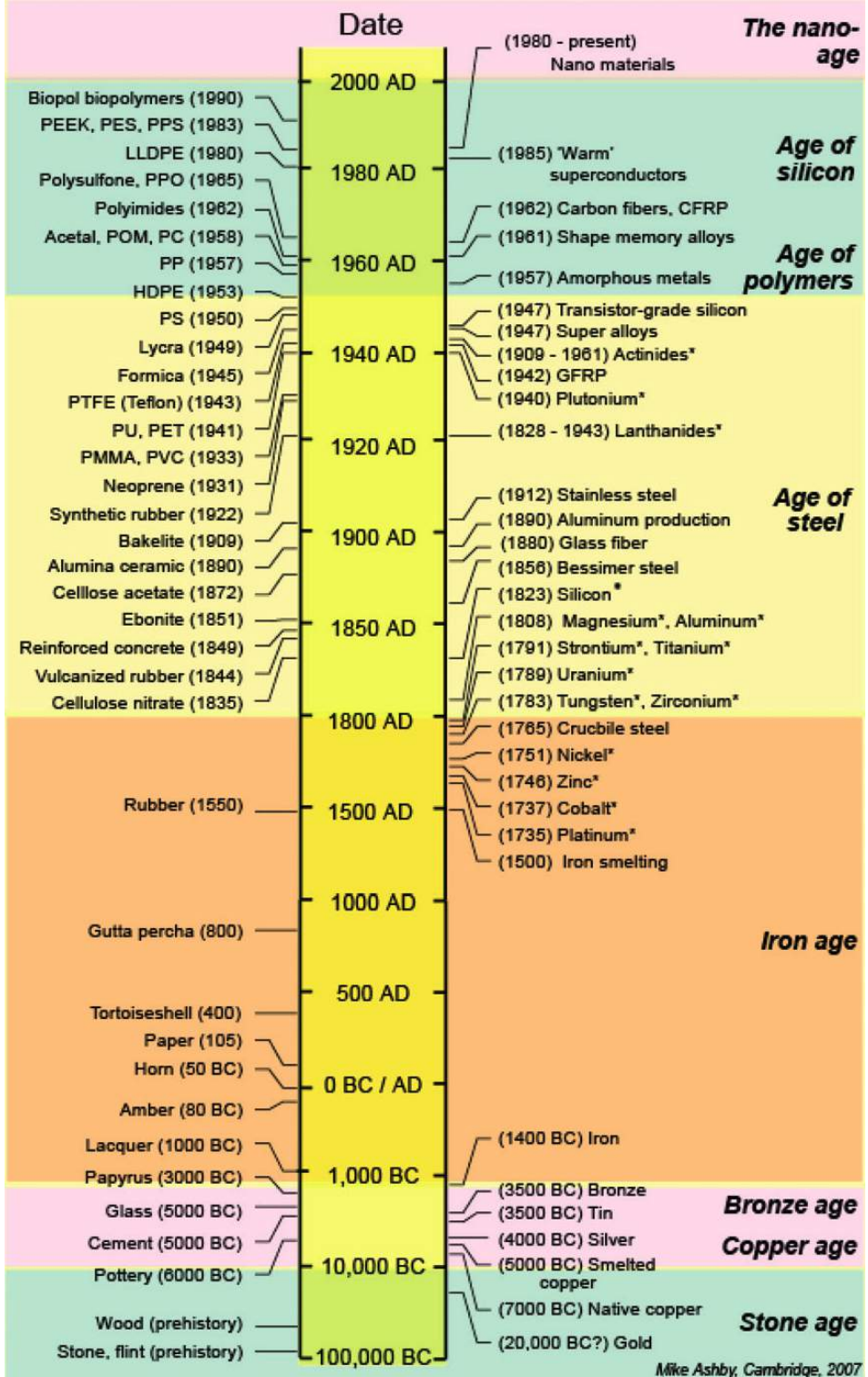


2- La metallurgia: la tecnologia che scandisce le età dell'uomo.

- Introduzione
- Il rame e le sue leghe
- Il ferro e gli acciai
 - Introduzione
 - Materie prime
 - Tecnologie siderurgiche
 - Questioni energetiche
 - Acciai - vs - Bronzi
- I metalli nobili e altre leghe metalliche
- Tecniche di giunzione e di rivestimento

Introduzione



Mike Ashby, Cambridge, 2007

Ferro e acciai

Introduzione



- Metalli nobili (oro, palladio, platino....)
- Argento
- Rame
- Ferro

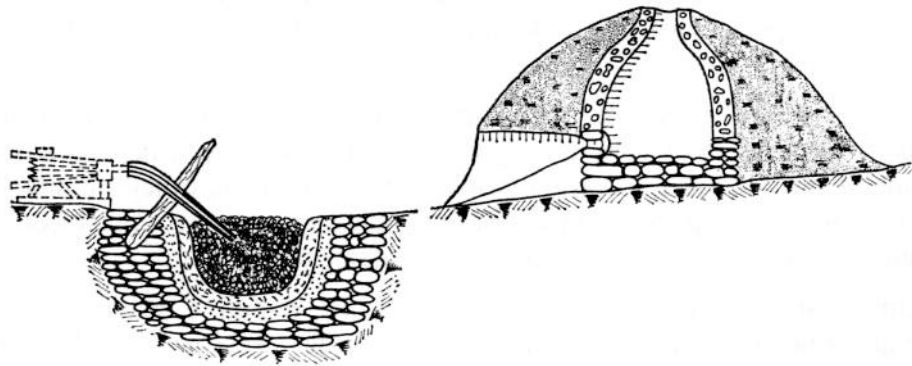


Composition of iron artefacts believed to be of meteoric origin

Artifact	Provenance	Date used	Composition, %				Ref.
			Fe	Ni	Co	Cu	
Dagger	Ur	3000 BC	89.1	10.0	-	-	18
Beads	Gerzeh	3500 BC	92.5	7.5	-	-	18
Knife	Eskimo	Recent	91.47	7.78	0.53	0.016	17
Knife	Deir el Bahari	2000 BC	-	10.0	-	-	2
Knife	Eskimo	AD 1818	88.0	11.83	tr	tr	19
Axehead	Ras Shamra	1450 - 1350 BC	84.9	3.25	0.41	nil	20
Dagger, } Headrest }	Tutankhamun, } Thebes }	1340 BC 1340 BC	- -	pres. pres.	- -	- -	20 20
Plaque	Alaca Hüyük	2400 - 2200 BC	-	3.44 (NiO)	-	-	20
Macehead	Troy	2400 - 2200 BC	-	3.91 (NiO)	-	-	20

Materie prime

Nome	Comp. chimica	Sistema crist.	Durezza (Mohs)	Peso specifico (kg/dm ³)	% teorica Fe	Tenore medio Fe nel minerale
Ferro magnetico o magnetite	Fe ₃ O ₄	Cubico	6	5	72,4	45 ÷ 70
Ematite rossa o ferro oligisto	Fe ₂ O ₃	Esagonale	6	5,2	69,9	45 ÷ 60
Ematite bruna o limonite	2Fe ₂ O ₃ . 3H ₂ O	Amorfa	5	3,7	59,8	30 ÷ 50
ferro spatico ó siderite	FeCO ₃	Esagonale	4	3,8	48,2	30 ÷ 40
(Pirite)	FeS ₂	Cubico	6	5	46,5	40



Processo:

Riduzione dei minerali contenenti ferro in eccesso di carbone di legna.

Problema:

Ventilazione non efficiente!
Ridotte efficienza e produttività

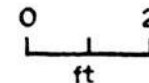
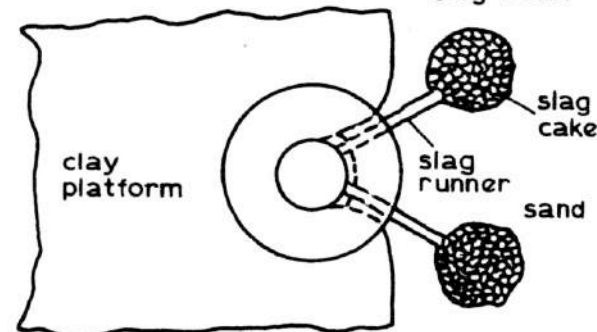
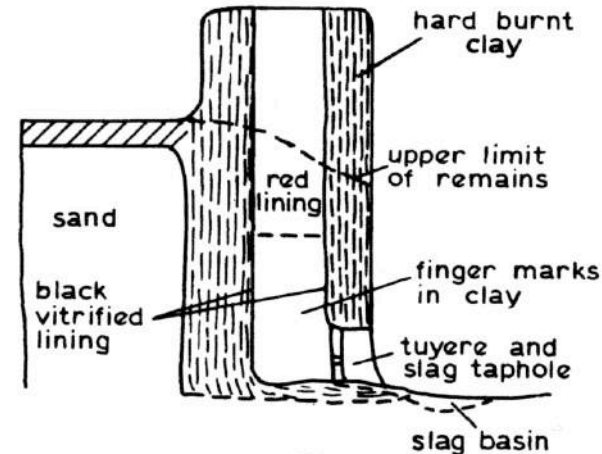
Forni “basso fuoco”

Soluzioni:

Aumento della quantità di carica (minerale+carbone)

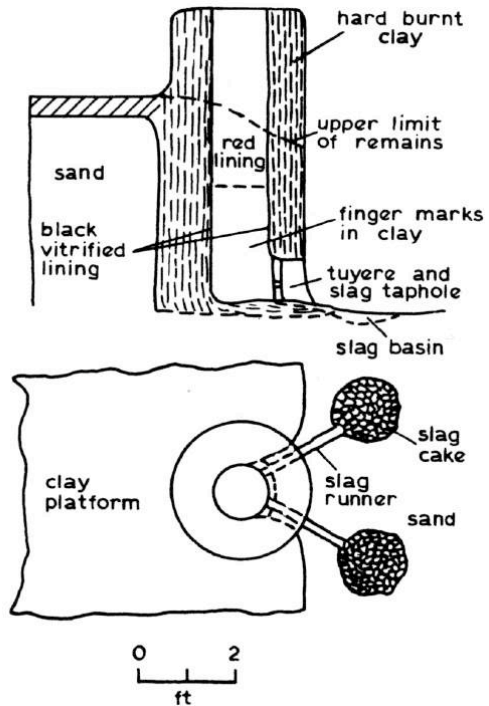
Ventilazione dal basso

Deflusso della scoria.



Forno a tino
(*plain shaft furnace*)

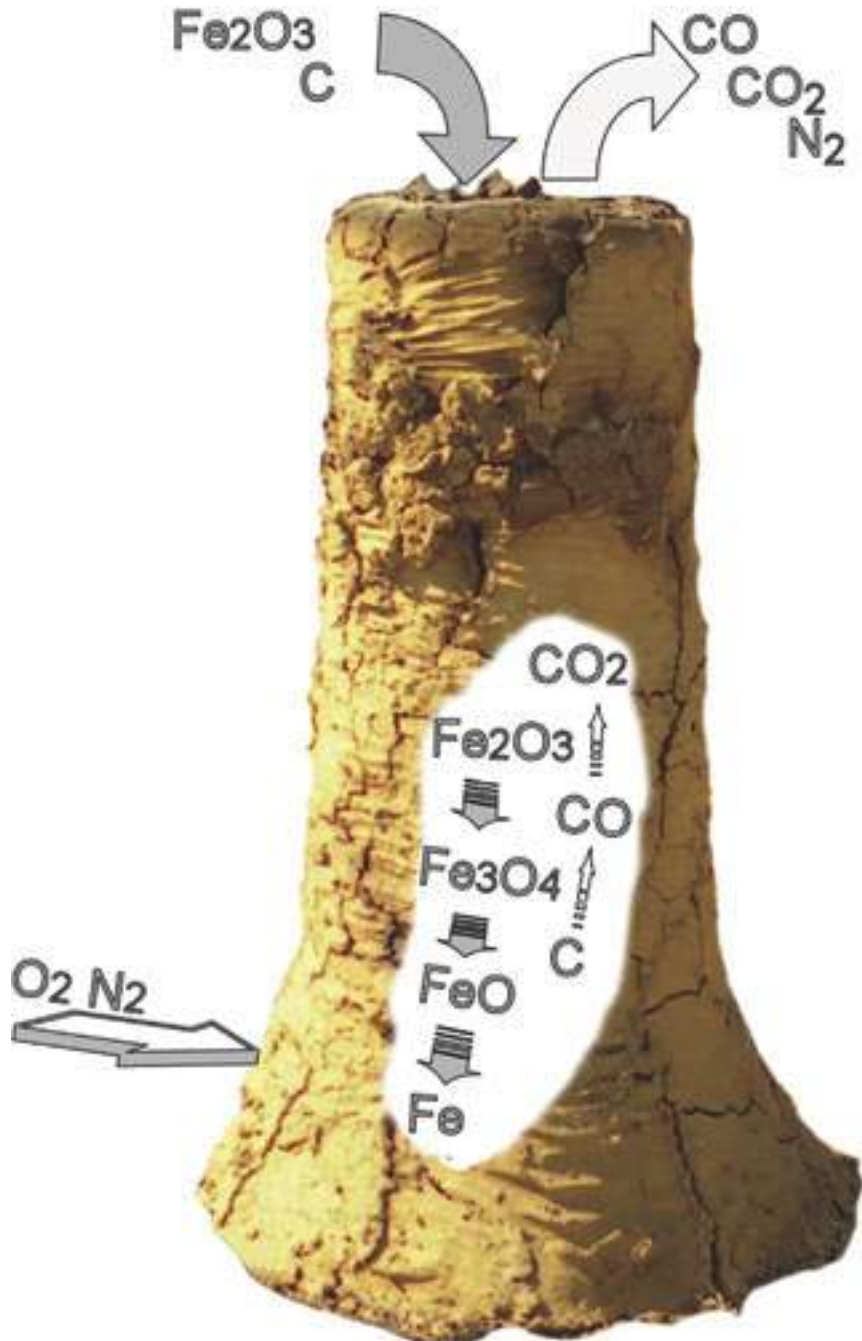
Forno a tino (plain shaft furnace)



Carica del forno: strati di materia prima (Fe_2O_3) e combustibile (carbone da legna)

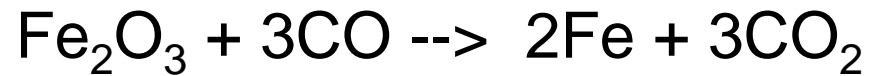
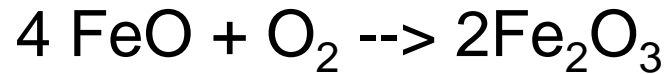


Apertura della camera del forno e fuoriuscita della scoria.



