

Processi di fusione e colata, parte II

Colata in semilavorati e in continuo
Stampi a perdere, anime permanenti
Stampi a perdere, anime a perdere

Colata in semilavorati e colata in continuo

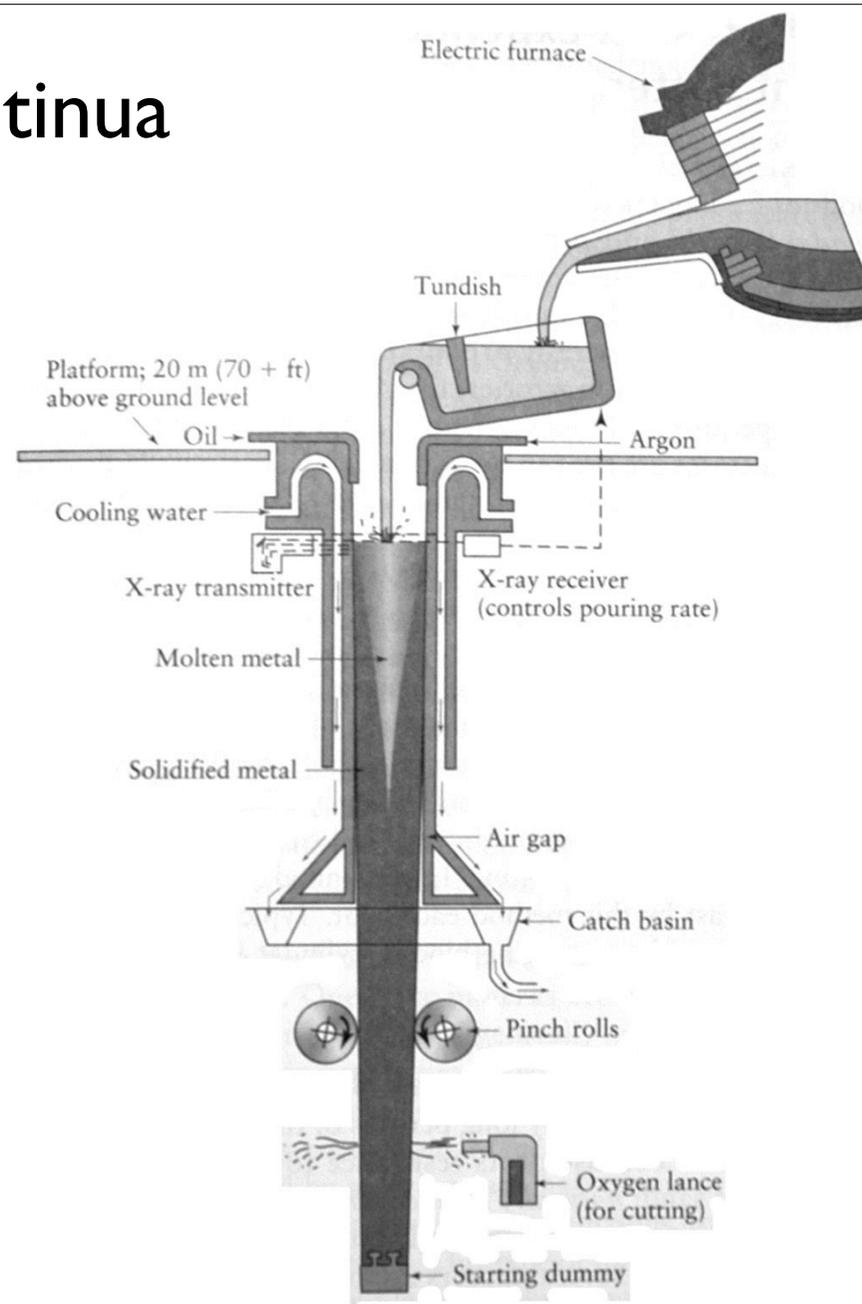
- Il primo step per la lavorazione di un pezzo metallico è la colata in pani (ingot casting) per produrre semilavorati da utilizzare per successive lavorazioni come laminazioni, colata in stampi o forgiature....
- Tale processo sta venendo rapidamente rimpiazzato da processi di colata continua per aumentare l'efficienza.
- Nel processo discontinuo, si producono dei pani (o lingotti) per colata in stampi permanenti (spesso in sabbia) che vengono poi rimossi dopo il raffreddamento per subire poi un processo termico di rilassamento e omogenizzazione ad alta T. Infine i pani vengono laminati in forme rettangolari di peso e sezioni molto varie.

