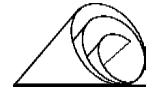
LINGOTTIERA A CONTATTO MIGLIORATO AR 18

Dopo queste modifiche alla lingottiera AR14 ed un attento esame delle cause che avevano portato all'insuccesso il test con la lingottiera AR15, sono state studiate altre soluzioni tra le quali una lingottiera a **contatto migliorato**, così definita perché il profilo orizzontale e verticale non presentava soluzioni di continuità, in grado di accompagnare il naturale ritiro del guscio solidificato (shell) in ogni fase della discesa verso l'uscita, mantenendo un contatto continuo tra bramma e lingottiera.

Situazione questa, ideale per ottenere una temperatura omogenea ed una pelle di spessore uniforme in grado di sopportare le tensioni durante la riduzione a cuore liquido ed i ritiri connessi alla solidificazione della bramma.

Un primo test è stato fatto con una lingottiera AR14 Iso23, con le spallette poste al limite della bombatura, denominata AR16, la cui configurazione è rappresentata in Fig. 46.

Questa prova è stata approntata con il duplice scopo di verificare la fattibilità delle teorie sopra esposte e dimostrare nel contempo la possibilità di colare con una lingottiera del tipo "**Rossi , brevetto tedesco 887990**", da sempre considerato impossibile dai nostri concorrenti della SMS, sulla cui teoria hanno fondato un loro brevetto che ha condizionato lo sviluppo delle lingottiere per "*thin slab*".



Argomento questo che meriterebbe una spiegazione ben più approfondita, ma data la complessità e la sua natura esula da questo contesto, merita comunque di essere citato perché ha segnato per il Gruppo Arvedi la definitiva chiusura di un inesistente contenzioso con la concorrenza.

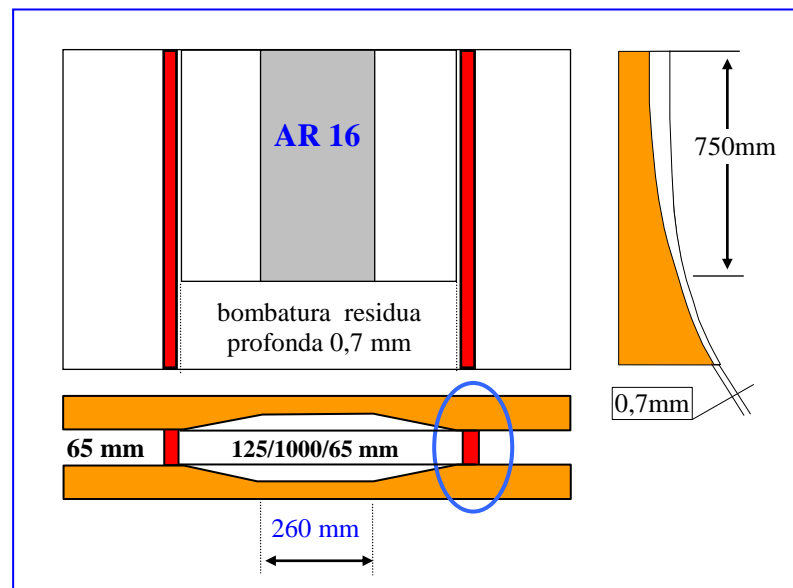


Fig. 46 - Configurazione della lingottiera AR16, assimilabile per la sua forma alla lingottiera Rossi

Il test eseguito il 14 maggio 1997 ha dato esito positivo dimostrando la possibilità di colare con una lingottiera tendenzialmente trapezoidale e con buoni risultati dal punto di vista del bilanciamento termico della bramma.

Tuttavia con lo scopo di uscire definitivamente dal brevetto SMS e di mettere a punto una lingottiera in grado di soddisfare appieno le nostre aspettative, nel periodo agosto/novembre 1997, sono stati messi a punto altri due modelli denominati AR17 e AR18, la cui caratteristica principale era quella di avere i tratti esterni alla bombatura convergenti.

Mentre erano accomunati dalla profondità della bombatura in uscita pari a 3 mm per parte, nel caso della AR17 parallela dopo una certa quota (750 mm dal top) e continuamente decrescente dal top al bottom nel caso della AR18 (Fig. 47).

In conseguenza di questa forma particolare si è dovuto utilizzare i rulli al piede più i primi tre del TTS sagomati, in modo da contenere il rigonfiamento centrale che la bramma presentava all'uscita della lingottiera, Fig. 48.

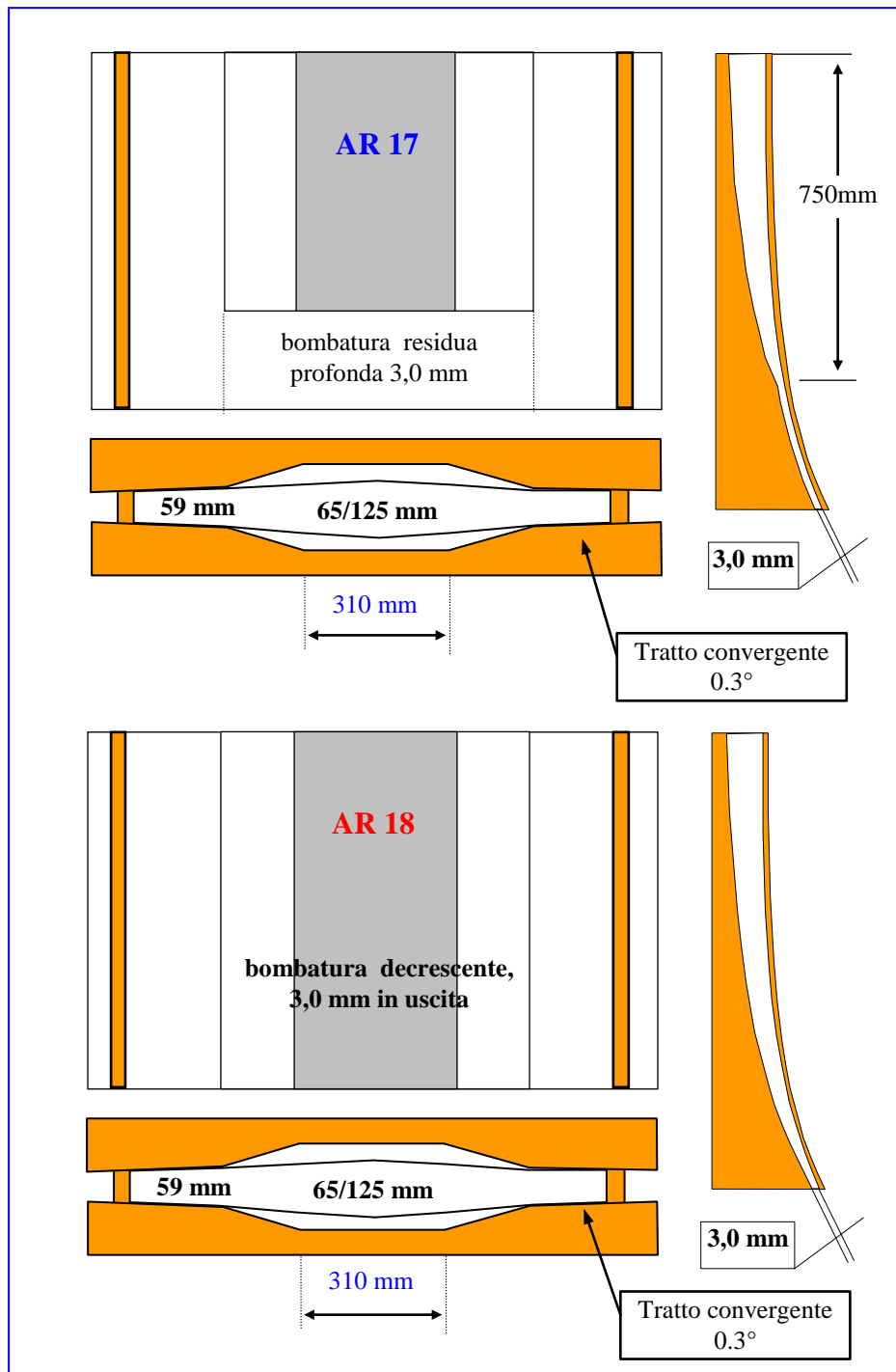
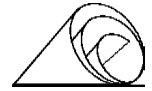


Fig. 47 - Aspetto e caratteristiche dei due modelli AR17 e AR18
 (NB - la vista dall'alto per comodità grafica è riferita ad una lingottiera diritta e non multibending)

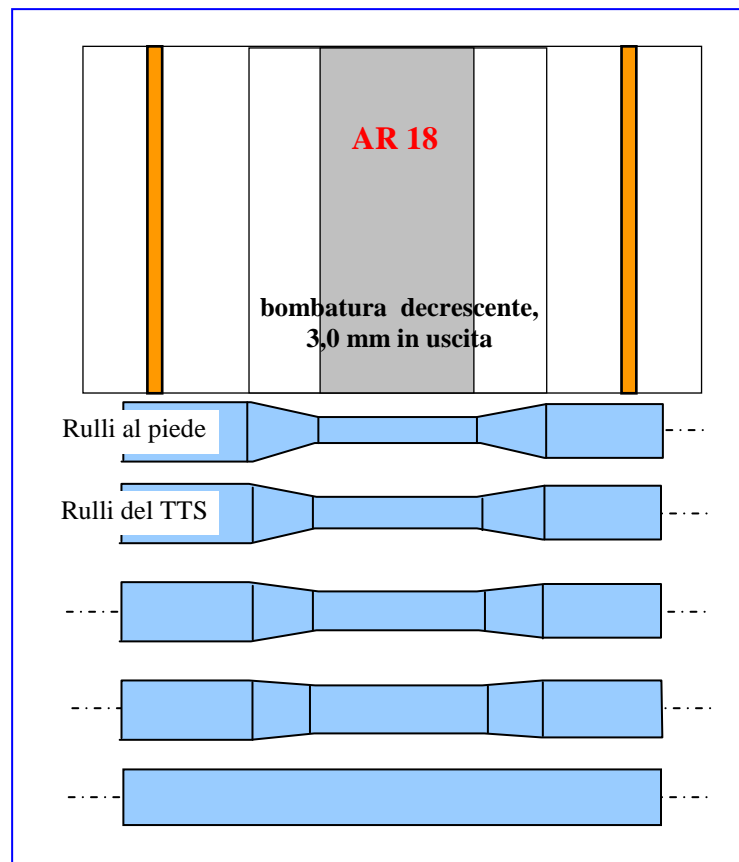


Fig. 48 - Configurazione tipo della lingottiera AR17/18 e dei rulli sottostanti

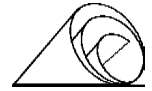
Come già accennato la caratteristica principale di queste lingottiere, in particolare la AR18, è quella di mantenere un contatto continuo tra bramma e lingottiera favorendo gli scambi termici, un' ottima lubrificazione da parte delle polveri di colaggio e una solidificazione omogenea della pelle della bramma.

Questi vantaggi si concretizzano con:

- Temperatura omogenea della bramma
- Spessore uniforme della pelle (shell)
- Microstruttura regolare
- Drastica riduzione dei difetti superficiali e dei break-outs.

A fronte dei risultati positivi conseguiti la lingottiera AR18 è stata brevettata.

Alla base di questo brevetto ci sono due concetti molto semplici ma importanti, legati al modo di raccordare la zona centrale della bombatura alle zone laterali dove vengono posizionate le spallette.



Il più significativo è quello del rapporto tra la profondità del raccordo e la sua lunghezza "a/b" emerso dal test con la lingottiera AR15, il secondo determinato dal rapporto di eguaglianza esistente tra il raggio e il controraggio che formano i due archi di cerchio che compongono il raccordo, $r1 = r2$ (vedere Fig.49).

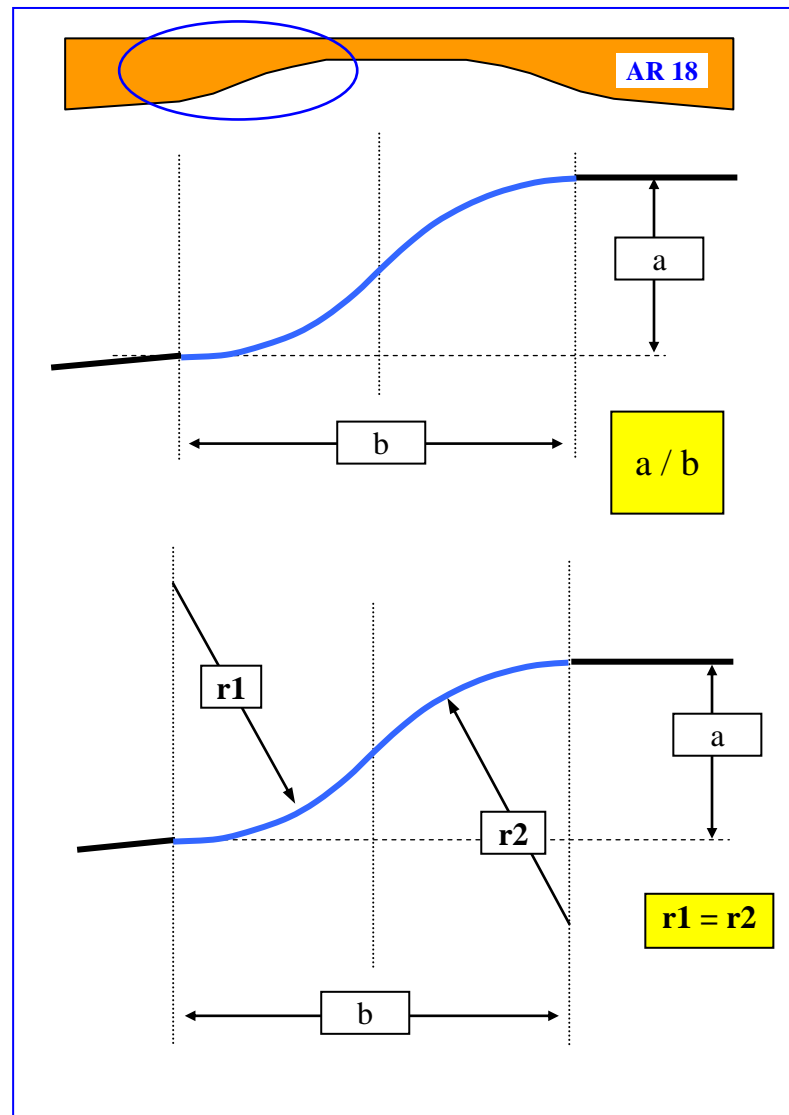


Fig. 49 - rappresentazione dei due concetti base che caratterizzano il brevetto della lingottiera AR18 a contatto migliorato, il rapporto "a/b" e l'eguaglianza dei raggi "r1 = r2".



A partire dal 1999 la lingottiera denominata AR18 è stata gradualmente inserita come lingottiera base del processo I.S.P. entrando a pieno regime nell'anno 2000.

Come già accennato in precedenza, la scelta è stata determinata dal fatto che il suo particolare profilo (verticale e trasversale) è in grado di mantenere costante il contatto tra bramma e lingottiera dal menisco fino all'uscita, garantendo un raffreddamento ed una lubrificazione ottimale della bramma con riflessi positivi sulla sua qualità interna ed esterna e di conseguenza sul prodotto finito.

La sua introduzione in abbinamento al tuffante Slim B/2, ha consentito di aumentare il numero delle colate in sequenza, favorendo la produttività dell'impianto ma sottoponendo le piastre della lingottiera ad un notevole stress. Condizione che ha evidenziato un certo limite del materiale base, composto da **rame** legato con **zirconio**. Questo materiale, idoneo per sopportare l'usura, si è dimostrato invece meno adatto a sopportare shock termici e l'esposizione alle alte temperature per tempi prolungati, come quelli introdotti dalle nuove condizioni di colaggio, dando luogo a cricche nelle zone laterali del menisco, le più sollecitate.

Si è pensato quindi di utilizzare un materiale più idoneo per sopportare simili condizioni. Per tale scopo è stato scelto del **rame** legato con **argento**, già sperimentato con la lingottiera **AR 14 Iso23** che fin dai primi test ha dimostrato di essere più adatto, evidenziando però una minore resistenza all'usura specialmente nella parte inferiore della lingottiera.

Tale limite è stato superato applicando per via elettrolitica, una fascia larga 250mm e spessa 6mm nella parte inferiore delle facce larghe (Fig. 50).

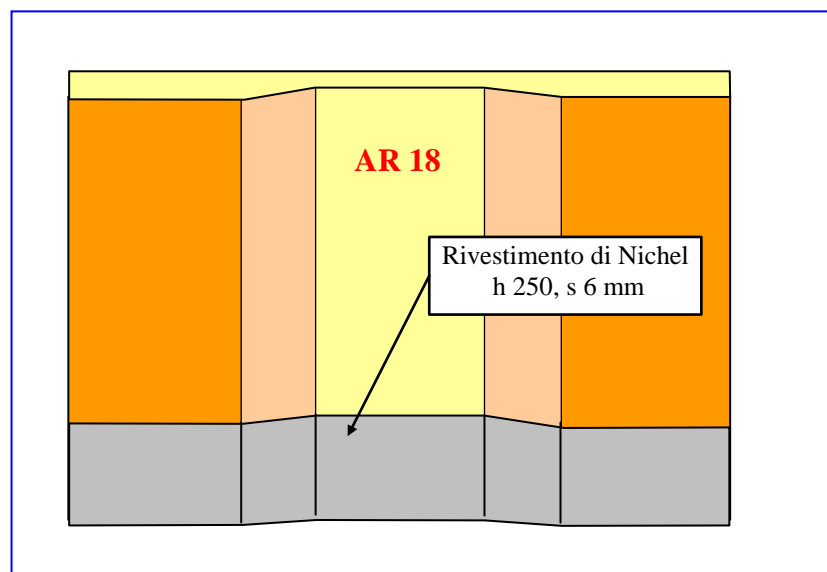


Fig. 50 - rappresentazione delle facce larghe della lingottiera con la fascia di nichel elettrolitico depositato nella parte inferiore



Lo stesso problema si è presentato con le facce strette con particolare usura della parte inferiore, nonostante l'utilizzo di rame legato con **nichel-berilio** già sperimentato in precedenza con esito positivo su altre lingottiere. Quindi anche alle facce strette è stato applicato uno strato di nichel spesso 1,2 mm nella metà inferiore (Fig. 51).

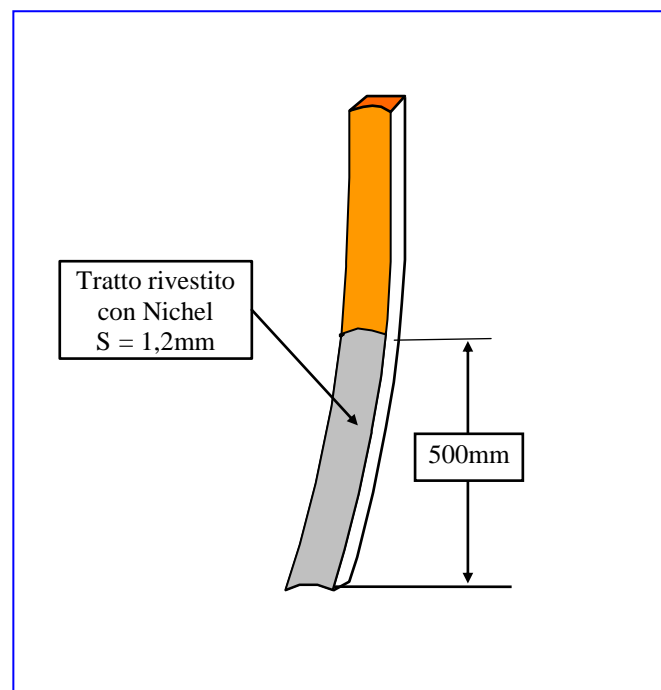


Fig. 51 - rappresentazione delle facce strette con la zona inferiore rivestita di nichel

Il sistema di raffreddamento delle facce strette è stato mantenuto quello a tre fori da 13 mm già sperimentato con la lingottiera AR 14, mentre per le facce larghe è stato necessario adottare alcune modifiche perché il problema cricche persisteva, anche se in misura nettamente inferiore ma sufficiente a limitare la durata delle piastre.