Riduzione

OSSIDI

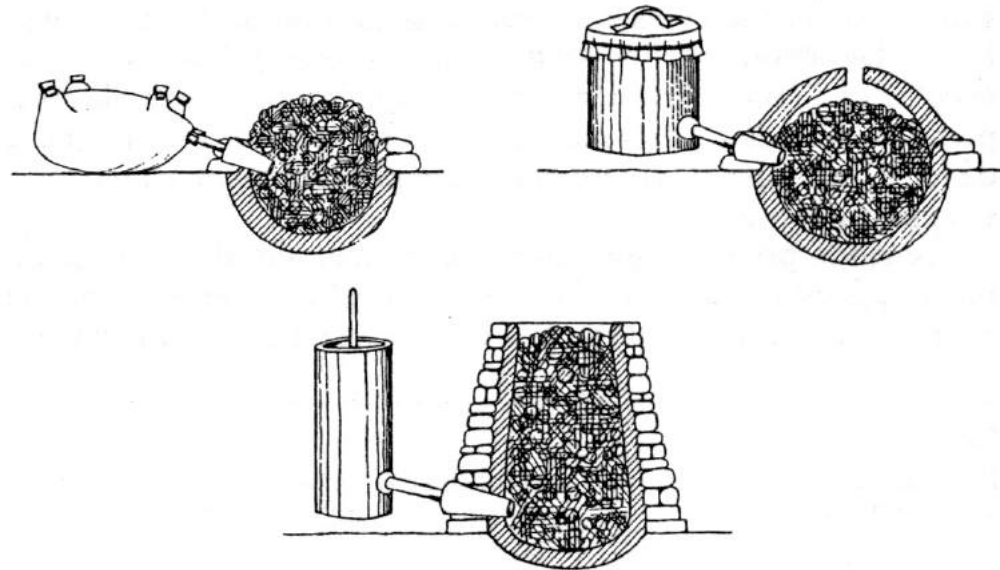
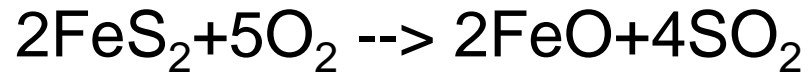


CARBONATO



Arrostimento

(es.: pirite - FeS_2):



I forni di questo tipo cosa producevano!?

Polimorfi del Ferro

δ -bcc

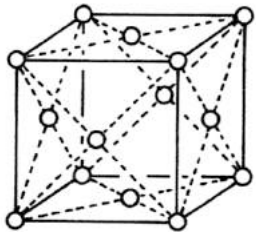
Delta Ferrite

Da 1400°C a 1536°C

γ -fcc

Austenite

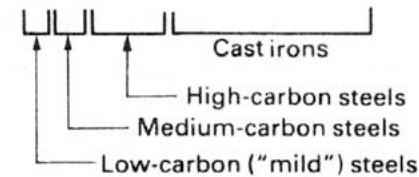
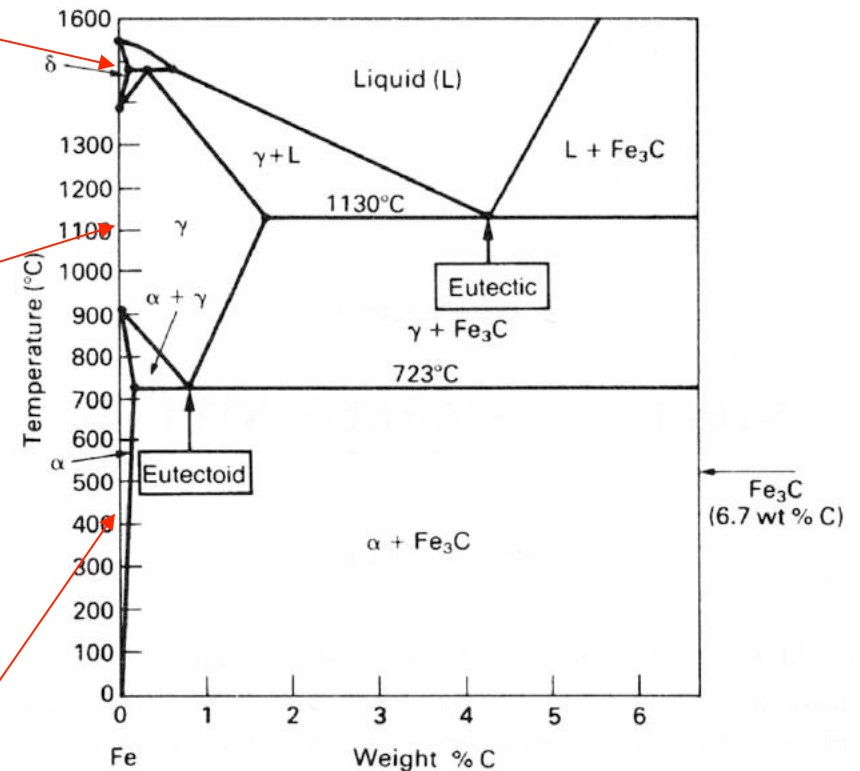
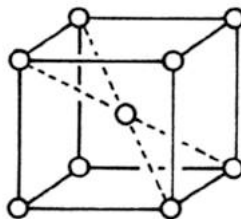
Da 910°C a 1400°C



α -bcc

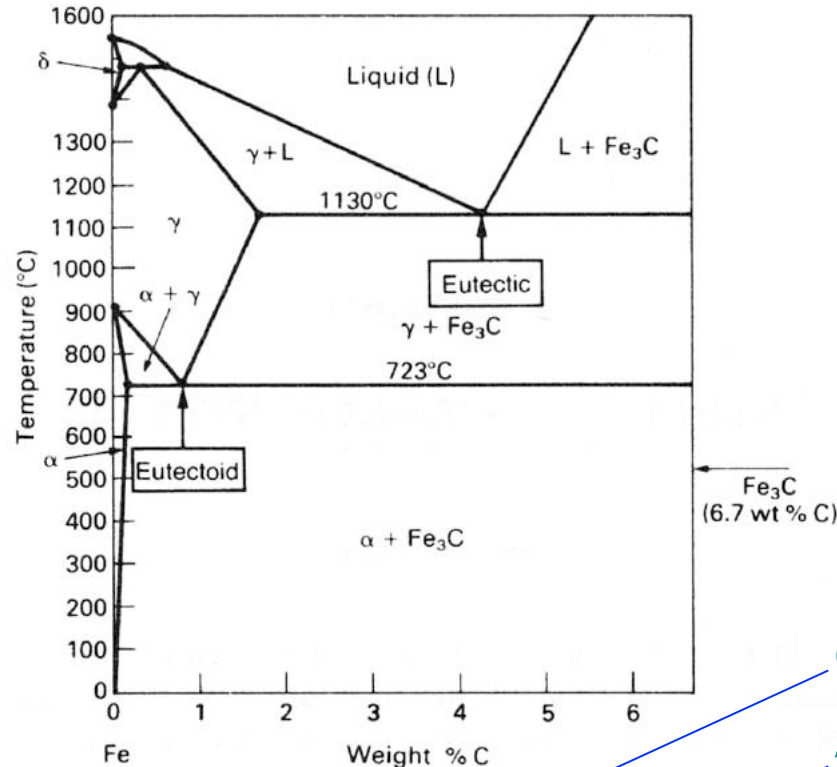
Ferrite

Fino a 910°C



Metalli e leghe: Gli Acciai

Fase di tempra: **martensite**.



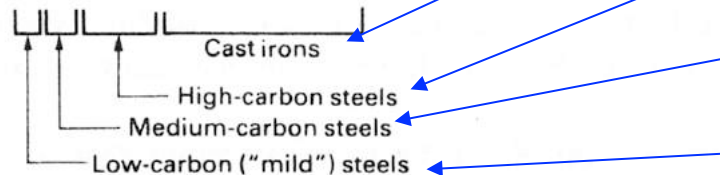
Carburo di ferro Fe_3C - Cementite

Ghise (1.7% - 5% di C)

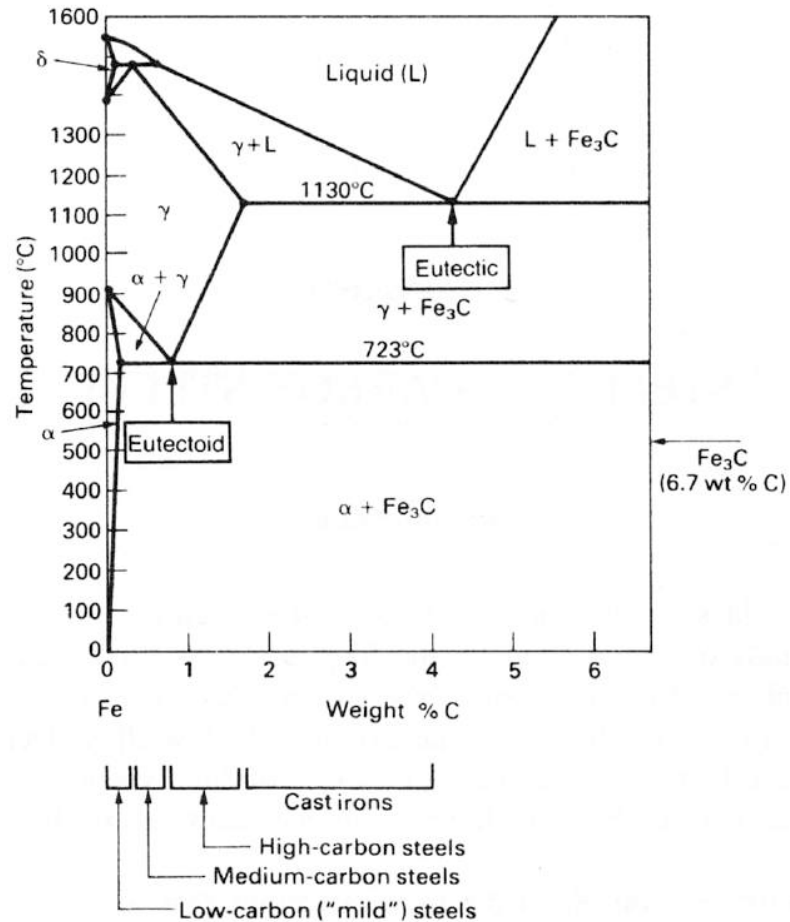
Acciai alto carbonio (0.9% - 1.7% di C)

Acciai medio carbonio (0.3% - 0.9 % di C)

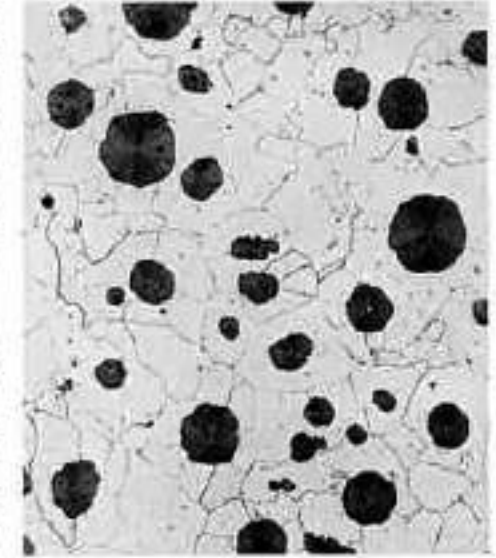
Acciai basso carbonio (< 0.3 % di C)



Metalli e leghe: Gli Acciai



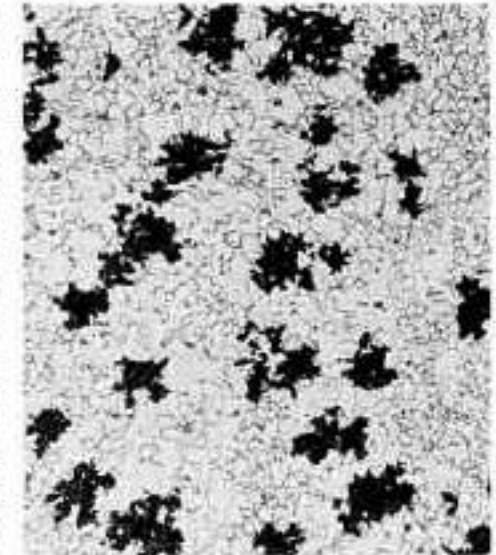
(a)



(b)



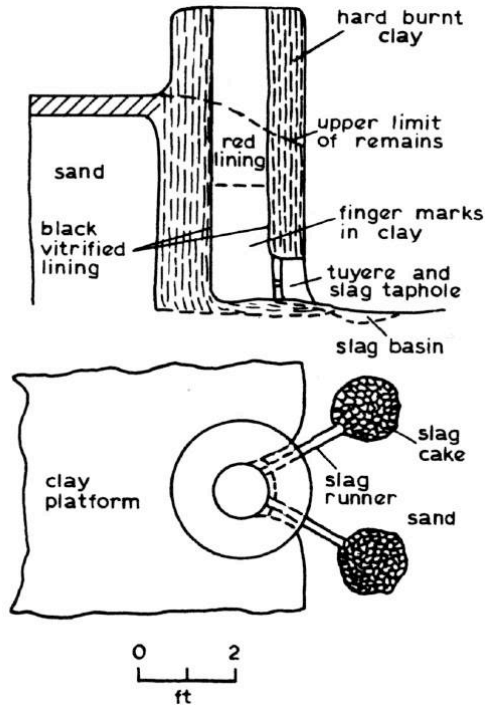
(c)