Semilavorati di leghe ferrose

- Il problema principale della colata in pani di acciaio è la formazione di bolle di CO_2 per reazione dell'ossigeno disciolto nel liquido che espulso solidificando reagisce con il carbonio. A seconda di quanto gas viene liberato abbiamo:
 - acciai spenti o completamente deossidati; l'ossigeno viene completamente rimosso e non presentano porosità. Si usa Al (oppure V, Ti o Zr) nel fuso formando un ossido che finisce nella scoria. Il lingotto privo di bolle subisce un notevole ritiro e forma una cavità a canale sulla superficie che deve essere tolta
 - acciai semispenti o parzialmente deossidati: è presente della porosità nella parte medio-superiore. La cavità in superficie è molto ridotta e richiede poca rettifica. Basso costo di produzione
 - acciai orlati (rimmed): a basso contenuto di carbonio e solo parzialmente deossidati. Le bolle di gas si concentrano nel bordo esterno.

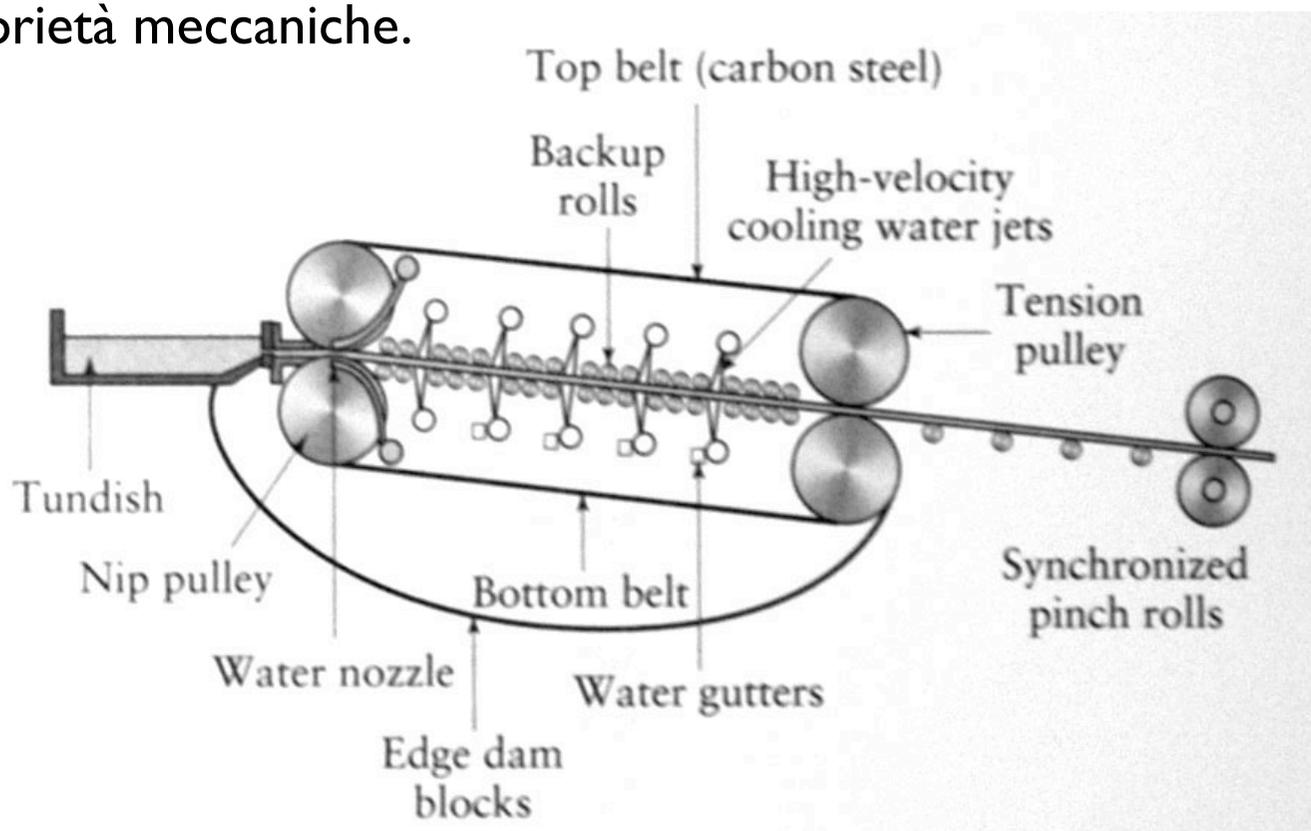
Colata continua

- La colata continua offre il vantaggio di produrre un acciaio più omogeneo e di qualità ad un costo inferiore rispetto alla colata discontinua. La colata continua è nata nel 1860 per metalli non ferrosi.
- Il metallo fuso dal forno viene colato nel crogiolo intermedio provvisto di setto (paniera o tundish) per bloccare le scorie. Il fuso solidifica passando attraverso lo stampo in rame raffreddato e poi passa attraverso due rulli. La partenza viene fatta utilizzando una barra fredda (dummy start) che viene tirata alla stessa velocità con cui viene apportato il liquido, tipicamente 25mm/s. Si ottiene una barra (bramma) che può andare dai 250 mm ai 15 mm di spessore. Minore spessore richiede meno operazioni di laminazione successive. Lo stampo viene lubrificato con grafite e anche vibrato per ridurre l'attrito. Si può tagliare poi la bramma alla fiamma o per taglio.



