

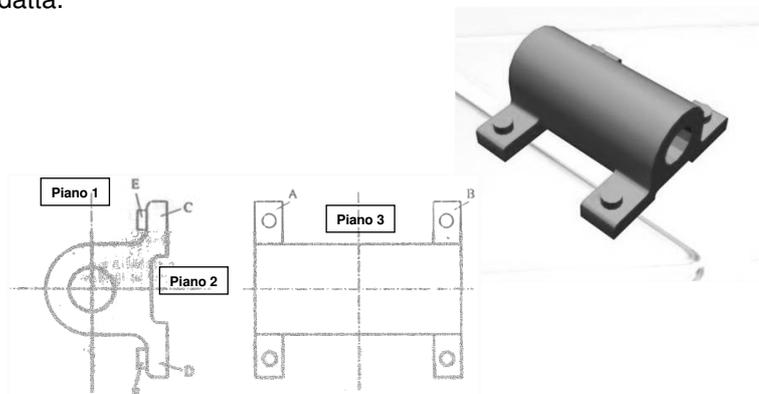
## MODELLO - Sottosquadro

Il **primo problema** che il tecnologo deve risolvere nello studio del ciclo di fusione in forma transitoria di un componente meccanico è la **scelta del piano di divisione** della forma, affinché il modello **possa essere estratto** dalla forma stessa senza danneggiarla.

Le parti del modello che durante l'estrazione rovinerebbero la forma si dicono in **sottosquadro** (o controsformo)

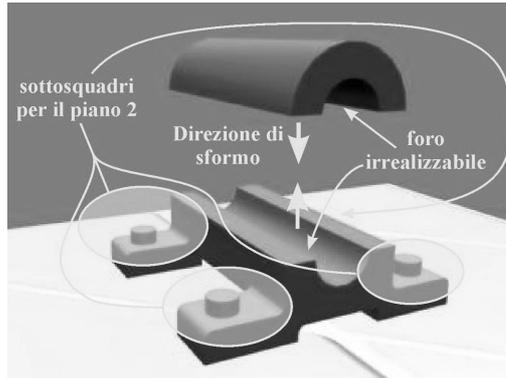
## MODELLO - Sottosquadro

Esistono infinite soluzioni al problema del sottosquadro, quanti sono i possibili piani di divisione di un modello; quindi, occorre esaminare le possibili soluzioni fino a trovare, se esiste, quella adatta.



