

# Produzione della ghisa grezza tramite altoforno

Convenzionalmente le leghe del ferro si distinguono in acciai e ghise in funzione del tenore ( percentuale) di carbonio, rispettivamente minore o maggiore di 2.06%.

La **Ghisa** è una lega ferro-carbonio contenente anche altri elementi, come silicio, manganese, zolfo, fosforo, in percentuali varie, caratterizzata da un tenore di carbonio compreso fra l'2,06% e il 6,67%.

L'**Acciaio** è una lega ferro-carbonio nella quale il carbonio è contenuto in percentuali variabili tra 0,08% e 2,06% . Oltre a questi elementi principali si trovano piccole percentuali di silicio, zolfo, manganese, fosforo. All'acciaio base, cioè lega essenzialmente costituita da ferro e carbonio, si possono aggiungere percentuali di altri elementi per ottenere particolari caratteristiche meccaniche.

Negli acciai impiegati per maggior parte delle applicazioni della meccanica il tenore di carbonio non supera 1.2, ed è quasi sempre compreso tra **0.03 e 0.8**.

Anche se il termine "lega" corrisponde a quello di una miscela omogenea (cioè soluzione solida), in realtà in funzione della temperatura e/o della percentuale di carbonio nel ferro la ghisa o l'acciaio possono presentarsi anche come una miscela eterogenea o "miscuglio meccanico" costituito da una soluzione solida ( quindi omogenea ) di atomi di carbonio nel reticolo cristallino del ferro e da carbonio combinato col ferro in un composto chiamato **cementite** la cui molecola è  $Fe_3C$  o addirittura da carbonio allo stato di grafite.

Gli acciai sono i materiali metallici di gran lunga più utilizzati con una produzione annua stimata in circa 650 milioni di tonnellate

Gli acciai da costruzione di uso generale (80% della produzione) vengono posti in opera allo stato grezzo di laminazione a caldo o dopo semplici trattamenti termici o meccanici.

In questa categoria rientrano gli acciai profilati per strutture metalliche e gli acciai per armature da calcestruzzo armato e precompresso, per i quali vengono richieste proprietà meccaniche di resistenza (carico di snervamento minimo) più che la composizione chimica .

A parte alcune eccezioni, riguardanti per lo più metalli cosiddetti nobili ed il ferro meteoritico sfruttato nell'antichità, i metalli non si rinvenivano allo stato metallico, detto anche nativo. Si trovano invece sotto forma di composti chimici anche complessi, unitamente a parti sterili di rocce, la cosiddetta **ganga**. Questo aggregato, più o meno intimo, di composti metallici e rocce sterili costituisce il minerale ( minerale di ferro ).

I minerali di ferro sono numerosi ma non sono tutti adatti alla produzione della ghisa. I minerali industrialmente adatti alla produzione della ghisa devono contenere una percentuale di ferro più alta possibile ed una percentuale più bassa possibile di sostanze nocive al processo produttivo. ( fosforo e zolfo ). I minerali contenenti ferro utilizzati per la produzione della ghisa e dell'acciaio sono:

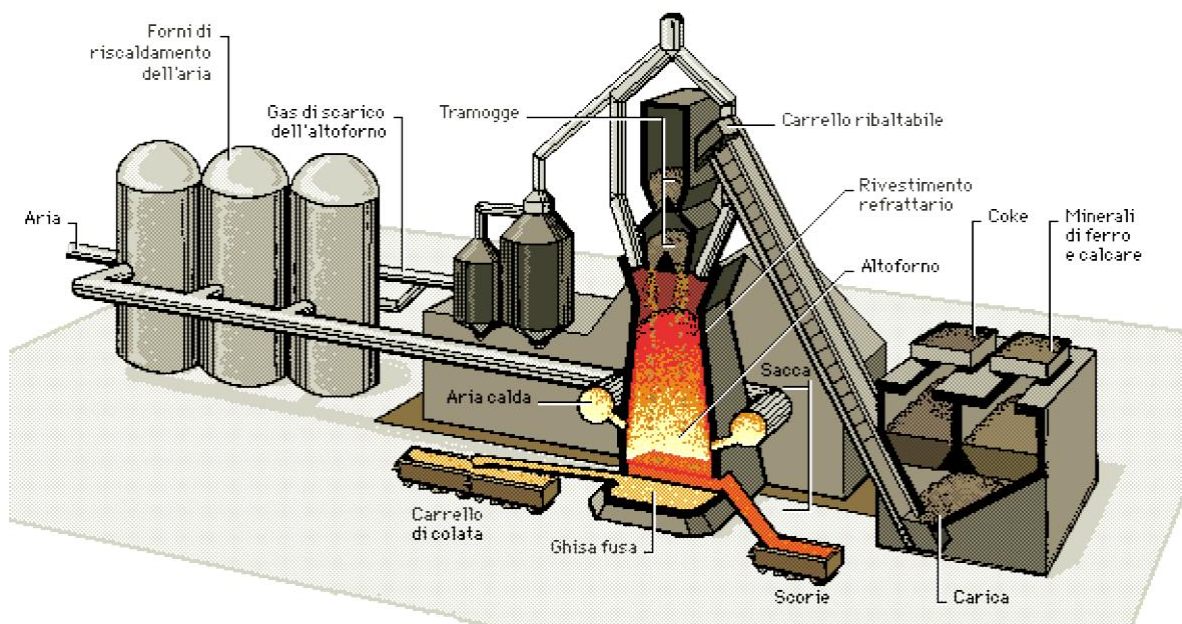
- **Magnetite**  $Fe_3O_4$  ( ossido ferroso-ferrico ) : 72,3% di Fe; 72,3% dopo calcinazione ; 50-67% commerciale
- **Ematite**  $Fe_2O_3$  ( ossido ferrico ) : 69,9% di Fe 69,9% dopo calcinazione; 30-65% commerciale
- **Limonite**  $2 Fe_2O_3$  ( ossido idrato di ferro ) Fe 30-50% commerciale

