

# Best Available Technologies (BAT) per il trattamento delle sabbie esauste da fonderia

## 1 Lo stampaggio a sabbia

Nel processo di stampaggio a sabbia, lo stampo può essere prodotto mediante azioni di battitura manuali o meccaniche, come scosse, schiacciamenti, urti d'aria, vibrazioni, ecc. Quando lo stampo è sufficientemente resistente, e non è vincolato al modello, può essere utilizzato per produrre un nuovo stampo.

Generalmente le anime sono prodotte con le stesse tecniche degli stampi, ma nel caso di anime di piccole o medie dimensioni, il materiale è spesso soffiato o sparato in casse di legno, plastica o metallo.

Nei processi di fusione di metalli non ferrosi, il 30% circa delle leghe di rame viene colato in stampi in sabbia, mentre solo il 10% circa di metalli non ferrosi leggeri sono fusi in stampi monouso.

## 2 Materie prime per lo stampaggio

### 2.1 Sabbie da stampaggio

Indipendentemente dal tipo di legante applicato, le proprietà fisiche e chimiche delle sabbie utilizzate per realizzare gli stampi o le anime influiscono sulle loro proprietà e il loro comportamento durante la colata. Le sabbie rappresentano dal 95 % al 99 % dei materiali utilizzati nella produzione di stampi e anime.

Il prezzo di acquisto di ciascuna sabbia è influito dai metodi di estrazione, preparazione, imballaggio e trasporto. Tuttavia, il principale fattore che determina il prezzo è la tipologia di sabbia. Il prezzo medio di acquisto per le diverse tipologie è variabile.

#### 2.1.1 Sabbie refrattarie

I principali tipi di sabbie refrattarie utilizzate per scopi di fonderia sono:

- Sabbia silicea

Questo tipo di sabbia è il più comunemente utilizzato, soprattutto per la sua ampia disponibilità e al suo costo relativamente basso. La sabbia silicea è composta principalmente da quarzo ( $\text{SiO}_2$ ), a diversi gradi di purezza, a seconda della sua origine. Il suo peso specifico oscilla tra  $2,5 \text{ kg/dm}^3$  e  $2,8 \text{ kg/dm}^3$ . La

densità apparente secca (o peso volumetrico sciolto) della sabbia silicea è compresa tra 1,4 kg/dm<sup>3</sup> e 1,6 kg/dm<sup>3</sup>

L'espansione termica della sabbia silicea genera un movimento dello stampo durante la colata e il raffreddamento. Per questo motivo sono utilizzati additivi specifici, soprattutto nella produzione di anime, al fine di prevenire errori di lancio. Tra gli additivi utilizzati troviamo lanugine di legno e ossido di ferro. Le sabbie che contengono feldspati ha una espansione termica e un punto di sinterizzazione minori rispetto al quarzo puro ed è ampiamente utilizzato per minimizzare i difetti di dilatazione nei getti.

La sabbia silicea è neutra ed è compatibile con tutti i leganti e le normali leghe da fusione.

Nella tecnologia dello stampaggio in terra verde, il controllo della distribuzione granulometrica è molto importante.

La Figura 1 mostra una tipica distribuzione granulometrica per la sabbia silicea. La distribuzione granulometrica è utilizzato per calcolare il numero AFS (AFS: American Foundry Society). Questo rappresenta la finezza totale della sabbia. Maggiore è il valore AFS, più fine è la sabbia. Un'alternativa sistema di classificazione è il valore di grana media o MK.

Un grado di sabbia più fine avrà una superficie maggiore. Questo richiede una maggiore quantità di legante per ottenere la stessa resistenza dello stampo. Gli operatori cercano quindi di utilizzare una frazione grossolana della sabbia, ma che comunque garantisca una buona finitura superficiale. I numeri AFS standard sono nel range 50-60.

Per superfici molto lisce è necessaria una sabbia fine, tipicamente si utilizzano sabbie con valori di AFS nel range 90-110.

Le sabbie fini vengono anche utilizzate in alcuni casi per sostituire i rivestimenti degli stampi.

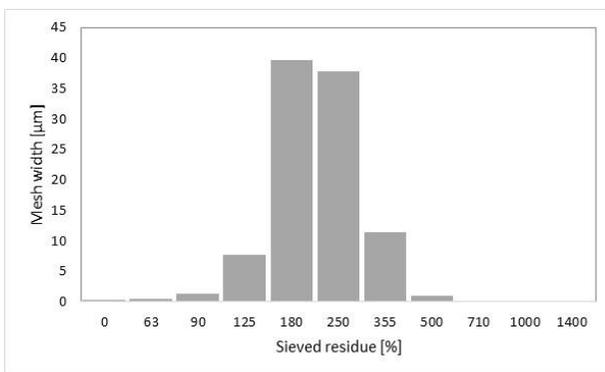


Figura 1: Tipica distribuzione granulometrica per la sabbia di fonderia silicea

- Sabbia di cromite

La cromite è un minerale la cui formula è  $\text{FeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$ , che contiene altre componenti come ossidi di magnesio e alluminio. Per il suo utilizzo nelle fonderie, il contenuto di silice deve essere inferiore al 2% al fine di evitare la sinterizzazione a basse temperature.

Le principali caratteristiche sono:

- densità: 4,3 - 4,6  $\text{kg}/\text{dm}^3$ ;
- punto di fusione teorico: 2 180 °C, ma la presenza di impurità può abbassarlo a 1 800°C;
- diffusività termica: oltre il 25% superiore a quella della sabbia silicea;
- dilatazione termica: regolare, senza punto di transizione, inferiore a quella della sabbia silicea;
- pH: 7 - 10.

Rispetto alla sabbia silicea, la sabbia di cromite è più refrattaria, è termicamente più stabile e ha un maggiore potere raffreddante. La sabbia di cromite fornisce una migliore finitura superficiale su getti di grandi dimensioni.

- Sabbia di zirconio

Lo zirconio è un silicato di zirconio,  $\text{ZrSiO}_4$ , ed è il minerale di zirconio più diffuso.

Le principali caratteristiche sono:

- densità: 4,4 - 4,7  $\text{kg}/\text{dm}^3$ ;
- punto di fusione: superiore a 2000 °C;
- diffusività termica: oltre il 30% superiore a quella della sabbia silicea;
- dilatazione termica: regolare, senza punto di transizione, inferiore a quella della sabbia silicea.

Le caratteristiche generali della sabbia di zirconio sono simili a quelle della cromite, ma la sabbia di zirconio produce una finitura migliore poiché viene utilizzata con una grana più fine. Per le sue caratteristiche è utilizzata per lo stampaggio e la realizzazione di anime a geometria complicata, nonostante il suo prezzo molto elevato.