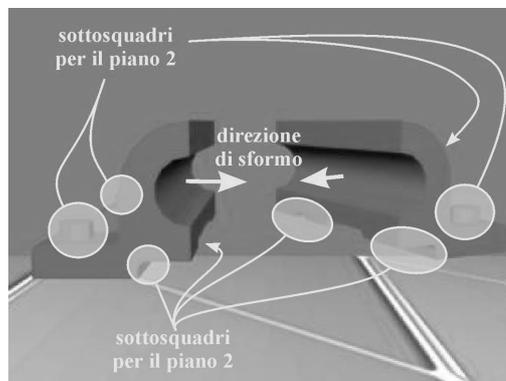
## MODELLO - Sottosquadro

PIANO 1



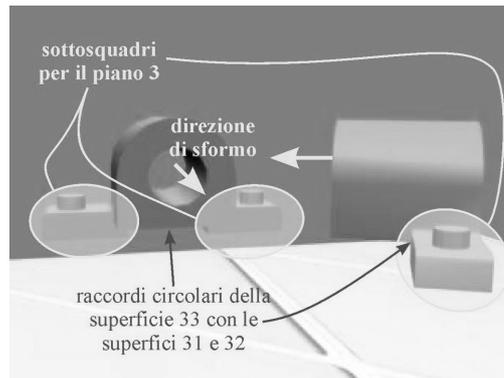
## MODELLO - Sottosquadro

PIANO 2



## MODELLO - Sottosquadro

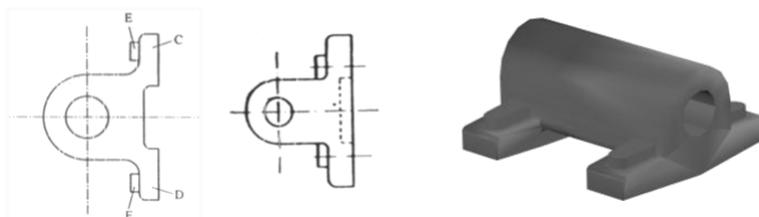
PIANO 3



## MODELLO - Sottosquadro

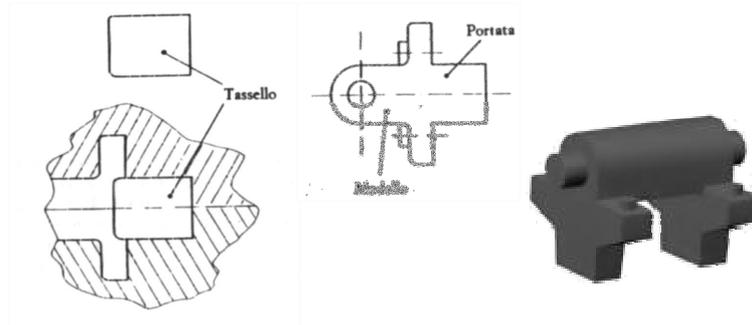
Se la soluzione non esiste (e ciò capita spesso per pezzi molto complessi) si può ricorrere ad uno dei seguenti metodi:

■ **Variazione del progetto:** è la soluzione più economica ed è basata su uno stretto rapporto progettista-tecnologo. Il progettista può apportare modeste variazioni al progetto che pur conservando la funzionalità prevista, evitino i problemi di sottosquadro.



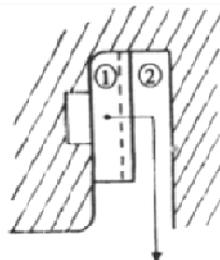
## MODELLO - Sottosquadro

■ **Tasselli:** Tale metodo consiste nell'utilizzare tasselli preparati separatamente, in pratica delle normali anime montate a sbalzo nelle forma, inseriti nelle cavità ottenute prevedendo idonee portate d'anima nel modello. Tale metodo è il più utilizzato quando il sottosquadro non può essere eliminato con una scelta differente del piano.



## MODELLO - Sottosquadro

■ **Modello scomponibile:** Tale metodo consiste nel realizzare la parte in sottosquadro del modello mobile rispetto al resto del modello: in questo modo, durante la sfornatura, la seconda parte viene estratta normalmente, mentre la prima, rimasta nella forma, può essere estratta dal formatore con un'operazione manuale delicata e costosa.



Direzione di estrazione di 1

## MODELLO - Sovrametallo

La maggior parte dei procedimenti di fusione non permette di ottenere superfici con una qualità macro e microgeometrica tale da soddisfare in pieno le esigenze funzionali del progetto, per cui tale qualità deve essere ottenuta mediante **lavorazioni alle macchine utensili** per asportazione di truciolo.

Ne risulta quindi che, sulle superfici che dovranno subire tali lavorazioni, è necessario prevedere uno spessore di materiale da asportare, detto **sovrametallo**.

## MODELLO - Sovrametallo

L'entità del sovrametallo da prevedere su una superficie è un compromesso tra due esigenze:

• **Una di carattere economico**, che tende a ridurre al minimo il materiale da asportare e quindi i tempi di lavorazione e gli sprechi di materiale e di energia

• **Una di carattere tecnologico**, che tende a garantire un margine di sicurezza nei confronti di errori di formatura, difetti superficiali, ritiri difficilmente prevedibili.

## MODELLO - Sovrametallo

I fattori che influenzano lo spessore di sovrmetalto sono i seguenti:

- Le dimensioni del pezzo ed in particolare della superficie in esame
- Il tipo di lega con cui il pezzo deve essere realizzato
- La qualità della superficie lavorata richiesta nel progetto
- Il tipo di formatura utilizzata

## MODELLO - Sovrametallo

La valutazione dello spessore del sovrmetalto è il risultato di un calcolo economico: esistono tuttavia delle tabelle di valori orientativi

Quote nominali di riferimento (mm)	MASSIMA DIMENSIONE DEL PEZZO (mm)		
	≤250	250 + 1000	≥1000
≤ 40	4	4	5
40 + 65	4	4	5
65 + 100	4	4	5
100 + 160	4	5	5
160 + 250	6	6	7
250 + 400	-	6,5	7
400 + 630	-	7	8
630 + 1000	-	8	9

Il sovrmetalto delle superficie di partenza si considera uguale a 3 mm per pezzi con dimensione massima ≤ 160 mm e uguale a 4 mm per pezzi con dimensione max >160 mm.