- **Siderite**  $\text{FeCO}_3$  ( carbonato di ferro ): 48,2% di Fe 69,9% dopo calcinazione; 30-40% commerciale
- **Goethite**  $\text{FeO(OH)}$  : 62,8% di Fe 69,9% dopo calcinazione; 25-45% commerciale

La classificazione del minerale in base alla ricchezza, cioè al tenore di Fe, prevede un minerale povero ( $\text{Fe} < 30 \%$ ), medio  $30 - 50 \%$  e ricco  $> 50 \%$ .

Per poter estrarre il ferro metallico dai suoi minerali occorre far avvenire una serie di reazioni chimiche in modo che gli atomi di elementi che non sono ferro ( in maggior parte ossigeno ) si vadano a combinare con qualche altra sostanza ( in maggior parte carbonio ) lasciando libero il ferro metallico. Tali reazioni sono esotermiche cioè producono calore e quindi elevano la temperatura facendo in modo che il ferro ( legato al carbonio sotto forma di ghisa ) sia raccolto allo stato liquido a temperature superiori ai  $1500^\circ\text{C}$ .

Schema di impianto di produzione della ghisa tramite altoforno



In fig. 1.2 è riportato il quadro schematico degli impianti e delle operazioni che si svolgono in un impianto siderurgico a ciclo integrale, con riferimento alla produzione di lamierino di acciaio al carbonio. I processi riportati partono da un primo gruppo di operazioni che iniziano con l'arrivo delle materie prime ed il loro trattamento per la carica dell'altoforno. Il secondo gruppo di operazioni raccoglie l'estrazione vera e propria del metallo, la ghisa e si conclude con i trattamenti fuori forno prima della conversione

I moderni altiforni operano generalmente in congiunzione con forni a ossigeno per la produzione dell'acciaio formando con essi un unico impianto siderurgico in cui la ghisa fusa viene usata come carica per i forni per la produzione di acciaio. Il metallo fuso proveniente da più altiforni può essere raccolto e misciato in una siviera di grandi dimensioni prima di essere convertito in acciaio, per ridurre le irregolarità nella composizione del materiale prodotto dai singoli altiforni. L'acciaio appena prodotto si trova alla temperatura di circa  $800^\circ\text{C}$  e quindi si lavora facilmente per produrre lamiere e profilati. Se lo si lasciasse raffreddare per lavorarlo in un altro stabilimento, bisognerebbe riscaldarlo nuovamente e ciò comporterebbe la necessità di ulteriore energia. Tuttavia, una parte della ghisa e dell'acciaio prodotto viene fatto solidificare e raffreddare sotto forma di lingotti e costituisce la materia

prima per successivi utilizzi e lavorazioni. Raramente, e solo in impianti antiquati, la ghisa d'altoforno viene colata in lingotti da inviare in un secondo tempo ai forni d'affinazione.