Si è pensato quindi di modificare l'uscita dei canali di raffreddamento perché nella zona di uscita non erano proprio paralleli al profilo esterno della lingottiera, specialmente nelle zone laterali dove ancora si formava qualche cricca, e inoltre di ridurne il raggio di uscita per favorire il massimo raffreddamento di tutta la zona del menisco.



Nelle Figure 53 e 54 sono rappresentate le modifiche che sono state introdotte nell'anno 2001 (primo test maggio 2001), mentre nella figura 52, sono riportate le caratteristiche chimico/fisiche del materiale utilizzato per le facce larghe della lingottiera (prima fase CuCrZr, seconda fase CuAg).

PRIMA FASE

*Analisi Chimica (%)

Cu	Cr	Zr
99,10÷99,20	0.60÷0.70	0.10÷0.20

* Caratteristiche Meccaniche e Fisiche

Carico di Rottura R N/mm ²	Carico di Snervamento Rp 02% N/mm ²	Allungamento Ap 5 %	Durezza 2.5 / 62.5 HB	Conducibilità elettrica m/Ωmm ²
380/450	260/310	22/28	120/130	45/55

SECONDA FASE

*Analisi Chimica (%)

Cu	Ag	P
99,85 ÷ 99,88	0.08 ÷ 0.12	Rimanenza

* Caratteristiche Meccaniche e Fisiche

Carico di Rottura R N/mm ²	Carico di Snervamento Rp 02% N/mm ²	Allungamento Ap 5 %	Durezza 2.5 / 62.5 HB	Conducibilità elettrica m/Ωmm ²
285/288	278/280	14/18	88/95	56/57

*(dati certificati dal fornitore)

Fig. 52 - Confronto delle caratteristiche chimico-fisiche delle piastre della lingottiera AR 18 (rame/zirconio e rame/argento)

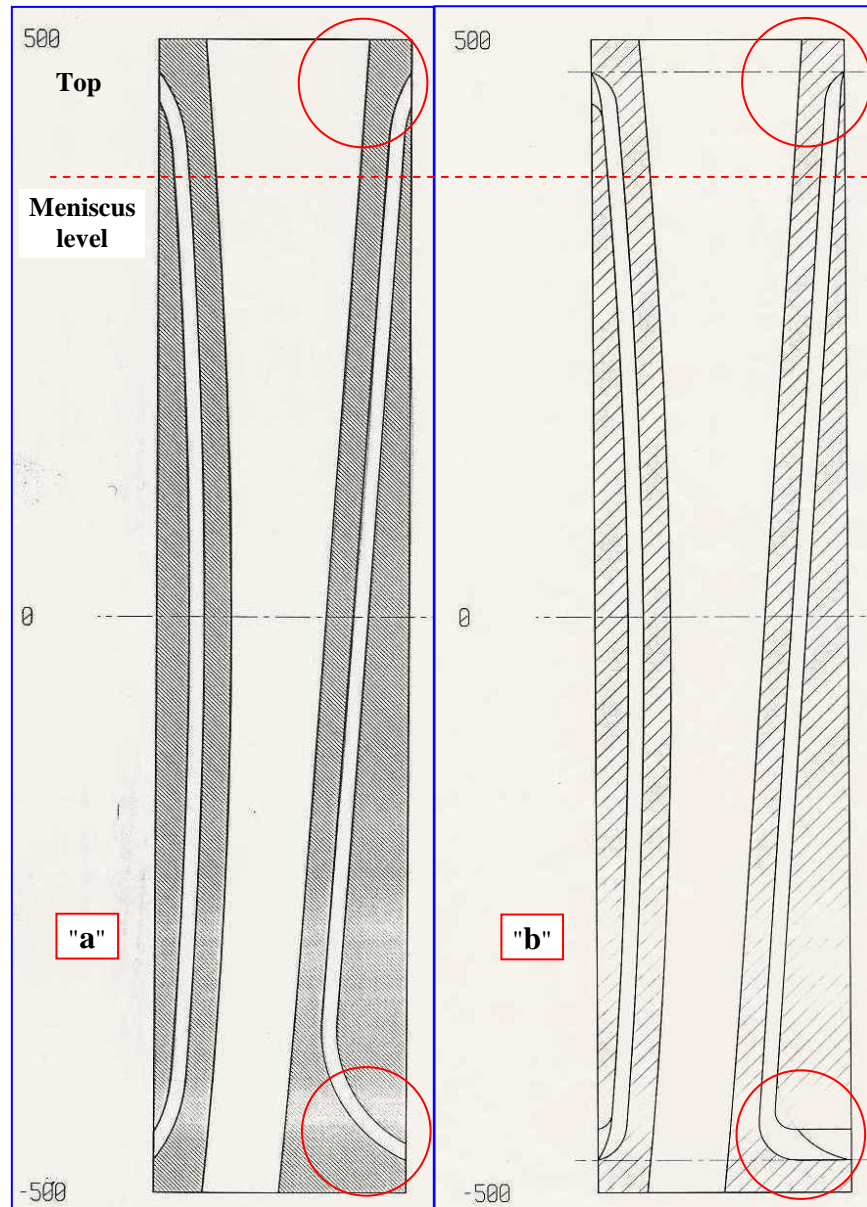
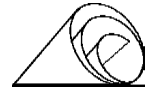


Fig. 53 - Schizzi della forma di uscita dei canali di raffreddamento
 "a" prima della modifica - "b" dopo la modifica



Fig. 54 - Particolare dei canaletti di raffreddamento di una piastra di intradasso dopo la modifica del 2001

La continua sperimentazione di nuovi profili, nuove geometrie e nuovi materiali, abbinate a nuovi tuffanti e polveri di colaggio, ha consentito nel periodo 1999 - 2003, d'incrementare l'efficienza della lingottiera, espressa in tonnellate di acciaio colato per singolo set di piastre, di oltre il 50% (Fig. 55).

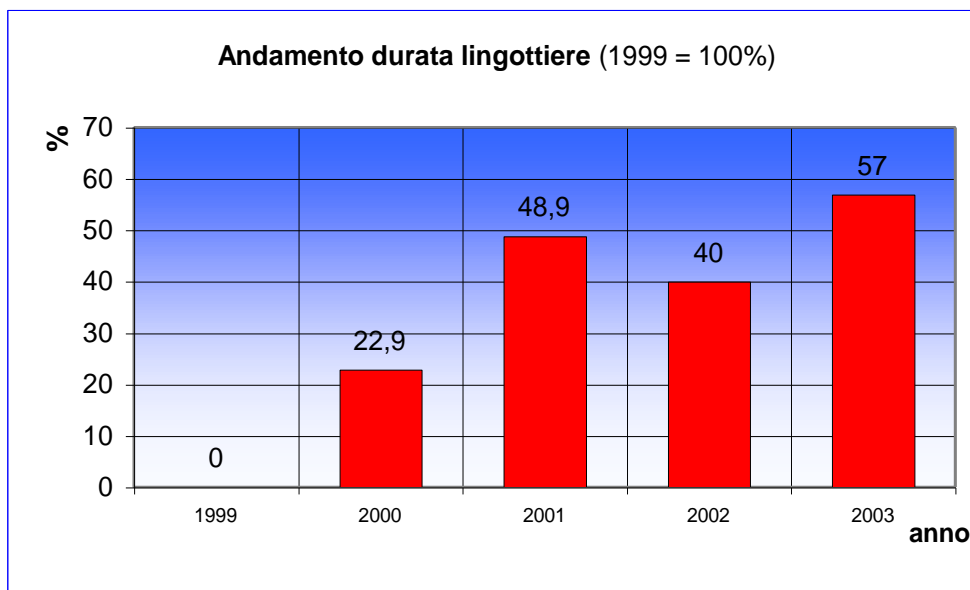
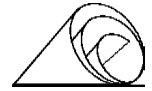


Fig. 55 - Incremento della durata delle lingottiere dal 1999 al 2003 utilizzando il modello AR18 e AR18RM (1999 uguale a 100%)



CONDIZIONI OPERATIVE
con LINGOTTIERA AR18RM Multi-bending 132/70 mm

ACCIAI BASSO CARBONIO ($C \leq 0.07\%$)

Larghezza nastro (nominale) : 1250 mm

Distanza tra le facce larghe (fondo) : 64-70 mm

Conicità facce larghe : 0 mm

Conicità facce strette : 6.0 mm

Serraggio Lingottiera (per bullone) : 6 tonnellate

Fattore "K" : 70

Ampiezza di oscillazione : $\pm 3,5$ mm

Raffreddamento facce larghe : 5400 l / min

Raffreddamento facce strette : 190 l / min

Ultimo rullo della riduzione a cuore liquido

(da 65 a 50mm) : n. 21

Velocità di colaggio : 5m/min

Tuffante : SLIM B/2

Polvere di colaggio : St AV1 B + SLM 6 or TSB1F
St AV1 B + 221 C4

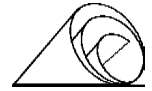
Controllo livello lingottiera : $\pm 3,0$ mm



CONDIZIONI OPERATIVE
con LINGOTTIERA AR18RM Multi-bending 132/70 mm

ACCIAI MEDIO CARBONIO (C > 0.10 < 0.50%)

Larghezza nastro (nominale)	:	1250 mm
Distanza tra le facce larghe (tratto parallelo)	:	64-70 mm
Conicità facce larghe	:	0 mm
Conicità facce strette	:	6.0 mm
Serraggio Lingottiera (per bullone)	:	6 tonnellate
Fattore K	:	70
Ampiezza di oscillazione	:	± 3.5 mm
Raffreddamento facce larghe	:	4600-5000 l / min
Raffreddamento facce strette	:	190 l / min
Riduzione a cuore liquido (da 65 a 50 mm)	:	n. 21
Velocità di colaggio	:	4.2 m/min
Tuffante	:	SLIM B/2
Polvere di colaggio	:	Stollberg AV1B + HC5 o HC
Controllo livello lingottiera	:	$\pm 3,0$ mm



**AR18 RM – CONDIZIONI OPERATIVE
IN FUNZIONE DELLA LARGHEZZA DEL NASTRO**

ACCIAI BASSO E MEDIO CARBONIO (C < 0,50%)

Larghezza nastro (nominale) mm	Misure lingottiera		Conicità facce strette (mm)	Conicità facce larghe (mm)	Falsa bramma (mm)
	alto mm	fondo mm			
1000	1040	1030	5.0	0	1000 (4 denti)
1020	1060	1050	5.0	0	1020 (4 denti)
1030	1070	1600	5.0	0	1030 (4 denti)
1050	1090	1080	5.0	0	1050 (4 denti)
1070	1110	1100	5.0	0	1070 (4 denti)
1110	1150	1140	5.0	0	1110 (4 denti)
1250	1302	1290	6.0	0	1260 (5 denti)
1280	1327	1315	6.0	0	1285 (5 denti)
1300	1342	1330	6.0	0	1300 (5 denti)



CONSUMI

Durata media di un set di piastre completo Iso23 (facce larghe e strette)di una lingottiera AR 18RM: 700 colate circa suddivise in:

- montaggi per set..... : 8
- colate per montaggio..... : 80÷90
- materiale asportato per montaggio..... : 1 mm circa
- distanza acqua/acciaio minima utilizzabile..... :
 - Facce Larghe : 9 mm
 - Facce Strette : 9 mm



MODIFICHE DOPO INTERVENTO .ALLA LINEA – AGOSTO 2004

Ad agosto 2004 la linea di colaggio è stata modificata per colare una bramma di maggior spessore, da 50 a 55 mm in uscita dalla curvilinea, con una velocità da 5,5 a 6 m/minuto. Per ottenere questi risultati è stato aggiunto un secondo segmento tra la MRS e HRM con lo scopo di contenere la bramma, essendo aumentata la lunghezza metallurgica fino all'uscita della MRS, e di guidarla fino all'imbocco della HRM.

In conseguenza di questo anche la lingottiera è stata modificata aumentando lo spessore delle facce strette e quindi lo spessore della bramma in uscita passata da 74 mm nella zona centrale a 80 mm. Tutto questo ha richiesto una modifica dell'intero sistema di raffreddamento, sia primario (lingottiera) che secondario (FOOT-ROLLS, TTS, MRS, SEGMENTO 2).

RAFFREDDAMENTO PRIMARIO

CASSE D'ACQUA (WATER JACKETS)

Il flusso dell'acqua all'interno delle casse di raffreddamento è stato modificato orientandolo non più dal basso verso l'alto ma, dall'alto verso il basso. In questo modo nella zona alta della lingottiera dove le temperature sono più elevate (menisco), il raffreddamento risulta più efficace, perché è raffreddata dal flusso d'acqua non ancora venuto a contatto con le piastre della lingottiera cosa che avveniva con il sistema di raffreddamento precedente (Fig. 56 e 57). All'interno delle casse di raffreddamento, l'acqua si raccoglie in un serbatoio centrale come avveniva in precedenza e poi fluisce dall'alto verso il basso, attraverso i canali di raffreddamento della lingottiera e da qui fuoriesce dalla parte bassa.

La figura 57 mostra il percorso dell'acqua di raffreddamento dopo la modifica.

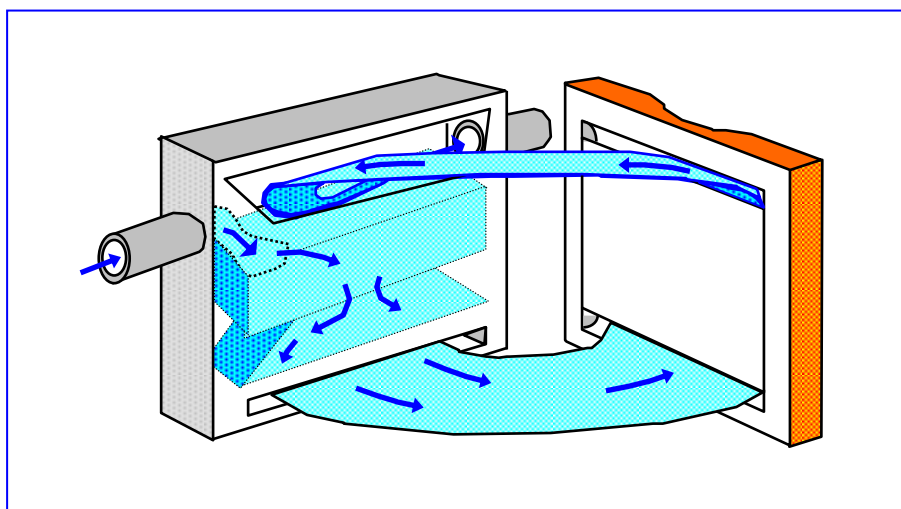


Fig. 56 – Flusso dell'acqua di raffreddamento tra le casse d'acqua e le facce larghe della lingottiera prima della modifica di Agosto 2004.

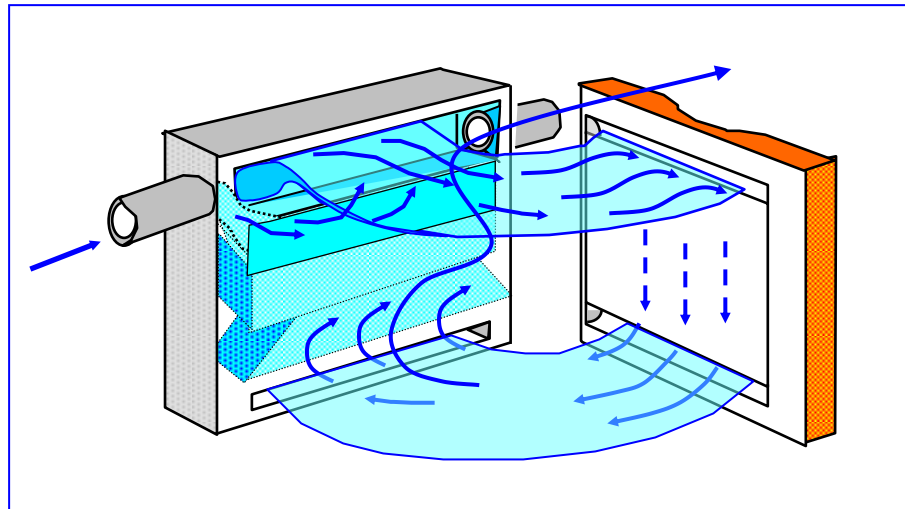


Fig. 57 - Andamento del flusso dell'acqua di raffreddamento dopo la modifica di Agosto 2004.

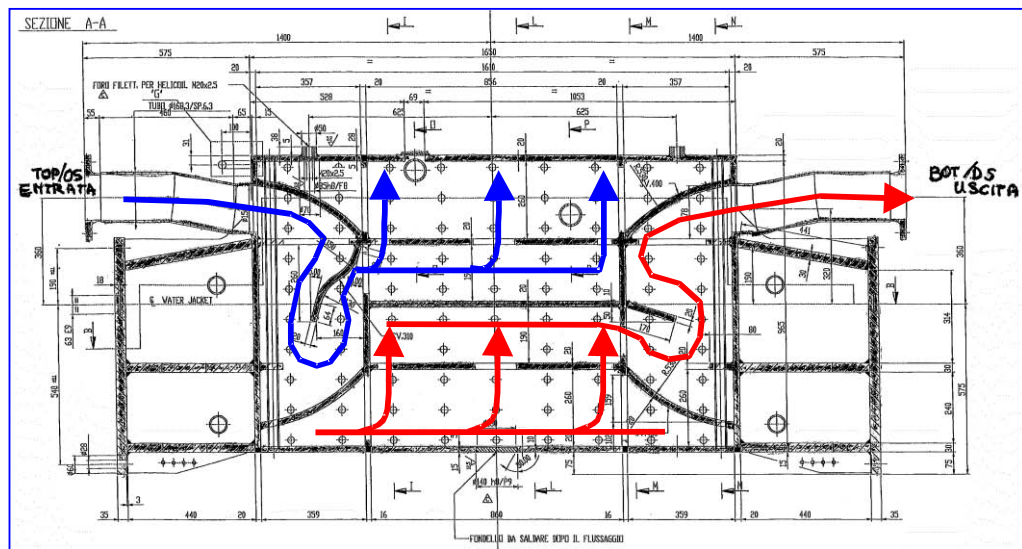


Fig. 58 - Flusso dell'acqua di raffreddamento all'interno delle casse
 (--- in entrata verso il top della lingottiera
 --- in uscita dal bottom della lingottiera)



FACCE STRETTE

La maggiore dimensione delle facce strette portate da 65 a 74 mm di spessore ha reso necessario anche un cambiamento del loro sistema di raffreddamento, infatti la configurazione con tre fori adottata con quelle da 65mm non era sufficiente per raffreddare l'intera superficie di contatto Fig. 59, pertanto è stata adottata una configurazione a 4 fori da 12 mm disposti lungo il profilo interno così come evidenziato in Fig. 60.

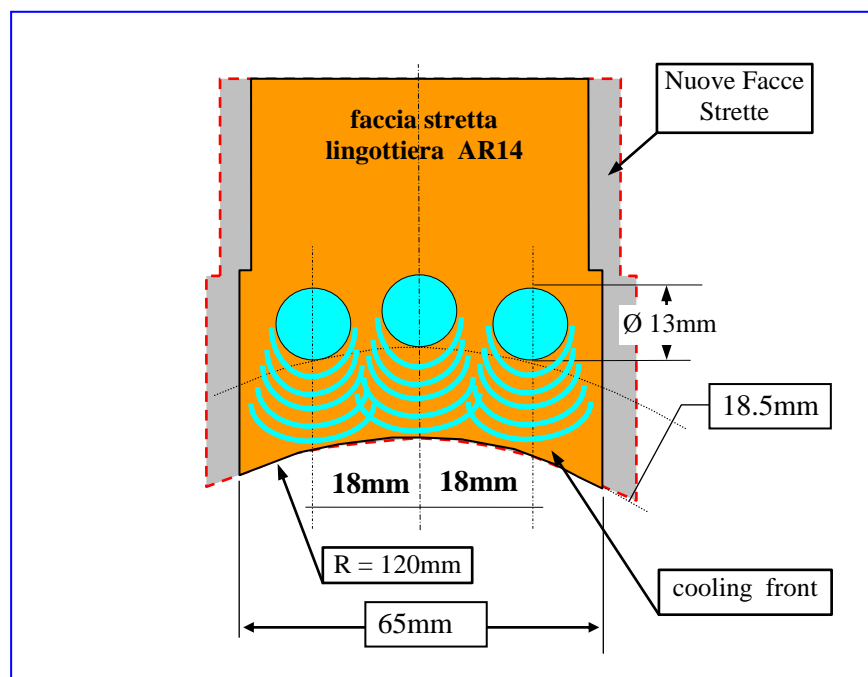


Fig. 59 - Rappresentazione grafica del sistema di raffreddamento delle facce strette delle lingottiere AR 14 (spessore 65 mm).