**Fusione in terra (acciaio) – dimensioni non critiche -**

## MODELLO - Sovrametallo

La valutazione dello spessore del sovrmetalto è il risultato di un calcolo economico: esistono tuttavia delle tabelle di valori orientativi

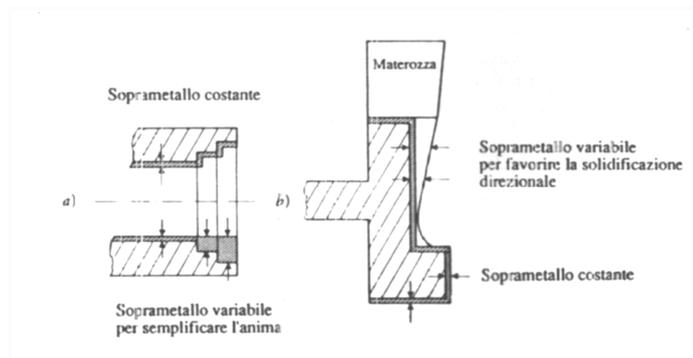
Quote nominali di riferimento (mm)	MASSIMA DIMENSIONE DEL PEZZO (mm)				
	≤100	100 + 160	160 + 250	250 + 630	630 + 1000
≤16	2,5	2,5	2,5	3,5	4
16 + 25	2,5	2,5	2,5	3,5	4
25 + 40	2,5	2,5	2,5	4	4,5
40 + 63	3	3	3	4	4,5
63 + 100	3	3	3	4	4,5
100 + 160	-	3	3	4,5	5
160 + 250	-	-	3,5	4,5	5
250 + 400	-	-	-	5	5,5
400 + 630	-	-	-	5,5	6
630 + 1000	-	-	-	-	6,5

Il sovrmetalto delle superficie di partenza si considera uguale a 3 mm per pezzi con dimensione massima ≤160 mm e uguale a 4 mm per pezzi con dimensione max ≥160 mm.

**Fusione in terra (ghisa) – dimensioni non critiche -**

## MODELLO - Sovrametalto

Può capitare di dover aumentare lo spessore rispetto a quanto consigliato dalle tabelle o **per semplificare la costruzione dell'anima** o per uniformare lo spessore del getto ed ottenere una **migliore solidificazione**



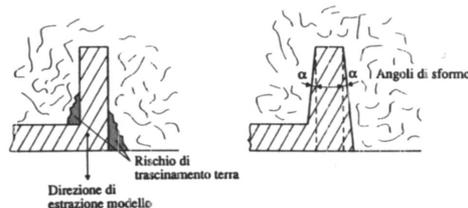
## MODELLO- sommario

- **Materiale**
  - **Tipologia**
    - A sagoma
    - A scheletro
  - **Sottosquadri**
    - Piani di divisione
    - Tasselli
    - Modelli scomponibili
  - **Sovrametalli**
    - Tabelle
    - Nomogramma di Loazzolo
  - **Angolo di sforno e raccordi**
- **Portate d'anima**
  - **Ritiri termici**
  - **Anime**
  - **Materozze**
  - **Canali di colata**
  - **Raffreddatori**
  - **Staffe**

## MODELLO- Angoli di sforno e raccordi

L'operazione di estrazione del modello dalla forma appena costruita è detta **sfornatura**; si tratta di un'operazione delicata in quanto se non eseguita correttamente può provocare danni alla forma stessa tali da doverla scartare.

Per agevolare questa operazione i modelli da fonderia sono costruiti in modo da eliminare o ridurre al minimo le superfici piane perpendicolari al piano di divisione; ciò viene ottenuto inclinando tali superfici di un piccolo angolo, detto **angolo di sforno**



## MODELLO- Angoli di sforno e raccordi

Alcuni valori indicativi degli angoli di sforno da prevedere sui modelli sono riportati in tab.