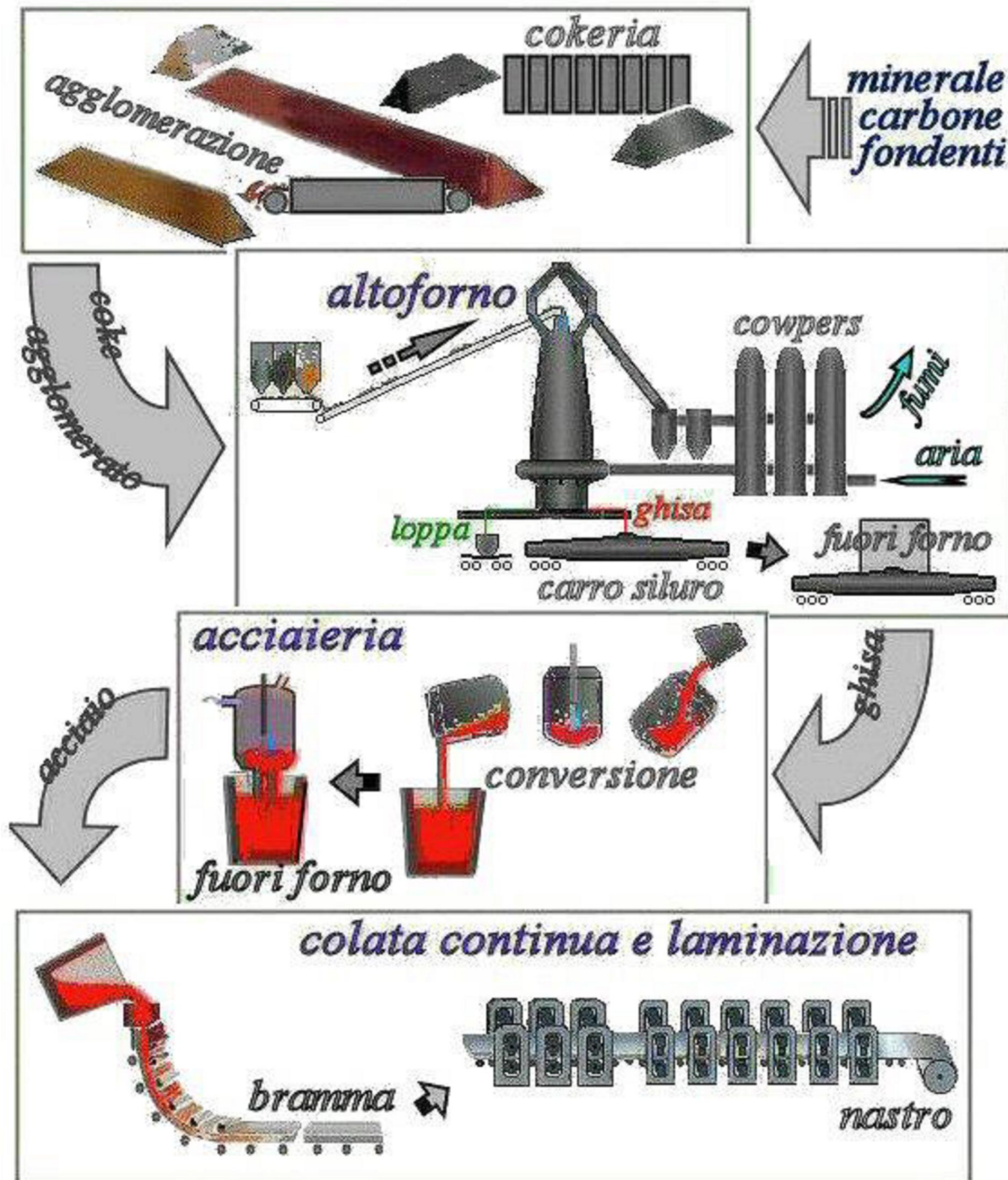
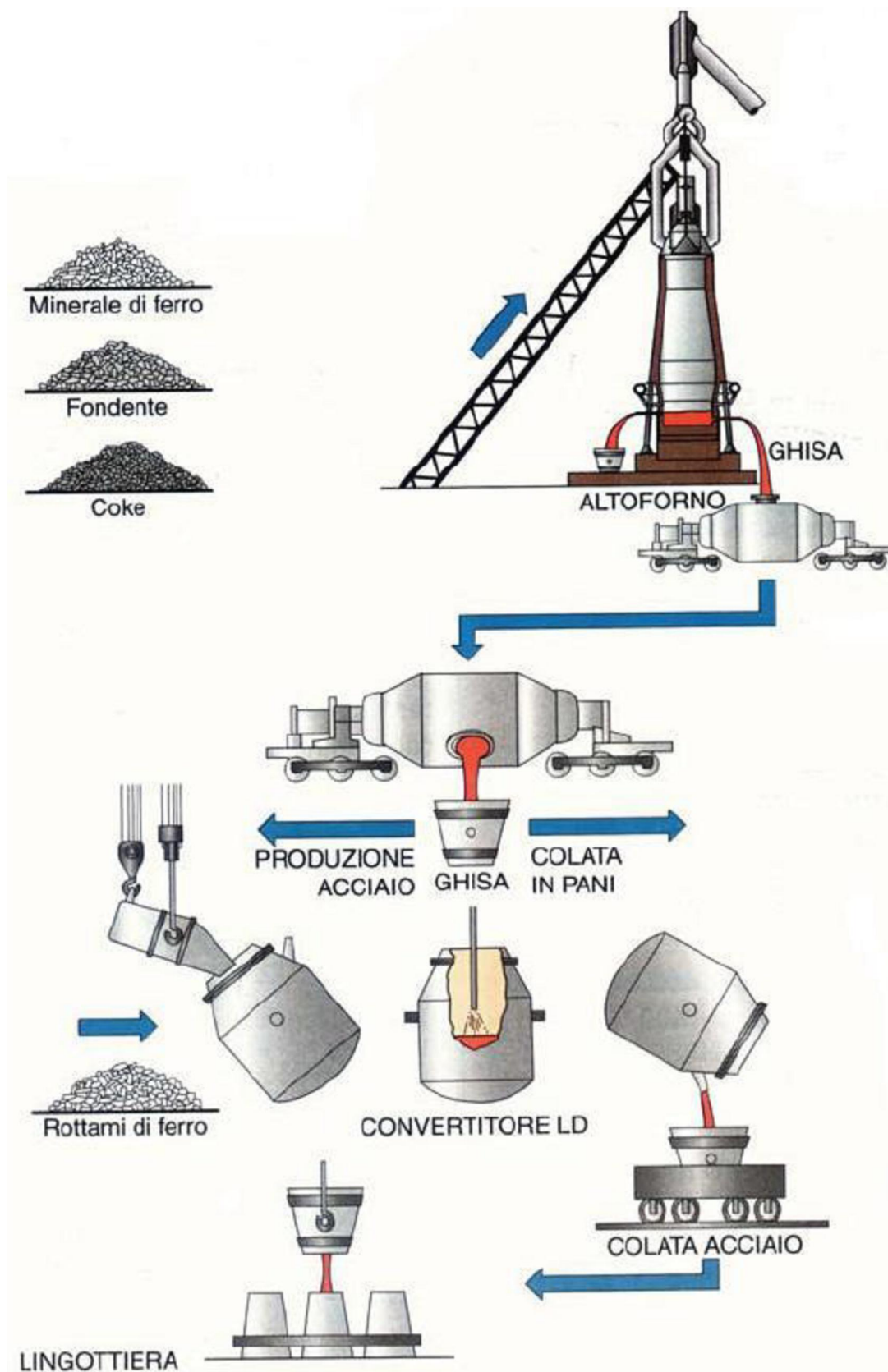