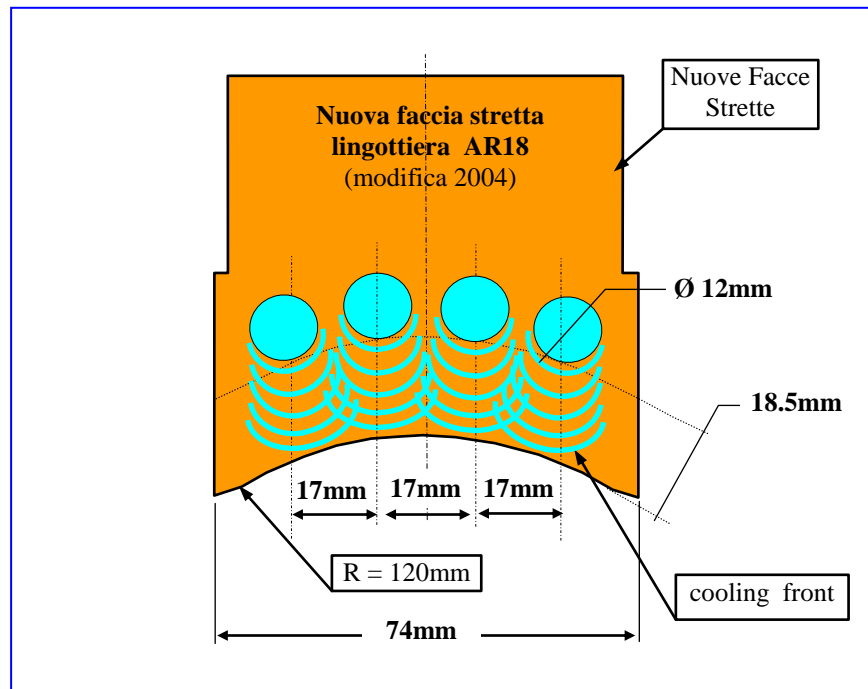


Fig. 60 - Rappresentazione grafica del sistema di raffreddamento delle facce strette delle lingottiere AR 18, spessore 74 mm, introdotte da agosto 2004.

Le facce strette sono state oggetto di un'altra importante modifica che ha interessato la loro movimentazione, infatti, sono state collegate ad un sistema con pistoni oleodinamici che consente di variare la loro conicità (inclinazione) durante la fase di colaggio, necessaria per controllare gli scambi termici (heat transfer) e di conseguenza la solidificazione delle facce strette della bramma.

Il sistema oleodinamico controllato da temposonic ed elettrovalvole consente un posizionamento molto accurato delle facce strette nonché il corretto serraggio delle piastre. Inoltre, a fine sequenza, senza smontare la lingottiera, è possibile aprire le facce larghe per 10mm per consentire la pulizia di tutta la lingottiera.



FOOT-ROLLS

Anche il raffreddamento al piede della lingottiera è stato modificato utilizzando un nuovo collettore/distributore porta-ugelli, non più di forma cilindrica ma rettangolare, oltre aver cambiato i tipi di ugelli. Per i dettagli vedere “Liquid Core Reduction”, volume II, pagine 21-23.

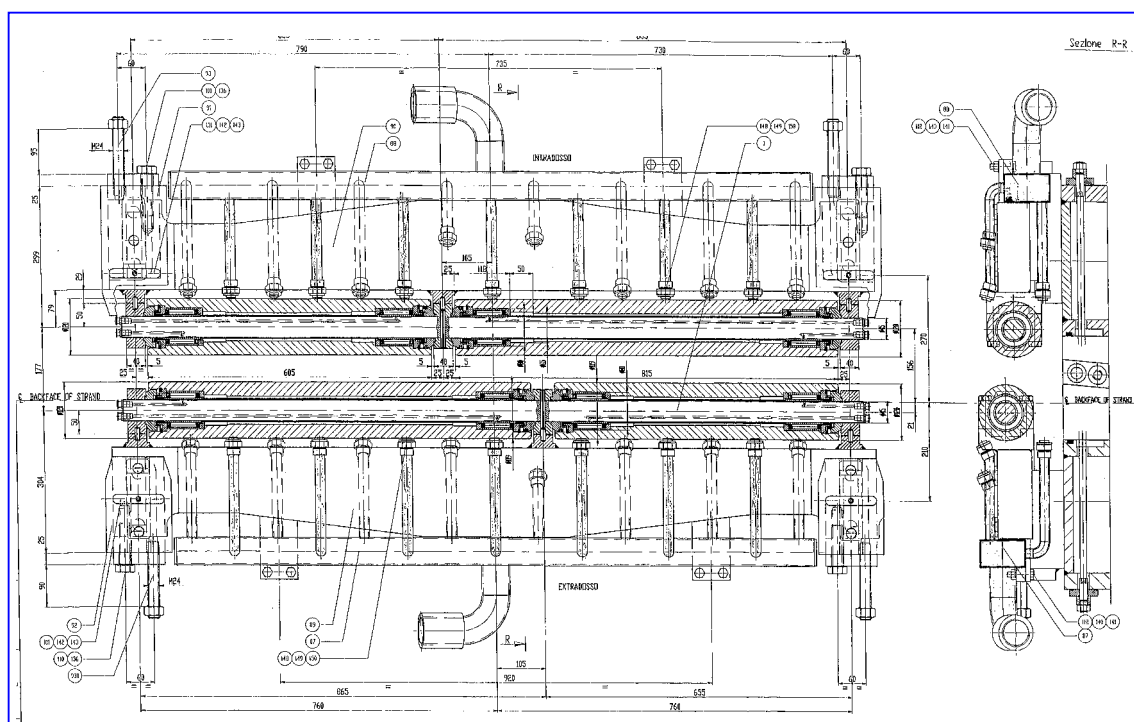


Fig. 61 - Disegno dei rulli al piede con la disposizione degli ugelli per il raffreddamento.

Oltre a queste modifiche, è stato introdotto un nuovo modo di controllare l'usura del tuffante mediante il controllo del livello dell'acciaio in lingottiera (menisco). In pratica il livello viene fatto oscillare rispetto al livello teorico (110 mm dal top della lingottiera) in un range di ± 10 mm, mentre il tuffante si muove in controfase al ciclo del livello, con un range di ± 40 mm, entrambi in un periodo di tempo di 90 minuti.

Ne consegue che l'usura del tuffante è distribuita in un tratto di 100 mm con regolarità senza punti di usura a gradini come avveniva in passato.

Il sistema è gestito in automatico dalla sonda NKK e dalla sonda Bherold per quanto riguarda il livello in lingottiera, mentre il movimento di salita e discesa del tuffante è gestito autonomamente, anch'esso in automatico, dal controllo della panierina.

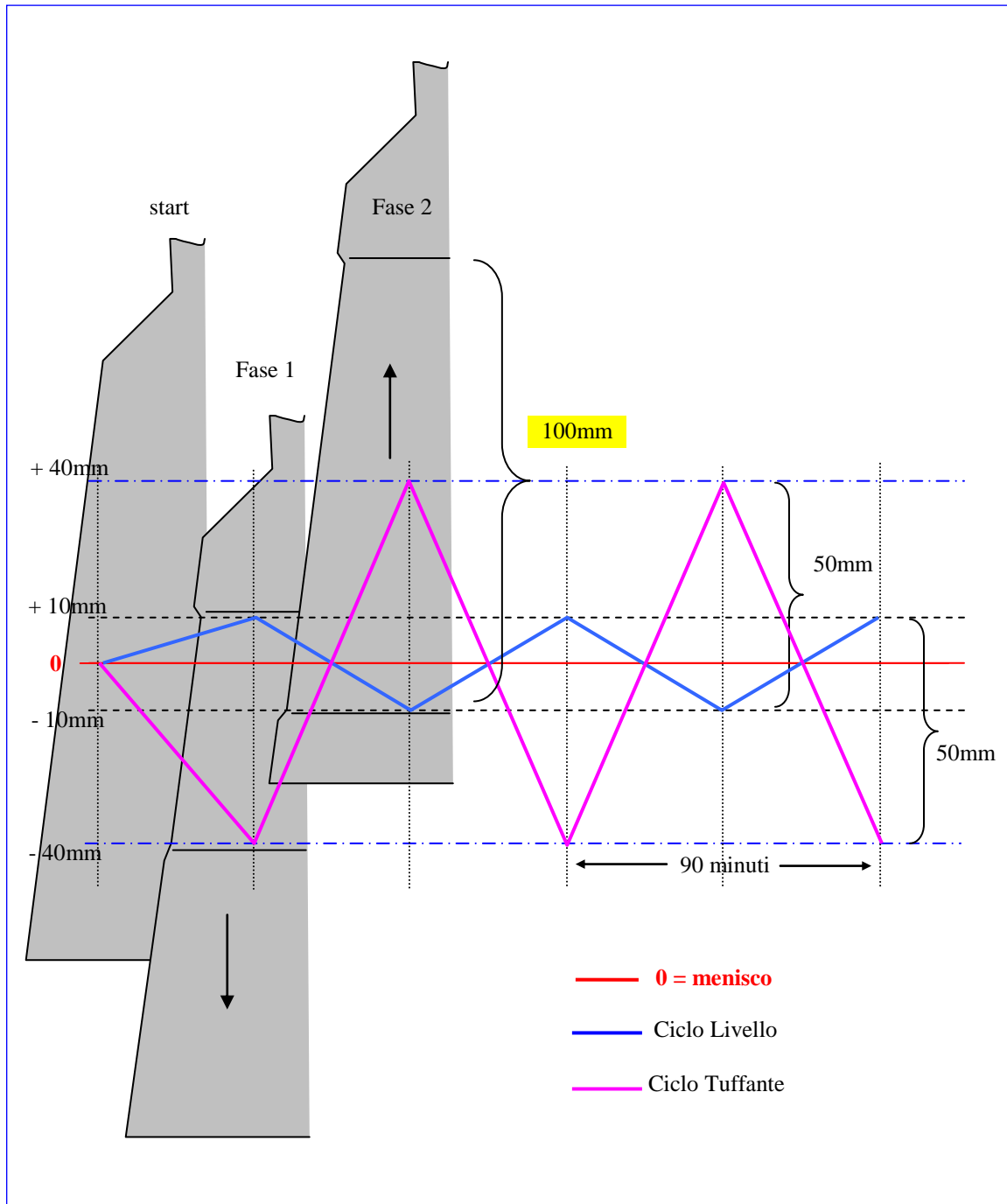
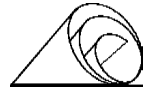


Fig. 62 - Rappresentazione grafica del ciclo operativo adottato per ridurre l'usura del tuffante

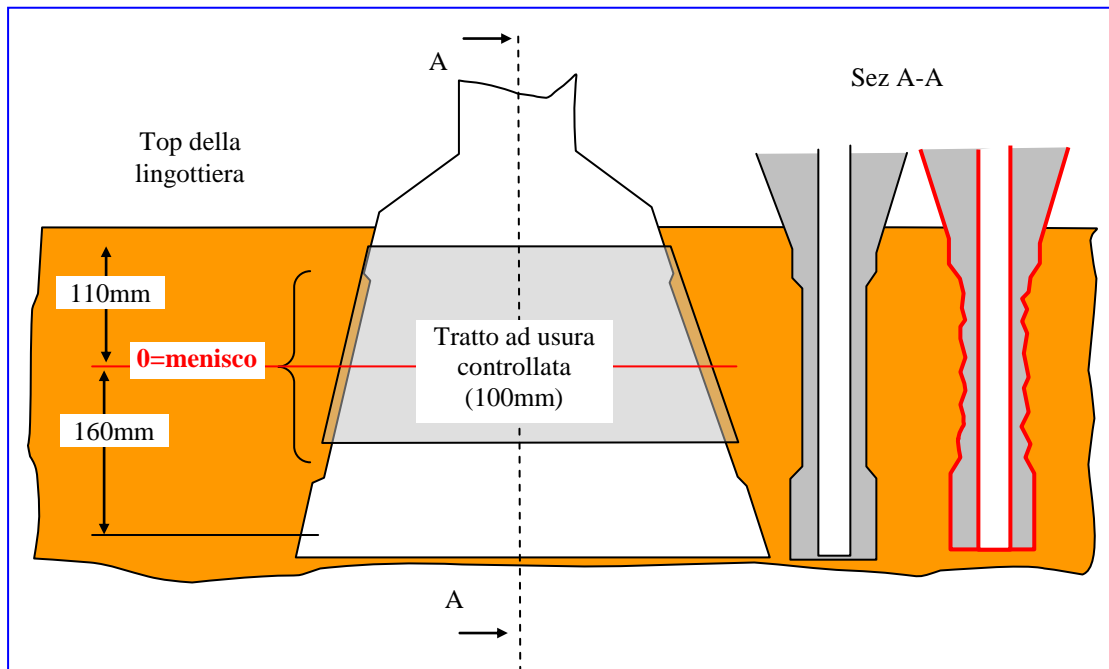
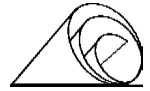
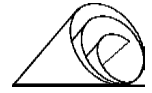


Fig. 63 - Aspetto dell'usura del tuffante con e senza l'oscillazione del livello in lingottiera. In rosso, il tipico profilo del tuffante a fine sequenza senza l'oscillazione del livello



CONDIZIONI OPERATIVE
con LINGOTTIERA AR18 Multi-bending 74/132 mm

ACCIAI BASSO CARBONIO ($C \leq 0.07 \%$)

Larghezza nastro (nominale)	:	1250 mm
Distanza tra le facce larghe (tratto parallelo)	:	74 mm
Conicità facce larghe	:	0 mm
Conicità facce strette (cad)	:	6,0 mm
Serraggio Lingottiera (per bullone)	:	6 tonnellate
Fattore K	:	70
Ampiezza di oscillazione	:	$\pm 3,5$ mm
Raffreddamento facce larghe	:	5400 l / min
Raffreddamento facce strette	:	190 l / min
Ultimo rullo della riduzione a cuore liquido (da 65 a 44 mm)	:	n. 15
Velocità di colaggio	:	5,5m/min
Tuffante	:	SLIM B/2 XD40878
Polvere di colaggio	:	St AV1 B + Dam SLM 6 or St AV1 B + 221 C4
Controllo livello lingottiera	:	$\pm 3,0$ mm



CONDIZIONI OPERATIVE
con lingottiera AR18 Multi-bending 74/132 mm

ACCIAI MEDIO CARBONIO (C > 0.10 < 0.50%)

Larghezza nastro (nominale) : 1250 mm

Distanza tra le facce larghe (tratto parallelo) : 74 mm

Conicità facce larghe : 0 mm

Conicità facce strette : 6.0 mm

Serraggio Lingottiera : 6 tonnellate

Fattore K : **70**

Ampiezza di oscillazione : $\pm 3,5$ mm

Raffreddamento facce larghe : **5000** l / min

Raffreddamento facce strette : 190 l / min

Ultimo rullo della riduzione a cuore liquido
 (da 65 a 44 mm) : n. 15

Velocità di colaggio : **4,8** m/min

Tuffante : SLIM B/2 XD40878

Polvere di colaggio : Stollberg **232 AP1 + HK10B o**
AV1B + 232 MC2

Controllo livello lingottiera : $\pm 3,0$ mm



**AR18 MB – CONDIZIONI OPERATIVE
IN FUNZIONE DELLA LARGHEZZA DEL NASTRO**

ACCIAI BASSO E MEDIO CARBONIO (C < 0.50%)

Larghezza nastro (nominale) mm	Misure lingottiera		Conicità facce strette (mm)	Conicità facce larghe (mm)	Falsa bramma (mm)
	alto mm	fondo mm			
1000	1049,2	1040	4.6	0	1000 (4 denti)
1020	1074,2	1065	4.6	0	1020 (4 denti)
1030	1084,2	1075	4.6	0	1030 (4 denti)
1050	1104,2	1095	4.6	0	1050 (4 denti)
1070	1124,2	1115	4.6	0	1070 (4 denti)
1110	1165,4	1155	5.2	0	1110 (4 denti)
1250	1307	1295	6.0	0	1260 (5 denti)
1280	1337	1325	6.0	0	1285 (5 denti)
1300	1357	1345	6.0	0	1300 (5 denti)



CONSUMI

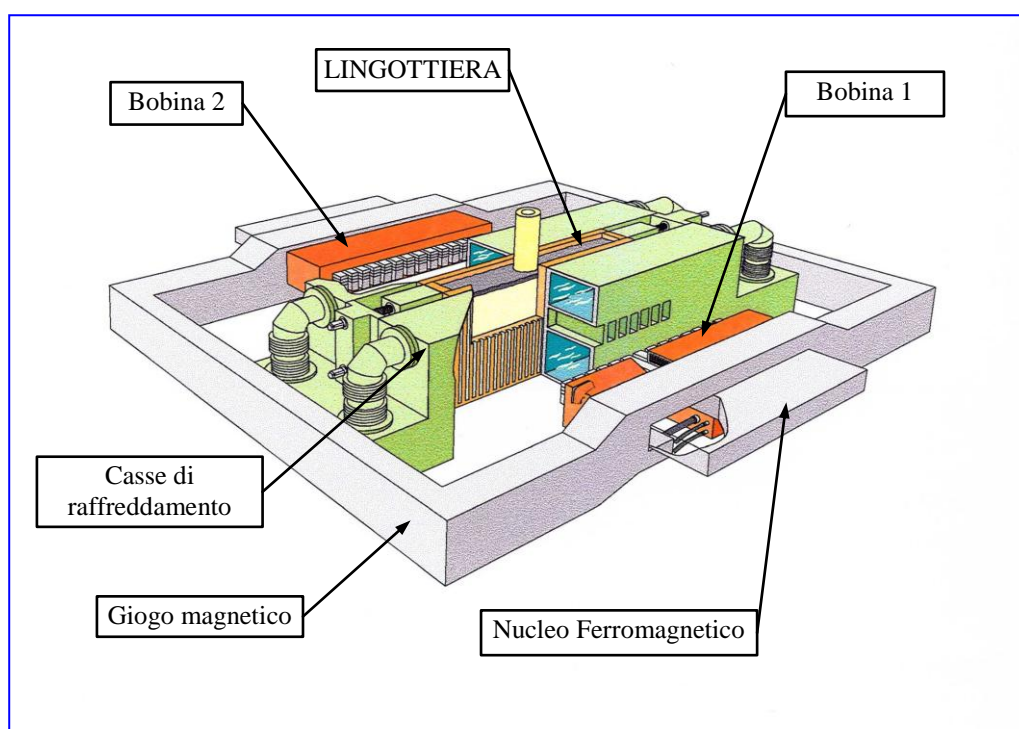
Durata media di un set di piastre completo Iso20 (facce larghe e strette)di una lingottiera AR
18: 350 colate circa suddivise in:

- montaggi per set..... : 9
- colate per montaggio..... : 90
- materiale asportato per montaggio..... : 1 mm circa
- distanza acqua/acciaio minima utilizzabile..... :
 - Facce Larghe : 9 mm
 - Facce Strette : 9 mm

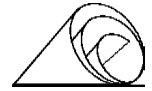


FRENO ELETTROMAGNETICO (EMBR)

A fine dicembre 2005 è terminata l'installazione del freno elettromagnetico o EMBR (ElectroMagnetic Brake), introdotto al fine di migliorare la qualità dei nastri tramite una maggiore stabilità del flusso di acciaio liquido in lingottiera. Senza tale dispositivo, infatti, nonostante i notevoli miglioramenti ottenuti con la lingottiera AR18 e il tuffante Slim B2, all'aumentare della velocità di colaggio (sopra i 4,5 m/min), i flussi di acciaio provenienti dal tuffante portano ad un'instabilità del livello in lingottiera causando le note onde al menisco. Simili condizioni, come è noto, creano inevitabilmente una disomogeneità termica della bramma, l'intrappolamento delle polveri di colaggio nell'acciaio e di conseguenza un decadimento della qualità del prodotto finito, tanto da renderlo non adatto ad esempio, per le parti esposte della carrozzeria delle auto o parti esterne verniciate degli elettrodomestici. Nella figura di seguito riportata (Fig. 64), è schematizzato il tipo di freno elettromagnetico della ABB, installato sull'impianto I.S.P, con i principali elementi che lo compongono.