(d)

Struttura delle Ghise

Tecnologie siderurgiche



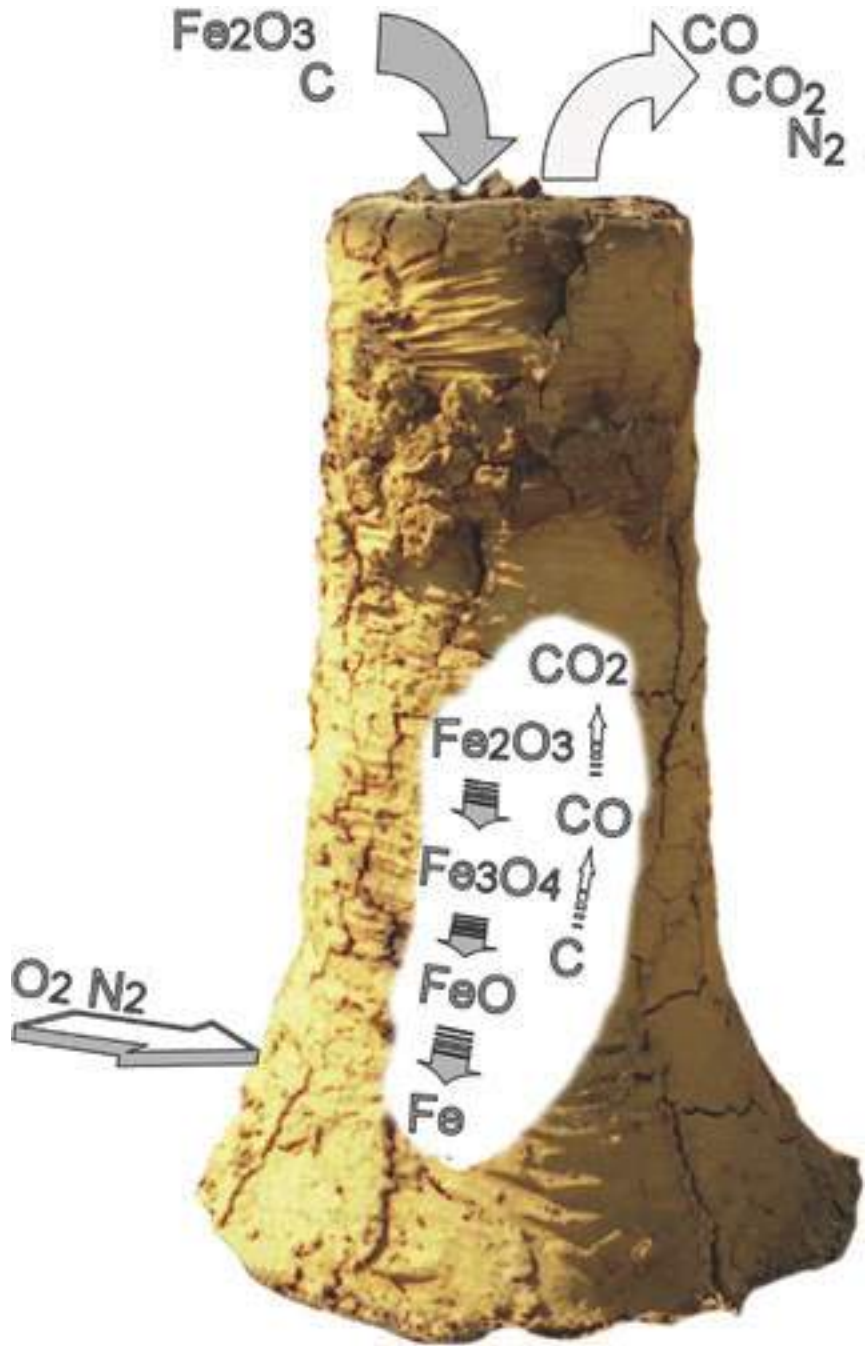
Caricamento del forno con strati alternati di materia prima (e.g., Fe_2O_3) e carbone di legna.



Scoria che fuoriesce dal forno.

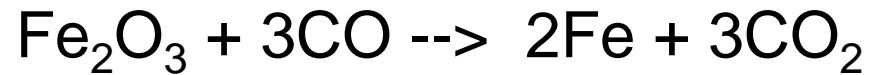
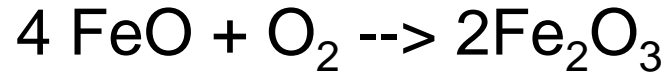
Tecnologie siderurgiche



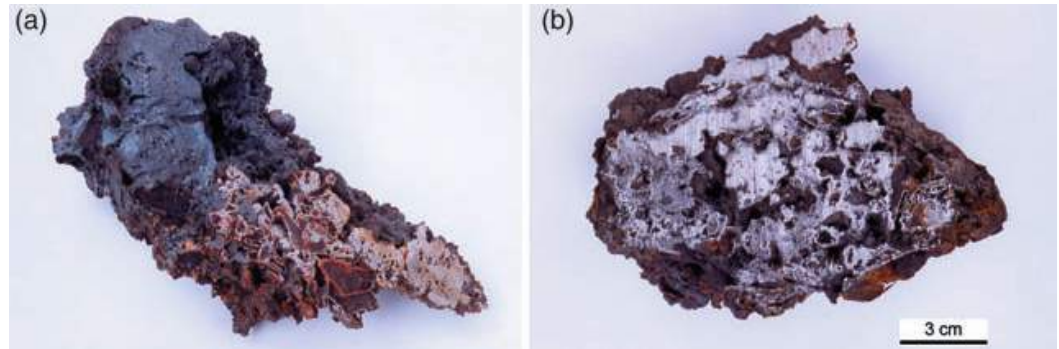


Riduzione

Ossidi



Carbonato

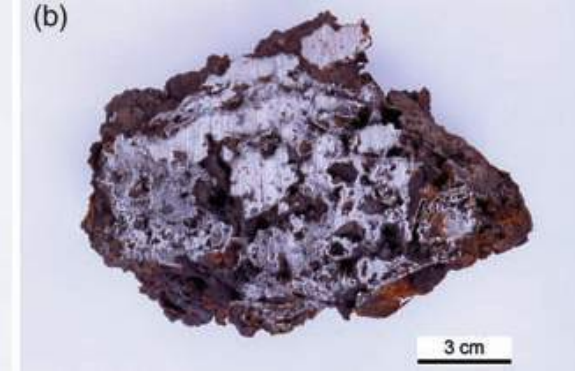


Blumo

Tecnologie siderurgiche



Fucina (bloomery)



Fasi principali della estrazione a “*basso fuoco*”

Formazione del BLUMO (1150-1300 °C):

Massa spugnosa costituita da metallo,
ossidi di ferro e silicato di ferro (e.g., Fe_2SiO_4)

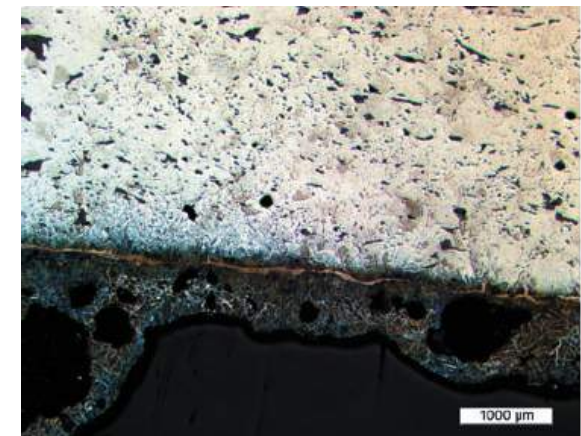
Martellatura:

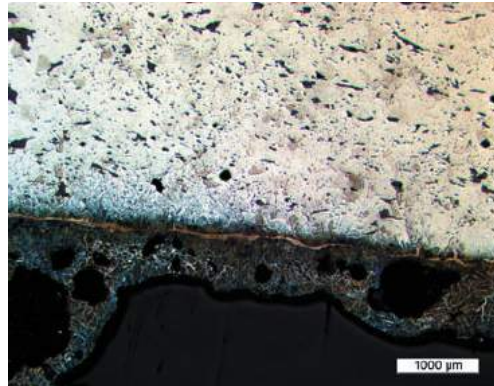
A T di circa 1150 °C

Per ottenere il MASSELLO di FERRO

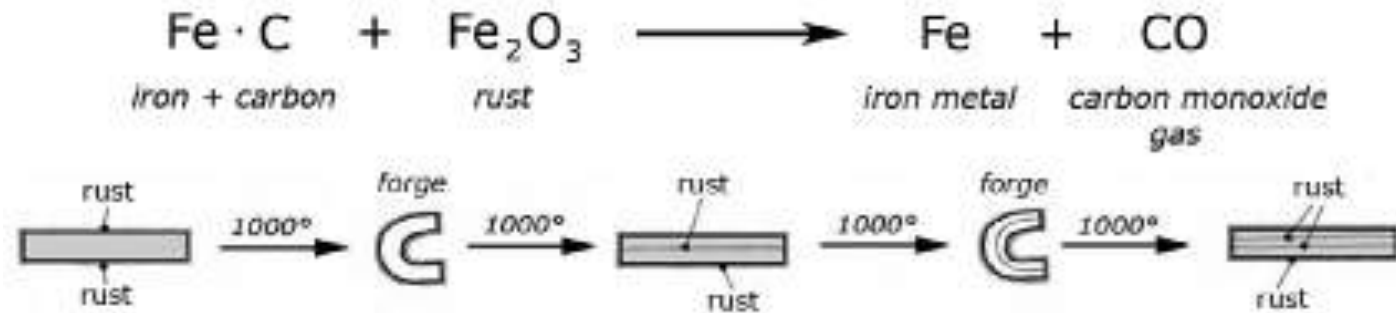
Processo in fase solida...

Cfr temperature di fusione di
Ferro (1536 °C) e Rame (1083 °C)

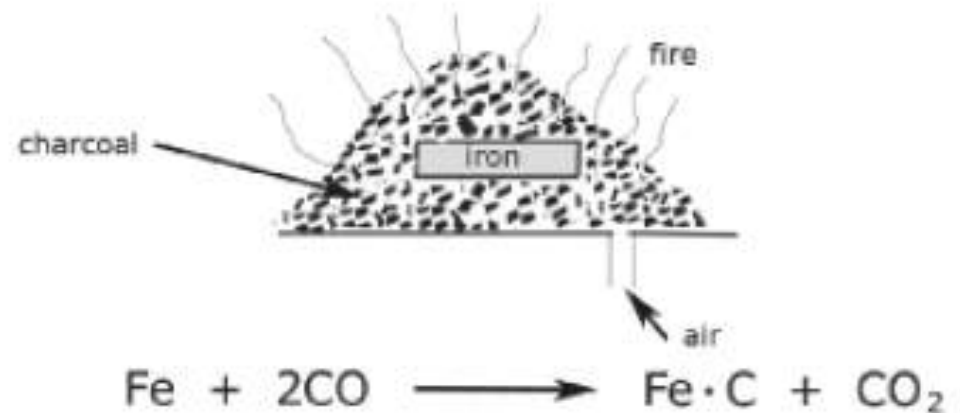




Riduzione della concentrazione di carbonio per forgiatura e martellatura



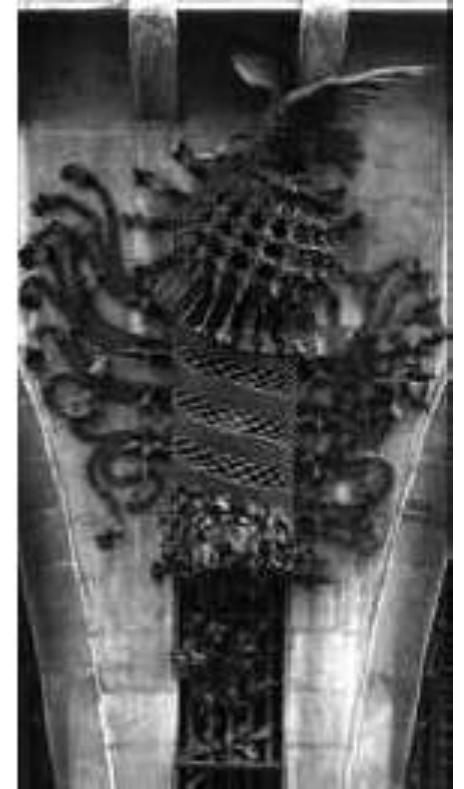
Aumento della concentrazione di carbonio per cementazione