Colata in nastri (strip casting)

- La colata è simile a quella della bramma, ma il solido ad alta T viene subito laminato a caldo fino a spessori di 2-6 mm. Questo elimina i successivi stadi di laminazione a caldo riducendo i costi. La compressione nella laminazione riduce la porosità migliorando le proprietà meccaniche.



Colata in getti: stampi a perdere e permanenti

- I processi di colata in getti vengono classificati in base al tipo di stampo:
 - stampi a perdere, dove lo stampo viene utilizzato per una sola colata ed è fatto in sabbia, gesso, ceramico o materiali simili. Questi si suddividono ulteriormente in:
 - con anima permanente
 - con anima a perdere
 - stampi permanenti, dove lo stampo viene utilizzato per più processi di fusione e colata
- Gli stampi a perdere sono in materiale refrattario molto fragile che viene rotto alla fine della solidificazione e raffreddamento per estrarre il pezzo.

Stampi a perdere, pattern* permanenti

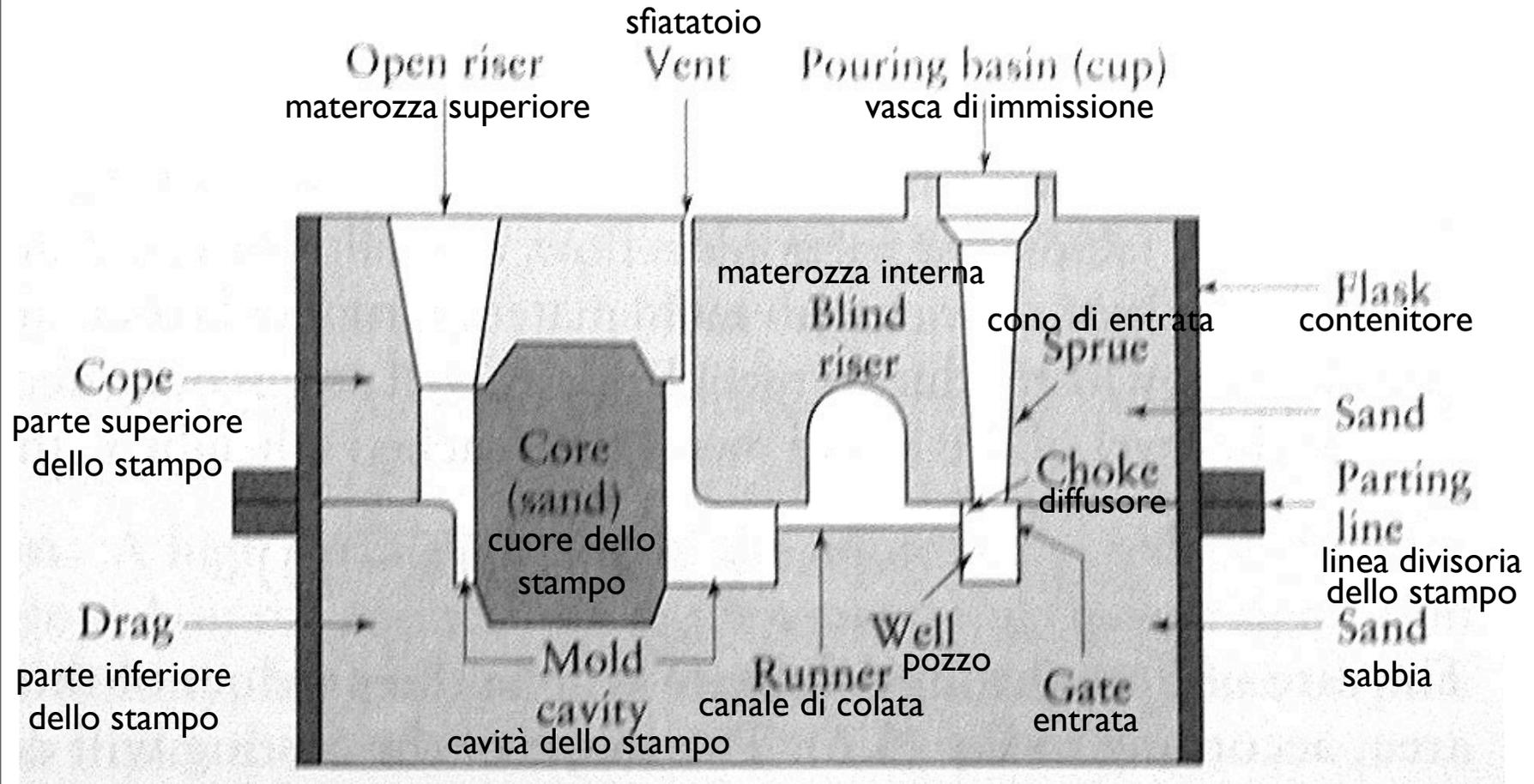
- Stampi in sabbia (sand casting) o colata in sabbia
- Stampi a conchiglia (Shell-mold casting) o colata in conchiglia
- Stampi in gesso (usati anche per ceramici per la loro porosità in grado di smaltire l'acqua)
- Stampi in ceramico
- Colata sotto vuoto