- Sabbia olivina

Le sabbie di olivina contengono minerali come forsterite, fayalite, ecc. Le caratteristiche delle sabbie di olivina sono le seguenti:

- punto di fusione: forsterite: 1890 °C, fayalite: 1 205 °C;
- densità: 3,2- 3,6  $\text{kg}/\text{dm}^3$ ;
- pH: circa 9.

Il pH basico rende questo tipo di sabbia non idoneo all'utilizzo con sistemi leganti catalizzati in acido.

La sabbia di olivina è prodotta dalla frantumazione di rocce naturali. È solitamente utilizzato per lo stampaggio e la produzione di anime nella fusione di

acciaio al manganese. La presenza del manganese impedisce l'utilizzo di silice poiché questi due componenti reagiscono formando composti molto fusibili.

### 2.1.2 Leganti e altri prodotti chimici

- Bentonite

La bentonite è un'argilla smectica, con una struttura lamellare. Aggiungendo acqua, la struttura dell'argilla assorbe l'acqua e si rigonfia. L'argilla diventa quindi lavorabile e può essere utilizzata per ricoprire i granelli di sabbia attraverso la miscelazione.

Le bentoniti di calcio naturali non si rigonfiano né gelificano se miscelate con acqua; pertanto, sono 'attivati' mediante trattamento con carbonato di sodio per ottenere 'bentoniti attivate con soda'. Questi materiali sono ampiamente usati nelle fonderie ferrose in tutta Europa poiché le loro proprietà si avvicinano a quelle bentoniti di sodio di origine naturale.

Le bentoniti sodiche naturali si gonfiano notevolmente se miscelate con acqua. Le caratteristiche principali nella sabbia verde sono: elevata resistenza a secco, buona tolleranza alla variazione del contenuto d'acqua, elevata resistenza a burn-out e migliore resistenza alle alte temperature. Queste argille sono importate dagli Stati Uniti, dove sono comunemente utilizzate, e il loro prezzo elevato ne limita l'uso alla fusione di acciaio di alto valore o in miscela con bentoniti calciche attivate.

Il versamento di metallo fuso in uno stampo di sabbia verde sottopone la sabbia a un notevole calore.

Questo calore rimuove l'umidità dalla sabbia e distrugge la struttura legante dell'argilla. Se durante il versamento e il raffreddamento la bentonite rimane al di sotto della temperatura di disattivazione, viene mantenuta la struttura lamellare così come la sua capacità di rigonfiarsi e sviluppare coesione. La temperatura di disattivazione varia in base al tipo di bentonite.

- Resine

Negli ultimi decenni è stata sviluppata una gamma di leganti chimici. Si tratta di sistemi mono o multicomponente che vengono miscelati con la sabbia di fonderia fino a rivestire completamente i grani di una sottile pellicola. Dopo la miscelazione inizia una reazione di indurimento che unisce i granelli di sabbia e sviluppa la resistenza dello stampo. Le resine possono essere classificate in base all'indurimento metodo:

- resine a presa fredda;
- resine indurite a gas;
- resine indurenti a caldo.

- Polvere di carbone

La polvere di carbone è solitamente aggiunta alla sabbia verde per lo stampaggio della ghisa. È usato in misura limitata in alcune fonderie non ferrose. La polvere di carbone può essere miscelata con piccole quantità di resine e olio prodotti. Durante la fusione, il degrado termico produce "carbonio brillante", che migliora la finitura superficiale del getto e le proprietà di sformatura. La polvere di carbone viene aggiunta per tre motivi:

- creare un'atmosfera inerte nella cavità dello stampo durante la colata, attraverso la combustione di composti organici, che a loro volta rallentano l'ossidazione del metallo (formazione di scorie);
- ridurre la penetrazione del metallo tra i grani di quarzo, mediante deposizione di una pellicola di grafite, che crea anche una superficie di colata piatta;
- per ridurre la quantità di sabbia che rimane sulla superficie del getto dopo la sformatura

Oltre alla polvere nera e appiccicosa causata dalla manipolazione, la polvere di carbone può contenere o generare idrocarburi policiclici aromatici (IPA) durante la colata.

Per le fusioni di acciaio, la polvere di carbone non viene utilizzata a causa dell'assorbimento del carbonio. In questo caso, di solito lo è sostituito da leganti di cereali come l'amido o la destrina.

Esistono vari tipi di polvere di carbone o sostituti della polvere di carbone. Questi consistono in materiali che generano carbonio brillante miscelati con argille.

- Leganti da cereali

I leganti da cereali sono utilizzati principalmente nelle fonderie di acciaio per aumentare la resistenza e la tenacità della sabbia verde. Esistono due tipi principali di legante per cereali: l'amido e la destrina. L'amido è estratto da diverse piante, il più comunemente usato nelle fonderie è l'amido di mais. La destrina è una forma ripolimerizzata dell'amido, prodotta attraverso un trattamento acido e termico dell'amido.

Gli amidi possono aiutare a ridurre i difetti di dilatazione, poiché bruciando permettono ai grani di deformarsi senza deformare lo stampo. I leganti da cereali aumentano la forza alla manipolazione, e la tenacità ma possono ridurre la fluidità. Le destrine migliorano la fluidità e l'umidità ritenzione, evitando che le muffe si secchino e che i bordi diventino friabili.

Le additivi derivati da cereali non migliorano la resistenza all'erosione della sabbia o la sua resistenza alla penetrazione del metallo.

- Ossido di ferro

L'ossido di ferro reagisce con il quarzo ad alta temperatura e forma un composto a basso punto di fusione, la fayalite.

Questo prodotto vetroso sinterizza insieme i grani. Viene utilizzato principalmente nella produzione delle anime, al fine di ridurre la formazione di venature.

### 3 Processo di formatura

#### 3.1 Formatura con sabbia naturale

Alcune fonderie usano sabbia legata naturalmente. Questa tipologia di sabbia contiene una percentuale naturale di argilla e per attivare la capacità legante è sufficiente aggiungere acqua. Se necessario, possono essere miscelati anche alcuni additivi. La composizione approssimativa della sabbia naturale è riportata nella Tabella 1.

Tabella 1: Composizione approssimativa della sabbia naturale.

| Compounds   | Approximate % |
|-------------|---------------|
| Quartz sand | 80            |
| Clay        | 15            |
| Water       | 5             |

La sabbia naturale non necessita di attrezzature di miscelazione come la sabbia sintetica. Viene utilizzata principalmente nelle fonderie di materiali non ferrosi di piccole dimensioni (ad es. Rame) ma anche nelle fonderie di ferro e acciaio.