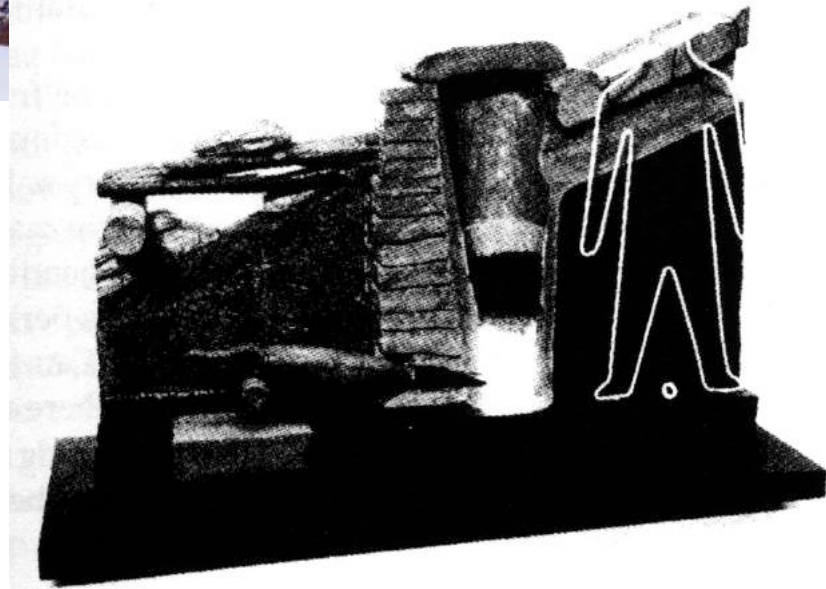
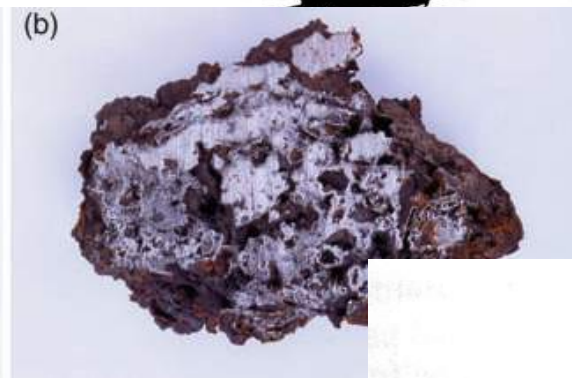
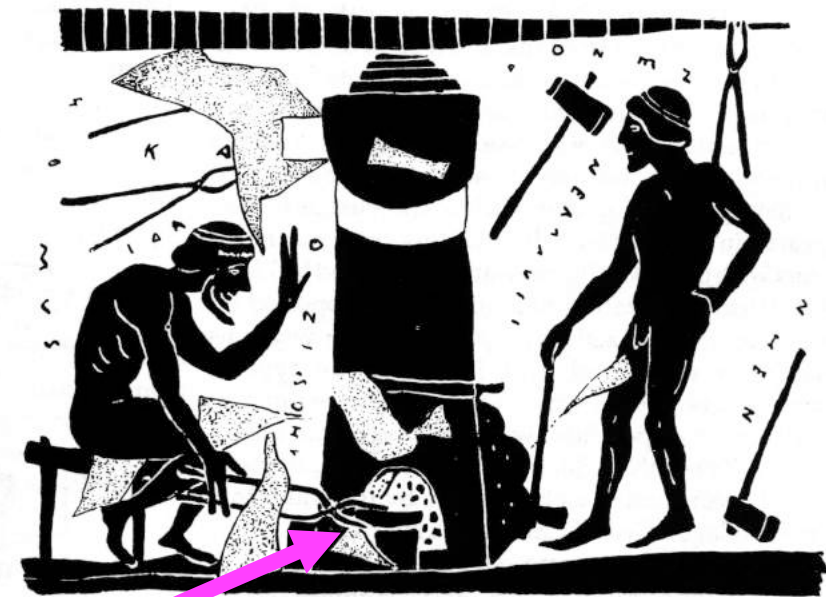


STRUTTURE in GHISA

FERRO BATTUTO



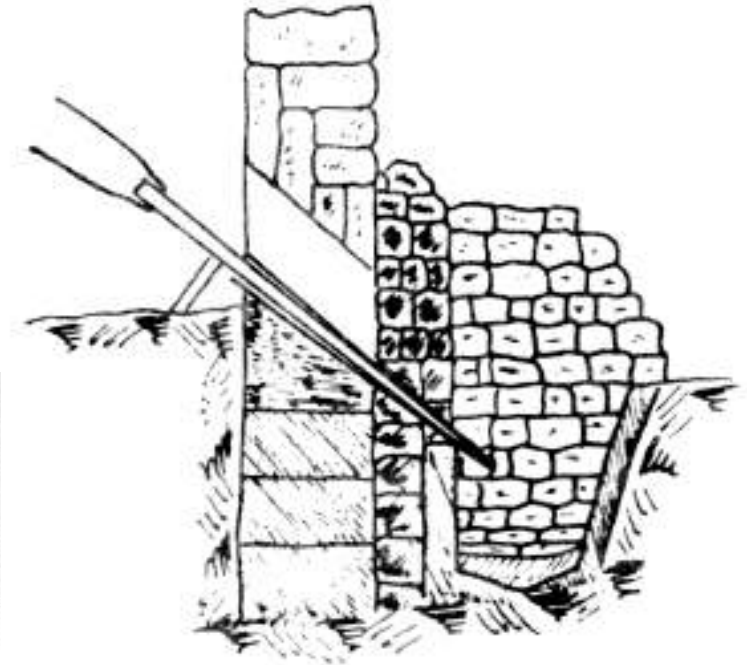
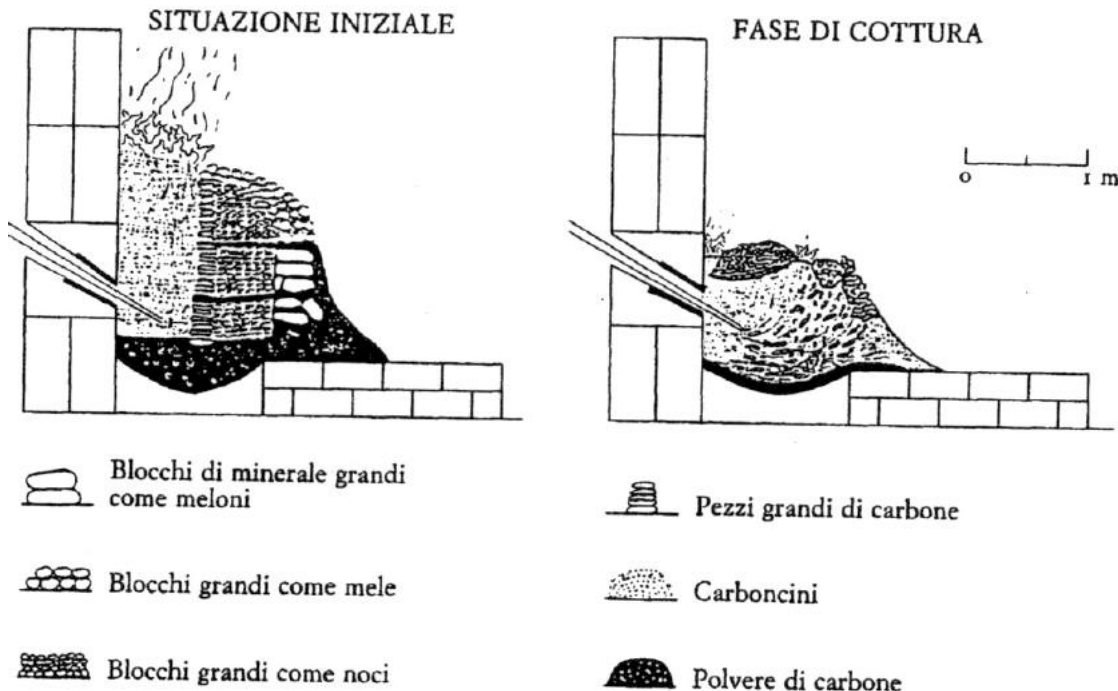
Tecnologie siderurgiche



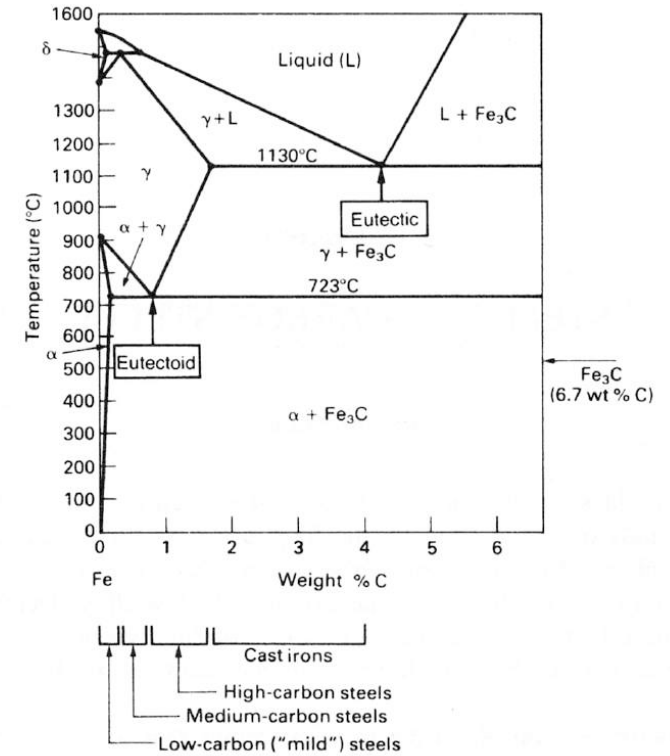
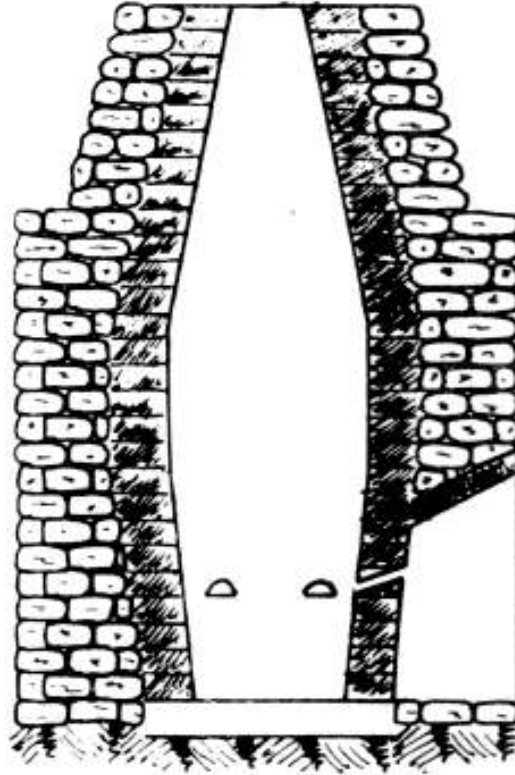
Tecnologie siderurgiche

Processo del forno "basso fuoco":

- Arrostitimento
- Collasso della struttura di minerali e carbone realizzato all'interno della camera
- Riduzione vera e propria
- Prodotto: blumo



Forno basso fuoco "evoluto"



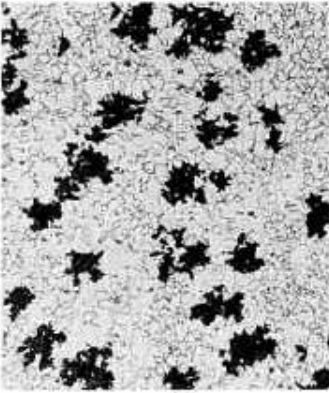
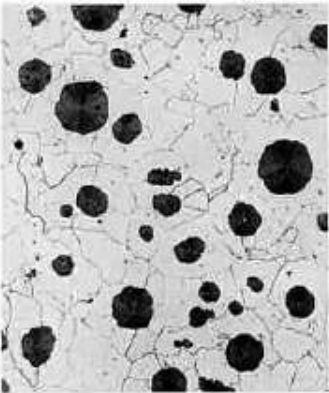
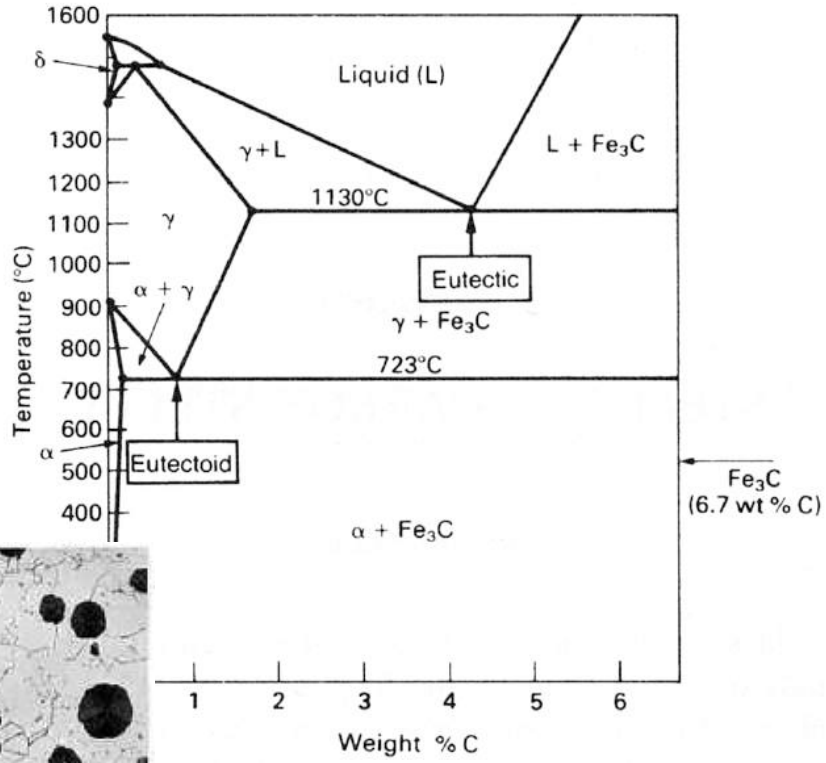
Forno “a massello” (Stuckofen - 13°sec).

Processo del forno “a massello”*:

- Riduzione/carburazione degli ossidi di ferro nella parte alta
- Riduzione completa: formazione del ferro come
- ... blumo e ghisa.