* Con pattern o anima intendiamo la copia del pezzo attorno al quale viene costruito lo stampo

Stampi in sabbia: caratteristiche della sabbia

- Tecnica molto antica consiste nell'usare un'anima per creare l'impronta nella sabbia compattata (aggiunta di acqua e argilla che fanno da legante per la sabbia). Si aggiunge poi il canale di entrata e il gate da dove immettere il metallo fuso. Una volta riempita la cavità nella sabbia e solidificato il pezzo si rompe lo stampo per estrarre il pezzo.
- Si usa in genere sabbia silicea, dal costo molto ridotto. Si può usare sabbia naturale e sabbia sintetica (dalla composizione controllata), di solito l'ultima è preferita.
- La sabbia deve avere grani fini (non troppo) e rotondi per avere un buon impaccamento ma anche buona permeabilità per la fuoriuscita dei gas durante la solidificazione.
- Inoltre lo stampo deve essere in grado di collassare bene per evitare criccate durante il ritiro del pezzo nel raffreddamento.

Stampo in sabbia



Stampi in sabbia: tipi di stampi

- I tipi di stampi in sabbia si classificano in base al modo in cui vengono prodotti:
 - stampi in sabbia al verde (green molding sand): in questi stampi si usa argilla e acqua come legante; sono gli stampi meno costosi. Negli stampi skin-dried vengono disidratate le superfici in aria o alla torcia per aumentare la loro resistenza. Poi ci sono quelli disidratati per cottura con resistenze ancora maggiori. I pezzi hanno miglior finitura ma lo stampo rischia maggiori distorsioni e aumenta il costo e tempo di produzione
 - stampi cold-box: lo stampo in sabbia viene consolidato con leganti organici ed inorganici. Sono stampi più accurati ma costosi.
 - stampi no-bake (non cotti): vengono utilizzati come leganti resine che induriscono a temperatura ambiente.

Stampi in sabbia: anime

- Le anime vengono fatte in legno, polimero o metallo. Possono essere fatte anche con tecniche di prototipizzazione rapida.
- L'anima deve resistere ad usura poiché viene usata per creare più stampi.
- Vengono ricoperte da un rivestimento che ne facilita il distacco dallo stampo.
- Si usano pezzi unici per forme semplici o anime in due pezzi per facilitare la rimozione da stampi complessi
- Si possono montare due pezzi di un'anima sui due lati di una piastra per creare lo stampo (match-plate patterns); viene usato con produzioni automatiche

Stampi in sabbia: cores

- Cores vengono usati quando bisogna creare delle cavità e passaggi come i fori per le valvole in una testata o il foro centrale in una biella.
- I cores vengono fatti nello stesso materiale dello stampo e vengono piazzati nello stampo prima di chiuderlo.
- Il punto critico dei cores è che in alcuni casi hanno pochi punti di supporto all'interno dello stampo e vengono tenuti in posizione da supporti metallici che restano inglobati nel pezzo.
- I cores vengono formati tramite stampi appositi per cores (core boxes) che lavorano ad alte velocità di produzione