#### 3.2 Formatura con sabbia legata all'argilla (formatura in sabbia verde)

Lo stampaggio in sabbia verde è il processo di stampaggio più comune. La sabbia verde generalmente non viene utilizzata per le anime, normalmente realizzati con additivi chimici. La sabbia verde è l'unico processo che utilizza una miscela di sabbia umida. La miscela è composta dall'85% al 95% di sabbia silicea, dal 5% al 10% di argilla bentonitica, dal 3 al 9% di materiali carboniosi come carbone in polvere e dal 2% al 5% di acqua. L'argilla e l'acqua fungono da legante, e legano i granelli di sabbia. I materiali carboniosi bruciando quando il metallo fuso viene versato nello stampo, creano un'atmosfera riducente che impedisce al metallo di ossidarsi durante la solidificazione. La Tabella 2 fornisce una panoramica degli additivi utilizzati per vari tipi di fusioni metalliche.

Tabella 1: Composizione degli additivi utilizzati per la sabbia verde (acqua esclusa).

| <b>Metal</b>                        | <b>Additive for green sand preparation</b> |
|-------------------------------------|--|
| Nodular cast iron casting           | Bentonite                                  |
| Lamellar iron casting               | Cereal binder*                             |
| Malleable iron casting              | Coal dust                                  |
| Steel casting                       | Bentonite<br>Cereal binder*                |
| Light metal ana aluminium casting   | Bentonite<br>Cereal binder*                |
| Magnesium-alloyed-aluminium casting | Bentonite<br>Boric acid                    |
| Magnesium casting                   | Bentonite<br>Powdere sulphur<br>Boric acid |
| Heavy metal caasting (copper alloy) | Bentonite<br>Cereal binder*<br>Coal dust   |

\*Optional additive

La sabbia verde, come dimostra il suo uso diffuso, presenta una serie di vantaggi rispetto ad altri metodi di fusione. Il processo può essere utilizzato sia per la fusione di metalli ferrosi che non ferrosi e può gestire una gamma di prodotti maggiormente diversificata rispetto a qualsiasi altro metodo di formatura. Ad esempio, la sabbia verde viene utilizzata per produrre l'intera gamma di fusioni, dalle piccole fusioni di precisione fino alle grandi fusioni di getti fino a una tonnellata. Se la compattazione della sabbia è uniforme ed le proprietà della sabbia accuratamente mantenute, si possono ottenere tolleranze molto strette. Il processo ha anche il vantaggio di richiedere un tempo relativamente breve nella produzione dello stampo rispetto a molti altri processi. Inoltre, la relativa semplicità del processo lo rende ideale per un processo meccanizzato.

Sebbene lo stampaggio manuale sia ancora in uso, lo stampaggio a macchina è attualmente il più diffuso. Le due principali operazioni sequenziali da effettuare per la formatura sono: lo schiacciamento della sabbia e la separazione del modello dalla sabbia compattata.

Le macchine per lo stampaggio a compressione usano la pressione per compattare la sabbia, che viene applicata attraverso una testa di compressione a pistone singolo o multipli. Lo stampaggio mediante spremitura risulta, invece, meno efficace all'aumentare della profondità dello stampo. In questi casi, scuotere il piano di lavoro aumenta notevolmente la compattazione della sabbia. Nello stampaggio ad impatto, la sabbia viene immessa per gravità nella staffa e compattata istantaneamente con l'aria compressa attraverso l'utilizzo di una

valvola ad azione rapida. Questo processo permetta una densità elevata e uniforme, in particolare nella sabbia che circonda il modello.

### 3.3 Formatura con sabbia non legata (processo V)

Questo processo utilizza sabbia asciutta, battuta dalla vibrazione senza alcuna aggiunta di legante, trattenuta tra due fogli di polietilene mediante vuoto parziale. La produzione di un semistampo è illustrata nella Figura 2.

Le fasi del processo sono le seguenti:

- Il modello è fissato ad una camera ermetica collegata a una pompa a vuoto.
- Un film sottile di polietilene vinilacetato (PEVA), spesso da 75 a 100 micron, viene riscaldato fino a 85°C.
- Questa pellicola, che viene espansa a caldo, applicata sul modello e fissata mediante vuoto applicato attraverso la camera stagna.
- Una staffa, in cui è possibile creare un vuoto, viene posizionata sul modello e riempita con sabbia asciutta.
- Questa sabbia viene compattata mediante vibrazione, resa uniforme, quindi viene applicato un secondo film di PEVA alla sabbia.
- L'aria viene estratta dalla staffa e, allo stesso tempo, il vuoto viene rilasciato nella camera stagna; il vuoto irrigidisce la sabbia e il mezzo stampo può quindi essere rimosso.
- Il secondo semistampo è realizzato nello stesso modo ed entrambi sono assemblati e chiusi, con il vuoto ancora applicato.
- Ora si può colare il metallo, le due staffe rimangono sottovuoto fino alla sformatura.
- La sformatura avviene semplicemente interrompendo l'aspirazione: la sabbia fuoriesce dalla cassetta attraverso la griglia e può essere riciclata previa depolverazione e separazione della plastica incombusta dei fogli.

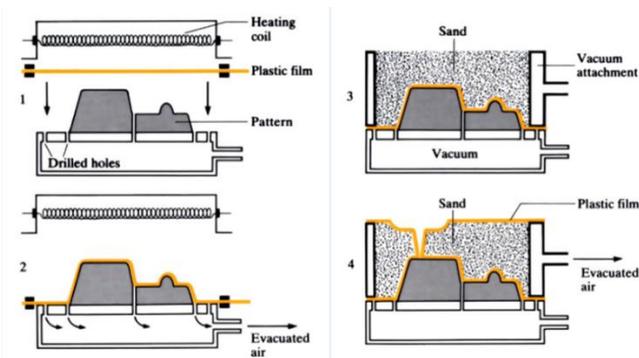


Figura 2: Produzione di uno stampo attraverso il processo V

### 3.4 *Formatura e realizzazione di anime con sabbia legata chimicamente*

Per la produzione delle anime vengono utilizzati principalmente leganti chimici. Le anime richiedono un processo fisico diverso rispetto a quello degli stampi. I nuclei devono essere in grado di resistere alle forze molto elevate che possono verificarsi durante il riempimento con il metallo fuso, e spesso deve essere successivamente rimosso dal getto solidificato. Ciò significa che il processo di formatura deve produrre nuclei sufficientemente forti e duri per consentire la rimozione dopo che il getto si è indurito. Pertanto, i core sono in genere formati da sabbia silicea (e occasionalmente sabbia di olivina, zirconio o cromite) e forte leganti chimici. La miscela di sabbia e legante viene posta in una cassa d'anima dove si indurisce nella forma desiderata e poi estratta dalla cassa. L'indurimento si ottiene attraverso prodotti chimici, reazione catalitica o mediante calore.