*NB: viene chiamato “a massello”, anche se in realtà il prodotto è il blumo

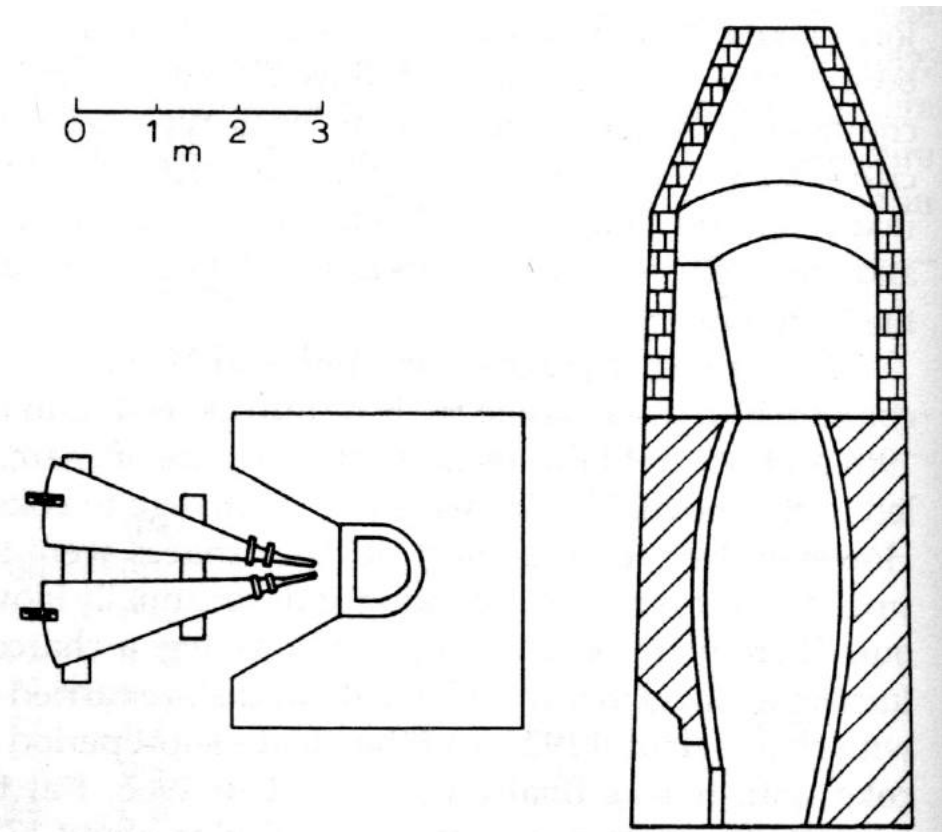
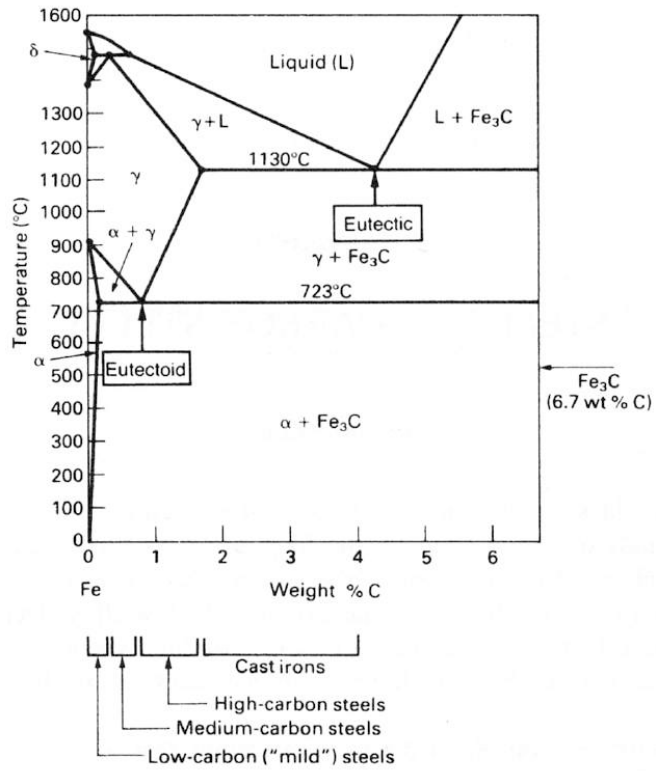
Tecnologie siderurgiche



Cast irons
 High-carbon steels
 Medium-carbon steels
 Low-carbon ("mild") steels

Perché la ghisa non fu presa in considerazione precedentemente nel processo produttivo del ferro!?

Tecnologie siderurgiche



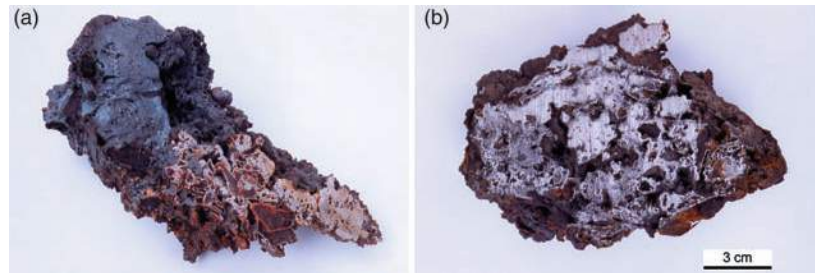
Flossofen - 15°sec).

Stuckofen - 13°sec.

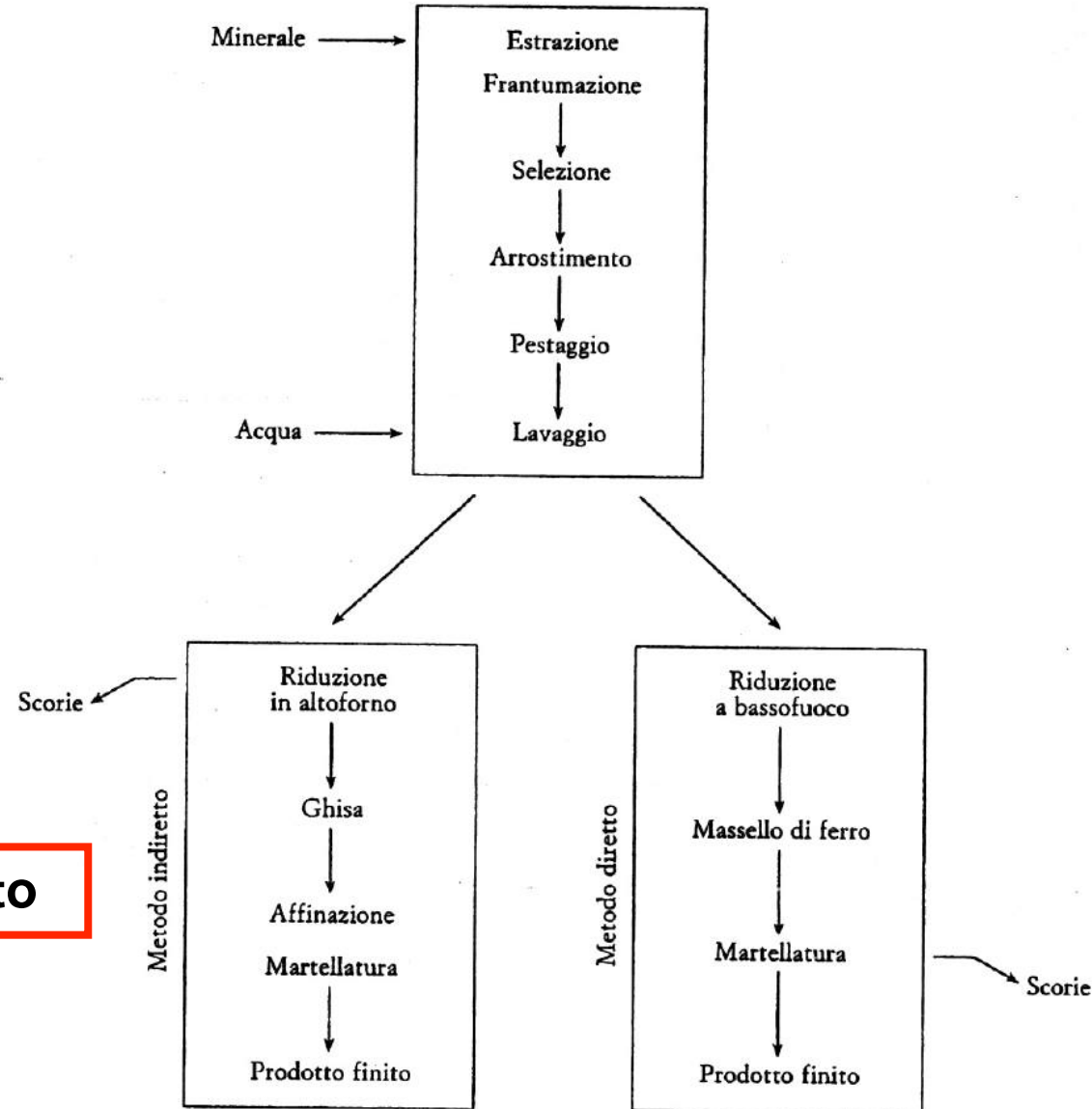
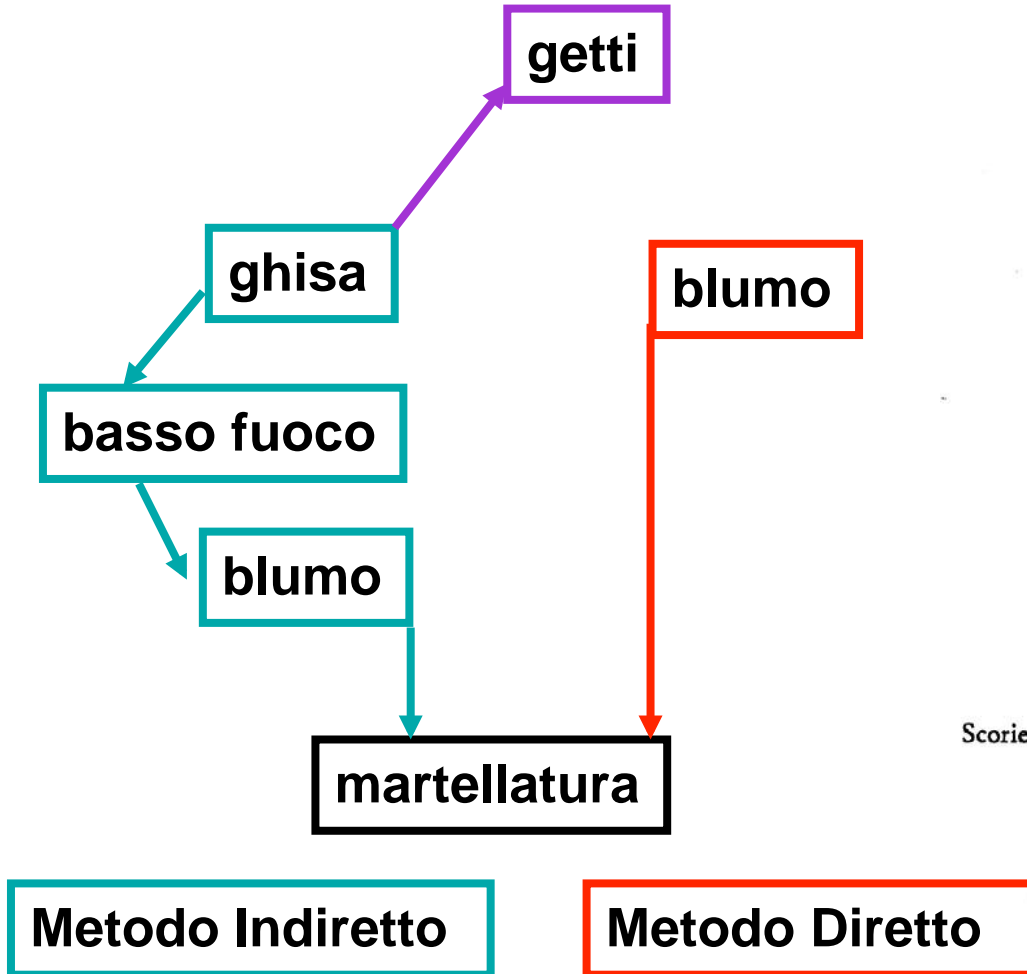
blumo + ghisa

Flossofen - 15°sec

solo ghisa



Tecnologie siderurgiche



Tecnologie siderurgiche

...verso l'altoforno

Problema:

Scarsa disponibilità di combustibile (carbone di legna)
Scarsa resistenza alla compressione del carbone di legna

Soluzione:

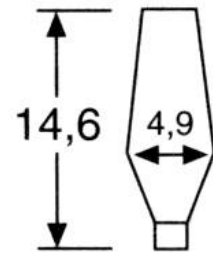
Nel 1730 Darby mette a punto il processo per produrre carbon COKE.

Sviluppo tecnologico:

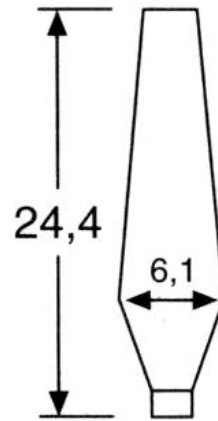
- Temperature di estrazione più elevate (1300°C)
- Uso di macchine a vapore per azionare i mantici di ventilazione
- Maggiore libertà di localizzazione degli impianti, prima vincolati ai corsi di acqua.
- Pre-riscaldamento dell'aria("vento"):
 - risparmio di combustibile,
 - possibilità di impiego diretto di carbon fossile, purché non troppo ricco di zolfo.