Valori indicativi dell'angolo di sforno	
Modelli in legno	1° - 2°
Modelli metallici	30'
Portate d'anima verticali	10° - 12°
Nervature sottili	1' - 2'

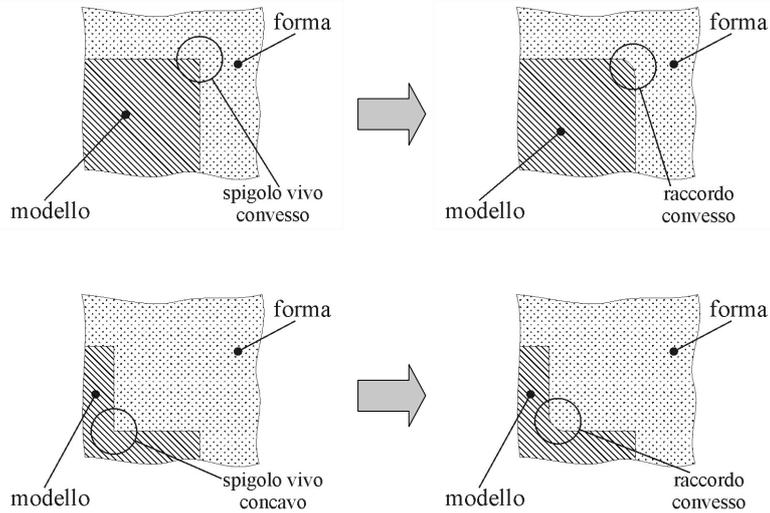
Tali valori possono essere ridotti, diminuendo così l'entità del sovrametallo da asportare con l'utensile, mediante l'uso di idonea **verniciatura dei modelli di legno**, o usando modelli metallici.

## MODELLO- Angoli di sforno e raccordi

Gli **spigoli vivi concavi o convessi devono essere eliminati mediante raggi di raccordo**:

- **Nelle forme transitorie** gli spigoli vivi concavi della forma o delle anime non resisterebbero all'azione erosiva della lega che fluisce nella forma e le parti asportate andrebbero a costituire delle inclusioni non metalliche nel getto.
- **Nelle forme permanenti**, in particolare quelle per colata sotto pressione, gli spigoli vivi concavi della forma costituirebbero zone di concentrazione di tensione derivanti dalle sollecitazioni termiche e meccaniche a cui la conchiglia è sottoposta durante la colata, con possibili inneschi di frattura
- **Gli spigoli vivi convessi**, sono pericolosi per il pezzo soprattutto in fase di solidificazione e ritiro dimensionale

## MODELLO- Angoli di sforno e raccordi

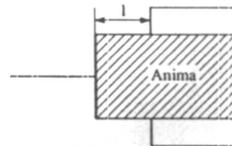


## MODELLO - portate d'anima

Le portate d'anima devono essere previste sul modello per poter creare nella forma idonee sedi di appoggio di anime e/o tasselli eventualmente presenti per risolvere dei sottosquadri.

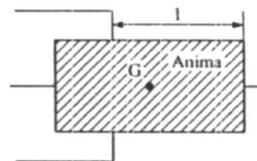
### Anime disposte orizzontalmente

La loro lunghezza deve essere tale da esercitare sulla forma, a causa della spinta di Archimede presente nella colata, una pressione tale da non creare deformazioni permanenti.



### Anime o tassello a sbalzo

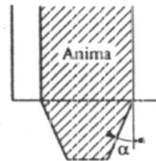
Necessario prolungare la portata d'anima in modo che il baricentro dell'anima cada nella zona di appoggio, evitando così cadute dell'anima nella forma



## MODELLO - portate d'anima

### Anime in posizione verticale

Devono avere una forma tronco conica, cioè con ampio angolo di sforno che permette un agevole posizionamento dell'anima nella forma.