## 4 **Bonifica e rigenerazione della sabbia**

L'elevate quantità di sabbia utilizzata come materia prima nelle fonderie rende indispensabile la sua rigenerazione per una sostenibilità economica e ambientale.

È necessario distinguere tra sabbia verde e sabbia legata chimicamente. La sabbia verde può essere facilmente ricondizionata dopo l'uso. Infatti, la sabbia verde ricircolata mostra caratteristiche tecniche della sabbia vergine. La maggior parte delle fonderie che utilizzano sabbia verde possiedono un processo di rigenerazione della sabbia esausta.

Il tipico trattamento della sabbia comporta la rottura di stampi e/o nuclei riportando la sabbia alla sua granulometria originale. Il processo comprende vagliatura della sabbia, rimozione del metallo indesiderato, separazione e rimozione di parti fini e agglomerati di grandi dimensioni. La sabbia viene quindi raffreddata prima di essere inviata allo stoccaggio, in seguito viene mandata direttamente al sistema che gestisce la sabbia o miscelata con sabbia nuova.

Le principali tecniche di trattamento della sabbia verde esausta sono la vibrazione, il tamburo rotante o granigliatura.

La rigenerazione (recupero) necessita anche di un ulteriore processo per la rimozione del legante residuo. Con questo processo la sabbia torna ad una qualità simile o migliore di quella della sabbia nuova. Per rimuovere il legante residuo, sono necessari trattamenti più aggressivi. Le principali sono:

- trattamento meccanico a freddo;
- attrito a bassa energia: attrito, impatto (per resine a freddo);
- attrito ad alta energia: sfregamento pneumatico, molatura, attrito centrifugo;
- trattamento termico (normalmente a letto fluido);
- lavaggio a umido.

Le sabbie legate con resine a presa fredda possono essere rigenerate con trattamenti più semplici, grazie alla fragilità dello strato legante. Sistemi di rigenerazione meccanica (es. letto fluido sistemi) si basano sull'attrito o sull'impatto interparticellare.

Le sabbie legate con resine gas-indurenti e termoindurenti necessitano di un trattamento più intensivo per rimuovere lo strato legante, come la molatura, lo sfregamento pneumatico e l'attrito centrifugo.

Il trattamento termico prevede la combustione del legante organico. La bentonite è inattivata dall'alta temperatura del trattamento. Per i flussi di sabbia contenenti sabbia verde, un trattamento termico dovrebbe quindi essere combinato ad un trattamento meccanico.

La rigenerazione a umido comporta la rimozione del legante attraverso la macinazione interparticellare. Questa tecnica si applica solo alla sabbia verde e silicati o sabbie legate con CO<sub>2</sub> e non è ampiamente applicato.

L'applicabilità delle varie tecniche di rigenerazione è riassunta nelle Tabella 3 (monosabbia) e Tabella 4 (sabbia mista).

Tabella 3: Campi di applicazione dei diversi sistemi di rigenerazione per monosabbie.

| Type of sand   | Regeneration technique | Regeneration equipment  | Utilisation  | Borderline conditions   | Minimal quantity (tonne/h) |
|--|------------------------|---|--|---|----------------------------|
| <b>Organic monosystems</b>                           |                        |   |  |   |                            |
| Cold-setting resins                                  | Mechanical or thermal  | Mechanical: friction, impact, pneumatic chafing<br>Thermal: turbulent bed, fluidised bed or rotary furnace                            | - for mould making using cold-setting resins<br>- 20-25% substitution of new sand for cold-setting core-making | - mechanical: only if binder shells have become fragile enough upon pouring<br>- the target values for regenerate quality must be met                           | 1.5                        |
| Cold-Box, SO <sub>2</sub> , Hot-Box and Croning sand | Mechanical or thermal  | Mechanical: pneumatic chafing, centrifugal friction, fluidised bed chafing<br>Thermal: turbulent bed, fluidised bed or rotary furnace | In core-making, as new sand substitute   | - mechanical: only if binder shells have become fragile enough upon pouring<br>- the orientative values for regenerate quality must be met<br>- re-use of fines | 0.75                       |
| Resol- ester methyl formate hardened sand            | Mechanical             | Mechanical: friction, impact, pneumatic chafing   | With limitations, in mould-making with methyl formate sands  | - regeneration as resol- ester cold setting but with lower yield<br>- embrittlement of binder components  |                            |
| <b>Inorganic monosystems</b>                         |                        |   |  |   |                            |
| Green sand   | Mechanical             | pneumatic chafing, grinding   | Renewal sand for green sand circuit  | - requires predrying<br>- re-use of fines   | 0.75                       |
| Sodium silicate sand                                 | Mechanica              |   | Only for making moulds and cores using sodium silicate sand  | Embrittlement of binder components at 200 °C  | 0.75                       |

Tabella 4: Campi di applicazione dei diversi sistemi di rigenerazione per sabbie miste

| Type of sand                     | Regeneration technique                      | Regeneration equipment  | Utilisation  | Borderline conditions  | Minimal quantity (tonne/h) |
|----------------------------------|---|---|--|--|----------------------------|
| Mixed organic systems            | Mechanical or thermal                       | Mechanical: pneumatic chafing, centrifugal friction, fluidised bed chafing<br>Thermal: turbulent bed, fluidised bed or rotary furnace | - core-making substituting new sand  | - mechanical: only if binder shells have become fragile enough upon pouring<br>- the orientative values for regenerate quality must be met<br>- re-use of fine | 0.75                       |
| Mixed sands containing bentonite | Mechanical or mechanical-thermal-mechanical | Mechanical: grinding, pneumatic chafing, fluidised bed chafing<br>Thermal: turbulent bed, fluidised bed or rotary furnace             | - core-making substituting new sand<br>- renewal sand for the green sand circuit | - require pre-drying<br>- combined thermal regeneration requires efficient mechanical regeneration to remove active bentonite<br>- re-use of fines             | 0.75                       |

La figura 3 riporta lo schema di una rigenerazione primaria e secondaria in una fonderia di sabbia mista per raggiungere una rigenerazione totale del 92%. Questo schema semplificato non tiene conto delle varie perdite nelle fasi di lavorazione. L'aggiunta di nuova sabbia può essere ridotta al minimo integrando la frazione grossolana delle sabbie recuperate dai filtri (delle linee di formatura manuale, linee di sformatura, silos di stoccaggio, ecc.).