Tecnologie siderurgiche

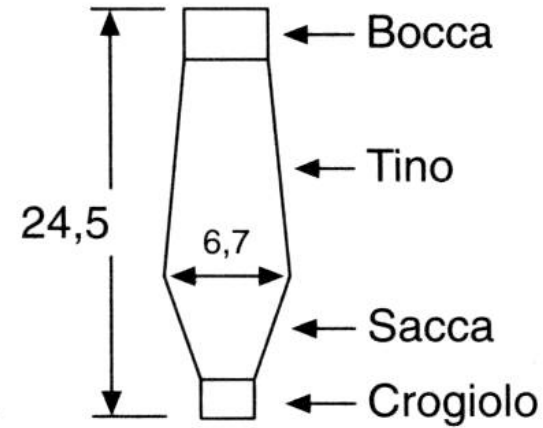
Evoluzione degli altoforni



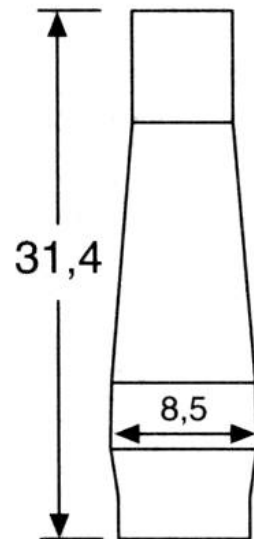
U. K.
1830



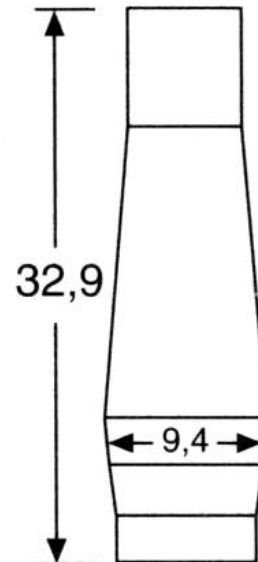
L. Bell
1840



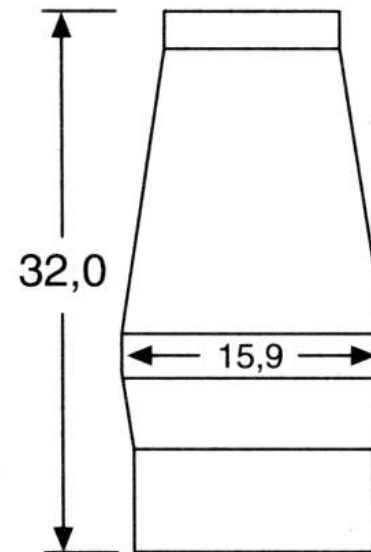
E. Thomson
1889



Ohio 2
1929

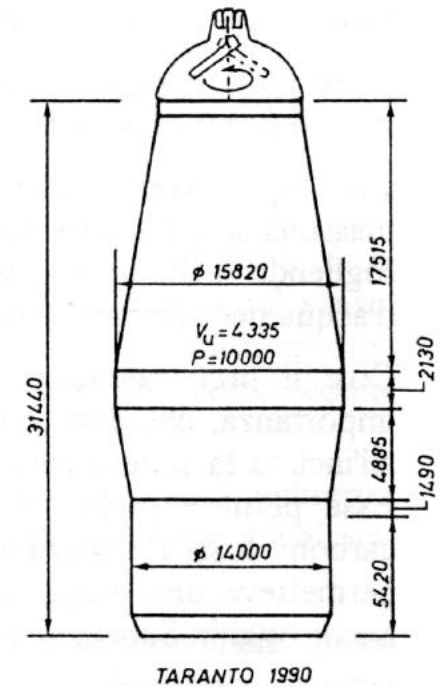
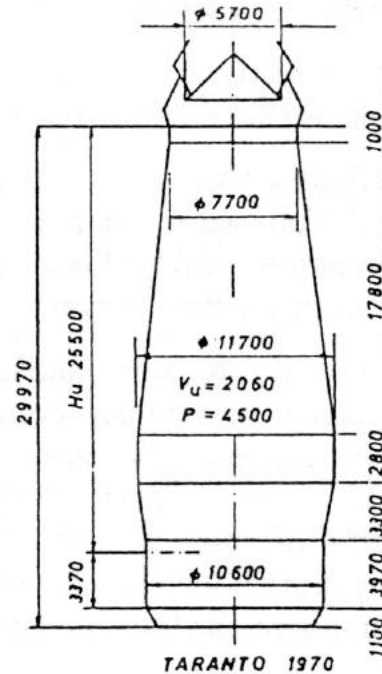
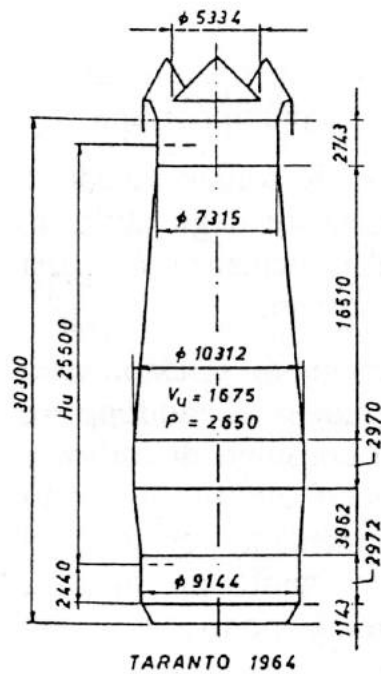
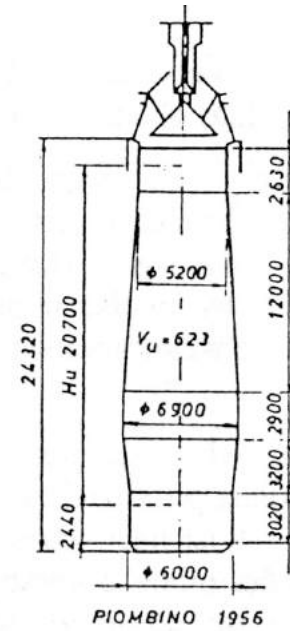
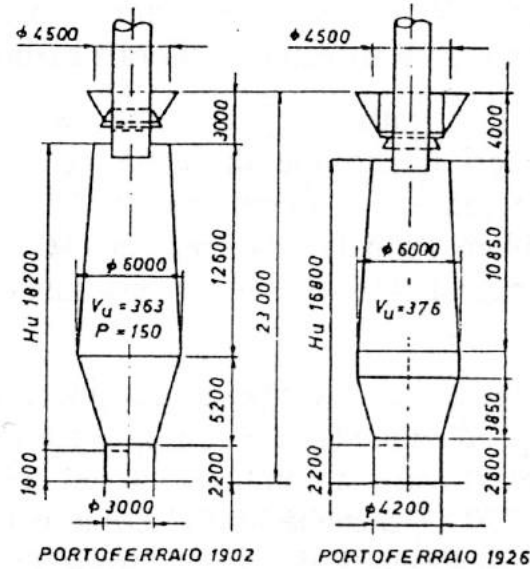


Chicago District
1947

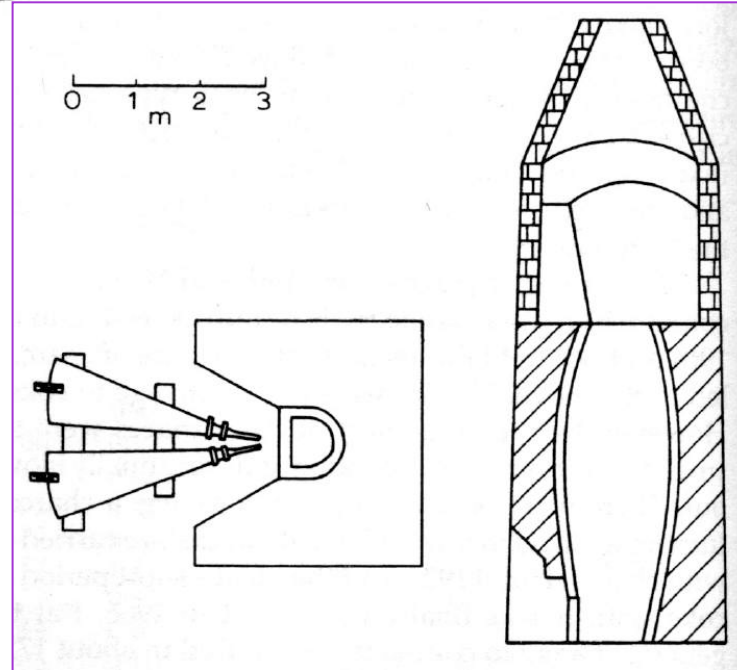
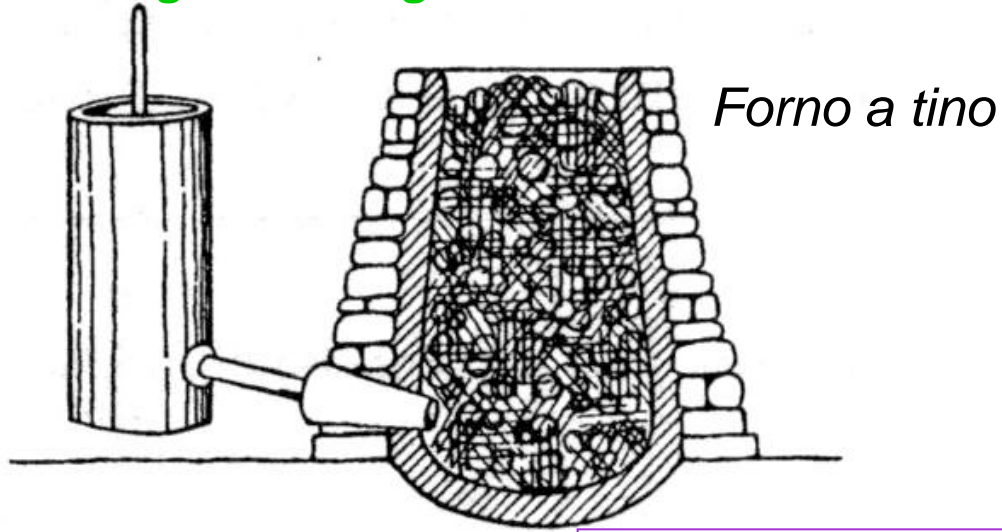


Fukuyama n. 5
1973

Evoluzione degli altoforni...italiani

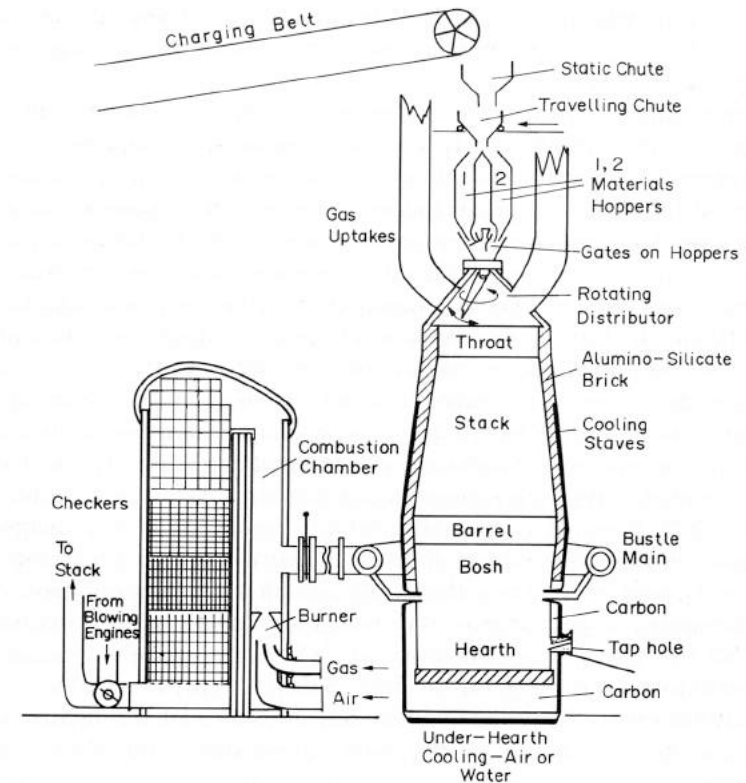


Tecnologie siderurgiche



Stuckofen - Flossofen

Altoforno



Tecnologie siderurgiche

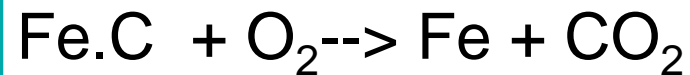
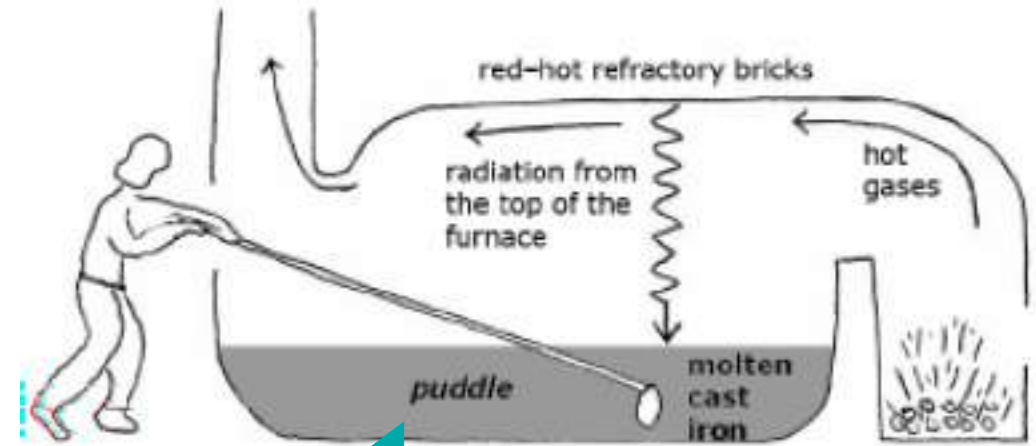
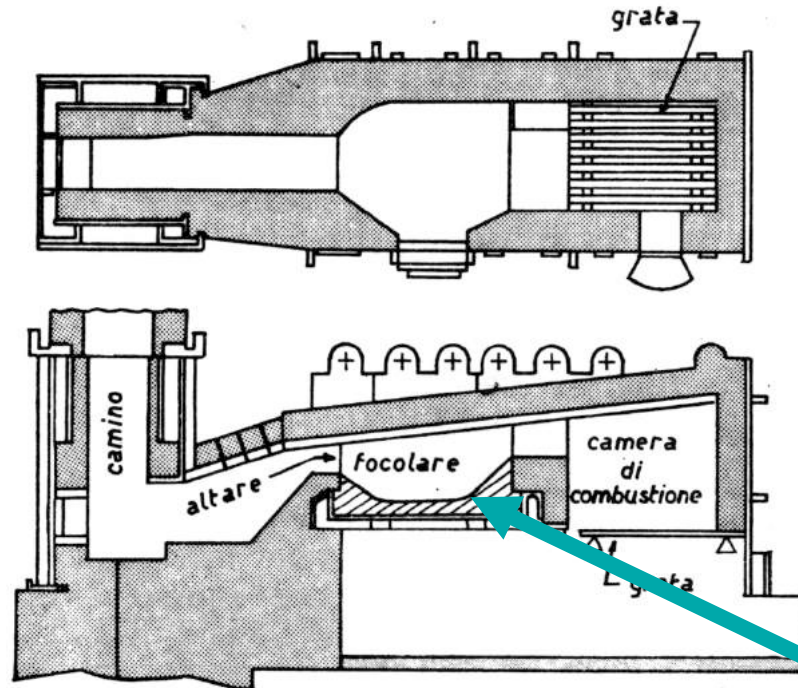
... che fare della ghisa !?