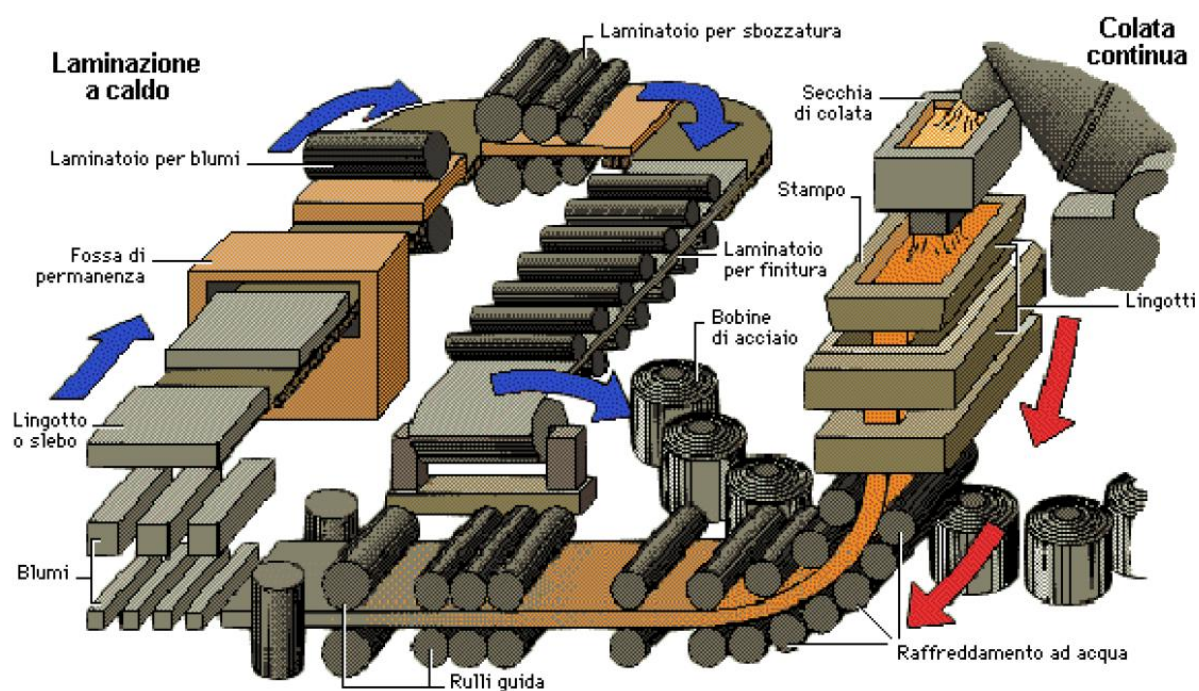