*Fig. 64 - Rappresentazione schematica del freno ABB
con i vari elementi che lo compongono*



Come si può osservare, il freno magnetico è disposto attorno alla lingottiera ed è composto di un giogo magnetico, da due bobine e da due nuclei ferromagnetici scorrevoli all'interno delle bobine stesse che consentono il passaggio del flusso magnetico attraverso la lingottiera. Le condizioni sopra descritte, sono riassunte nella Fig. 65 nella quale a titolo esemplificativo sono evidenziate le condizioni di colaggio con o senza il Freno Elettromagnetico (EMBR).

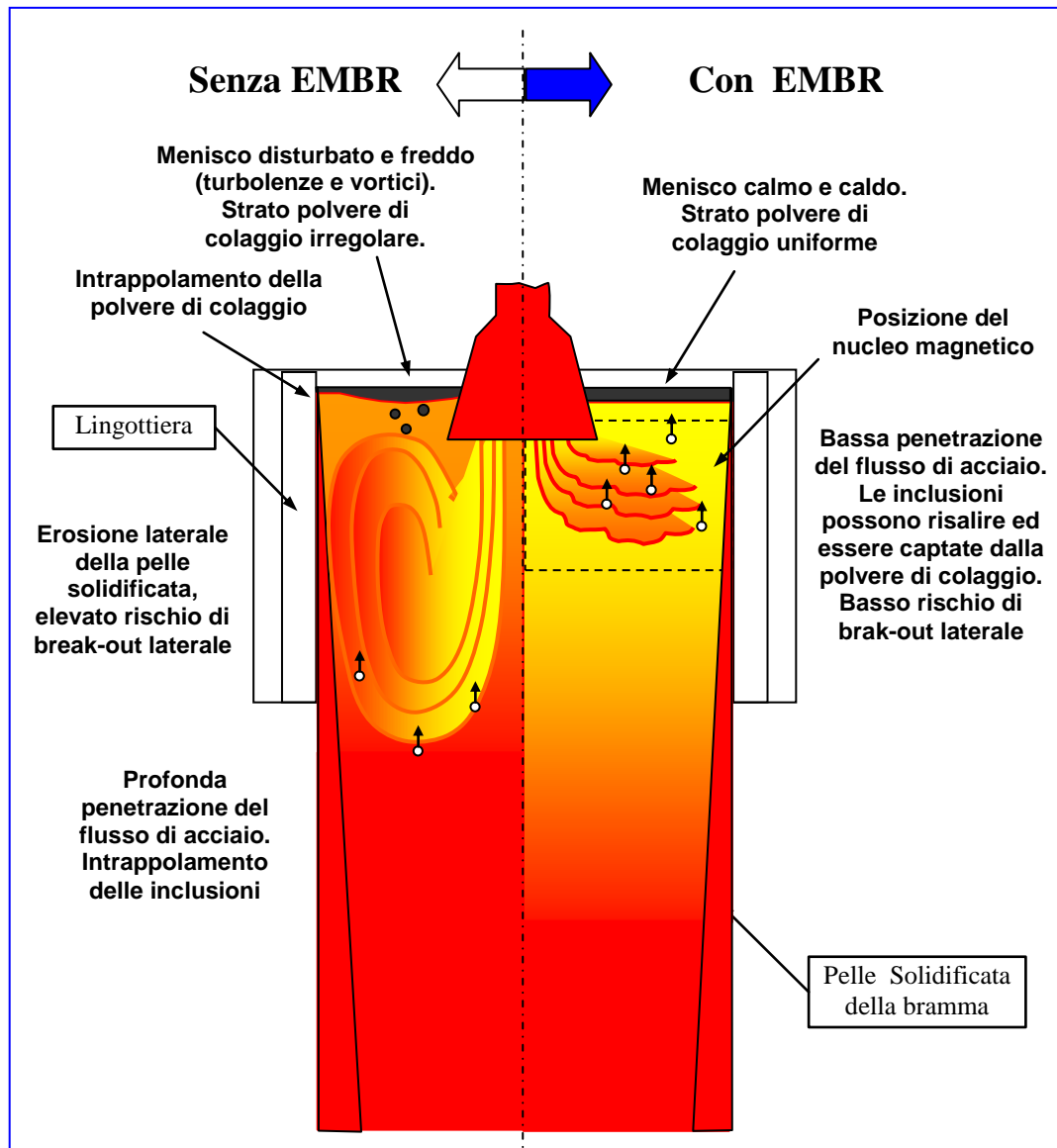


Fig. 65 - Rappresentazione grafica delle condizioni di colaggio in lingottiera, con o senza il freno elettromagnetico



Appare evidente che il film della polvere di colaggio è molto più uniforme, il livello dell'acciaio più stabile, l'impatto laterale del getto di acciaio in uscita dal tuffante molto ridotto, così pure la profondità dei flussi, un insieme di fattori che non possono che migliorare la qualità del prodotto.

COMPONENTI PRINCIPALI

Il freno elettromagnetico è composto principalmente da due bobine posizionate in prossimità delle facce larghe della lingottiera, le quali, unitamente ai nuclei ferromagnetici e al giogo magnetico, formano il circuito magnetico (Fig. 66).

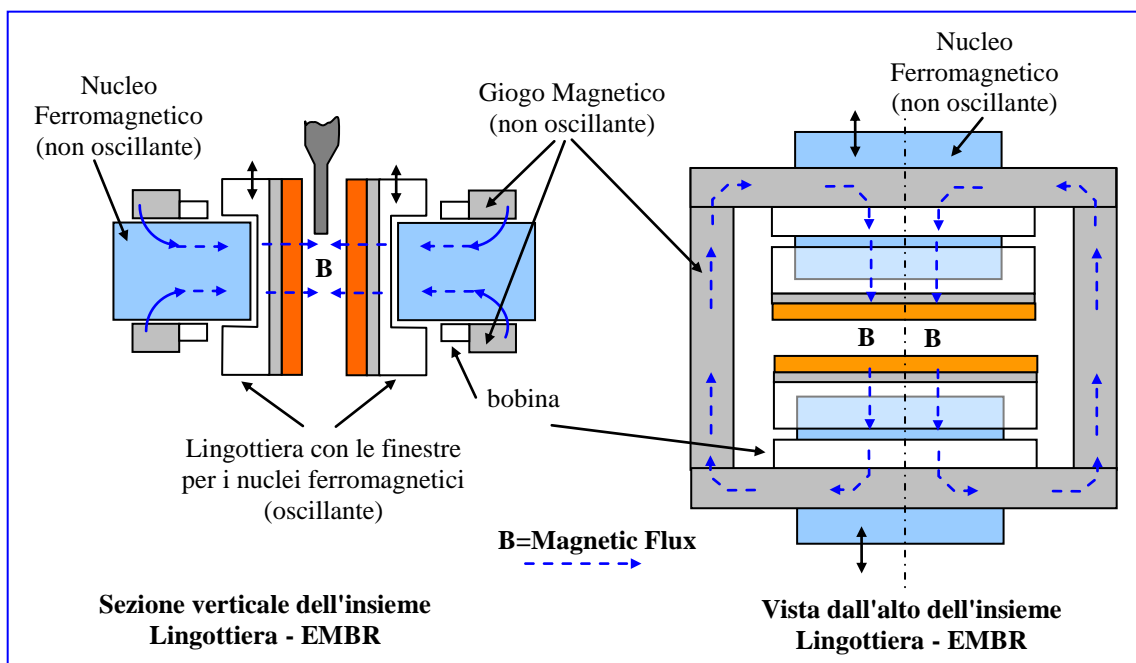
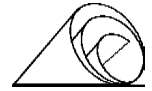


Fig. 66 - Rappresentazione schematica del circuito magnetico dell'EMBR

Le bobine sono montate sul giogo magnetico che non oscilla, sono poste in una camera raffreddata e avvolgono il nucleo ferromagnetico. Per ottimizzare il flusso magnetico da trasferire all'acciaio in lingottiera i nuclei ferromagnetici sono mobili e possono spostarsi avanti o indietro all'interno delle finestre presenti nelle casse d'acqua (water jackets) e quindi posizionarsi più o meno vicino alla lingottiera. Queste finestre sono leggermente più ampie per consentire alla lingottiera di oscillare senza interferire con i suddetti nuclei. Durante il cambio lingottiera le bobine rimangono nella loro posizione mentre i nuclei vengono ritirati con l'ausilio di pistoni oleodinamici.

Il giogo magnetico e i nuclei ferromagnetici, sono a sezione piena e non lamellare, per limitare la dispersione e la perdita delle correnti indotte e sono costruiti in acciaio ferritico al Carbonio, generico, con densità di flusso $B > 2.0$ Tesla e campo magnetico $H = 22A/m$.



Le casse d'acqua sono costruite in acciaio inossidabile austenitico per evitare la dispersione e distorsione del flusso magnetico.

Ogni bobina è protetta da un involucro in acciaio inossidabile austenitico tipo AISI 316L, sigillato, mentre le spire interne sono costituite da tubi di rame a sezione rettangolare raffreddate a circuito chiuso con acqua de-ionizzata. Le spire sono collegate al sistema di raffreddamento in parallelo e la temperatura dell'acqua è monitorata in continuo in uscita. Le due bobine sono collegate elettricamente in serie attraverso dei connettori esterni posti in appositi involucri. L'equipaggiamento elettrico è composto principalmente da un trasformatore, da un thyristor converter e da un pannello di controllo.

Le bobine convertono la corrente continua proveniente dal thyristor converter in campo magnetico statico. La Fig. 67 mostra l'equipaggiamento del freno elettromagnetico.

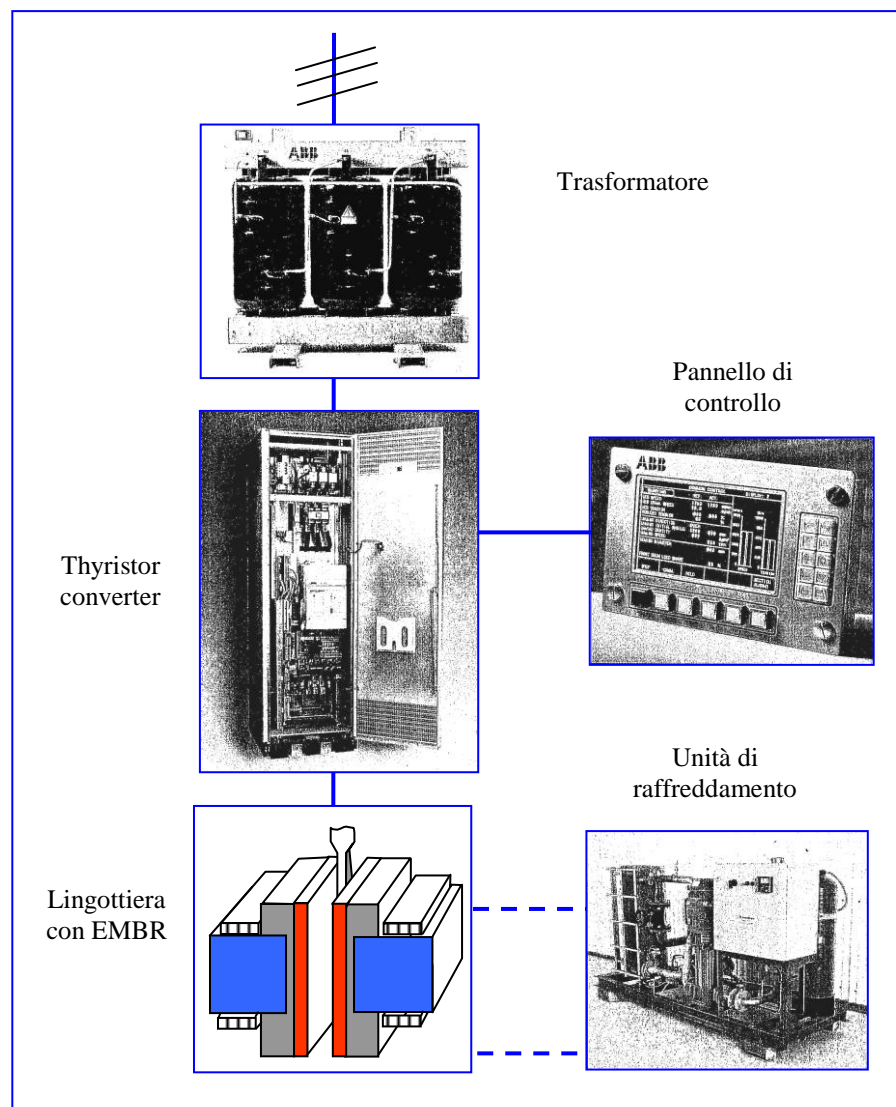
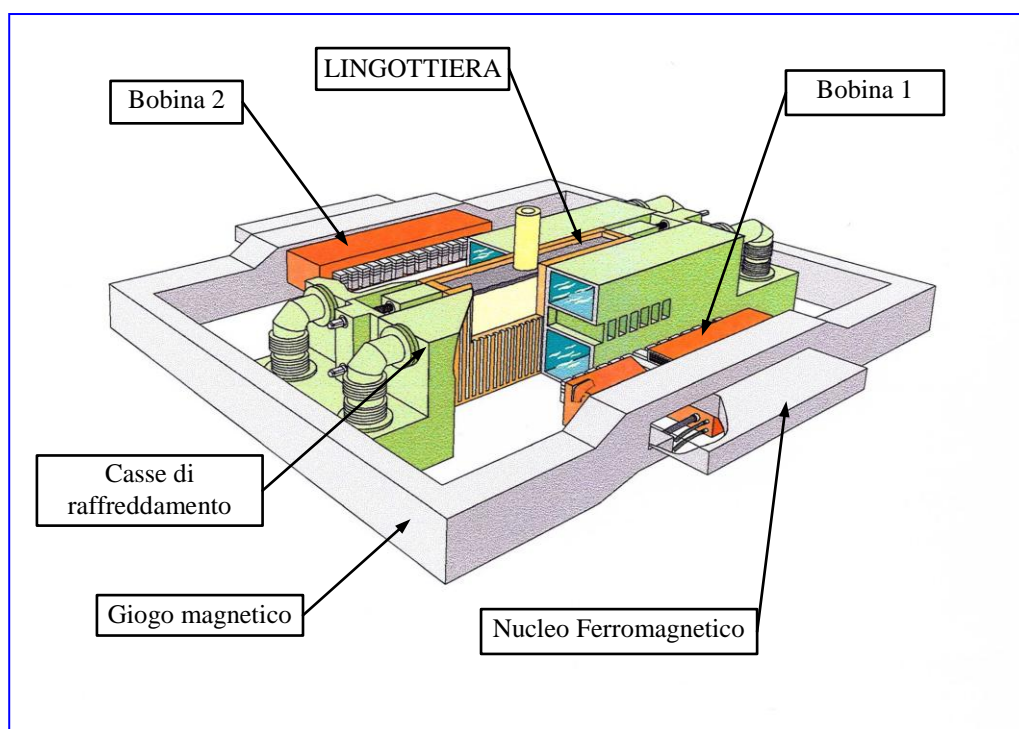


Fig. 67 - Rappresentazione schematica dell'equipaggiamento del freno elettromagnetico



FRENO ELETTROMAGNETICO (EMBR)

A fine dicembre 2005 è terminata l'installazione del freno elettromagnetico o EMBR (ElectroMagnetic Brake), introdotto al fine di migliorare la qualità dei nastri tramite una maggiore stabilità del flusso di acciaio liquido in lingottiera. Senza tale dispositivo, infatti, nonostante i notevoli miglioramenti ottenuti con la lingottiera AR18 e il tuffante Slim B2, all'aumentare della velocità di colaggio (sopra i 4,5 m/min), i flussi di acciaio provenienti dal tuffante portano ad un'instabilità del livello in lingottiera causando le note onde al menisco. Simili condizioni, come è noto, creano inevitabilmente una disomogeneità termica della bramma, l'intrappolamento delle polveri di colaggio nell'acciaio e di conseguenza un decadimento della qualità del prodotto finito, tanto da renderlo non adatto ad esempio, per le parti esposte della carrozzeria delle auto o parti esterne verniciate degli elettrodomestici. Nella figura di seguito riportata (Fig. 64), è schematizzato il tipo di freno elettromagnetico della ABB, installato sull'impianto I.S.P, con i principali elementi che lo compongono.



*Fig. 64 - Rappresentazione schematica del freno ABB
con i vari elementi che lo compongono*



Come si può osservare, il freno magnetico è disposto attorno alla lingottiera ed è composto di un giogo magnetico, da due bobine e da due nuclei ferromagnetici scorrevoli all'interno delle bobine stesse che consentono il passaggio del flusso magnetico attraverso la lingottiera. Le condizioni sopra descritte, sono riassunte nella Fig. 65 nella quale a titolo esemplificativo sono evidenziate le condizioni di colaggio con o senza il Freno Elettromagnetico (EMBR).

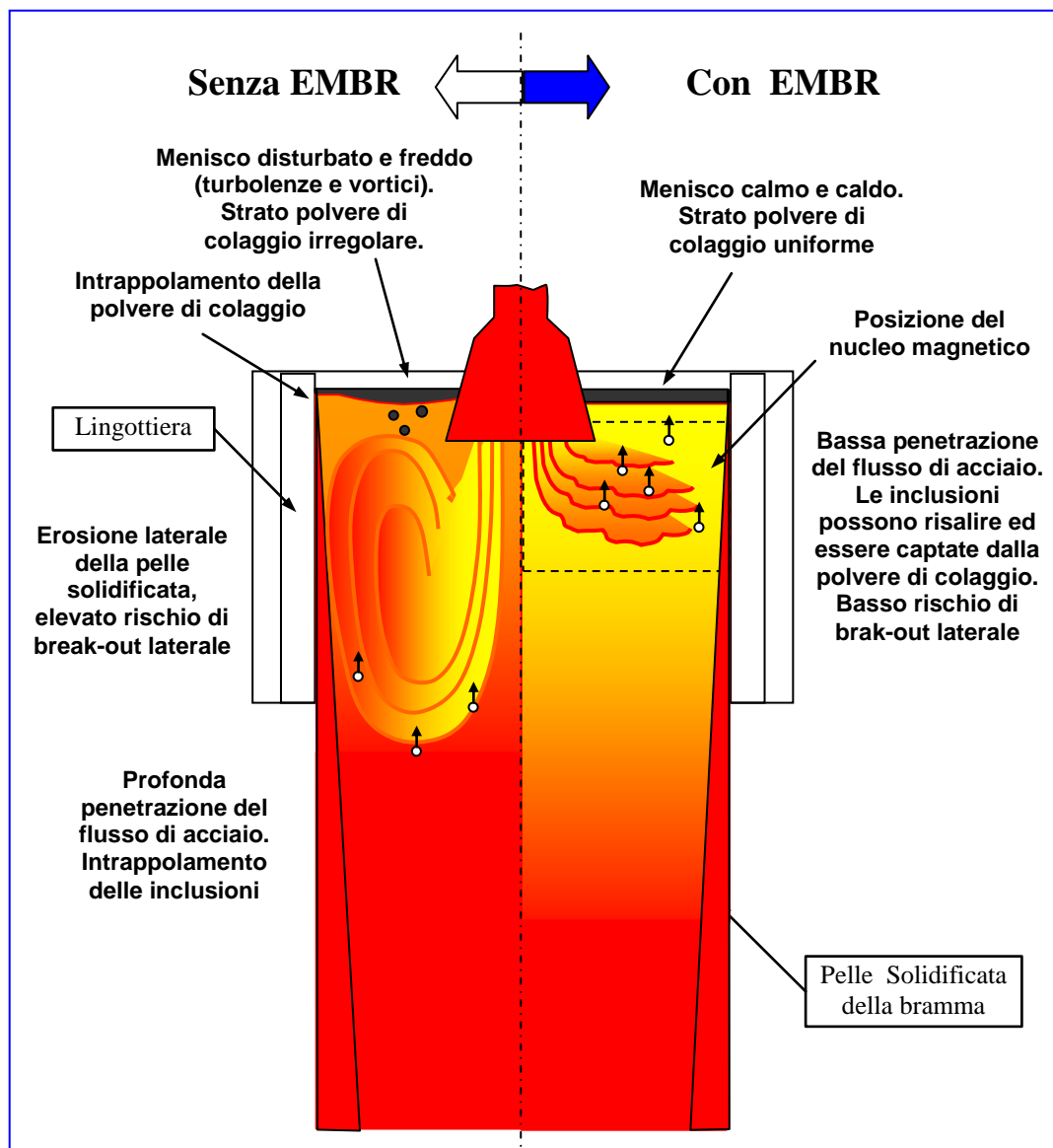


Fig. 65 - Rappresentazione grafica delle condizioni di colaggio in lingottiera, con o senza il freno elettromagnetico



Appare evidente che il film della polvere di colaggio è molto più uniforme, il livello dell'acciaio più stabile, l'impatto laterale del getto di acciaio in uscita dal tuffante molto ridotto, così pure la profondità dei flussi, un insieme di fattori che non possono che migliorare la qualità del prodotto.