Problema:

La purezza del carbon coke non è sufficiente (in particolare ancora troppo elevata e la concentrazione di zolfo) per ottenere dalla ghisa un blumo/massello dalle caratteristiche idonee per i passi successivi di lavorazione.

Soluzione:

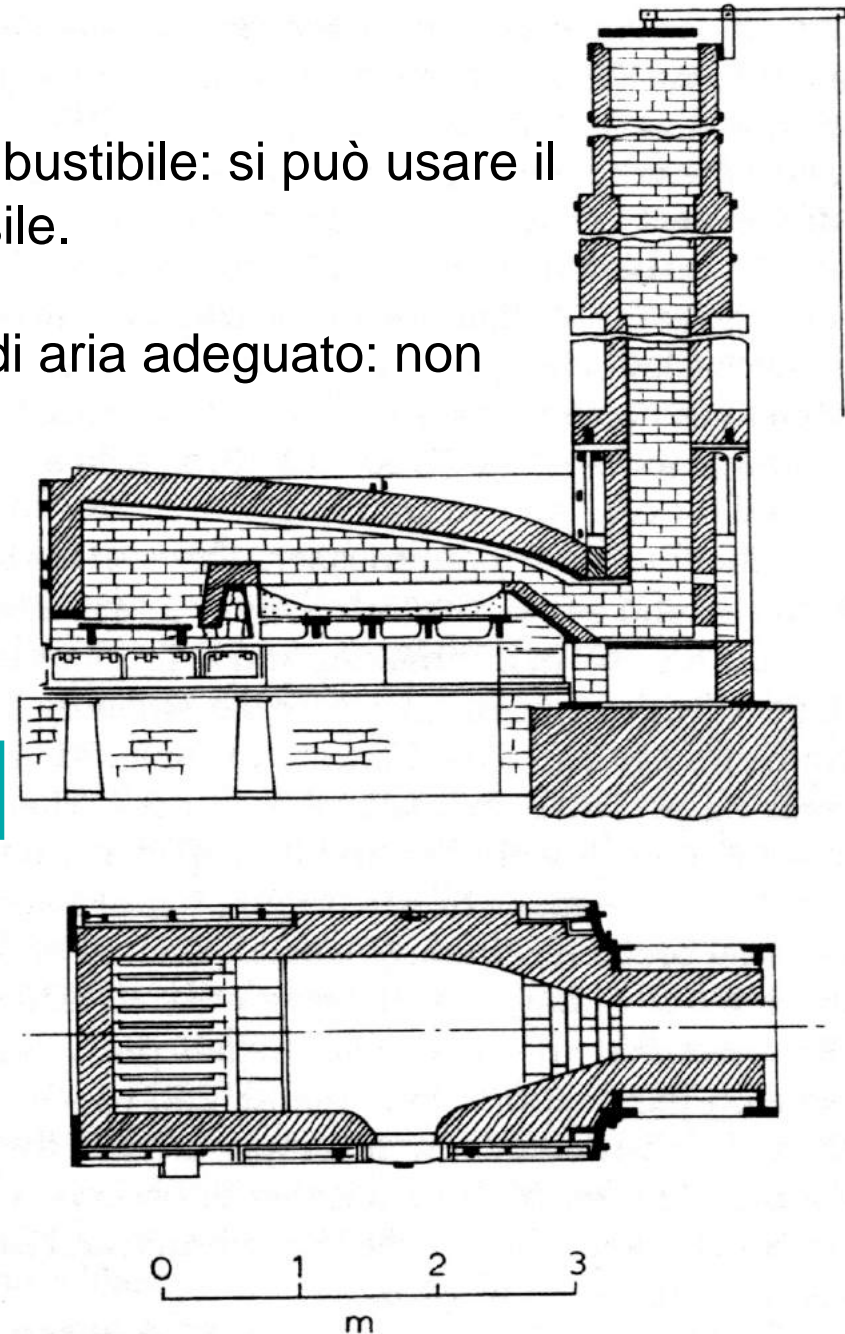
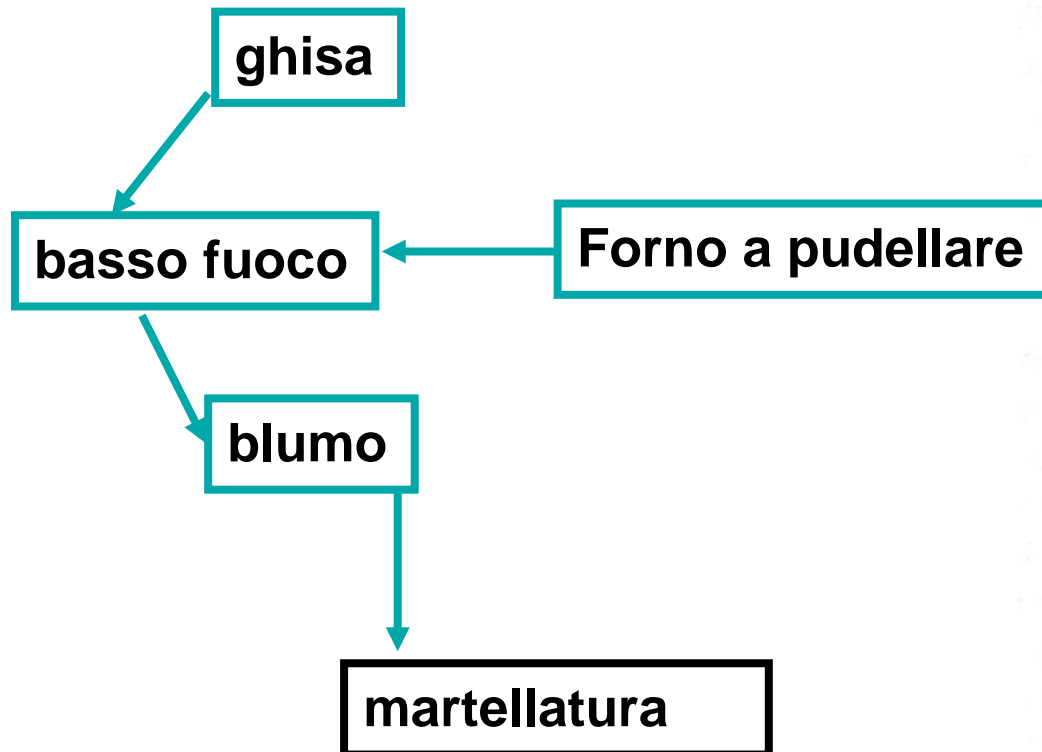
Nel 1784 H. Cort inventa il forno “a pudellare” (puddling furnace), per eliminare in maniera controllata il carbonio dalla ghisa, dalla quale poi ottenere un blumo lavorabile



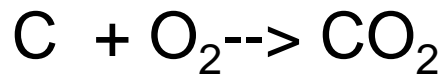
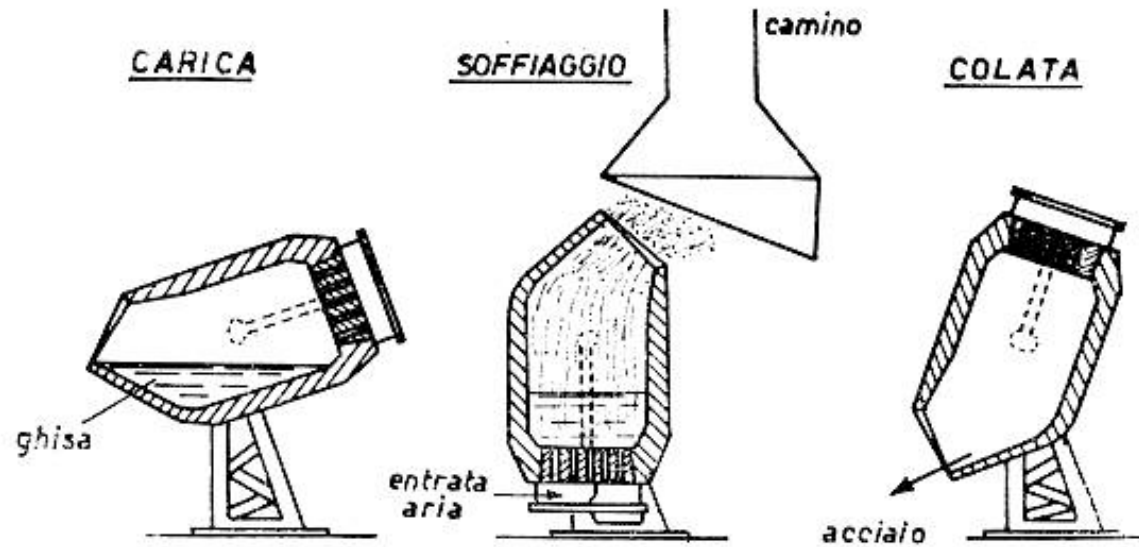
Tecnologie siderurgiche

Vantaggi:

- Non vi è diretto contatto tra ghisa e combustibile: si può usare il carbon coke o direttamente il carbon fossile.
- Il camino del forno garantisce il flusso di aria adeguato: non serve sistema di ventilazione.

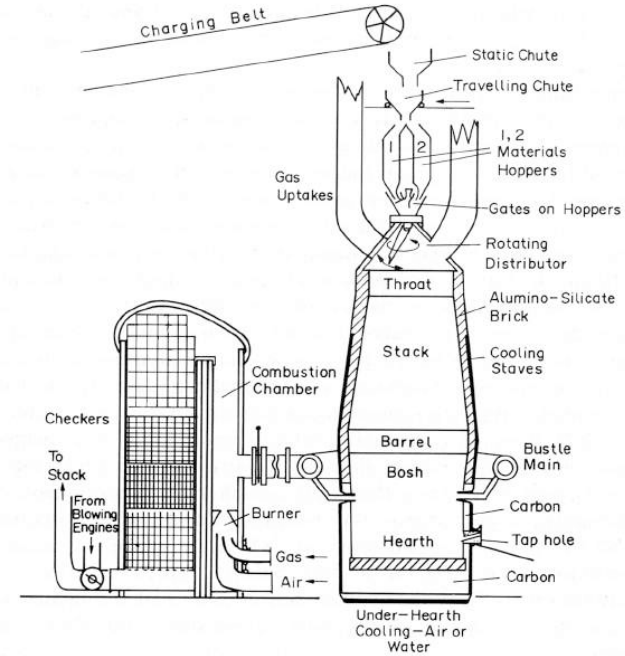
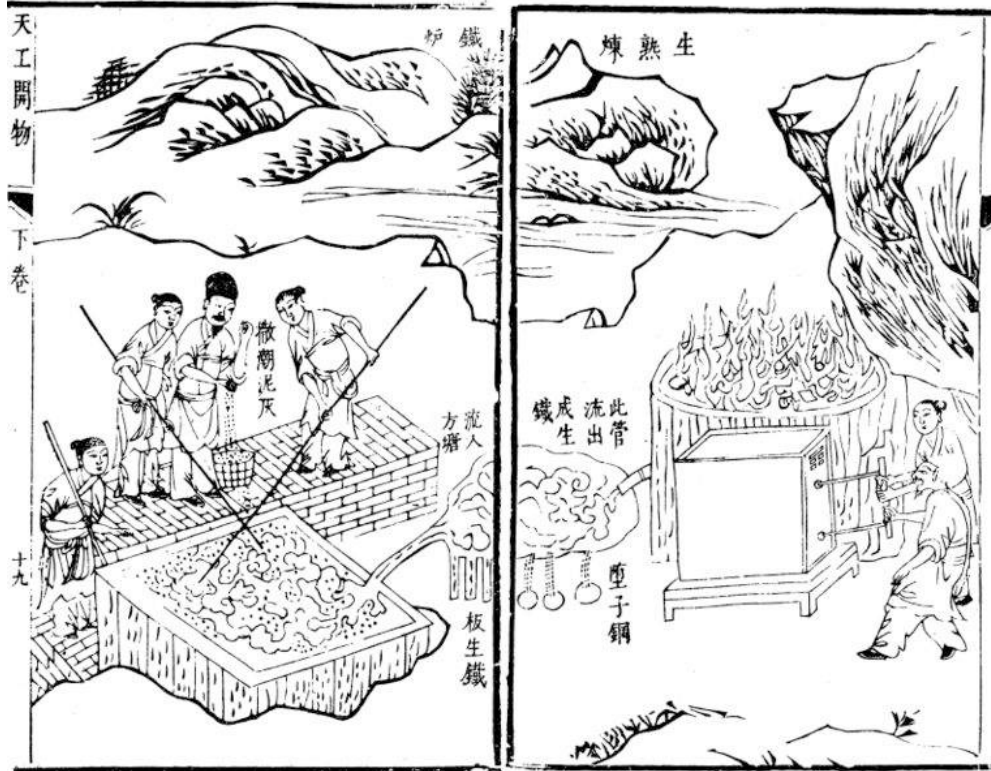