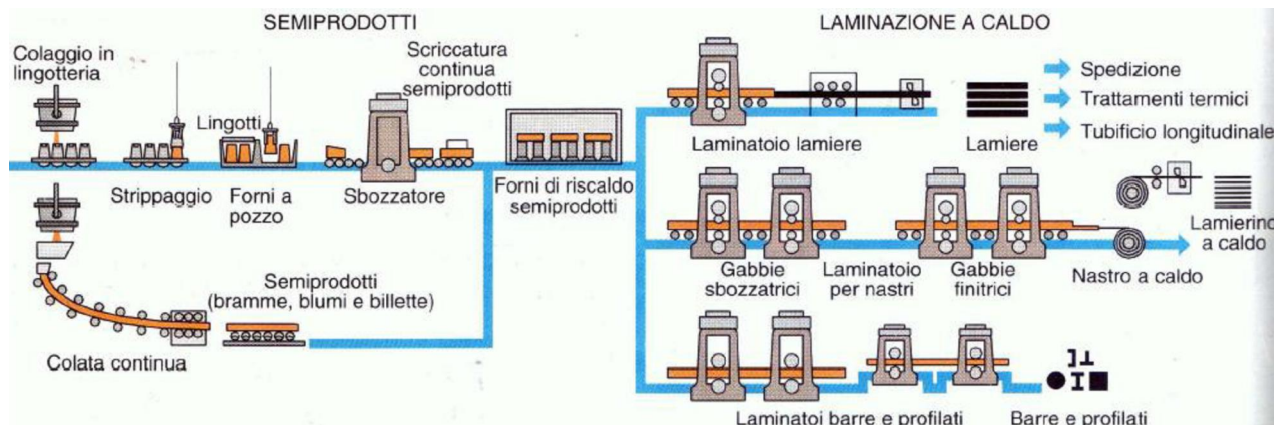
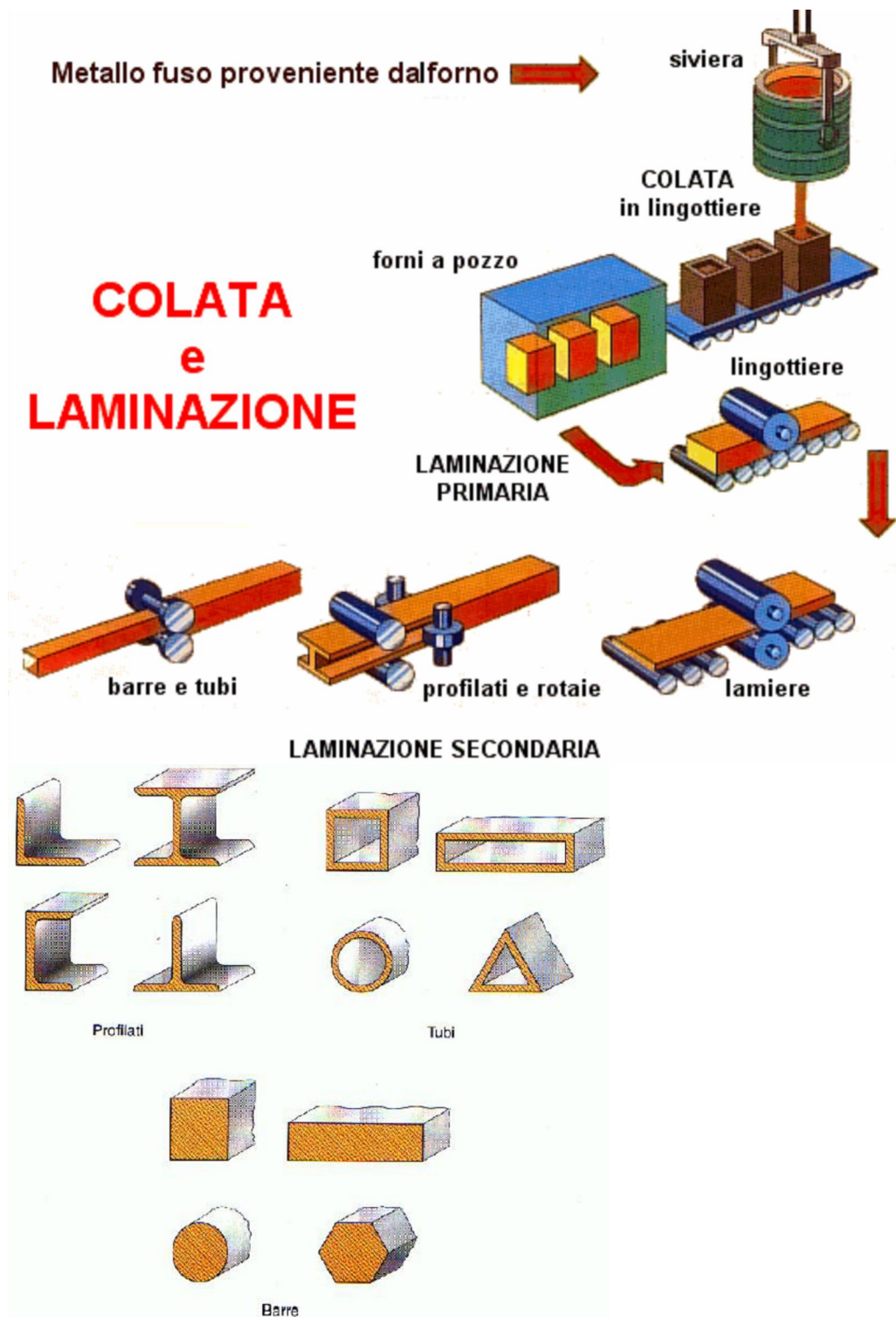