Portata d'anima per anima verticale

## MODELLO – Fenomeno del ritiro

Le leghe comunemente impiegate in fonderia subiscono una contrazione volumetrica nell'intervallo compreso tra la temperatura di colata e quella ambiente; ne segue che il getto risulta di dimensioni inferiori a quelle della forma, per cui la forma deve avere **dimensioni opportunamente maggiorate** rispetto alle dimensioni finali del getto.

La maggiorazione viene prevista sul modello

Poiché è difficile prevedere come il getto si contrae nei vari punti, in genere, **si utilizza il coefficiente di ritiro lineare medio per aumentare le dimensioni del modello**

Tabella 4.1 Ritiri lineari per getti colati in sabbia (valori medi indicativi).

MATERIALI	RITIRO ‰ <sup>(2)</sup>		
	Getti piccoli <sup>(1)</sup>	Getti medi <sup>(1)</sup>	Getti grandi <sup>(1)</sup>
GHISE GRIGIE	1	0,85	0,7
GHISE MALLEABILI	1,4	1	0,75
GHISE LEGATE	1,3	1,05	0,35
ACCIAIO	2	1,5	1,2
ALLUMINIO E LEGHE	1,6	1,4	1,3
BRONZI	1,4	1,2	1,2
OTTONI	1,8	1,6	1,4
LEGHE DI MAGNESIO	1,4	1,3	1,1

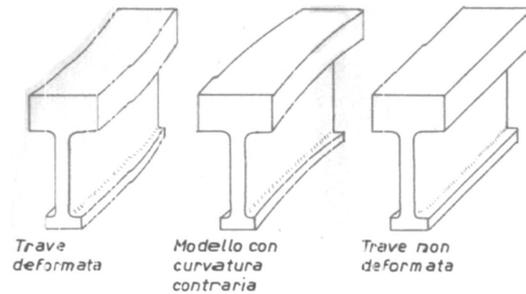
<sup>(2)</sup> Il ritiro delle cavità è in genere un po' minore (5 - 10%) rispetto a quello delle superfici esterne a causa della resistenza che oppongono le anime alla libera contrazione del metallo.

<sup>(1)</sup> I "getti piccoli" comprendono getti con una dimensione max s 500 mm;  
i "getti medi" comprendono getti con una dimensione massima compresa tra 500 e 1000 mm;  
i "getti grandi" comprendono getti con una dimensione massima s 1000 mm;

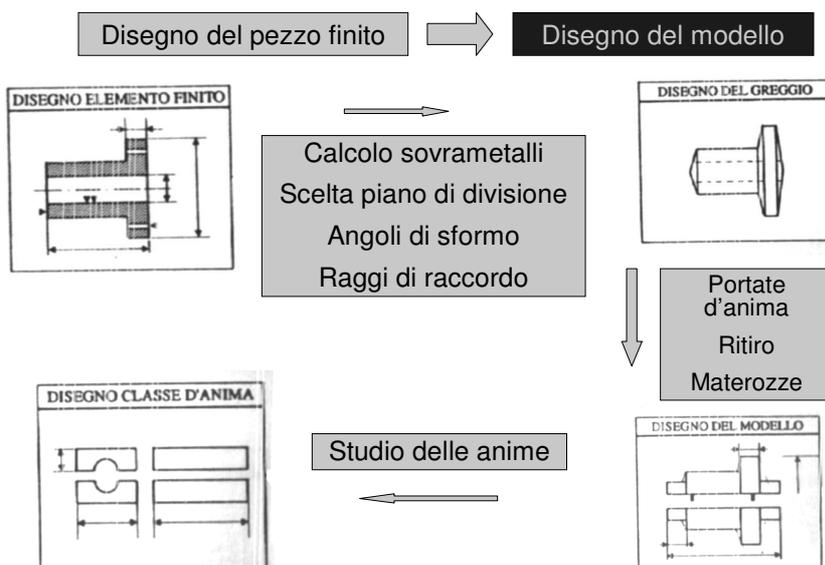
## MODELLO – Fenomeno del ritiro

Se un getto non è a sezione uniforme, le parti più grandi si raffredderanno più lentamente e si contrarranno meno velocemente. La diversa **contrazione** delle parti determina la **distorsione del getto**.