COMPONENTI PRINCIPALI

Il freno elettromagnetico è composto principalmente da due bobine posizionate in prossimità delle facce larghe della lingottiera, le quali, unitamente ai nuclei ferromagnetici e al giogo magnetico, formano il circuito magnetico (Fig. 66).

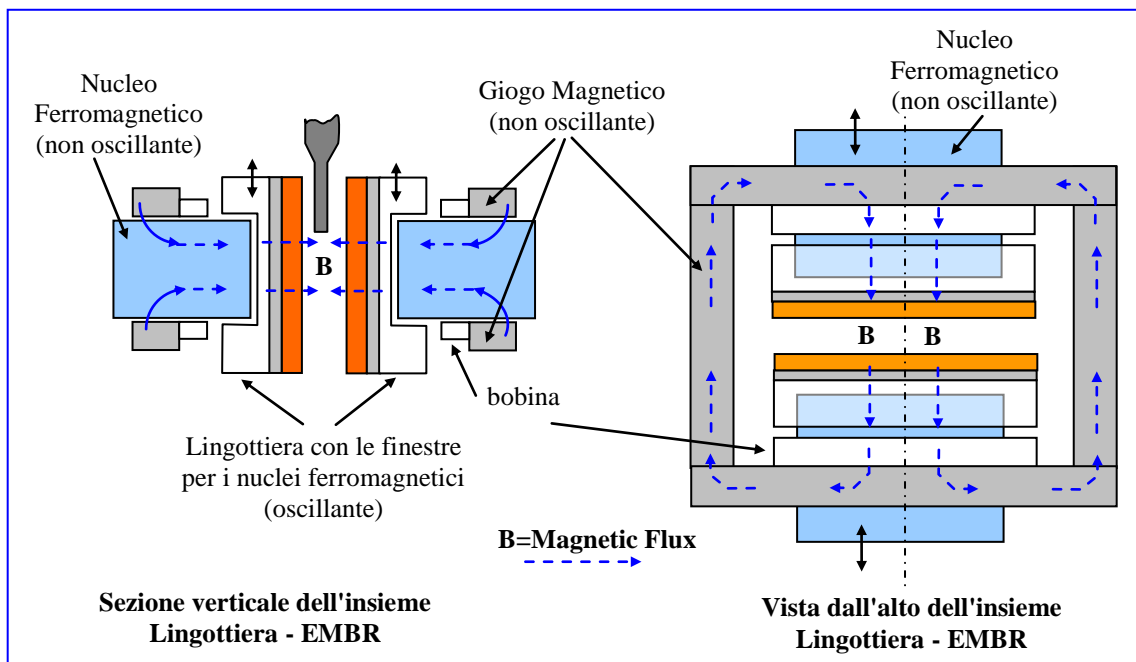


Fig. 66 - Rappresentazione schematica del circuito magnetico dell'EMBR

Le bobine sono montate sul giogo magnetico che non oscilla, sono poste in una camera raffreddata e avvolgono il nucleo ferromagnetico. Per ottimizzare il flusso magnetico da trasferire all'acciaio in lingottiera i nuclei ferromagnetici sono mobili e possono spostarsi avanti o indietro all'interno delle finestre presenti nelle casse d'acqua (water jackets) e quindi posizionarsi più o meno vicino alla lingottiera. Queste finestre sono leggermente più ampie per consentire alla lingottiera di oscillare senza interferire con i suddetti nuclei. Durante il cambio lingottiera le bobine rimangono nella loro posizione mentre i nuclei vengono ritirati con l'ausilio di pistoni oleodinamici.

Il giogo magnetico e i nuclei ferromagnetici, sono a sezione piena e non lamellare, per limitare la dispersione e la perdita delle correnti indotte e sono costruiti in acciaio ferritico al Carbonio, generico, con densità di flusso $B > 2.0$ Tesla e campo magnetico $H = 22A/m$.



Le casse d'acqua sono costruite in acciaio inossidabile austenitico per evitare la dispersione e distorsione del flusso magnetico.

Ogni bobina è protetta da un involucro in acciaio inossidabile austenitico tipo AISI 316L, sigillato, mentre le spire interne sono costituite da tubi di rame a sezione rettangolare raffreddate a circuito chiuso con acqua de-ionizzata. Le spire sono collegate al sistema di raffreddamento in parallelo e la temperatura dell'acqua è monitorata in continuo in uscita. Le due bobine sono collegate elettricamente in serie attraverso dei connettori esterni posti in appositi involucri. L'equipaggiamento elettrico è composto principalmente da un trasformatore, da un thyristor converter e da un pannello di controllo.

Le bobine convertono la corrente continua proveniente dal thyristor converter in campo magnetico statico. La Fig. 67 mostra l'equipaggiamento del freno elettromagnetico.

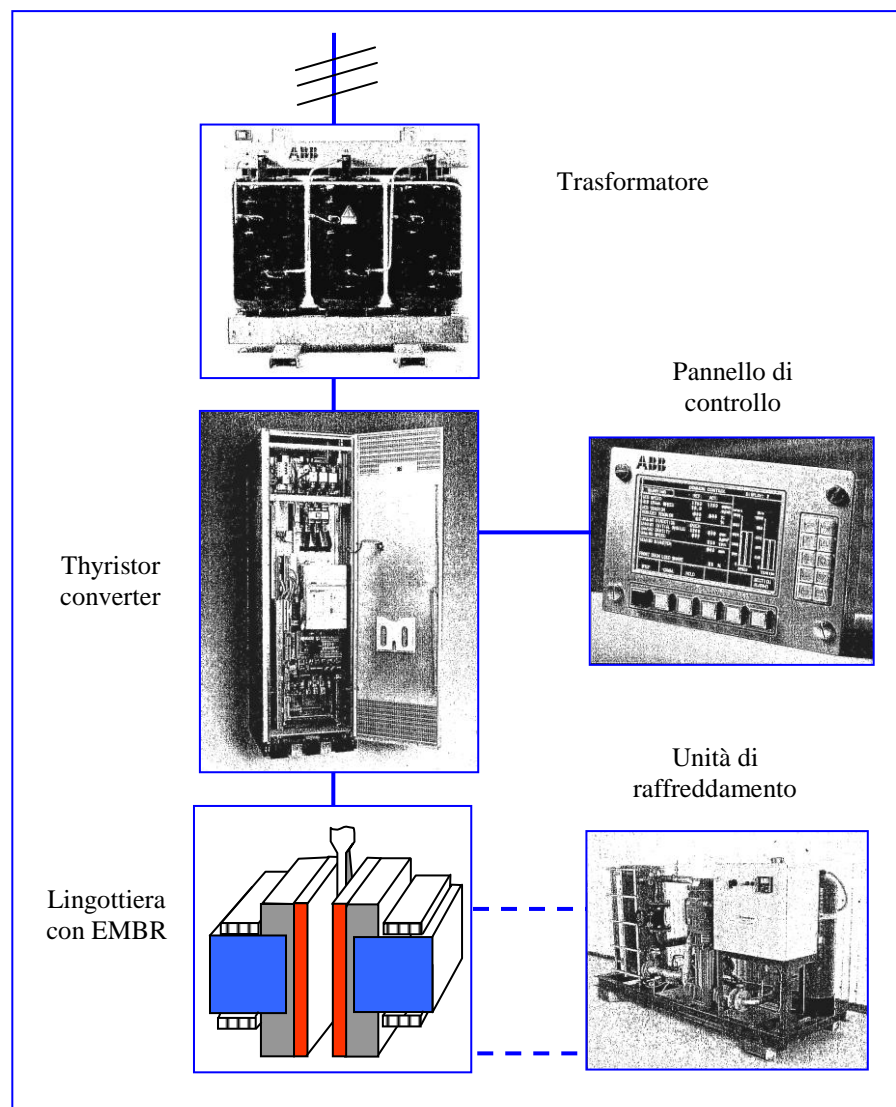
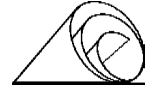


Fig. 67 - Rappresentazione schematica dell'equipaggiamento del freno elettromagnetico



ANALISI TECNOLOGICA DELLA LINGOTTIERA

ARTICOLAZIONE DELL'ANALISI

Lo studio corretto dell'efficienza del sistema di raffreddamento primario necessita la considerazione di tre fondamentali aspetti:

- la componente fluidodinamica;
- la componente termica;
- la componente meccanica.

I tre aspetti sono strettamente correlati. Infatti, la parte fluidodinamica influenza il campo termico che a sua volta provoca la stabilizzazione della componente fluidodinamica attraverso la variazione della densità.

Lo studio dell'aspetto meccanico è influenzato dallo stato termico, in particolare risulta determinante ai fini di comprendere il mantenimento dell'integrità della zona di pelle la distribuzione termica nella regione di metallo ancora liquido. Fissato un determinato campo termico, in corrispondenza di velocità di deformazione superiori ad un valore critico. La pelle può andare incontro all'insorgere di cricche che non risultano accettabili per garantire la desiderata qualità nel successivo processo di laminazione a caldo o che addirittura possono provocare il fenomeno di break-out.

Sono state prese in considerazioni diverse soluzioni impiantistiche e di parametri di processo per ottimizzarne la combinazione e cogliere le principali linee guida che possano guidare (condurre) alla variazione delle principali caratteristiche secondo cui si struttura il sistema lingottiera.

SVILUPPO DELL'ASPETTO FLUIDODINAMICO E DELL'ASPETTO TERMICO

L'analisi fluidodinamica e quella termica sono state sviluppate attraverso un approccio computazionale alle differenze finite. La struttura dell'algoritmo risolutivo è quella definita secondo la denominazione di SIMPLE (S.V.Patankar, *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, 1992) risolta mediante la tecnica numerica di Gauss-Seidel.

Nella tabella 1 sono riportati i parametri fisici utilizzati per l'analisi tecnologica della lingottiera.

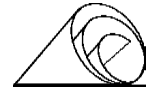


Tabella 1

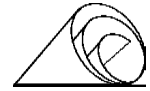
Quantità	Simbolo	Unità
Conductivity	K	$120 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Calore specifico	C_p	$\text{J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Calore latente di fusione	L	272000 J m^{-3}
Flusso termico	Φ	W m^{-2}
Densità	ρ	kg m^{-3}
Temperatura di Liquidus	T_l	K
Temperatura di solidus	T_s	K
Yielding stress	σ_y	Pa
Dimensioni delle celle di integrazione	$\delta x, \delta y, \delta r$	M
Passo temporale	δt	s
Densità dell'acqua	ρ_{H_2O}	1000 kg m^{-3}
Flusso di Acqua	F	$\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$
Potenza termica estratta	ΔQ	W
Calore specifico dell'acqua	$C_{p,h20}$	$4185 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Temperatura dell'acqua	$T_{in} T_{out}$	K

Innanzitutto è necessario definire la geometria: la lingottiera è essenzialmente una “scatola” senza fondo né coperchio e la sezione può essere rettangolare (o quadrata) oppure circolare. Ovviamente la presenza di simmetrie invita a limitare i calcoli ad una porzione significativa del sistema. Quindi vi è la possibilità di studiare la sezione circolare come bidimensionale (dimensioni radiale ed assiale), mentre per la sezione rettangolare rimane necessaria la schematizzazione tridimensionale, limitata però ad un quadrante.

La potenza termica totale estratta nel tratto di raffreddamento primario è facilmente calcolabile conoscendo la portata di acqua e il salto di temperatura da essa subito. Dalla potenza totale viene poi ricavato il flusso termico medio sul contorno dividendo per la superficie laterale (A_{ling}):

$$Q_{\text{ling}} = \dot{q}_{\text{acqua}} * \rho_{\text{acqua}} * C_{p,\text{acqua}} * \Delta T_{\text{acqua}} / A_{\text{ling}}$$

in cui \dot{q}_{acqua} è espresso in m^3/s e le altre grandezze con le relative dimensioni m/s, come nel resto di questo scritto.



La semplice quantificazione della potenza media estratta non è invero soddisfacente per una buona descrizione del flusso entalpico, in quanto esso varia notevolmente tra le diverse zone della superficie di scambio.

Viene in aiuto l'osservazione che la grande maggioranza delle misurazioni effettuate su lingottiere in esercizio riporta una caratteristica distribuzione longitudinale (cioè nella direzione di colaggio) della intensità del flusso, come mostrato nella figura 1:

In effetti esiste una certa dipendenza dal tipo di lubrificante usato, perciò, come situazione meglio rappresentativa della pratica, è stata scelta una curva intermedia tra quella dell'olio e quella della polvere tipo A.

L'idea di fondo è quella che, normalizzando tale curva in modo che essa abbia area unitaria lungo il percorso in lingottiera, il flusso puntuale sia ottenibile moltiplicando il flusso medio per l'ordinata locale della curva.

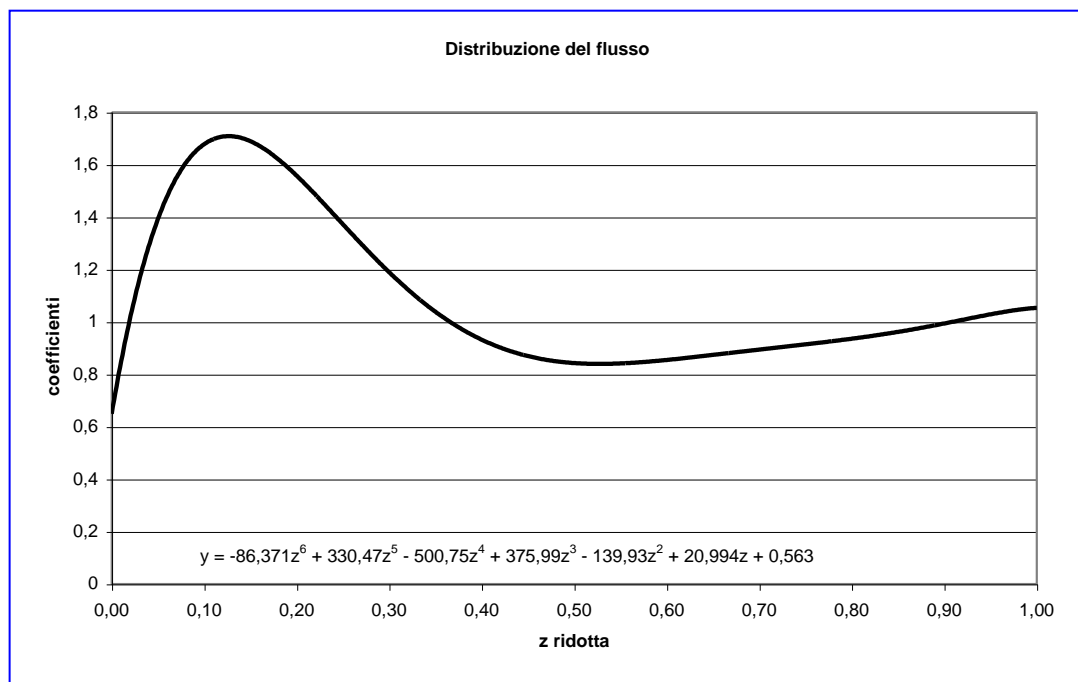


Fig. 1 - La funzione di distribuzione della potenza termica estratta adottata nei calcoli.

Inoltre la funzione polinomiale che determina la distribuzione (riportata in figura 2) è facilmente modificabile nel programma, così da poterla adattare a situazioni diverse. Sotto questa ipotesi, applicando una velocità di discesa pari a 4,4 m/min, un ΔT dell'acqua di raffreddamento pari a 7.5°C ed una portata d'acqua sulle facce larghe pari 5,4 m³min⁻¹ si è svolta la simulazione del processo di solidificazione in lingottiera.



La simulazione termica pone in evidenza come il gradiente della componente solida (1623K^{-1}) e quello della componente liquida (152K^{-1}) all'uscita dalla lingottiera possano assicurare un rapido processo di solidificazione che viene confermata attraverso la consolidata e semplice relazione:

$$V = \frac{k_s \left(\frac{dT}{dx} \right)_s - k_l \left(\frac{dT}{dx} \right)_l}{L\rho}$$

dove

V è la velocità di avanzamento dell'interfaccia solido liquido,

L calore latente di fusione del metallo,

ρ rappresenta la densità del metallo,

k_l conducibilità del liquido,

k_s conducibilità del solido,

$\left(\frac{dT}{dx} \right)_l$ gradiente termico del liquido,

$\left(\frac{dT}{dx} \right)_s$ gradiente termico del solido.

Una corretta pratica di acciaieria che limiti il super-heat a non più di $20^\circ\text{-}25^\circ\text{C}$ può quindi consentire di giungere a questa favorevole situazione, che comunque è promossa anche dalle condizioni fluidodinamiche che si instaurano nella lingottiera tipo multi-bending.

L'abbattimento del super-heat è infatti favorito dall'effetto di stirring naturale del fluido, che nella lingottiera multi-bending (fig. 6, fig. 7) raggiunge valori pari a circa 0.3 m/s in prossimità della superficie solida interna. Si tratta di valori generalmente impiegati nei processi di stirring elettromagnetico. Inoltre, il massimo di velocità nell'impatto verticale si raggiunge in uscita ed in questa situazione lo spessore di pelle solidificata ha ormai raggiunto una dimensione compresa tra $7\text{-}8\text{mm}$, così che non può provocare danni alla pelle solidificata attraverso fenomeni di erosione. Invece, nella lingottiera diritto-curva (fig. 8, fig. 9) il punto di massima velocità verticale viene raggiunto all'impatto tra il fluido in discesa e la pelle solidificata quando la zona completamente solidificata possiede una dimensione di appena 3 mm , provocando un maggiore danno dovuto all'erosione della pelle. A questo si aggiunga che nella lingottiera diritto-curva la velocità verticale tende a decrescere, mentre nel caso multi-bending la velocità tende ad aumentare con un incremento del coefficiente di scambio convettivo del calore.

Infatti la lingottiera diritto-curva mostra un maggiore incremento della componente orizzontale del fluido a seguito dell'impatto delle linee di flusso principali ed un corrispondente decremento di quella verticale.



Ciò è indice di una dissipazione di energia cinetica del fluido caldo che così può operare due effetti:

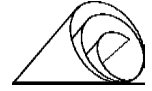
- erodere ed assottigliare la pelle solidificata nel raccordo tra il tratto dritto e quello curvo;
- dato il rallentamento complessivo del liquido, il metallo tende a ristagnare maggiormente nella zona di uscita, smaltendo il super-heat a spese di un maggiore riscaldamento della pelle di estradosso che tenderà ad uscire più calda e quindi con inferiori caratteristiche resistenziali, dopo essere stata pure danneggiata dal sopraccitato intenso impatto del flusso caldo.