Figura 1.2 Schema degli impianti e delle operazioni per la produzione di lamierino sottile di acciaio in uno stabilimento siderurgico a ciclo integrale.







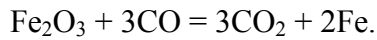


Le materie prime per la produzione di ghisa d'altoforno sono i minerali di ferro dei quali si è già spiegato, il carbon coke e il fondente.

**Carbone Koke** viene ottenuto per distillazione del carbone fossile in impianti chiamati cokerie; è composto per circa il 90% da carbonio, ha una elevata resistenza alla compressione e una pezzatura dopo frantumazione di 20 - 60 mm. La sua funzione nell'altoforno è triplice:

- come combustibile porta il forno alla temperatura necessaria per fare avvenire le diverse reazioni chimiche;
- produce la riduzione diretta dei minerali di ferro;
- effettua la carburazione del ferro.

Il carbon coke, oltre a fornire il calore necessario al processo di fusione, libera durante la combustione monossido di carbonio che, combinandosi con gli ossidi di ferro che costituiscono il minerale, li riduce a ferro metallico. L'equazione che descrive questa reazione chimica è:



**Il calcare** viene usato come fonte aggiuntiva di monossido di carbonio e come fondente, dal momento che combinandosi con la silice, un materiale di difficile fusione, esso forma silicato di calcio fusibile. In assenza di calcare si formerebbe silicato di ferro con una conseguente perdita di ferro metallico. Il silicato di calcio e le altre impurità formano una scoria galleggiante sul metallo fuso. La comune ghisa d'altoforno è composta da ferro (circa il 92%); da carbonio (il 3 o 4%); da silicio (in percentuale variabile tra lo 0,5 e il 3%); da manganese (tra lo 0,25 e il 2,5%); da fosforo (tra lo 0,03 e il 2%); spesso sono presenti anche tracce zolfo.

## ALTOFORNO E PRINCIPALI REAZIONI CHIMICHE

Un tipico altoforno consiste in una torre d'acciaio alta circa 27 m, rivestita internamente di materiale refrattario dello spessore di 80-100 cm, formata di due parti a profilo tronco conico unite per il diametro maggiore, che è situato a circa un quarto di distanza dal fondo. La parte inferiore del forno, detta sacca, è munita lateralmente di un gran numero di aperture tubolari, dette ugelli, attraverso le quali viene insufflata aria calda in pressione per mantenere attiva la reazione di combustione. In prossimità dell'estremità inferiore della sacca è situato il foro di colata da cui fluisce la ghisa fusa e sopra di esso, ma al di sotto degli ugelli, si trova un altro foro per lo spurgo delle scorie. Alla sommità del forno sono situate le tramogge, attraverso le quali viene introdotta la carica, e le ventole che prelevano i gas caldi di combustione; il calore dei gas viene ceduto ai forni di preriscaldamento dell'aria che, a temperature oscillanti fra 540 °C e 870 °C, alimenta l'altoforno.

Nell'altoforno il minerale ed il carbone vengono caricati assieme dall'alto. L'aria comburente viene soffiata dal basso nel tino attraverso ugelli iniettori (tubiere, *tuyeres*). La combustione e la gassificazione del carbonio avvengono a temperature molto elevate. Il gas riducente che si forma (ossido di carbonio) procede verso l'alto, attraversando e permeando la carica solida in contro-corrente, riscaldandola e svolgendo i processi di riduzione. Il ferro metallico prodotto, che è in intimo contatto col carbonio, lo porta in soluzione pressoché sino a saturazione (cioè non si può sciogliere altro carbonio nel ferro). Le alte temperature raggiunte nella parte inferiore del forno a tino ed il punto di fusione relativamente basso della lega ferro-carbonio ad alto contenuto di carbonio, che si ottiene, fanno sì che la fase metallica fonda completamente.