Colata in sabbia: operazioni

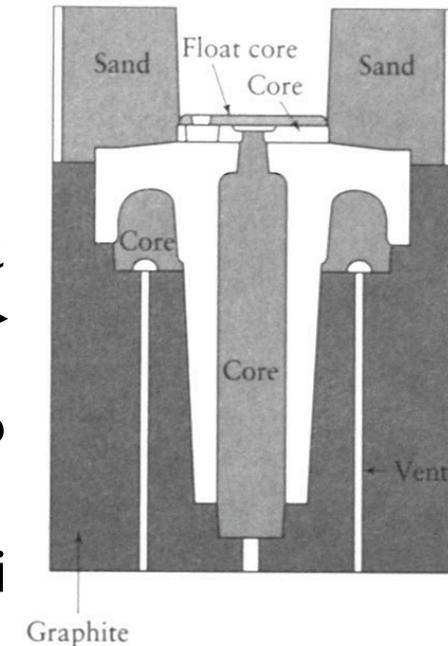
- Le due metà dello stampo vengono unite (drag and cope) e bloccate con pesi per prevenire la separazione con la pressione del fuso
- Una volta solidificato lo stampo in sabbia viene rimosso per rottura e vibrazione; le parti rimaste aderenti alla superficie del pezzo e gli ossidi vengono rimossi per sabbiatura (sand blasting)
- La materozza (riser + canali) e l'ingresso della colata (gate) vengono tagliati dal pezzo
- In generale qualunque lega utilizzata e commerciale può venir colata in sabbia. E' un processo poco costoso che si presta per piccole e grosse produzioni. Pezzi complicati possono essere fatti, ma è meno precisa come formatura rispetto ad altri tipi di colata.

Colata in conchiglia

- Permette di ottenere delle fusioni molto precise a costi bassi.
- Si usano delle anime in acciaio o alluminio, riscaldate tra 175°-350°C e ricoperte in silicone. Metà viene poi ricoperta a spruzzo da sabbia con 2.5-4% di resina fenol-formaldeide, staccata e poi l'altra metà.
- Le due metà formano lo stampo a conchiglia. Lo spessore è molto sottile, 5-10 mm, leggero, ha proprietà molto diverse dagli stampi spessi. Permette una miglior espulsione dei gas, superfici migliori, sezioni più sottili e spigoli vivi.
- Processo a basso costo e buona qualità. Si possono avere più pezzi con unico stampo e più punti di iniezione.
- Si usa per pezzi di alta qualità tipo scatole del cambio, teste dei cilindri, alberi di connessione

Altri stampi

- Stampi compositi: formati da due o più materiali; usati spesso con colate in conchiglia e pezzi complessi. →
- Fabbricazione con sodio-silicato: stampo fatto da sabbia+ 1.5-6% silicato di sodio come legante. Viene compattato tramite un flusso di CO_2 e sono molto stabili ad alta T.
- Stampi in grafite: vengono usati per metalli molto reattivi come Ti e Zr i quali reagiscono violentemente con la silice della sabbia. La grafite viene impaccata come la sabbia e poi disidratata a 175°C e sinterizzata a 870°C



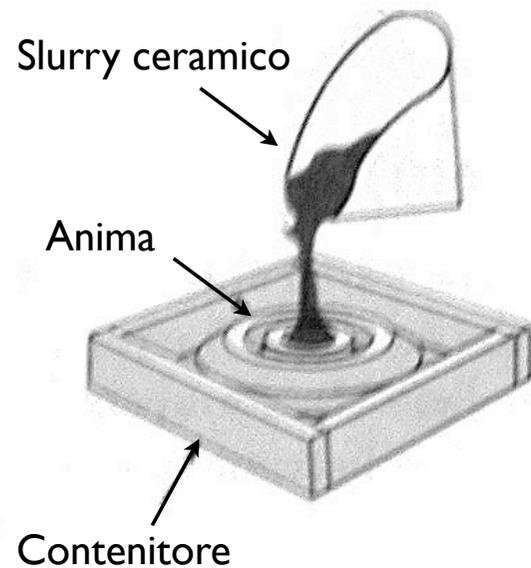
Stampi di precisione

- Stampi in gesso: si usano per pezzi di alta precisione dimensionale come valvole, ingranaggi e pezzi molto piccoli come ornamenti fino ad 1 gr. Si usano anime in Al, Zn, ottone o resine termoindurenti (no legno), ricoperte con gesso e acqua (più aggiunte di stabilizzanti come silice). Una volta che il gesso ha solidificato, si rimuove l'anima e si disidrata. I pezzi dello stampo vengono assemblati e scaldati a 120°C per 16 ore. Questi stampi hanno bassa permeabilità ai gas e si usano con colate in pressione o sotto vuoto. Si aumenta la permeabilità con processi in autoclave o gesso con schiume. Gli stampi in gesso si usano fino a 1200°C, cioè leghe basso fondenti.
- Stampi ceramici: simili come processo agli stampi in gesso, si usano materiali refrattari come zircone ($ZrSiO_4$), allumina o silice fusa. La polvere viene mescolata con leganti e acqua per preparare lo slurry con cui si riveste l'anima (cope-and-drag investment casting). Lo stampo viene poi disidratato e sinterizzato in temperatura. Stampi costosi vengono usati per colate ad alta temperatura e pezzi pregiati (turbine...)