Una trave a T con le due ali di spessore molto diverso, in fase di raffreddamento si incurverà. → Per evitare che ciò accada si prevede una curvatura del modello in direzione contraria



## MODELLO – Ciclo di progettazione



## ANIME

Le cavità presenti nel getto vengono realizzate mediante **anime**; esse sono costruite in **materiale refrattario**, essendo completamente avvolte da metallo liquido, e sono appoggiate, prima della chiusura della forma, sulle sedi preparate dalle portate d'anima presenti sul modello.

Principali caratteristiche:

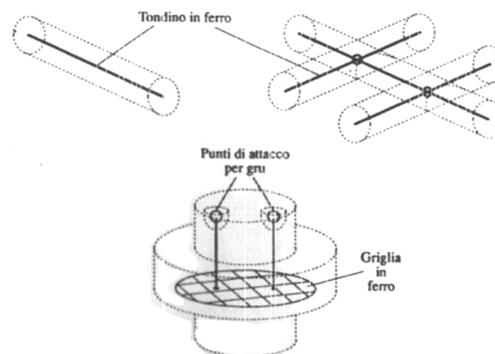
- ✿ **Resistenza meccanica**
- ✿ **Permeabilità**
- ✿ **Cedevolezza**
- ✿ **Sgretolabilità**

## ANIME

### Resistenza Meccanica

Durante la colata occorre evitare che l'anima si infletta e provochi delle differenze di spessore nel getto.

Quando la rigidità flessionale fornita dal solo materiale non è sufficiente, occorre inserire nella struttura dell'anima delle apposite **armature** in materiale metallico.

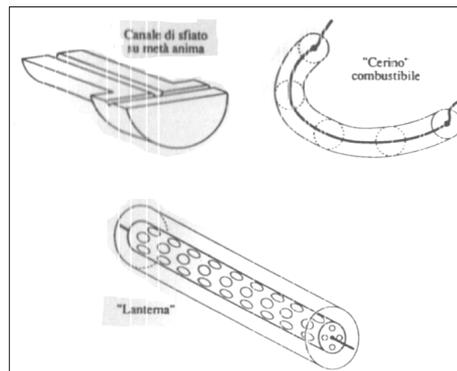


## ANIME

### Permeabilità

E' necessario un agevole deflusso dei prodotti gassosi caldi che si formano durante la colata nel corpo dell'anima stessa completamente avvolta dalla lega allo stato liquido. Nel caso in cui questo deflusso non venga assicurato è possibile che si formino delle soffiature nel getto

La struttura dell'anima realizzata in materiale da formatura **non garantisce una sufficiente permeabilità**, quindi è necessario prevedere **opportune canalizzazioni**.



## ANIME

### Cedevolezza

Durante il ritiro occorre evitare tensioni residue nel getto. Tale caratteristica è normalmente assicurata dalla porosità stessa del materiale di formatura.

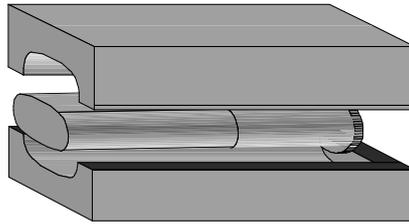
### Sgretolabilità

L'estrazione del materiale costituente l'anima deve essere rapida e agevole. Questa caratteristica è assicurata da idonei additivi nel materiale di formatura.

## ANIME

### Modalità costruttive

Il metodo più comune per le anime di piccole e medie dimensioni è quello della **cassa d'anima** nel quale il materiale di formatura viene compresso manualmente o tramite aria in un contenitore che rappresenta al negativo la forma dell'anima desiderata.



## CANALE DI COLATA - MATEROZZE

Una forma non riproduce semplicemente la configurazione del pezzo, ma contiene anche tutti gli elementi che ne rendono possibili la realizzazione; essa deve consentire:

- che il metallo fuso entri e si distribuisca all'interno
- che nel getto non si formino vuoti per difetti di alimentazione del metallo
- che nel getto non vi siano difetti da inclusioni gassose o non metalliche.