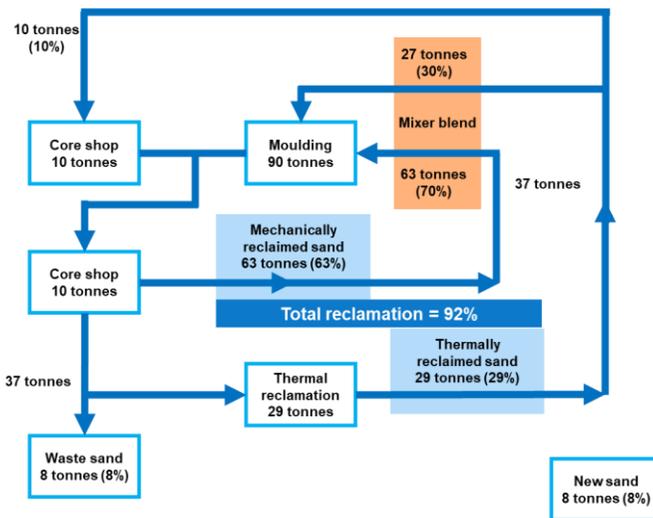


Figura 3: Diagramma di bilancio della sabbia per un sistema di rigenerazione termica/meccanica

Un rapporto di bonifica complessivo del 92%, come indicato sopra, è un valore normale per la sabbia verde mista –sabbia legata chimicamente. Sono stati segnalati rapporti di rigenerazione fino al 98 %. Il rapporto effettivo dipende dal volume e dalla composizione chimica delle anime utilizzate.

Generalmente, la miscelazione di diversi tipi di sabbie ha un effetto negativo sulla forza delle anime e successivamente su quella degli stampi realizzati con la sabbia rigenerata, anche se ci sono alcune eccezioni. Per produrre una sabbia rigenerata di buona qualità è quindi di grande importanza tenere separati tipi di sabbia non compatibili.

La tabella 5 riporta le compatibilità tra le sabbie.

Tabella 5 Compatibilità delle sabbie rigenerate con diversi additivi

| Goal System<br>Source System |                 | Bentonite | Silicate | Cold-setting | Hot-Box | Croning | Cold-box       |       |                 |
|------------------------------|-----------------|-----------|----------|--------------|---------|---------|----------------|-------|-----------------|
|                              |                 |           |          |              |         |         | Methyl-formate | Amine | SO <sub>2</sub> |
| Bentonite                    |                 | +         | ±        | ±            | -       | ±       | ±              | ±     |                 |
| Silicate                     |                 | ±         | +        | -            | -       | -       | -              | -     |                 |
| Cold-setting                 |                 | +         | -        | +            | -       | ±       | -              | ±     | +               |
| Hot-Box                      |                 | ±         | -        | +            | +       | +       | -              | ±     | +               |
| Croning                      |                 | +         | +        | +            | +       | +       | +              | +     | +               |
| Cold-box                     | Methyl-formate  | ±         | +        | ±            | -       | -       | ±              | ±     | -               |
|                              | Amine           | +         | +        | +            | +       | +       | ±              | +     | +               |
|                              | SO <sub>2</sub> | +         | -        | +            | -       | ±       | ±              | +     | +               |

+: Compatible, ±: Limited compatibility, -: Incompatible

## 5 BAT per il ricondizionamento e la rigenerazione della sabbia

### 5.1 Ricondizionamento ottimizzato della sabbia verde (rottura, separazione, raffreddamento)

#### Descrizione

Varie tecniche possono essere utilizzate per rompere la sabbia nella sua granulometria originale e per rimuovere la componente fine, ad es. vibratore, tamburo, granigliatura. Per il raffreddamento della sabbia di recupero, sono usate tecniche come il raffreddamento evaporativo o il raffreddamento a letto fluido.

### *Descrizione tecnica*

Uno dei principali vantaggi nell'utilizzo dello stampaggio in sabbia verde è che la sabbia degli stampi può essere ricondizionata per un riutilizzo multiplo. L'aggiunta di una percentuale minima di sabbia nuova viene effettuata per mantenere la qualità della sabbia di formatura. La quantità della nuova sabbia aggiunta è determinata dall'input di sabbia del nucleo e dalle perdite nel processo. Per lo stampaggio senza anima, il rapporto medio di rinnovamento della sabbia è del 2-5 %. Nei processi di fusione con anime, il rinnovamento della sabbia avviene attraverso l'introduzione della sabbia del nucleo a ciclo continuo. In ogni caso, la sabbia in eccedenza viene rimossa dal circuito della sabbia dopo il vaglio o dai silos di stoccaggio. Questo ricircolo interno di sabbia verde con un trattamento minimo è indicato come rigenerazione primaria. Questa rigenerazione ha fondamentalmente tre obiettivi: (1) rompere la sabbia nella sua granulometria originale o in piccole particelle, (2) rimuovere la componente fine, e (3) raffreddare la sabbia prima di miscelarla con nuova sabbia.

Varie tecniche vengono applicate per la rottura e la separazione:

- **Vibrazione:** la griglia vibrante è la tecnica più utilizzata per la rigenerazione primaria. La sabbia setacciata viene rimossa per il successivo trattamento, come il raffreddamento, la classificazione delle dimensioni e il recupero termico. Il materiale residuo è raccolto per lo smaltimento.
- **Tamburo:** la sabbia viene caricata in un tamburo rotante dotato di barre di sollevamento e traslanti. Mentre la sabbia viaggia lungo il tamburo, la rotazione e il l'azione di sollevamento fanno sì che le particelle di sabbia si sfregino l'una contro l'altra riducendo la sabbia in singoli grani. I granelli di sabbia cadono attraverso i vagli all'estremità del tamburo, mentre le particelle sovradimensionate e altri materiali sono rimossi per lo smaltimento in discarica.
- **Granigliatura:** lo stampo e la colata vengono caricati direttamente nella granigliatrice. L'azione della granigliatrice porta alla completa disintegrazione dello stampo e inoltre pulisce la superficie del getto. La sabbia e la graniglia vengono successivamente separate. Questa tecnica non è, tuttavia, molto comune.

Durante il raffreddamento dei getti, la sabbia si riscalda. Per ottenere una buona miscelazione, la sabbia deve essere raffreddata a 40 – 45 °C. I raffreddatori evaporativi utilizzano letti fluidi e in turbolenza, nonché scambiatori di calore. Se la scuotitura viene eseguita utilizzando la vibrazione di trasportatori a fusti rotanti, il raffreddamento può avvenire contemporaneamente.