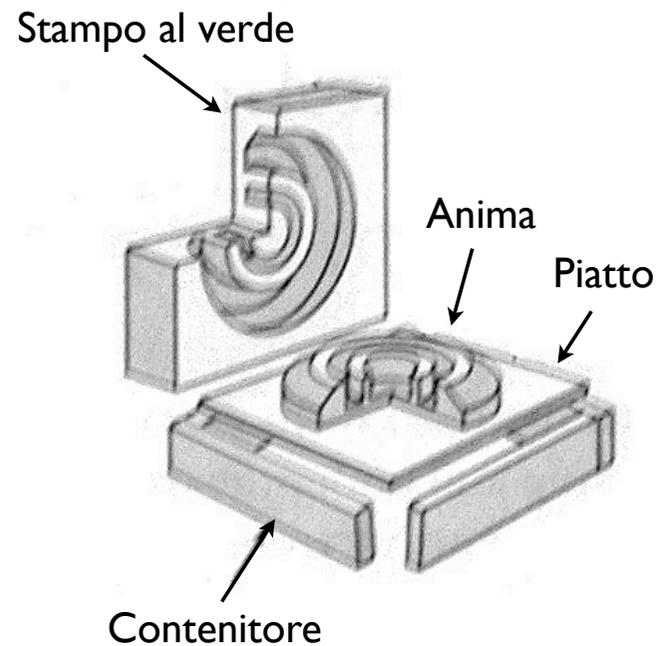
Cope-and-Drag Investment Casting

- Procedura di preparazione di uno stampo ceramico

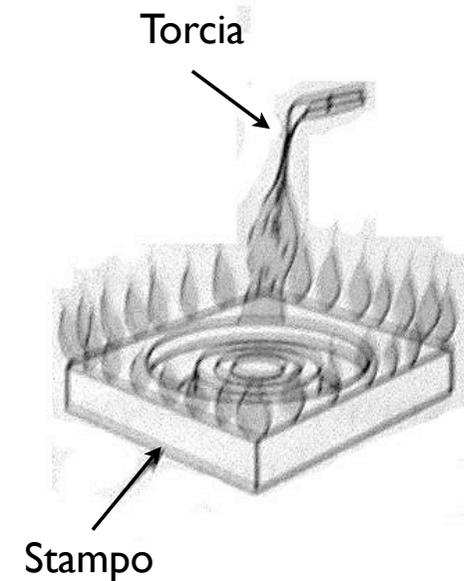
Colata slurry



Estrazione del verde

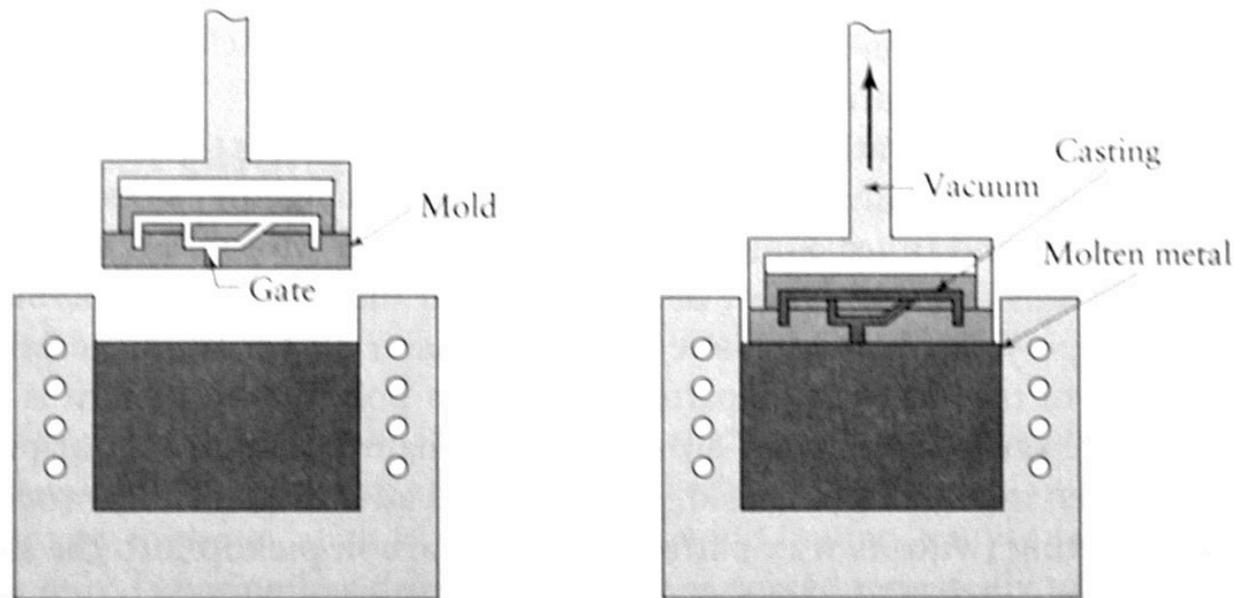


Bruciatura



Colata sotto vuoto (CL - Counter-Gravity Low-Pressure Process)

- La parte alta dello stampo viene ricoperta con un sovrastampo in sabbia e uretano impermeabile e attaccato ad un braccio robotizzato.
- Si porta sopra il fuso e si fa il vuoto che risucchia il metallo nello stampo e solidifica immediatamente.
- E' conveniente per strutture a pareti sottili.