PRINCIPALI REAZIONI CHIMICHE: l'ossigeno dell'aria immessa attraverso la tubiera a temperatura elevata e ad alta velocità, provoca la combustione (fa bruciare) il carbon coke formando dapprima anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ) e successivamente ossido di carbonio (CO). L'ossido di carbonio salendo ha la funzione di carburare il ferro e di operare la riduzione indiretta del minerale di ferro, mentre il carbonio contenuto nel coke opera la riduzione diretta del minerale di ferro.

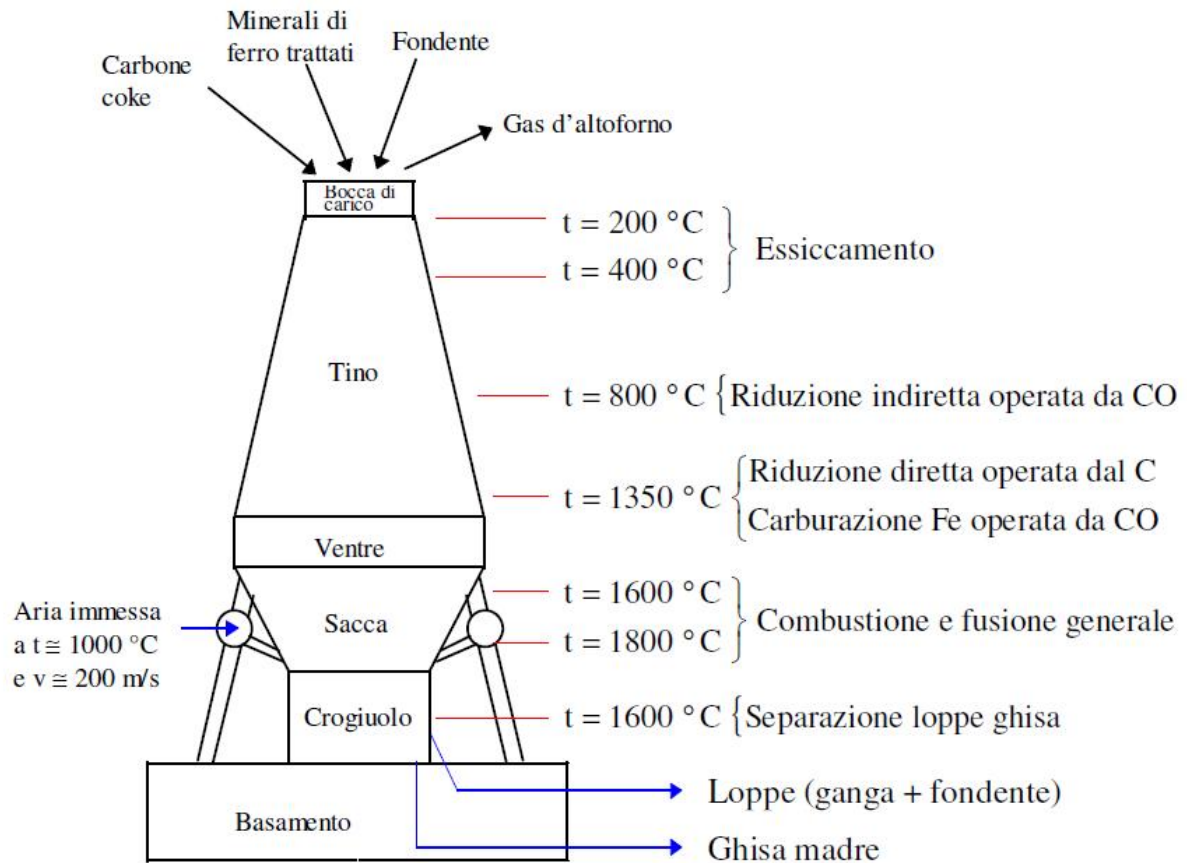
Gli ossidi non riducibili, non essendo solubili nella fase metallica, vanno a formare una fase a sé stante non metallica, detta scoria (*slag*, loppa nel caso dell'altoforno), che per il suo minor peso specifico decanta e si dispone al disopra di quella metallica. La quantità della scoria che si forma e la sua composizione dipendono dalla quantità e dai tipi di ossidi non riducibili presenti nei materiali di carica (ganga dei minerali e ceneri del coke). Il prodotto finale la ghisa cioè una lega ferrosa liquida ad alto tenore di carbonio e contenente altri elementi in determinate percentuali, dipendenti dalle condizioni del processo e dai materiali impiegati.