**Queste funzioni sono svolte da:**

- **Canale di colata**
- **Materozze**
- **Dispositivi per il controllo della solidificazione**

## MATEROZZE

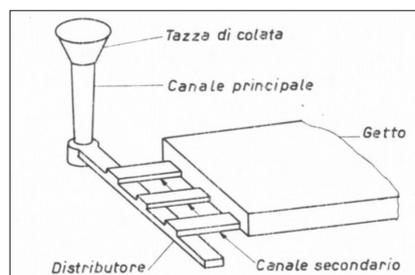
**La materozza** è un serbatoio di metallo che deve rimanere liquido fino a solidificazione ultimata del getto, in grado di alimentare le cavità di ritiro che inevitabilmente si formano

**Esistono fondamentalmente due tipi di materozze**

- **A cielo aperto, che affiorano sulla parte superiore della forma**
- **Cieche, totalmente immerse nella forma.**

## CANALE DI COLATA

E' costituito da tazza e pozzetto di colata, in cui viene versato il metallo, oltre che da tutti i condotti attraverso i quali esso giunge nella cavità della forma



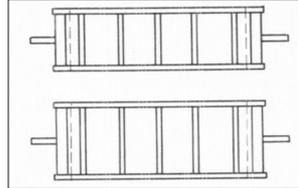
Il dispositivo di colata :

- Deve fare in modo che la **cavità della forma sia completamente riempita** dando alla corrente metallica la corretta velocità e la direzione.
- Deve **impedire che il metallo eroda la forma**, evitando gli urti violenti
- Deve **bloccare le inclusioni non metalliche**, grazie all'azione filtrante.

## STAFFE

Le staffe sono recipienti generalmente a sezione quadrata o rettangolare, privi di fondo, che vengono usati per contornare il modello quando si eseguono le operazioni di formatura

La scelta delle staffe viene fatta minimizzando la quantità di terra necessaria per la formatura ed il tempo di produzione per unità di peso del getto



Le staffe vengono costruite in acciaio, ghisa o leghe leggere per fusione o lavorazione meccanica.

Requisito fondamentale è la presenza di un dispositivo che garantisce il **perfetto allineamento** delle due parti della forma; tale allineamento viene realizzato con un sistema spina-foro

## TERRE DI FONDERIA

Le terre di fonderia sono generalmente miscele di:

- Sabbia silicea, avente la funzione di elemento refrattario
- Leganti, argillosi o di altro tipo, che garantiscono la coesione della forma
- Additivi, che hanno la funzione di correggere alcune caratteristiche del materiale di formatura, poco adatte all'uso di fonderia.
- Acqua

e si distinguono in:

- **Terre naturali**
- **Terre sintetiche**

## TERRE DI FONDERIA

Entrambe hanno origine dal disfacimento delle rocce per azione chimica e meccanica degli agenti atmosferici ma si formano in condizioni diverse

Le terre naturali sono quelle il cui deposito si è formato dopo un limitato lavaggio da parte delle acque naturali e quindi presentano un elevato tenore di leganti argillosi ed impurezze organiche

Le terre sintetiche contengono una sabbia silicea ad alto valore di Silice ( $\text{SiO}_2$ )

## TERRE DI FONDERIA

Le caratteristiche di queste terre sono:

● **Terre naturali:**  $\text{SiO}_2$ , 5 ÷ 20% argilla ed impurezze, 5 ÷ 8% di acqua aggiunta

● **Terre sintetiche:**  $\text{SiO}_2$  pura al 95%, 2 ÷ 5% di legante aggiunto, 2 ÷ 5% di acqua aggiunta

## TERRE DI FONDERIA

L'impiego di terra naturale nella pratica industriale è ormai abbandonato a causa del difficile controllo della costanza delle caratteristiche tecnologiche che influenzano direttamente il prodotto.

Le **terre naturali**, per il loro elevato tenore di argilla ed impurezze come mica, feldspati e metalli alcalini hanno una minore refrattarietà, cioè si deformano ad elevate temperature, per cui **vanno usate nella fusione di leghe bassofondenti** quindi con esclusione di quelle ferrose

## TERRE DI FONDERIA

Le **terre sintetiche**, la cui composizione può essere meglio controllata, vengono adoperate **nella fonderia dell'acciaio**

Per la ghisa malleabile e grigia si usano miscele di terre naturali e sintetiche; per la minore temperatura di fusione.