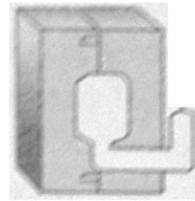
Induction furnace

Stampi a perdere, anime a perdere

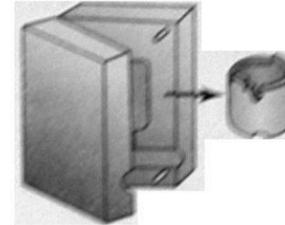
- Si realizzano stampi in pezzo unico anche complessi. Non essendo composti da stampo e controstampo, raggiungono dimensionalità più accurate e si evitano bave da colata sulle chiusure.
- Si usano due tipi di anime a perdere:
 - Cera o polimero (polistirene), iniettato fuso nello stampo per creare l'anima. Una volta realizzato lo stampo in un pezzo unico, la cera o polimero vengono resi liquidi in temperatura e rimossi prima di versare il fuso.
 - EPS: polistirene espanso (contiene dal 5-8% di pentano volatile), che evapora al contatto con il metallo fuso liberando la cavità da riempire. Le anime a perdere in EPS vengono preparate con uno stampo in alluminio.

Colata a cera persa

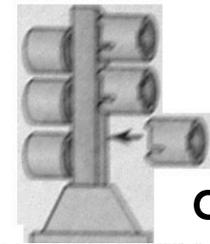
- a. Iniezione cera o polimero
- b. Estrazione anima
- c. Assemblaggio anima completa ad albero
- d. Rivestimento con slurry
- e. Rivestimento con stucco
- f. Stampo completo
- g. Fusione dell'anima
- h. Colata
- i. Rottura stampo ed estrazione pezzo



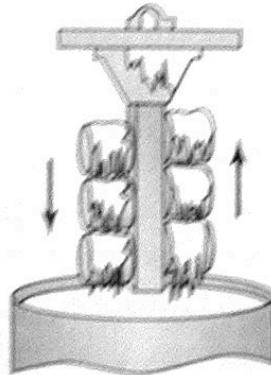
a.



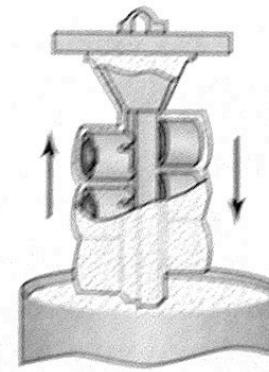
b.



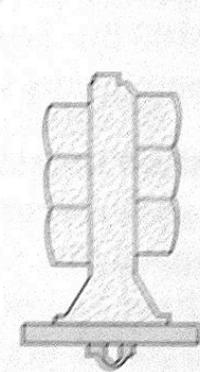
c.



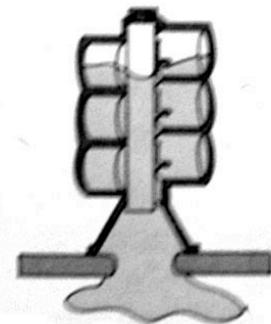
d.



e.



f.



g.



h.