Se si utilizza un dispositivo di raffreddamento a letto fluido, l'aria di asciugatura può essere riscaldata utilizzando gas o elettricità. Il tempo medio di trattamento è di 10 minuti. In generale, la sabbia entra nel letto fluido con un'umidità del 2-3% e una temperatura di 250-300 °C. Il controllo della temperatura e dell'umidità può essere eseguito prima del raffreddatore a letto fluidizzato con successiva aggiunta di controllata quantità di acqua. Ciò consente di ridurre al minimo la quantità di materiale fine che vengono rimosse durante l'essiccazione a letto

fluido. I fini contengono bentonite che può essere riattivata. Il livello di umidità della sabbia di ritorno deve essere mantenuto tra il 2 % e il 2,2 % a 35 °C. Di conseguenza, durante lo stoccaggio, la bentonite contenuta nella sabbia raffreddata e bagnata inizia ad attivarsi e, durante la miscelazione, l'acqua e la bentonite da aggiungere si riducono.

Una buona omogeneizzazione della sabbia consente una qualità costante, una sabbia migliore e preparazione facilitata. I sistemi di omogeneizzazione prevedono l'utilizzo di più silos di piccole dimensioni invece di un solo silo grande, o un ricircolo della sabbia nel silo.

Nei sistemi che utilizzano anime legate chimicamente, la miscelazione della sabbia dell'anima può avere un effetto negativo sulla qualità della sabbia, a seconda del tipo di legante e della quantità di sabbia d'anima miscelata. Gli effetti negativi sono più significativi con i nuclei acidi e alcalini rispetto a quelli neutri (SO<sub>2</sub>-epossidico, PUR-cold-box). Durante la sformatura, la sabbia del nucleo e la sabbia dello stampo si mescolano inevitabilmente. I nuclei non polimerizzati e i nuclei non rotti, tuttavia, possono essere lasciati esclusi o prelevati dalla sabbia prima della rigenerazione primaria.

#### *Benefici ambientali*

Ridotto utilizzo di materie prime (sabbia e bentonite), ridotta quantità di materiale dismessa.

#### *Prestazioni ambientali e dati operativi*

Anche se le quantità di nuova sabbia aggiunta è regolato da vari fattori, l'intervallo è compreso generalmente nel 10-20% del peso del metallo colato. Considerando la percentuale in funzione della portata di sabbia, nella maggior parte dei processi di fonderia, un'aggiunta del 5% è considerato sufficiente, anche se molte fonderie lavorano a ritmi inferiori.

Per un monosistema a sabbia verde, è possibile ottenere rapporti di rigenerazione del 98 %. Sistemi con alto grado di nuclei incompatibili, può raggiungere un tasso di rigenerazione del 90-94 %.

#### *Effetti crossmediali*

La rigenerazione della sabbia utilizza l'elettricità, quindi aumenta il consumo complessivo di energia elettrica dell'impianto. Poiché si applicano principalmente tecniche meccaniche, questo aumento è basso.

Il raffreddamento della sabbia e la separazione dei fini porta ad emissioni cariche di polvere. Le emissioni devono essere filtrate e le polveri raccolte inviate a smaltimento o riutilizzate.

#### *Considerazioni tecniche rilevanti per l'applicabilità*

Generalmente applicabile. Questa tecnica è applicabile a tutte le fonderie in terra a verde, nuove e impianti esistenti.

#### *Forza trainante per l'attuazione*

- Molti operatori di fonderia indicano la riduzione dei costi come unico motivo per l'avvio di vari programmi di bonifica della sabbia. I regolamenti incoraggiano una riduzione della quantità di materiale smaltito, attraverso un aumento dei costi di smaltimento.
- Requisiti legali.
- Condizioni locali.

## 5.2 *Ricondizionamento della sabbia verde a basso spreco*

### *Descrizione*

Il ricondizionamento della sabbia a verde nelle fonderie di alluminio viene effettuato utilizzando uno scanner per l'identificazione impurità nella sabbia verde in base alla brillantezza/colore. Queste impurità sono separate dalla sabbia verde utilizzando un impulso di getto d'aria.

### *Descrizione tecnica*

Nelle fonderie, i fattori legati al processo di produzione causano un accumulo di impurità nella sabbia di stampaggio dal materiale in colata. Nei sistemi standard di rigenerazione della sabbia queste impurità (sabbia di base, materiale isolante, rottami metallici) non possono essere sufficientemente separati dal materiale di stampaggio.

Una elevata quantità di impurità aumenta la quantità di materiale da smaltire e la quantità di nuova sabbia silicea e argilla.

### *Benefici ambientali ottenuti*

- Minimizzazione della sabbia di scarto.
- Riduzione del consumo di materie prime (conservazione delle risorse: sabbia silicea e argilla).
- Riduzione significativa del trasporto pesante.

### *Forza trainante per l'attuazione*

- Oltre al miglioramento dell'efficienza delle risorse, sono stati ottenuti anche vantaggi tecnici del nuovo sistema di trattamento della sabbia, che sono di grande importanza in fonderia;
- Significativa riduzione del consumo di leganti bentonitici e di acqua nello stampaggio
- Sabbia per stampaggio a grana fine, che si traduce in superfici lisce nelle fusioni.
- Riduzione dei difetti superficiali dovuti alle impurità accumulate nel materiale di stampaggio.

### 5.3 *Preparazione della sabbia legata all'argilla mediante miscelazione sottovuoto e raffreddamento*

#### *Descrizione*

I processi di miscelazione e raffreddamento sono combinati in un'unica fase di processo azionando la sabbia miscelatore a pressione ridotta, che si traduce in un raffreddamento mediante vaporizzazione controllata dell'acqua.

#### *Descrizione tecnica*

I processi di miscelazione e raffreddamento sono combinati in un'unica fase di processo. Il sistema si ottiene azionando il miscelatore di sabbia a pressione ridotta, con un conseguente raffreddamento attraverso una vaporizzazione controllata dell'acqua. Lo speciale miscelatore deve essere chiuso ermeticamente, ha un involucro in pressione ed è collegato a un sistema di vuoto. Rispetto a un normale impianto di miscelazione, questa tecnica non richiede un refrigeratore separato e le apparecchiature associate. L'impianto sottovuoto è quindi di dimensioni più compatte. Dal momento che il flusso d'aria totale è ridotto, l'impianto di aspirazione ha un filtro centrale di estrazione della polvere più piccolo. Le dimensioni e il consumo energetico del filtro sono circa il 50% di quelli di un impianto convenzionale. La riduzione del flusso d'aria, si traduce in una ridotta rimozione di bentonite attiva e quindi in una riduzione complessiva del consumo di additivo. A causa del funzionamento in ambiente chiuso, la tecnica non è influenzata dalle condizioni climatiche esterne.