Convertitore Bessemer ad aria (1855):



Element	Wt. %	
	Before	After
Carbon	3.35	0.02
Silicon	0.448	0.13
Manganese	0.85	0.23
Sulphur	0.18	0.057
Phosphorus	2.01	0.066

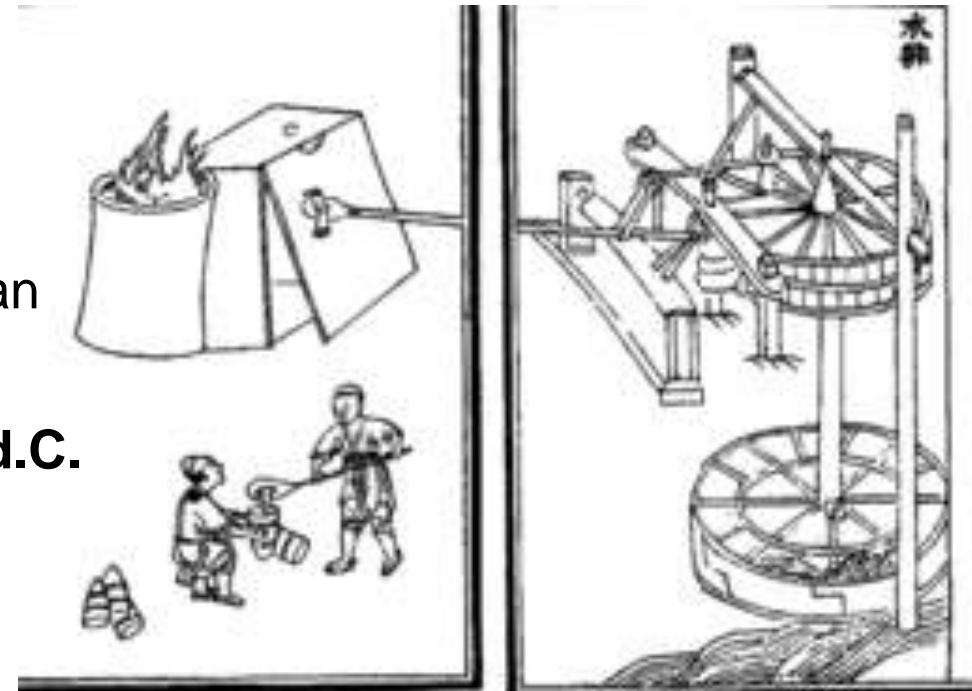
Tecnologie siderurgiche



Siderurgia in Cina:

Prima colata di ghisa durante la dinastia Han (207 a.C. - 220 d.C.)

Cfr con primi altoforni europei: 15° sec d.C.





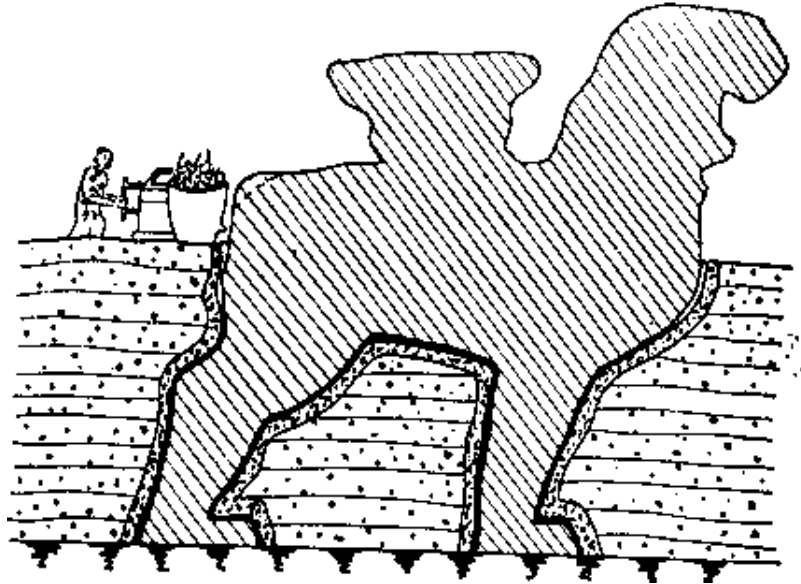
5th Cent BC – Campione di ghisa
Luhe County – Jiangsu - China

Il Leone di Ferro di Cangzhou (953 AD)

- Altezza: 5.78 m,
- Lunghezza: 6.5 m,
- Larghezza: 3.17 m,
- Peso (stimato): 40 t



Tecnologie siderurgiche



Tecnologie siderurgiche

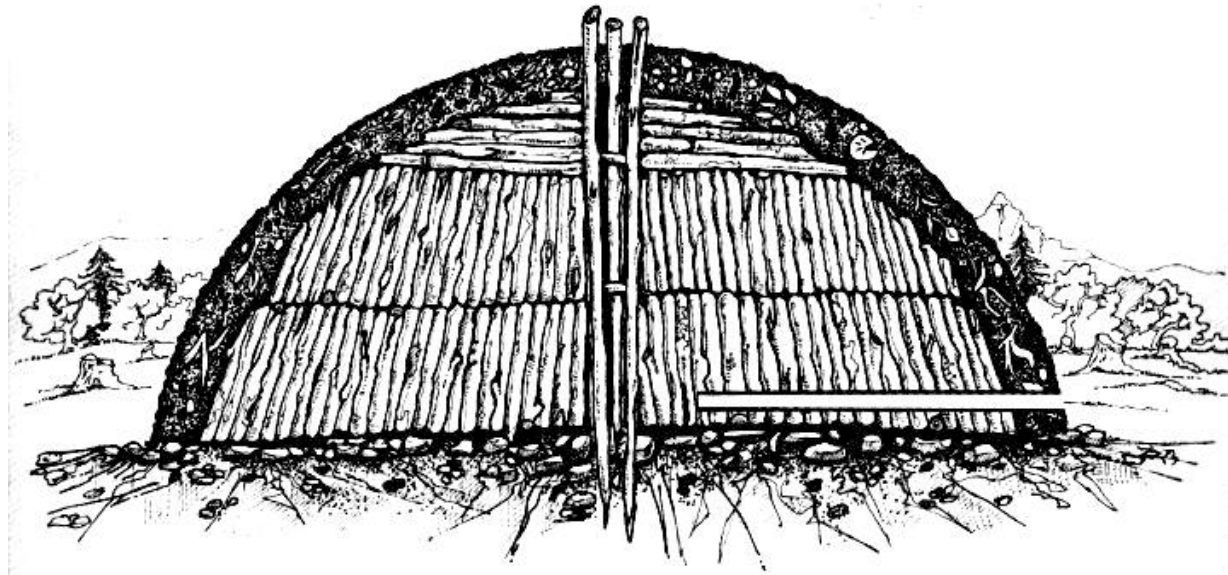


Ferro e acciai

Questioni energetiche



Carbonaie



Questioni energetiche

Forni medioevali: 8-20 kg carbone/kg di ferro

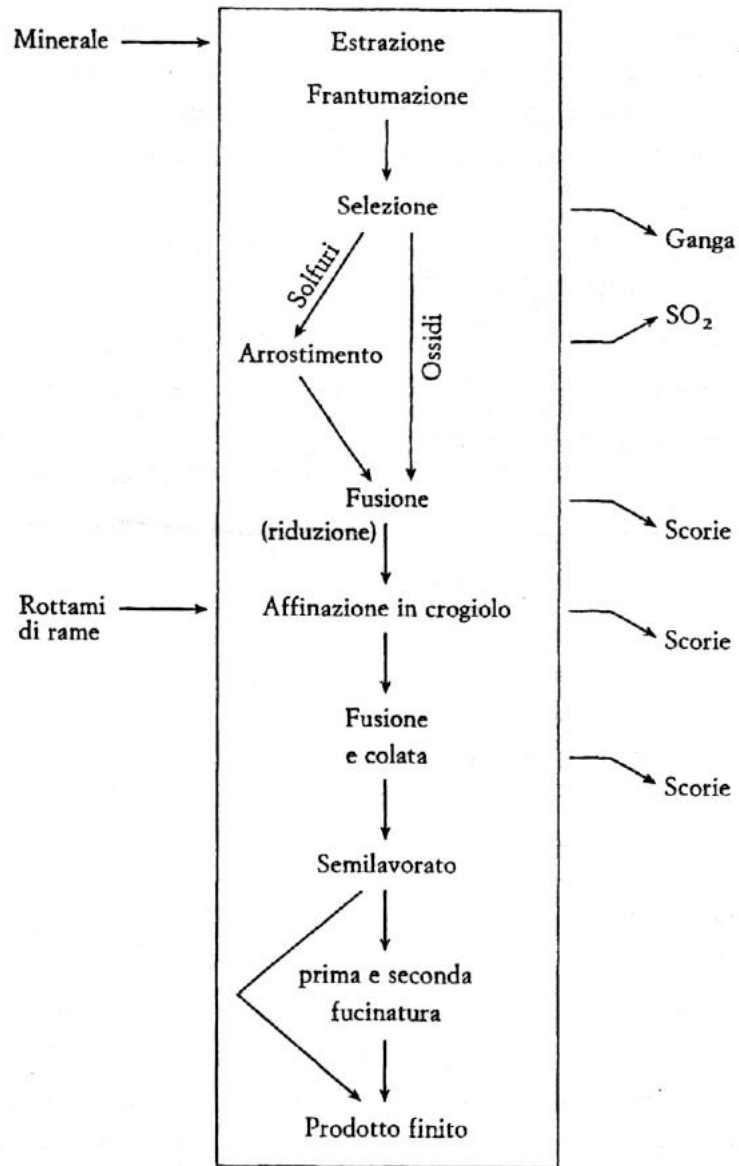
Processo 18° sec.: 8 kg carbone/kg di ferro

Processo 20° sec.: 1.2 kg carbone/kg di ferro

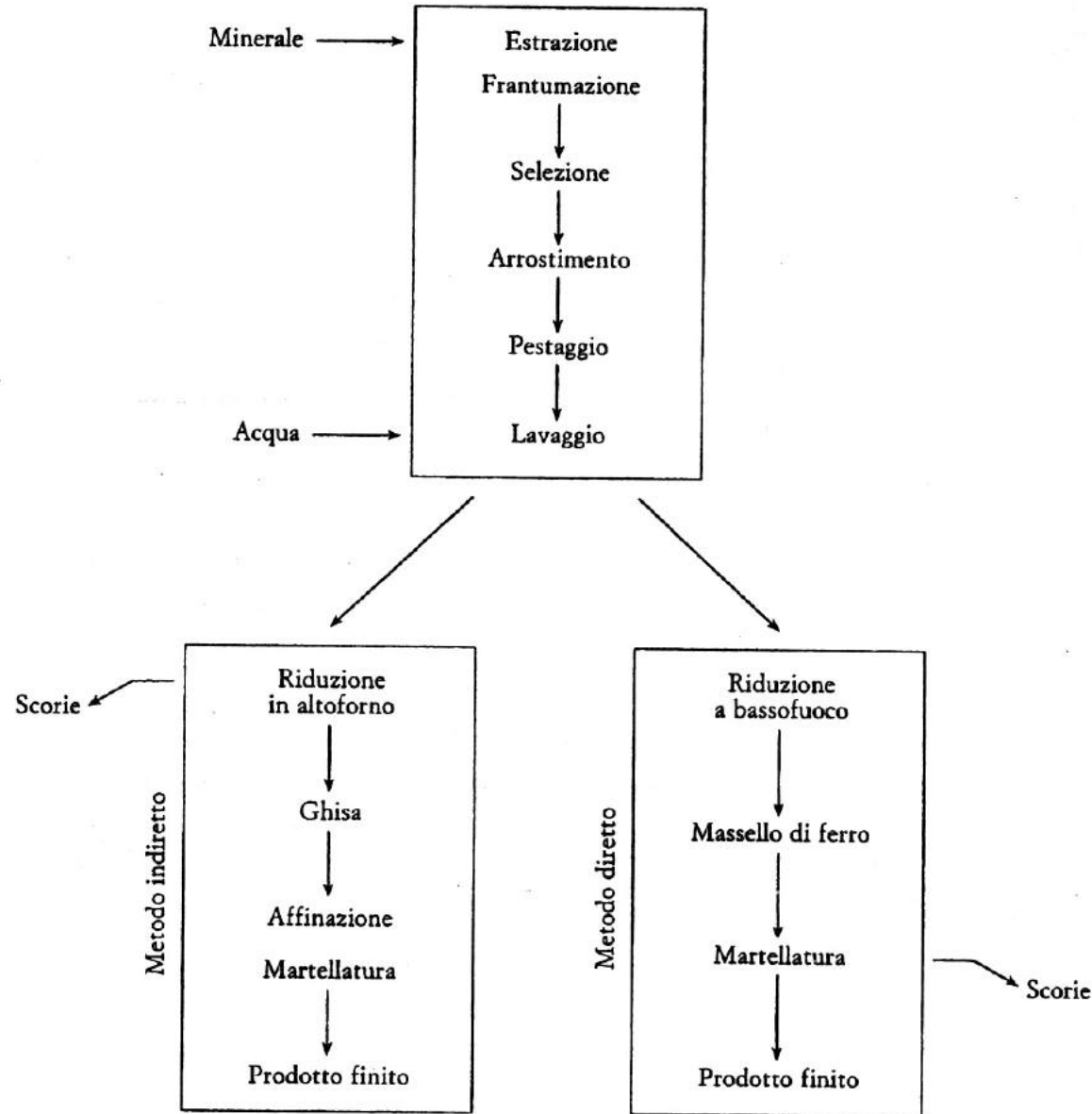


Cokeria

Acciai - vs - Bronzi



Ciclo produttivo del rame



Ciclo produttivo del ferro/acciaio