Attraverso la simulazione sono stati confrontati tre tipi di tuffante (colaggio verticale, colaggio con diffusore e flusso in uscita orizzontale, tuffante SLIMB2).

Il tuffante SLIMB2 appare in grado di fornire il miglior compromesso tra le caratteristiche di omogeneità dell'alimentazione della lingottiera lungo le facce larghe e di limitazione dei fenomeni di turbolenza in corrispondenza del menisco in prossimità del tuffante (Figg. 6 a 9). Le altre configurazioni simulate (Figg. 10 a 13) non raggiungono tale compromesso. Infatti il tuffante con diffusore in direzione orizzontale produce eccessive variazioni di velocità in corrispondenza del menisco nell'intercapedine tra le facce larghe ed il tuffante stesso, mentre il tuffante con angolo di uscita di 10° rispetto alla verticale, per quanto non sia disprezzabile la sua diffusione verso le facce strette, produce eccessivi incrementi di velocità in grado di alterare termicamente e compromettere la stabilità della pelle solidificata in corrispondenza della regione compresa fra le pareti del tuffante stesso e le pareti della lingottiera. Quindi, come chiaramente si può evincere dai dati di simulazione dei campi di velocità il diffusore SLIMB2 o suoi possibili derivati che mantengano un analogo comportamento fluidodinamico sembrano fornire la soluzione ottimale. Un abbassamento della distanza tra pareti tuffante e pareti della lingottiera comporta un incremento della velocità orizzontale di superficie che può condurre a consistenti problemi di instabilità del menisco dovuti all'eccessiva turbolenza. La sagomatura imposta ai rigonfiamenti delle pareti della lingottiera appare una buona soluzione per limitare i fenomeni di turbolenza (distanza lingottiera tuffante troppo piccola).

CRITERI DI CURVATURA DELLA LINGOTTIERA

L'analisi dell'integrità superficiale dello bramma è stata condotta sulla base di quello che è generalmente noto come Dynamic Material Model, proposto da Y.V.R.K. Prasad e S. Sasidhara, in cui la deformabilità a caldo del materiale viene correlata alla capacità posseduta dal metallo, caratterizzato da un particolare stato termico, di dissipare l'energia che ad esso viene applicata nel processo di deformazione a caldo. Per quanto la lingottiera non sia mai un dispositivo preposto alla deformazione meccanica a caldo, il materiale subisce all'interno di essa una deformazione plastica a tutti gli effetti.



Questa si rende inevitabile nel caso la lingottiera abbia forma curva, al fine di garantire una maggiore compattezza della macchina di colata. Questo è appunto il caso dell'impianto ISP. Quindi la velocità (tasso) di deformazione imposto dalla lingottiera durante il processo di curvatura e lo stato termico del materiale risultano i due parametri fondamentali per garantire l'integrità della pelle e se il secondo è imposto dai parametri di raffreddamento dalla lingottiera, il primo è invece imposto dal tasso di curvatura della lingottiera stessa.

Il Dynamic Material Model parte dalla relazione tra lo sforzo imposto ed il tasso di deformazione che sono legati attraverso le costanti K ed m, nota come relazione costitutiva di tipo dinamico:

$$\sigma = K(d\varepsilon/dt)^m$$

dove

σ è lo sforzo applicato

K e m sono due costanti del materiale

$(d\varepsilon/dt)$ è la velocità di deformazione.

Dalla rappresentazione grafica è possibile scomporre la potenza totale dissipata (P) in due differenti contributi: l'energia assorbita dal materiale (G) e quella da esso dissipata (J) (Fig.51).

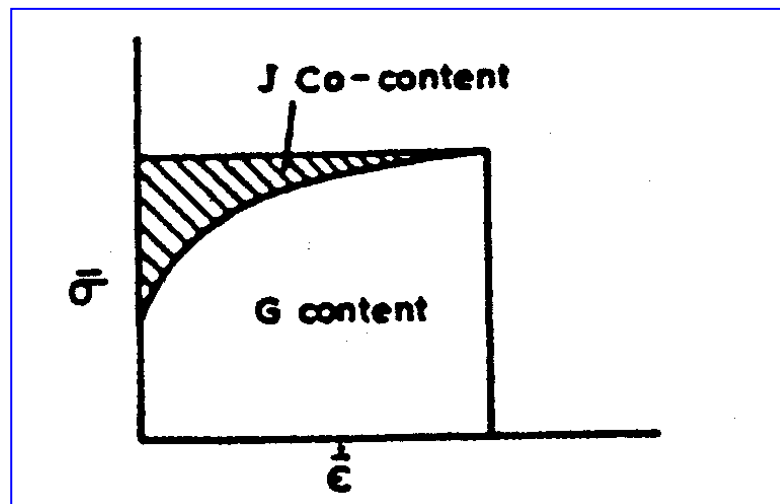


Fig. 2 - La ripartizione delle componenti di potenza nel processo deformativi.
L'ascissa corrisponde a $(d\varepsilon/dt)$



La potenza dissipata è proporzionale al tasso di entropia prodotta attraverso la temperatura:

$$P = T (dS/dt)$$

dove

T rappresenta la temperatura

dS/dt il tasso di entropia sviluppata.

Il tasso di produzione di entropia è dovuto a due principali fattori: la conduzione di calore e le variazioni metallurgiche. Evidentemente il contributo più importante è dato in questo caso dallo sviluppo e dalla conduzione del calore. J rappresenta la componente di energia dissipata, mentre G risulta essere l'energia immagazzinata dal materiale, quindi assume particolare importanza la ripartizione della potenza totale tra le componenti precedenti. Il parametro m rappresenta il valore del rapporto tra la variazione di J (dJ) e quella di G (dG). Il limite massimo alla dissipazione è rappresentato dal cosiddetto dissipatore lineare (Fig.3)

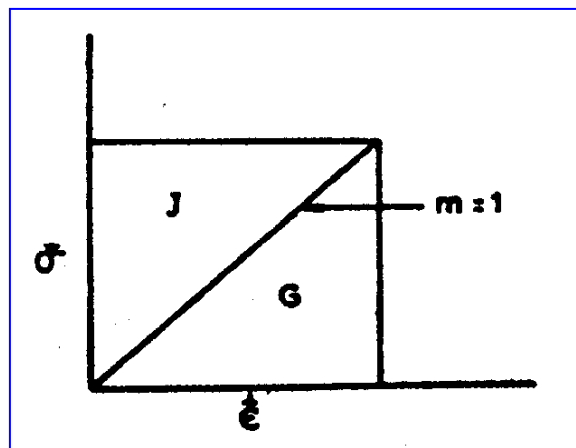


Fig.3 - Materiale dissipatore ideale

La massima potenza che può essere dissipata da questo materiale risulta pari a:

$$J_{max} = 2/(m+1)$$

E viene usata per fissare il parametro di efficienza della dissipazione di potenza:

$$\eta = 2m/(m+1)$$

che costituisce una delle basi per la costruzione delle Mappe di Deformabilità (fig.4) che indicano in funzione della temperatura e del tasso di deformazione le zone in cui si può lavorare in sicurezza il materiale, che sono caratterizzate dai maggiori valori di η .



Per ottenere una mappa completa e valutare con precisione le zone di instabilità si fa ricorso al parametro di instabilità:

$$\xi(d\varepsilon/dt) = [\neq \ln(m / m+1)] / \neq \ln(d\varepsilon/dt) + m$$

che deve permanere positivo, altrimenti il materiale in deformazione diviene instabile.

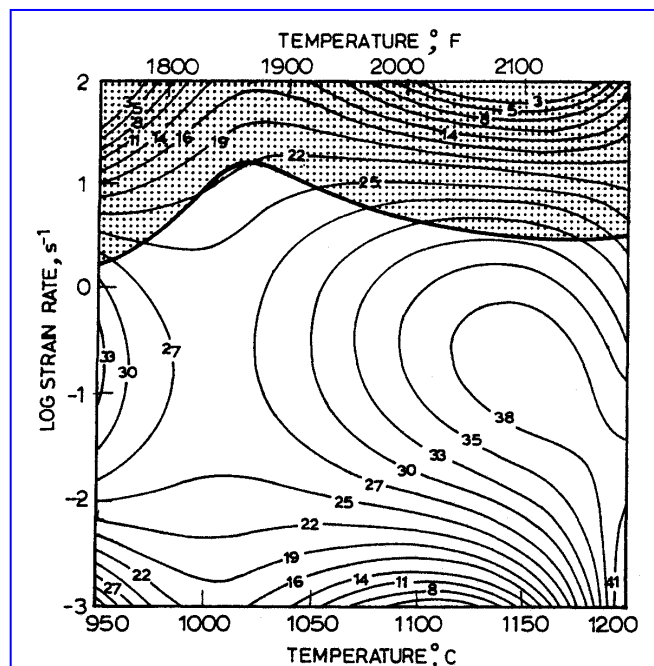


Fig. 4 – Mappa di instabilità e di efficienza della dissipazione del Fe- γ

Tale valore diviene negativo per la deformazione irreversibile

Dato un intervallo di velocità di colaggio pari a 4 m/min – 4,5 m/min e le temperature ottenute in pelle durante la simulazione termica si possono valutare le prestazioni di lingottiere con differenti profili che conferiscono velocità e tassi di deformazione differenti.

Si considerano solo gli strati esterni dell’estradosso, in quanto è la regione che deve sopportare la deformazione superiore in flessione e si utilizza il profilo di temperatura risultante dalla simulazione termica.

Vincolo d’impianto è il fatto che l’estradosso tra il punto di entrata ed il punto di uscita della lingottiera deve essere traslato in modo che all’uscita l’acciaio descriva una circonferenza con raggio di curvatura pari a 5200 mm. Quindi il tasso di curvatura, da cui dipende il tasso di deformazione, imposta la velocità di colaggio, deve essere modulato in modo tale da non portare il metallo nella regione di instabilità.



E' possibile modellizzare il processo di curvatura dell'estradosso come una sequenza di tratti rettilinei con angoli di inclinazione progressivamente maggiori rispetto alla verticale (Fig. 5). Nel caso di lingottiera curva con continuità si può pensare che la lunghezza di tali tratti sia infinitesima, così da realizzare una variazione continua del profilo.

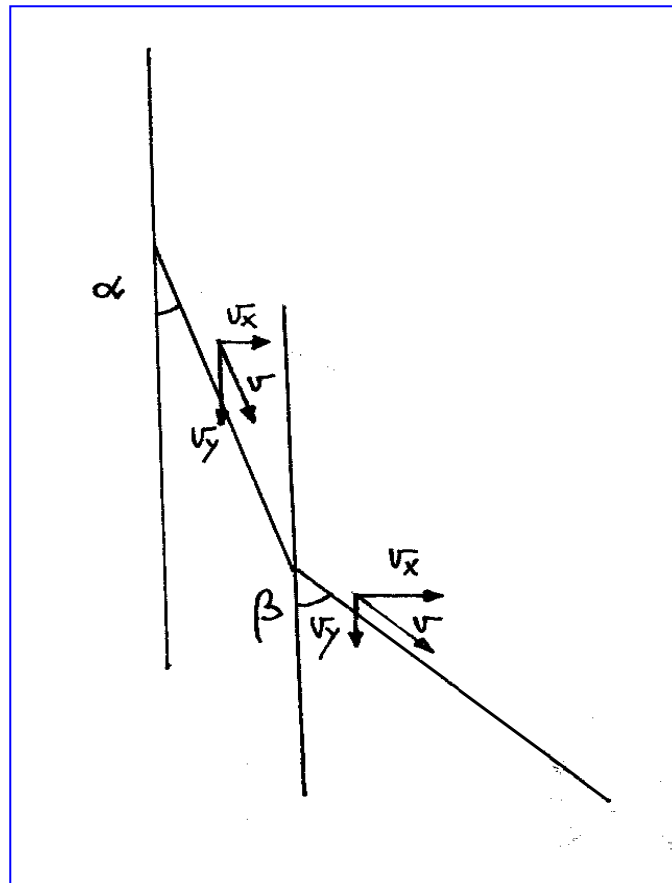
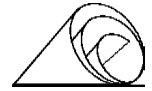


Fig. 5 - Modello di variazione del profilo della lingottiera.
Il modello computazionale per la valutazione della deformazione.

Il cambiamento di velocità viene misurato in corrispondenza del cambio di inclinazione tenendo conto della frequenza di oscillazione della lingottiera.

Il punto di maggiore criticità si realizza nella transizione dalla discesa completamente verticale a quella curva.

Infatti, seguendo l'approccio che prevede il calcolo dei campi di variazione della velocità di deformazione a partire dalle componenti cinematiche che interessano la pelle, è possibile rilevare il tasso di deformazione equivalente ($D_{equivalente}$) a cui è sottoposta la pelle in



presenza di un certo profilo e di determinate velocità di colaggio e le correlate frequenze di oscillazione della lingottiera:

$$D_x = \frac{\partial v_x}{\partial x}$$

$$D_y = \frac{\partial v_y}{\partial y}$$

$$D_{xy} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x} \right)$$

$$D_{equivalente} = \sqrt{\frac{2}{3} (D_x^2 + D_y^2 + 2D_{xy}^2)}$$

dove

v_x è la componente della velocità in direzione x ,

v_y è la componente della velocità in direzione y .

Per lo svolgimento della parte computazionale si è fissata la velocità di colaggio a 4.4m/min ed una corrispondente frequenza di oscillazione pari a 4.71Hz.

Le mappe di instabilità segnalano che a 1250°C non si dovrebbero superare $0.5s^{-1}$, laddove nella lingottiera diritto-curva questo valore appare superiore al limite, collocandosi attorno a $0.88s^{-1}$ anche per variazioni di curvatura di entità irrisoria, portando alla generazione di cricche trasversali indesiderate.

La scelta della lingottiera multi-bending, appare come la più appropriata, infatti in essa la solidificazione inizia in un tratto in cui la lingottiera è già leggermente inclinata. Un inclinazione di 1.91° raccordata ad un tratto caratterizzato da un angolo di 2.96° , alla velocità di 4,4 m/min consente di ottenere, senza alcuna diminuzione di velocità e di frequenza, $\log(d\varepsilon/dt)$ pari a $0.1s^{-1}$ che è del tutto accettabile. Se l'angolo medio del tratto iniziale fosse stato pari a 0, come nel caso della diritta curva e si passasse da 0° di inclinazione rispetto alla verticale ad un angolo medio di 6.69° (angolo medio da applicare per raccordare un tratto con raggio di curvatura pari a 5200 mm al tratto verticale), a cui corrisponde $\log(d\varepsilon/dt)$ pari a $0.88s^{-1}$ ciò risulterebbe del tutto inaccettabile.

L'approccio adottato chiarisce chiaramente che la condizione più critica è sempre quella del passaggio da verticale a curvo e quindi la soluzione più corretta, se non si vuole rallentare il processo di colaggio, è quella di applicare una leggera curvatura sin dall'inizio, che consenta la discesa della bramma senza provocare eccessivi tassi di deformazione.



Il caso della lingottiera tutta-curva appare il più critico in assoluto, in quanto comporta $\log(d\varepsilon/dt)$ anche superiori all'unità.

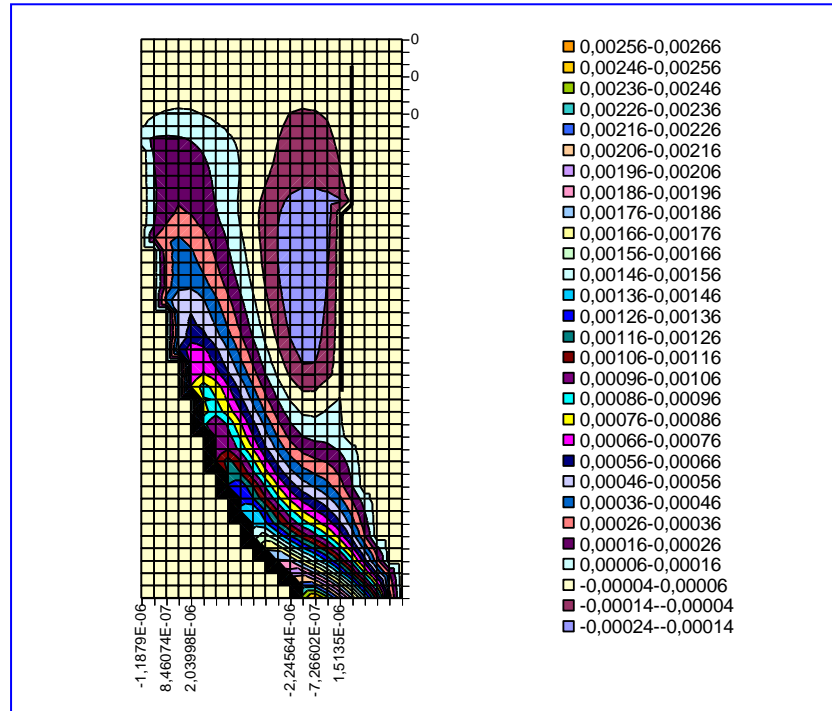


Fig. 6 - Campo delle componenti orizzontali di velocità (m/s) nella lingottiera multibending.

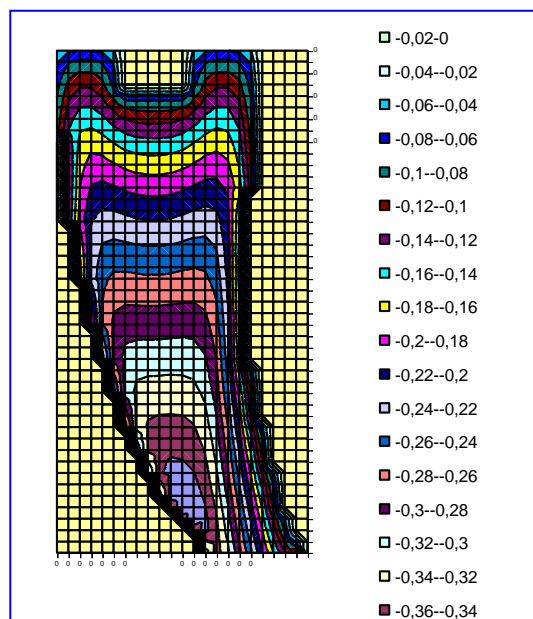


Fig. 7 - Campo della componente verticale di velocità (m/s) nella lingottiera multi-bending.