L'utilizzo del vapore in assenza di aria porta ad una rapida attivazione della bentonite, con conseguente raggiungimento molto rapido della resistenza a compressione ottimale per la sabbia legata.

L'acqua viene aggiunta in due fasi separate:

- acqua per inumidire la sabbia di ritorno al contenuto di umidità della sabbia trattata;
- acqua per raffreddare la sabbia mediante vaporizzazione alla temperatura richiesta di 38-40 °C.

Lo svantaggio del sistema è il funzionamento e la gestione del sistema del vuoto. Il processo influisce anche sulle proprietà tecniche della sabbia (ad es. resistenza alla compressione e alla trazione, permeabilità), che diminuiscono dopo 72 h ("l'effetto 72 h"). Questo può essere prevenuto rimescolando per circa 90 sec.

#### *Benefici ambientali ottenuti*

La riduzione del flusso d'aria totale comporta una riduzione del volume delle emissioni e della quantità di polvere da smaltire, nonché un ridotto consumo di legante rispetto al raffreddamento convenzionale e impianti di miscelazione (ma questo dipende anche dall'efficienza dell'impianto di rigenerazione).

Inoltre, il sistema consuma meno energia.

#### *Effetti crossmediali*

Nessuno.

Considerazioni tecniche rilevanti per l'applicabilità  
Potrebbe non essere applicabile agli impianti di sabbia verde esistenti a causa di vincoli tecnici.

*Forza trainante per l'attuazione*

- Riduzione delle polveri da smaltire e minimizzazione del consumo di additivi.
- Requisiti legali.
- Condizioni locali.

#### 5.4 *Rigenerazione meccanica della sabbia a presa fredda*

*Descrizione*

Tecniche meccaniche (ad es. rottura di grumi, segregazione di frazioni di sabbia) utilizzando frantoi o i mulini per rigenerare la sabbia a freddo.

*Descrizione tecnica*

Utilizzo di semplici tecniche meccaniche per la rigenerazione di monosabbie a freddo (es. sabbia furanica) e sabbia non polimerizzata. Queste tecniche includono la rottura di grumi, la segregazione dei granelli di sabbia e pulitura per attrito intergranulare, con conseguente depolverazione e raffreddamento fino alla temperatura operativa. Vengono utilizzati vari tipi di frantoi e mulini, ad es. impatto frantoio, frantoio a mascelle, mulino a sfere.

*Benefici ambientali ottenuti*

Una riduzione della quantità di sabbia da smaltire e del consumo di nuova sabbia.

*Prestazioni ambientali e dati operativi*

Per le monosabbie a freddo furanico, sono riportati rapporti di rigenerazione nel range 78-90 %.

La tecnica può essere utilizzata per tutte le sabbie a presa fredda, escluse le sabbie silicatiche. La sabbia rigenerata può essere riutilizzata nello stesso ciclo di stampaggio, con piccole aggiunte di nuova sabbia per livellare perdite di qualità.

*Effetti crossmediali*

La rigenerazione della sabbia richiede energia aggiuntiva e provoca ulteriori emissioni di polvere e polvere residua da smaltire.

Considerazioni tecniche rilevanti per l'applicabilità  
Potrebbe non essere applicabile alla sabbia silicea.

*Forza trainante per l'attuazione*

- Eliminazione dei costi associati allo smaltimento dei residui.
- Requisiti legali.
- Condizioni locali.

## 5.5 *Rigenerazione meccanica a freddo di sabbie agglomerate o agglomerate chimicamente utilizzando una mola*

### *Descrizione*

Utilizzo di una mola rotante per rimuovere strati di argilla e leganti chimici dai grani della sabbia.

### *Descrizione tecnica*

Il sistema di macinazione è commerciale ed ampiamente applicato. Il sistema era originariamente sviluppato per rigenerare mix di sabbie bentonitiche-organiche. In questo sistema, orizzontalmente la mola rotante viene utilizzata per rimuovere dalla sabbia lo strato duro di bentonite oolitica. La macinazione può anche rimuovere i leganti chimici dai granelli di sabbia. Intorno alla mola è presente una ruota a pale a rotazione lenta, che sposta continuamente la sabbia sulla mola.

Al di sopra di questo, un'unità di depolverazione estrae le polveri fini. Per essere idoneo alla lavorazione, la sabbia deve essere asciutta. Per eliminare l'umidità è necessaria una fase di pre-asciugatura, utilizzando un letto fluido o un altro essiccatore per arrivare ad un valore di umidità inferiore allo 0,2 %.

Il flusso delle emissioni del rigeneratore viene depolverizzato utilizzando un ciclone e un filtro a maniche. La polvere del filtro contiene bentonite attiva residua e polvere di carbone. Può essere ricircolato nella produzione del nucleo, consentendo così una riduzione dell'uso di carbonio. Inoltre, gli stampi dimostrano migliore qualità tecnica (resistenza alla trazione a umido, scorrevolezza), grazie al contenuto residuo di bentonite, che porta inoltre una riduzione della quantità di stampi di scarto e una riduzione delle venature sui getti.

### *Benefici ambientali ottenuti*

- Una riduzione della quantità di sabbia da smaltire e del consumo di sabbia nuova.
- Una riduzione del consumo di carbone, nel caso di sabbia verde.
- Un aumento delle proprietà della sabbia di formatura, con conseguente riduzione del numero di scarti degli stampi e dei getti finiti.

### *Prestazioni ambientali e dati operativi*

Per la sabbia legata con argilla, il tasso massimo di rigenerazione è del 65-75 %, rispetto al contenuto di quarzo del materiale. Per una sabbia legata chimicamente, la quantità di riciclabile la sabbia di quarzo è del 90-95%.

Il flusso totale del circuito di sabbia e la necessità di nuova sabbia dipende dalla quantità di nuclei utilizzati.

In generale, la sabbia verde di scarto è composta per circa l'80% da granelli di sabbia di quarzo e per circa il 20% da particelle fini (bentonite, polvere di carbone, ecc.). Del 100% di sabbia di scarto, circa il 70% viene trasferito all'anima come sabbia di recupero. Il grado di efficienza rispetto al quarzo è di circa l'88%. La polvere del filtro contiene circa il 40% di bentonite attiva, che ha una perdita di

ignizione (LOI) del 17 % e contiene il 43 % di sabbia fine. Il riutilizzo della polvere nell'impianto di sabbia si traduce in un ridotto fabbisogno di carbonio fino al 30 %. Grazie alla migliore qualità della sabbia alcune fonderie mostrano che la quantità di stampi di scarto è stata praticamente dimezzata.