La scelta della terra più adatta ad un determinato processo di fonderia viene eseguita in base alle seguenti considerazioni:

Disponibilità del materiale in sede.

Metallo da colare.

Spessore e caratteristiche del getto.

Possibilità di recupero della terra usata.

## TERRE DI FONDERIA

Le caratteristiche del metallo che condizionano la scelta sono:

■ **Temperatura di fusione**



Condiziona la refrattarietà della terra

■ **Fluidità**



Indica la capacità del metallo di penetrare nella porosità della forma

## SABBIA

E' formata prevalentemente da granelli di **SiO<sub>2</sub> (silice)** sebbene in casi particolari possa essere costituita da zirconite, olivina o cromite.

Le caratteristiche principali di una sabbia sono:

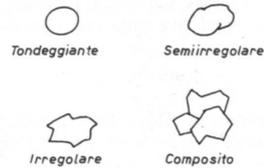
- La forma dei granelli
- Le dimensioni dei granelli
- Le trasformazioni strutturali e allotropiche

Per trasformazione allotropica si intende una variazione della struttura cristallina o molecolare di un elemento in particolare in metallurgia si identifica con la trasformazione della cella elementare (reticolo cristallino di base), a cui corrispondono variazioni delle proprietà fisiche, meccaniche e chimiche.

## SABBIA

I granelli possono presentare quattro forme fondamentali:

- Rotondeggianti
- Irregolari
- Semiirregolari
- Compositi



Si dicono compositi quelli in cui sono distinguibili delle superfici di frattura senza che sia avvenuto il distacco delle parti.

La loro superficie può essere liscia o rugosa ed in quest'ultimo caso si ha un migliore ancoraggio del legante mescolato alla sabbia.

## SABBIA

Definire le dimensioni dei granelli non è molto significativo, mentre lo è la loro **granulometria** e cioè le percentuali in cui le diverse dimensioni sono presenti nella sabbia

Per calcolare la granulometria:

- Si fa attraversare ad un campione di sabbia una colonna di **stacci** sovrapposti le cui maglie si infittiscono dall'alto verso il basso.
- Si pesa il residuo su ogni staccio e lo si esprime in percentuale del peso totale

## LEGANTI

I leganti sono quelle sostanze miscelate con la sabbia per rendere possibile la coesione fra i granelli di silice

I leganti più comuni sono:

- Le argille
- I leganti organici
- I silicati
- I cementi

## LEGANTI - ARGILLE

Le argille mescolate con poca acqua, mostrano prevalentemente caratteristiche di **coesione**; cioè i granelli si legano tra loro

Quando il contenuto di acqua è elevato predomina l'**abrasività**, nel senso che i granelli di argilla stabiliscono dei legami con i granelli di sabbia

Poiché un legante deve possedere entrambe le proprietà in misura adeguata, la quantità di acqua da aggiungere va opportunamente dosata.

## ADDITIVI

Gli **additivi** sono sostanze aggiunte alla terra di fonderia al fine di modificarne quelle caratteristiche che sono causa di difetti nel getto:

- **Controllo dell'espansione termica della forma**
- **Produzione di uno strato di gas protettivo**

Gli additivi sono essenzialmente sostanze carboniose:

- Polvere di carbone
- Polvere di grafite
- Cellulosa

## TERRE DA FONDERIA

I materiali da formatura devono rispettare le seguenti caratteristiche tecnologiche:

■ **Refrattarietà**, intesa come capacità di resistere alle elevate temperature della lega fusa.

■ **Scorrevolezza**, intesa come facilità di riempire completamente la forma attorno al modello ricopiandolo fedelmente, sotto l'azione di forze esterne di scossa o compressione.

Assume valori accettabili quando la sabbia possiede una granulometria uniforme, diminuisce all'aumentare del tenore del legante e di acqua, ma con quest'ultima presenta un valore minimo oltre il quale aumenta notevolmente.

■ **Sgretolabilità**, proprietà importante ai fini economici al momento della distaffatura e dell'eliminazione delle anime.