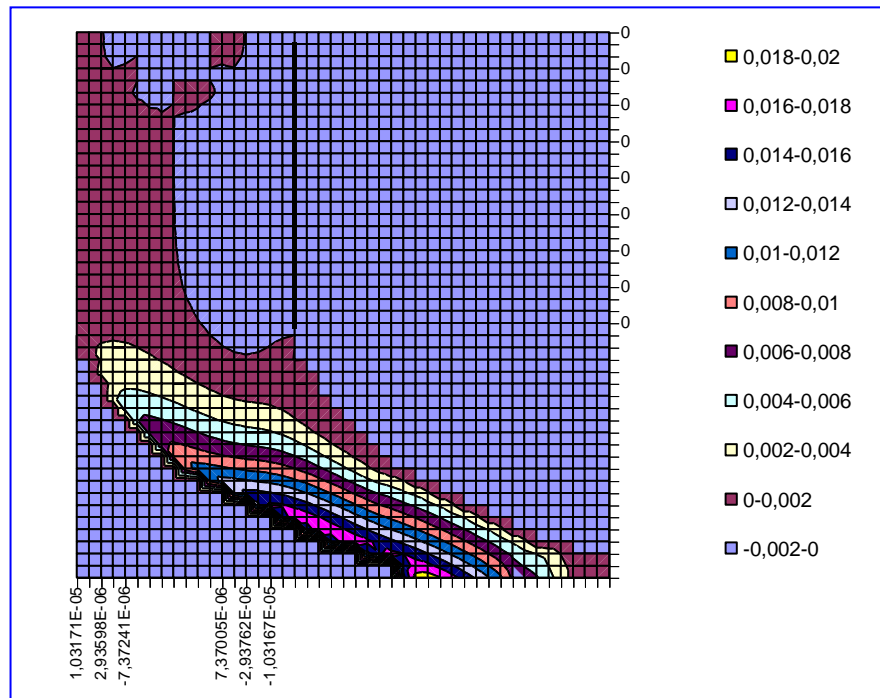
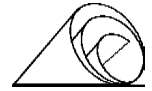


Fig. 8 - Campo della componente orizzontale di velocità nella lingottiera diritto-curva con tuffante SLIM2B

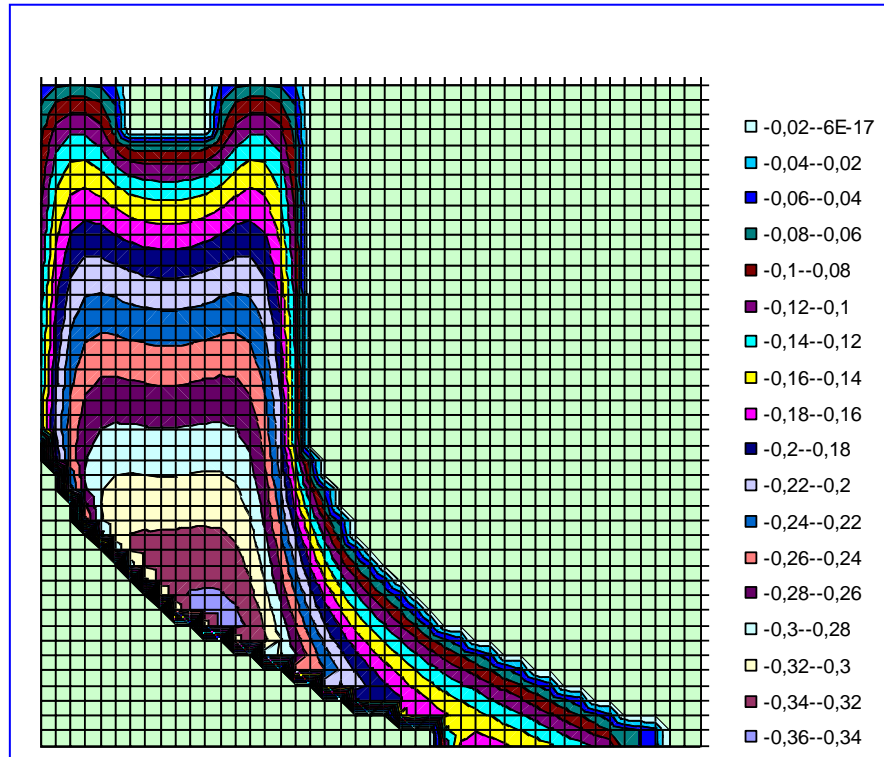


Fig. 9 - Campo della componente verticale della velocità nella lingottiera diritto curva con tuffante SLIM2B

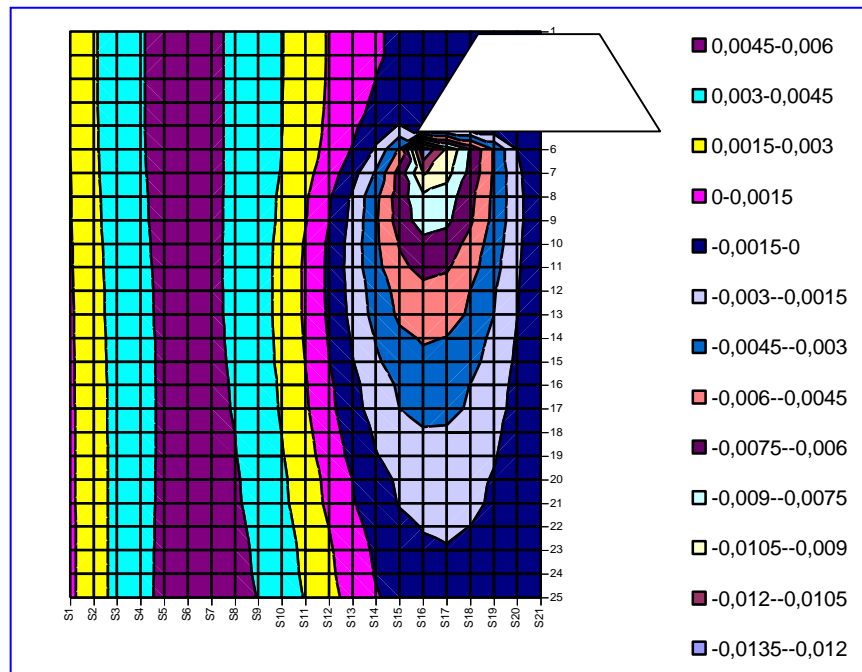


Fig. 10 - Campo delle componenti orizzontali (m/s) della velocità con tuffante SLIMB2, con vista frontale sulla faccia larga su metà della sezione

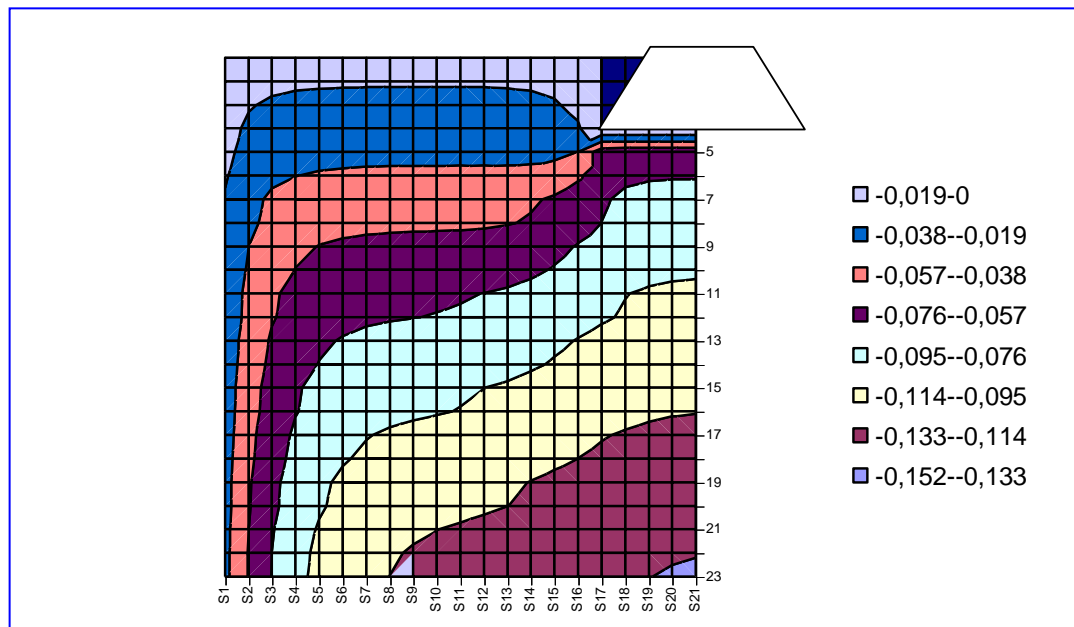


Fig. 11 - Campo delle componenti verticali (m/s) della velocità con tuffante SLIMB2, con vista frontale sulla faccia larga su metà della sezione

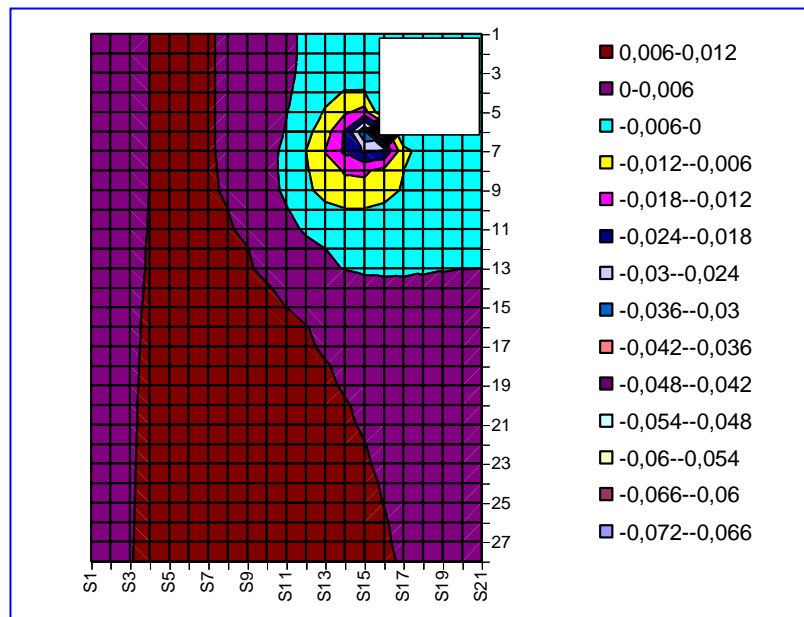


Fig. 12 - Campo delle componenti orizzontali (m/s) della velocità con tuffante con diffusore in direzione orizzontale, con vista frontale sulla faccia larga su metà della sezione

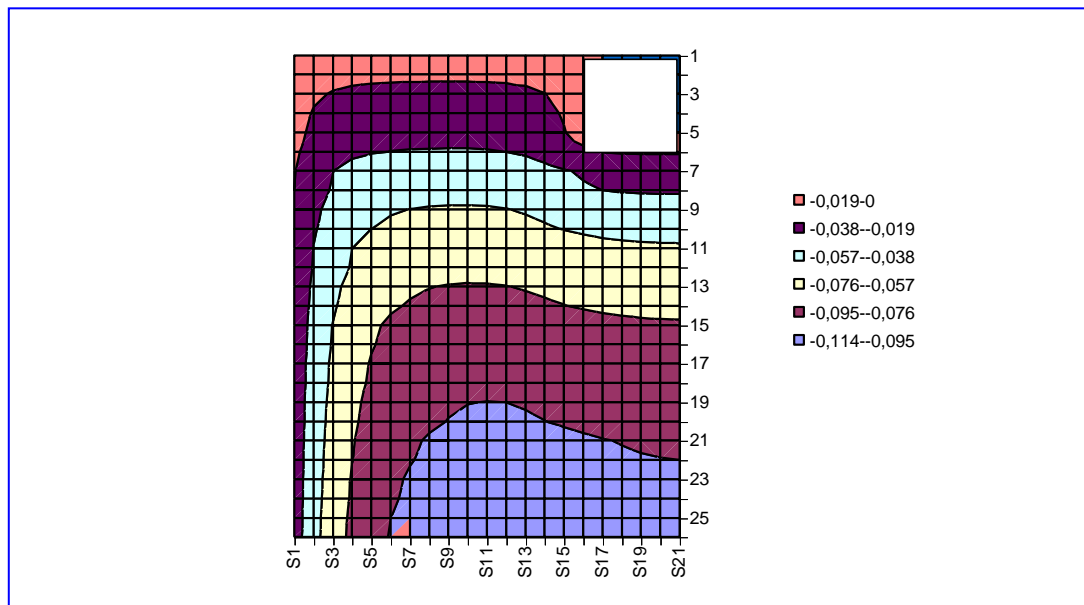


Fig. 13 - Campo delle componenti verticali (m/s) della velocità con tuffante con diffusore in direzione orizzontale, con vista frontale da faccia larga su metà della sezione

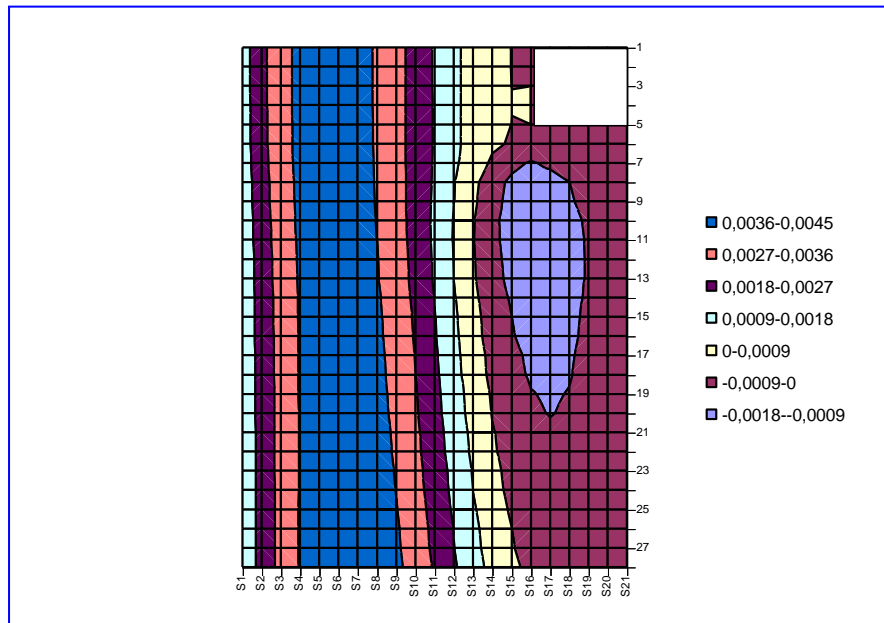


Fig .14 - Campo delle componenti orizzontali (m/s) della velocità con tuffante con angolo di inclinazione di 10° rispetto alla verticale, con vista frontale sulla faccia larga su metà della sezione

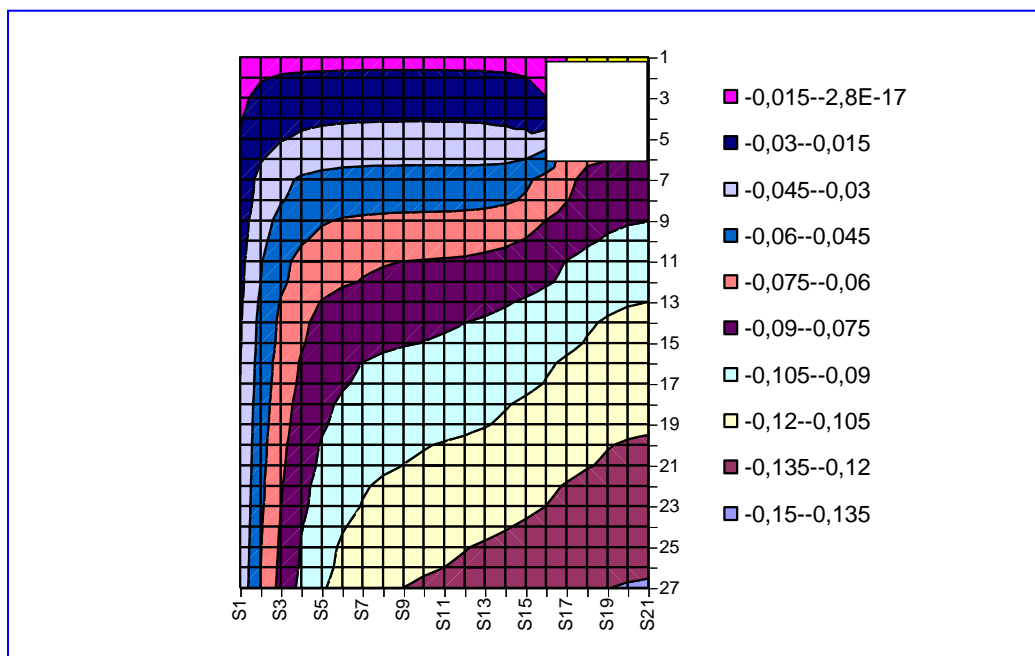


Fig. 15 - Campo delle componenti verticali (m/s) della velocità con tuffante con inclinazione di 10° rispetto alla verticale, con vista frontale sulla faccia larga su metà della sezione



9 - OSCILLATORE

La funzione dell'oscillatore è quella di imprimere alla lingottiera un certo movimento in su e in giù (oscillazione appunto), per evitare il contatto continuo con la bramma in fase di solidificazione, che inevitabilmente darebbe luogo a incollaggi tra le due superfici e quindi a rotture della bramma stessa.

Di conseguenza un'oscillazione più o meno corretta può influenzare la qualità superficiale della bramma e alla fine quella del prodotto finito.

Come è noto, l'oscillazione oltre ad evitare l'incollaggio della bramma alle pareti della lingottiera, ha la funzione di trascinare la polvere di colaggio allo stato liquido, per favorire la lubrificazione tra le due superfici e consentire il regolare distacco della bramma dalle pareti della lingottiera senza stress.

L'aspetto negativo di questa condizione, indispensabile per il colaggio in continuo, è la formazione di un segno di ripresa, comunemente definito "*marca di oscillazione*", che si forma sulla pelle della bramma, ogni qual volta la lingottiera compie un ciclo completo di salita e discesa.

La profondità di questa marca dipende in particolare dalla velocità di colaggio, dall'escursione compiuta dalla lingottiera e dalla frequenza dell'escursione, pertanto queste marche possono essere più o meno profonde e frequenti e quindi influenzare la qualità superficiale come sopra detto.

L'argomento oscillazione ha quindi un'importanza ancor maggiore in un impianto in linea come l'ISP, in quanto non è possibile intervenire in alcun modo per correggere eventuali difettosità superficiali, come invece avviene nel caso di bramme tradizionali che possono essere sottoposte a molatura o sfiammatura.

Un parametro critico dell'oscillazione nei riguardi del suo scopo principale, ossia favorire la lubrificazione della bramma, è lo "**strip negativo**", vale a dire il tempo durante il quale la velocità di discesa della lingottiera supera quella della bramma, favorendo così il risucchio della polvere di colaggio fra acciaio e pareti della lingottiera

Nella Fig. 1 è rappresentata a titolo di esempio una curva di oscillazione con la fase di strip negativo.

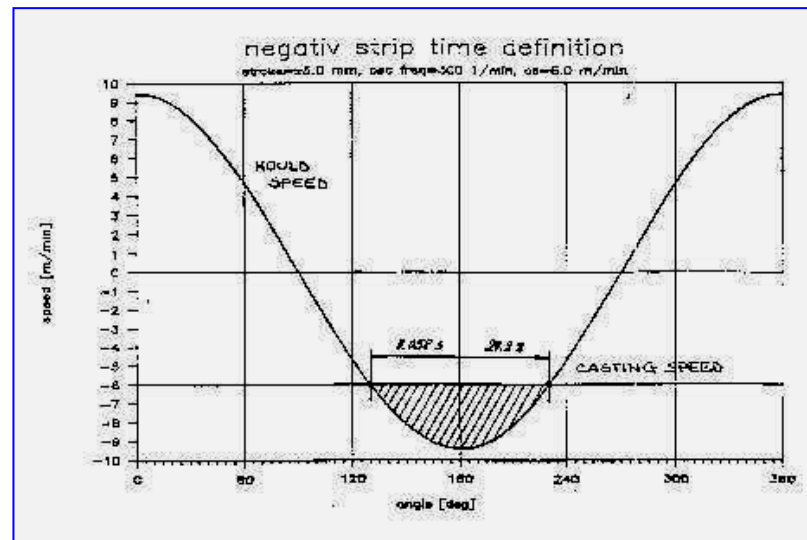
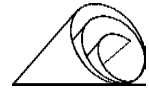


Fig.1- Esempio di una curva di oscillazione con la fase di "strip negativo"

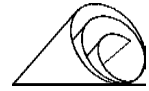
Lo strip negativo varia, per una data frequenza e ampiezza di oscillazione con la velocità della bramma e diminuisce all'aumentare di quest'ultima.

Condizioni molto critiche da ottimizzare specialmente operando con elevate velocità di colaggio come nel previsto processo ISP.

Per cui, di fronte ad una realtà limitata, rappresentata dagli oscillatori elettromeccanici, con i quali è possibile variare la frequenza ma non la forma e l'ampiezza dell'oscillazione, essendo prodotte da organi meccanici (cammes) si è pensato di adottare un oscillatore di tipo idraulico in grado di superare questi limiti.

Inoltre gli oscillatori meccanici, per effetto dei giochi usura e imperfetta ripetizione della sagoma della camma, tendono a fornire forme incerte che contribuiscono a rendere ancor più labile il controllo dello "strip negativo".

Infatti, per poter controllare lo "strip negativo" con la velocità di colata o effettuare prove significative e di comparazione durante la stessa colata, è necessario disporre soprattutto della possibilità di variare l'ampiezza e la forma dell'oscillazione.



Per questi motivi, si è deciso di accelerare lo sviluppo e la realizzazione di un oscillatore idraulico per controllare in modo affidabile i parametri dell'oscillazione.