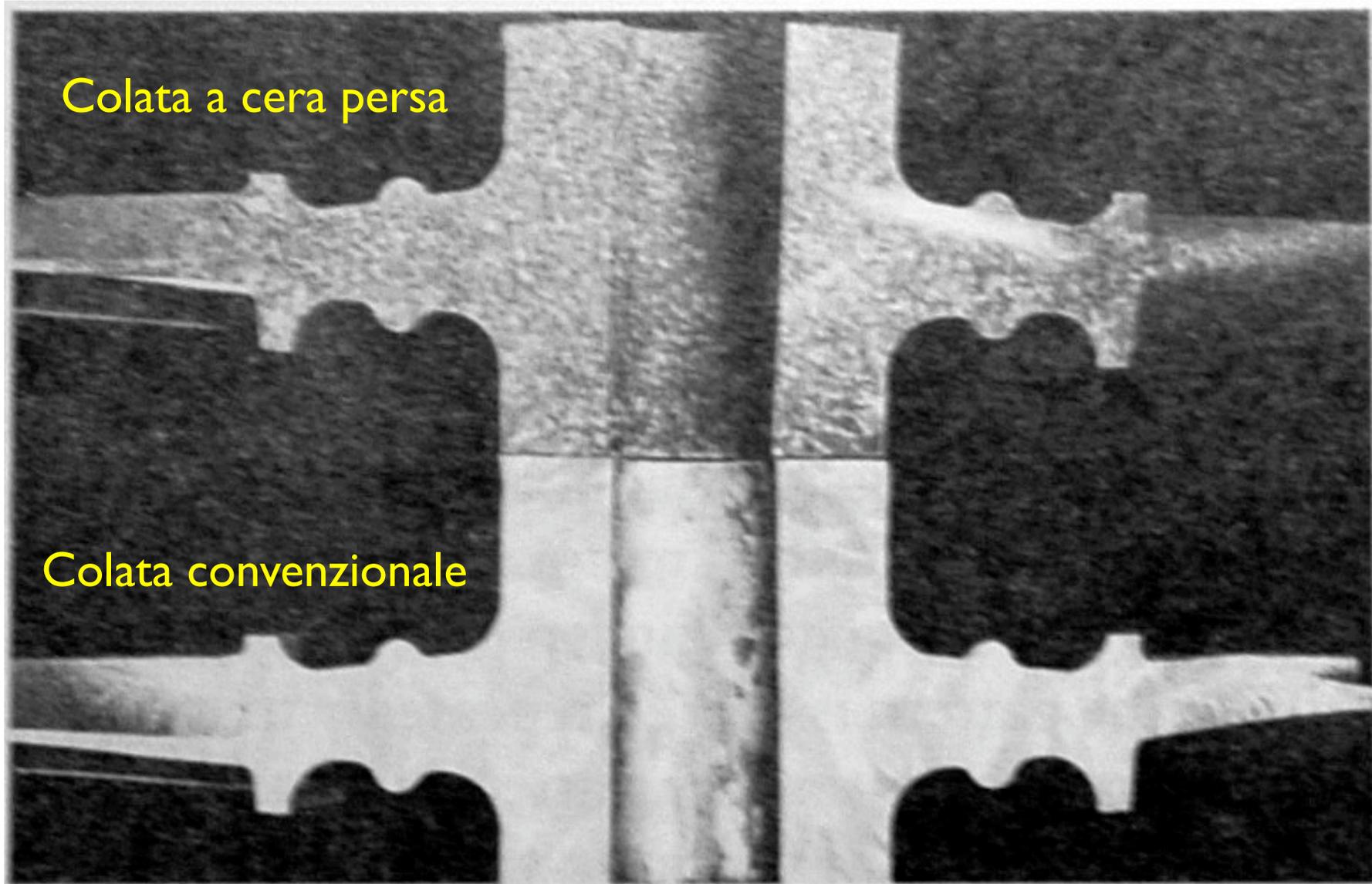


i.

Colata a cera persa

- In inglese “Investment Casting” (o “lost wax”), è nata nel 3000-4000 a.C.
- Le anime sono fatte per iniezione di cera o polimero in stampo metallico. L’anima viene immersa in uno slurry di silice e legante (etil-silicato).
- Si possono avere:
 - stampi solidi: dopo essiccazione del primo strato, l’immersione viene ripetuta per aumentare lo spessore. Lo stampo viene essiccato e riscaldato tra 90-175°C. Il processo è costoso ma permette di ottenere pezzi da 1 gr a 100 Kg molto precisi dimensionalmente e con buona finitura
 - stampi a conchiglia: variazione del precedente, dopo il primo strato viene immerso in un letto fluido di silice fusa o polvere di zirconio. Poi viene immerso in silice grossolana. Riescono a resistere agli shock termici di colate di metalli altofondenti.

Comparazione



Colata a schiuma persa (Evaporative-pattern casting)

- Si inietta del polistirene espanso a schiuma nello stampo metallico per l'anima e raffreddato si estrae.
- L'anima viene rivestita con uno slurry refrattario, essiccato e messo nel contenitore dello stampo immerso in sabbia essiccata o legata con un agente legante.
- Con la colata del metallo il polistirene viene evaporato e eliminati i gas prodotti attraverso la sabbia poco consolidata.
- La velocità di colata dipende dalla velocità di degradazione del polimero. L'energia richiesta per degradare il polimero aumenta il gradiente di raffreddamento creando strutture direzionalmente solidificate.
- Vengono prodotti teste di cilindri, componenti dei freni, scatole cambio.
- L'anima può essere bruciata nello stampo prima della colata.
- Inserendo fibre nell'anima si producono compositi a matrice metallica.