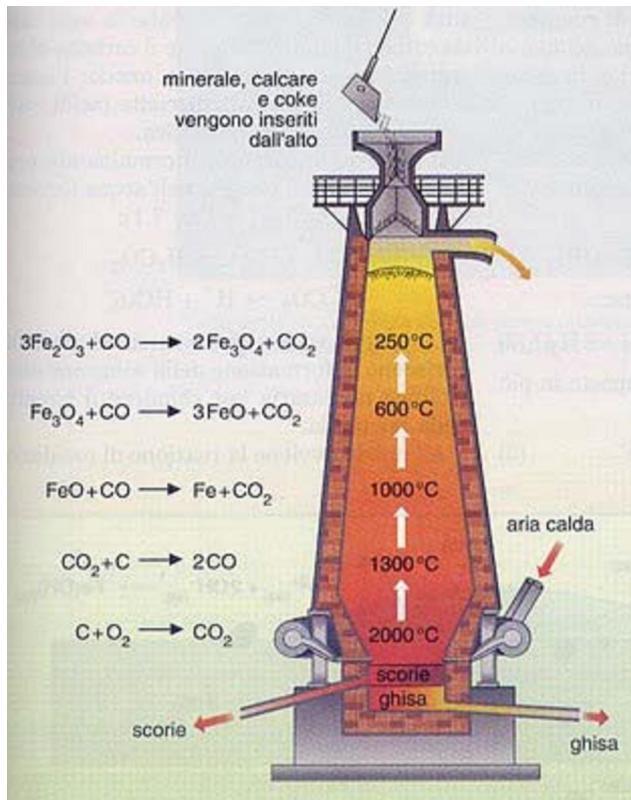
Gli altiforni operano a ciclo continuo, infatti se la combustione si arrestasse, la massa parzialmente fusa si solidificherebbe e il forno dovrebbe essere demolito. Le materie prime che lo alimentano sono frazionate in piccole cariche e introdotte a intervalli di 10-15 minuti. Le scorie vengono estratte ogni due ore circa, mentre la ghisa viene colata cinque volte al giorno. Il prelievo della ghisa si effettua rimuovendo il tappo di argilla che chiude il foro di colata, facendo defluire il metallo, attraverso un canale di colata rivestito di argilla, in un ampio contenitore di acciaio rivestito internamente con materiali refrattari, che può essere sia una siviera sia un vagoncino in grado di contenere oltre 100 t di metallo. Eventuali scorie ancora presenti vengono eliminate prima di raggiungere il contenitore, entro il quale la ghisa fusa viene trasportata ai forni di affinazione per essere convertita in acciaio.



Mentre il metallo, ghisa, fuso si deposita sul fondo, le scorie emergono in superficie. Per ottenere una ghisa più pura, il materiale viene più volte filtrato e sottoposto allo stesso trattamento.

## SCHEMA D'ALTOFORNO E PRINCIPALI REAZIONI CHIMICHE





## Costruzione di un altoforno





Nella foto si vede una siviera mentre scarica ghisa d'altoforno fusa in un forno, dove sarà convertita in acciaio mediante sottrazione di carbonio ed eliminazione di elementi indesiderati.



mettere dove va a finire l'atomo di carbonio nel reticolo cristallino



Dall'altoforno fuoriesce la cosiddetta

Lo scopo principale dell'altoforno è quello di produrre la ghisa “madre” o ghisa greggia: produzione 200-400 t ogni 4-5 h..

Fuoriesce alla temperatura di  $1330 \div 1380^{\circ}\text{C}$  dal foro di colata del crogiolo, attraverso un canale di colata ricavato su sabbia refrattaria. Ha la seguente composizione media:

Carbonio C: 3,8% - 4,3 %

Silicio Si: 0,4% - 2%

Manganese Mn: 0,4% - 1,5%

Fosforo P: 0,05% - 2%

Zolfo S: 0,05% - 1,15%

Il fosforo e lo zolfo sono elementi dannosi perché impartiscono fragilità alla ghisa.

Lo zolfo è particolarmente nocivo perché fa anche aumentare il ritiro, diminuisce la colabilità, provoca soffiature.

Il fosforo, in percentuale inferiore all'1,2 %, può essere utile perché aumenta la fluidità della ghisa che, quindi, risulta adatta per produrre getti di piccolo spessore.

La ghisa madre ha una delle seguenti destinazioni:

- in acciaieria, per mezzo di carri-siluro, dove viene trasformata in **acciaio**;
- in fonderia per essere sottoposta ad ulteriori lavorazioni ( in gergo, affinazione ) per ottenere ghisa da fonderia detta anche ghisa di seconda fusione dalla quale a sua volta si ottengono ghise per impieghi meccanici suddivisibili in bianche, grigie, malleabili e speciali.