Il modello studiato e sviluppato nella fase sperimentale presso la vecchia acciaieria ATA, era costituito da un cilindro idraulico che agiva sul braccio di oscillazione della lingottiera a sua volta azionato da una servo-valvola modulatrice di flusso.

Quest'ultima, azionata da un regolatore elettronico, riceve come segnale di reazione la posizione istantanea del cilindro e quindi della lingottiera, attraverso una funzione nota che lega i movimenti della lingottiera a quelli del cilindro.

Detto regolatore elettronico riceve come input, da un generatore di funzioni computerizzato, la funzione corrispondente alla curva dell'oscillazione che deve essere realizzata.

Il generatore di funzioni computerizzato calcola le funzioni ed i parametri delle stesse al fine di mantenere costante lo "strip negativo" al variare della velocità di colata.

Il tutto secondo lo schema a blocchi semplificato riportato nella Fig.2.

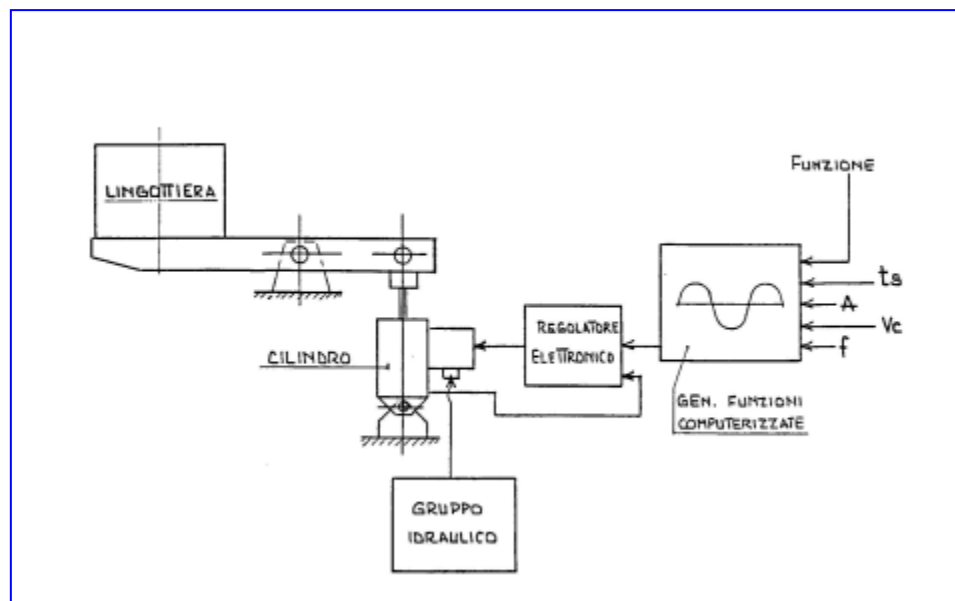
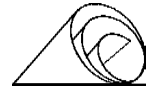


Fig. 2- Schema di funzionamento del generatore di funzioni

Vista la flessibilità del generatore di funzioni, è stato previsto di realizzare oltre alla funzione sinusoidale, la funzione triangolare e trapezoidale e altre da questa derivabili, tramite un'impostazione a video; si è anche tenuto conto che gli organi meccanico/idraulici riproducono male variazioni istantanee di velocità e quindi curve spigolate (triangoli, trapezi, ecc.) sarebbero risultate comunque arrotondate e probabilmente non sempre fedelmente prodotte.



Si è considerato allora che per facilitare la cattura e l'intrappolamento della polvere tra la lingottiera e la bramma (shell), effetto che avviene in corrispondenza dello "strip negativo", è opportuno che l'entrata allo strip negativo avvenga lentamente (risucchio della polvere) e l'uscita velocemente (intrappolamento).

Ciò ha portato ad inserire, come ulteriore funzione, una curva derivata dalla *sinusoide* e chiamata *sinoide* e che è fedelmente eseguibile come la sinusoide; trattasi in sostanza di una sinusoide "storta" con pendenze di salita e discesa diverse come evidenziato in Fig. 3.

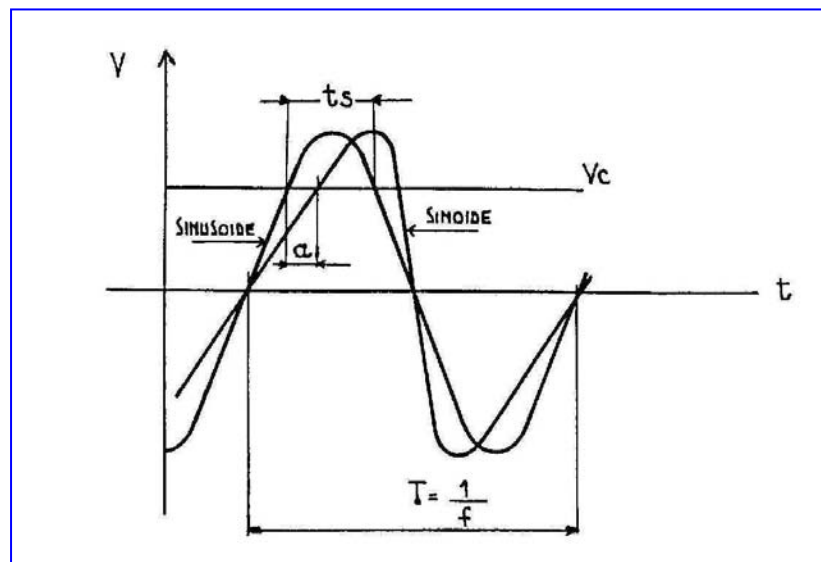
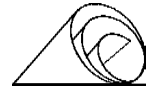


Fig. 3- Rappresentazione delle curve "sinusoide e sinoide"

La sinoide è caratterizzata dal fattore di asimmetria **a**, che può essere variato, e viene calcolata dal computer, come pure il valore **tn** dello strip negativo, in funzione della frequenza e ampiezza di oscillazione **f** ed **A** e della velocità di colata **Vc**, mentre la relazione che lega tali parametri nel caso della curva sinusoidale e con cui opera il controllo di funzione è descritta dalla formula seguente:



$$t_n = \frac{60}{f \cdot \pi} \cdot \arccos \left(\frac{1000 \cdot V_c}{A \cdot f \cdot \pi} \right)$$

dove t_n = negative strip time in [s]
 f = frequency in [min⁻¹]
 V_c = casting speed [m/min]
 A = ampiezza oscillazione (da picco a picco) in [mm]

Le caratteristiche funzionali dell'oscillatore idraulico realizzato sono state alla fine così definite:

Funzioni: senoide, sinoide, triangolo, trapezio e derivabili

Frequenza: 0 ÷ 420 colpi/min.

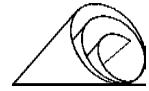
Ampiezza: da ± 3 mm. a ± 10 mm.

L'oscillatore, secondo le caratteristiche così individuate, è stato costruito e sperimentato sulla colata continua ATA .

Dopo una prima fase di messa a punto, sono stati immediati e visibili i miglioramenti nella qualità superficiale delle bramme, sia di quelle sottili che di quelle normali (thick slab).

Poiché l'altra linea era equipaggiata con l'originale oscillatore meccanico, ciò ha consentito di fare confronti diretti fra bramme dello stesso acciaio, colate alla stessa velocità e posizionando allo stesso valore le ampiezze delle oscillazioni.

Pur se a velocità di colaggio basse (0,4 – 1,4 m/min) rispetto a quelle della bramma sottile, il miglioramento della qualità superficiale sulle bramme, provenienti dalla linea equipaggiata con l'oscillatore idraulico, era evidente e sensibile (marche di oscillazione più regolari e meno marcate e minori cricche superficiali) a conferma della maggiore stabilità dello strip negativo ottenibile con l'oscillatore idraulico.



Nelle ultime campagne, avendo raggiunto una messa a punto comunque soddisfacente i tests sono stati soprattutto finalizzati a studiare le correlazioni fra "strip negativo" e qualità superficiale, basandosi soprattutto sulla funzione sinusoidale e variando i parametri di oscillazione.

Si è provata anche la senoide con valori di asimmetria pari al $\pm 20\%$ rilevando un leggero peggioramento rispetto alle curve sinusoidali.

Anche le variazioni dello strip negativo, pur variando ampiezza e frequenza in un range limitato, non hanno indicato sensibili differenze.

A seguito degli studi e delle sperimentazioni effettuate in ATA, all'ISP è stato montato un oscillatore idraulico secondo le indicazioni emerse da quella esperienza, con l'unica differenza che è stato dotato di 2 pistoni anziché uno.

Questa variante, è stata introdotta con lo scopo di migliorare ulteriormente il controllo dello "strip negativo" e le caratteristiche dell'oscillazione durante il colaggio, ossia la forma e ampiezza.

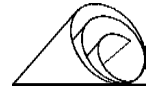
Dalle prove condotte fin dalle prime colate i risultati sono stati soddisfacenti e, senza particolari problemi, si è passati dalla velocità di colaggio di 2,7-2,9 m/min delle prove in ATA ai 4 m/min dell'ISP.

I parametri abitualmente utilizzati nel 1992, per il colaggio degli acciai tipo Fe360D e Fe510 D, erano i seguenti:

- ampiezza della curva: ± 5 mm.
- N. colpi: 60/m/min.
- tipo curva: sinusoidale
- velocità pari a 4 m/min

Con i quali si sono ottenuti dei buoni risultati, confermati dalla costanza delle marche misurate su diverse bramme di varie colate.

L'ampiezza delle marche di oscillazione misurata in queste occasioni è stata di 16 mm circa, pari a quella teorica applicata.



Al fine di completare l'indagine è stato fatto anche un esame macrostrutturale della bramma in corrispondenza delle marche di oscillazione.

L'esame macrografico ha evidenziato una struttura più grossolana di tipo colonnare in corrispondenza delle marche e una molto più fine di tipo equiassico nel tratto compreso tra le marche.

La formazione di strutture così differenti nel breve spazio di pochi millimetri, è spiegabile solamente con diverse condizioni di raffreddamento a livello locale.

Infatti in corrispondenza delle marche di oscillazione, non essendoci alcun contatto con la lingottiera (quindi raffreddamento moderato), si forma una struttura grossolana e colonnare perchè i pochi grani che si formano all'inizio non essendo disturbati dalla formazione di altri grani si sviluppano in modo anomalo, mentre nel tratto tra due marche di oscillazione essendoci un contatto con la lingottiera (quindi raffreddamento repentino) si formano più grani che disturbandosi a vicenda limitano il loro sviluppo dando luogo alla struttura di tipo equiassico.

Le Figure 4 e 5 mostrano questi aspetti

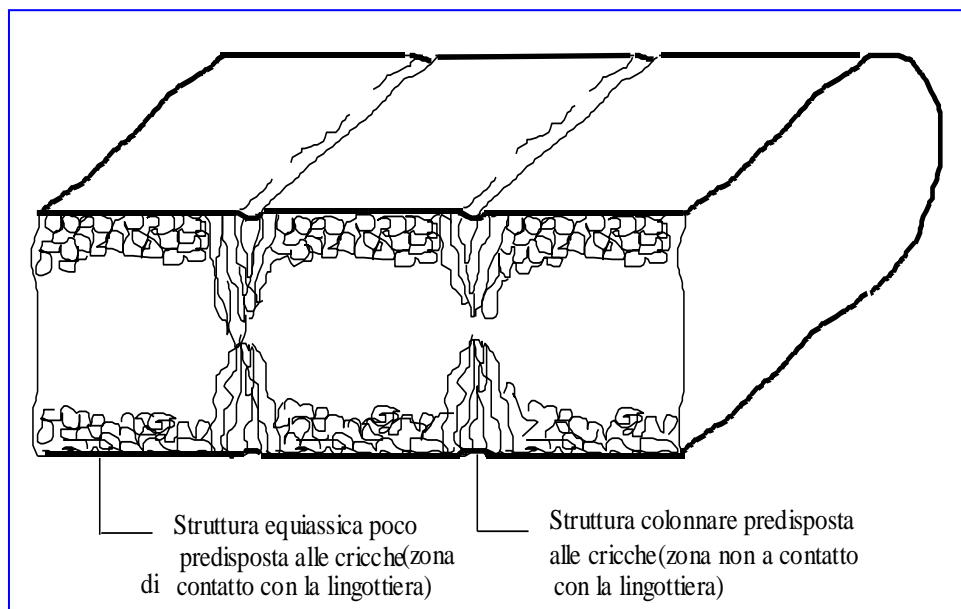
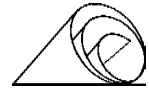


Fig. 4 - Rappresentazione grafica della macrostruttura di una bramma con marche di oscillazione evidenti



L'aspetto negativo del primo caso sta nel fatto che le strutture di tipo colonnare, proprio per la loro configurazione, possono dar luogo a cricche da ritiro in fase di raffreddamento, oppure lacerarsi facilmente anche con modeste sollecitazioni, così come osservato in alcuni casi nelle zone più calde della bramma

In seguito alle condizioni anomale evidenziate da questa analisi e al verificarsi di alcuni break-outs per incollaggio nonché nella prospettiva di sperimentare nuove polveri e velocità di colaggio superiori al precedente standard, si è deciso di modificare i parametri operativi dell'oscillatore allo scopo di aumentare la lubrificazione della bramma e di conseguenza rendere meno critica la fase di colaggio.

La modifica ha interessato la frequenza e l'ampiezza dell'oscillazione portate da **60** a **65** colpi/m/minuto e da ± 5 mm a $\pm 3,5$ mm.

Infatti da un punto di vista teorico la minore ampiezza e le frequenze più elevate riducono la zona di non contatto della bramma e quindi la zona a struttura colonnare più debole.

Come previsto in teoria, effettivamente questa variazione ha migliorato la lubrificazione della bramma, evidenziata in particolare da una maggiore stabilità degli scambi termici, dalla minore profondità delle marche di oscillazione e dalla riduzione drastica dei break-outs per incollaggio, passati dai 20 casi del 1° semestre del 1993 ai 2-3 casi del secondo.

Con gli stessi parametri di cui sopra, visti i buoni risultati ottenuti sia come costanza delle marche, consumo regolare delle polveri ecc., si è operato per buona parte del 1994, mantenendoli invariati anche per la produzione dell'acciaio INOX (marzo 1994).

Ravvisando come unica differenza rispetto allo standard di altre qualità, una maggiore evidenza delle marche di oscillazione sulle facce strette della bramma.

Nessuna differenza invece è stata notata durante il colaggio degli acciai al boro e microlegati, completamente assimilabili agli acciai da costruzione.

Al fine di una valutazione globale del comportamento dell'oscillatore e dei parametri ad esso associati, è stata fatta un'ulteriore indagine macrografica nelle zone delle marche di oscillazione.

L'esame ha evidenziato una struttura molto omogenea anche in corrispondenza delle marche stesse, contrariamente a quanto si era osservato in passato, quando l'ampiezza era maggiore, nel qual caso gli stessi punti erano contraddistinti da grossi grani colonnari che partendo dalla superficie proseguivano fino al centro della bramma.

Fenomeno negativo che in più occasioni si era riscontrato essere alla base delle lacerazioni trasversali osservate ai primi passi dello sbozzatore.

Nella Fig. 5 sono evidenziati i miglioramenti ottenuti a livello macrostrutturale con l'introduzione dei nuovi parametri di oscillazione.

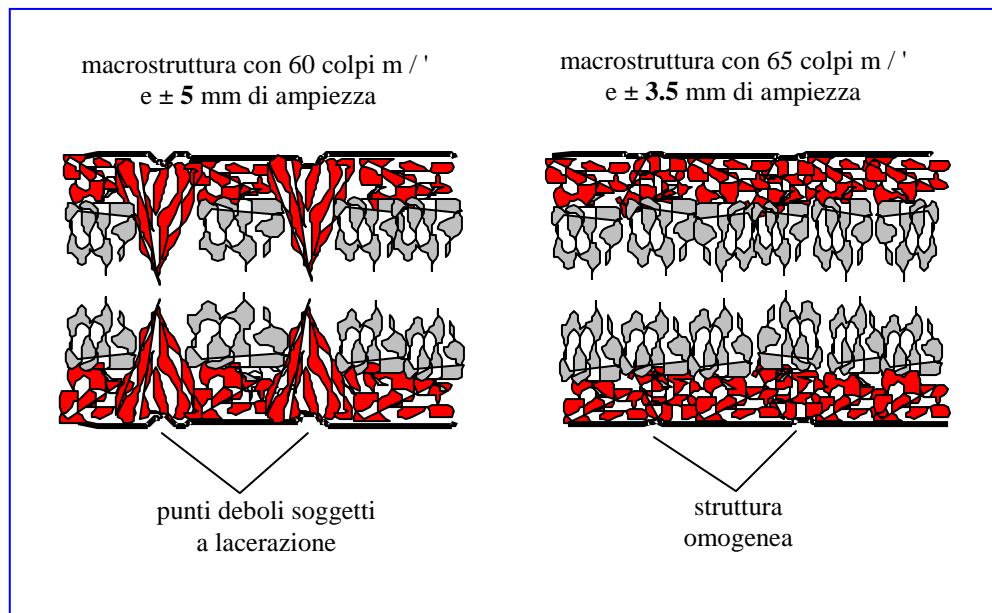
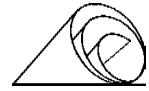


Fig. 5 - Differenze macrostrutturali osservate in corrispondenza delle marche di oscillazione al variare della loro ampiezza

Dopo questa esperienza, si è modificato solamente la frequenza dell'oscillazione in funzione del tipo di acciaio, ossia :

- per gli acciai basso carbonio si è mantenuto una frequenza di 65 colpi/m/minuto,
- per gli acciai medio carbonio 69 colpi/m/minuto.

Sulla base delle esperienze fatte sono state tracciate anche delle curve del tempo di "strip negativo" in funzione della frequenza di oscillazione (Fig. 6).

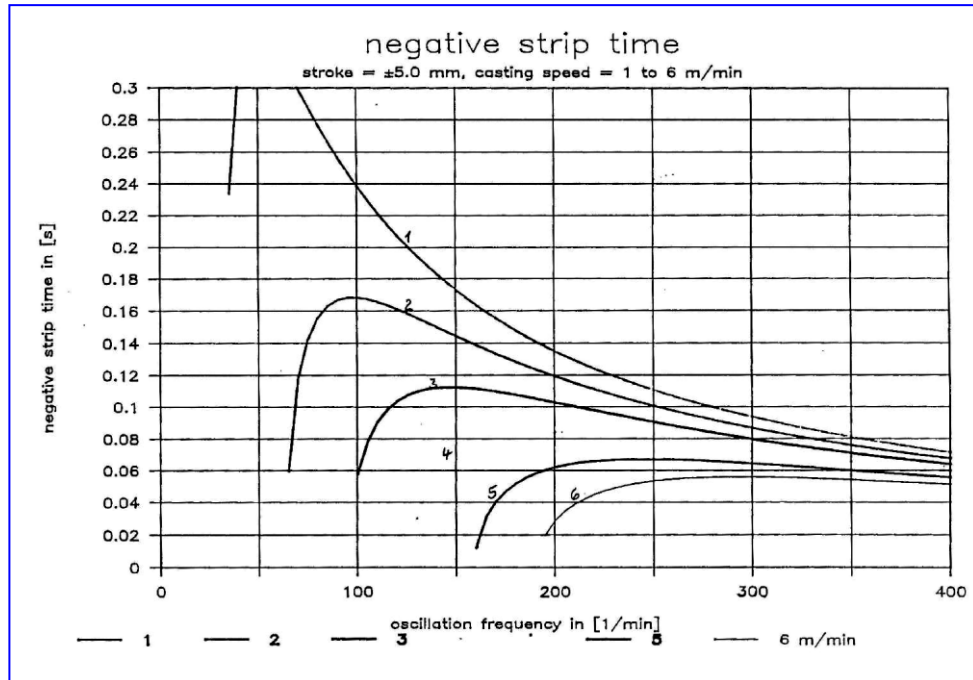
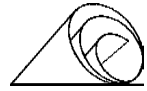


Fig. 6 - Curve del tempo di strip negativo in funzione della frequenza di oscillazione