La polvere del ciclone (20% del peso della sabbia verde rigenerata) contiene il 25-30% di bentonite e alta livelli di sostanze organiche, ma la sua composizione chimica non rientra nelle specifiche richieste per consentire il suo riutilizzo come materiale da costruzione secondario.

La macinazione della sabbia provoca un'usura accelerata dei granelli di sabbia. Questo e il ricircolo della polvere del filtro provoca cambiamenti nella distribuzione granulometrica della sabbia. In generale la composizione della sabbia richiede quindi un controllo attento e continuo.

La rigenerazione meccanica a freddo trova applicazione principalmente nella rimozione degli strati di bentonite dalla sabbia verde e nella rimozione di leganti chimici nei sistemi no-bake. La tecnica di macinazione è il trattamento meccanico a freddo maggiormente applicato. Vengono utilizzati anche sistemi di vibrazione e impatto per sabbie legate chimicamente ma producono solo sabbia di qualità medio-bassa.

#### *Effetti crossmediali*

La rigenerazione della sabbia richiede energia aggiuntiva e provoca ulteriori emissioni di polvere e polvere residua da smaltire. Tuttavia, l'uso di sabbia rigenerata nel processo di stampaggio consente una riduzione delle quantità di carbonio utilizzato.

#### *Considerazioni tecniche rilevanti per l'applicabilità*

Generalmente applicabile.

#### *Forza trainante per l'attuazione*

- Requisiti legali.
- Condizioni locali.

### *5.6 Rigenerazione meccanica a freddo mediante tamburo ad impatto*

#### *Descrizione*

Utilizzo di un tamburo ad urto con asse interno rotante, dotato di piccole lame, per la pulizia dei granelli di sabbia per abrasione.

#### *Descrizione tecnica*

Questa tecnica di rigenerazione meccanica si basa sulla macinazione intergranulare della sabbia e permette di ottenere i migliori risultati per la monosabbia legata chimicamente. La sabbia viene immessa in un tamburo con una rotazione lungo asse interno, dotato di piccole lame. I granelli di sabbia urtano contro la parete del tamburo e uno contro l'altro. Questo impatto produce

un'azione meccanica di pulizia per abrasione. La componente fine è rimossa con impianto di captazione. Il tamburo ad urto funziona tratta il materiale a lotti. L'installazione di due unità consente il funzionamento continuo.

Quando applicato su una sabbia mista bentonite-organica, la rigenerazione è preceduta da una separazione magnetica, per la rimozione della sabbia verde. Infatti, la presenza di bentonite non reagita rende la sabbia verde debolmente magnetica, permettendone la separazione. La combinazione di separazione magnetica e tamburo di impatto consente una rigenerazione ottimizzata della sabbia legata chimicamente da un flusso di sabbia mista, con riutilizzo della sabbia rigenerata nella realizzazione delle anime.

#### *Benefici ambientali ottenuti*

Riutilizzo interno della sabbia d'anima, limitando quindi la quantità di materiale da smaltire e il fabbisogno per le materie prime.

#### *Prestazioni ambientali e dati operativi*

Il tamburo di rigenerazione ha un regime a lotti, con un tempo di trattamento di 20 minuti per ciascuna carica di sabbia da 1,5 tonnellate. Il consumo di energia dell'intera installazione (inclusi separazione magnetica, trattamento delle emissioni, trasporto della sabbia) è di 55 kWh/tonnellata di sabbia trattata, di cui il 35 % può essere attribuito al trasporto di sabbia e all'alimentazione. L'impianto utilizza aria compressa pari a 48 Nm<sup>3</sup>/tonnellata di sabbia.

La sabbia rigenerata ha le seguenti proprietà:

- granulometria media: 0,30-0,33 mm;
- quota di fine: 0,4-1%;
- pH: 8,7;
- perdita alla combustione: 0,25-0,5 %.

Le anime realizzate con sabbia rigenerata al 100% hanno proprietà accettabili. Normalmente il 10-70% della sabbia rigenerata viene utilizzata per le nuove anime, la quantità effettiva dipende dal tipo di anima.

La generazione di polvere nell'impianto è pari al 10% dell'ingresso del rigeneratore. Questa polvere viene raccolta utilizzando un ciclone (90 %) e un filtro a maniche (10 %).

La tecnica combinata separazione-rigenerazione può essere applicata per il trattamento di misti di sabbia verde e sabbia legata chimicamente. La tecnica può essere applicata in nuovi e impianti esistenti.

#### *Effetti crossmediali*

La rigenerazione della sabbia richiede energia aggiuntiva e provoca ulteriori emissioni di polvere e polvere residua da smaltire.

#### *Considerazioni tecniche rilevanti per l'applicabilità*

Generalmente applicabile.

#### *Forza trainante per l'attuazione*

- Legislazione che utilizza alte tariffe di smaltimento volte a ridurre la quantità di residui da smaltire.
- Requisiti legali.
- Condizioni locali.

### 5.7 *Rigenerazione a freddo con sistema pneumatico*

#### *Descrizione*

Rimozione di leganti dai granelli di sabbia mediante abrasione e impatto. L'energia cinetica è fornita da un flusso di aria compressa.

#### *Descrizione tecnica*

In un sistema pneumatico, i leganti vengono rimossi dai granelli di sabbia mediante abrasione e impatto. L'energia cinetica è fornita da un flusso di aria compressa e ciò permette in una simultanea depolverazione. Il vantaggio di questo tipo di sistema è che la direzione e la velocità della sabbia possono essere controllati. A causa della bassa efficienza energetica della compressione dell'aria, il consumo di energia è superiore rispetto al trattamento puramente meccanico.

Il reattore utilizza un letto fluido con un tubo rialzato centrale. La sabbia viene soffiata nel tubo utilizzando aria compressa e impatta su un deflettore in gomma o su un bersaglio conico. Dopo l'impatto la sabbia ricade e il ciclo ricomincia. La pulizia avviene attraverso abrasione intergranulare, abrasione contro la piastra d'urto e per impatto "puro". La forma della placca determina il meccanismo di pulizia: impatto (a campana) o abrasione (cono).

La polvere generata viene rimossa con il flusso d'aria su un filtro a maniche. Il trattamento viene eseguito come a sistema a lotti o tramite una serie di unità pneumatiche accoppiate.

#### *Benefici ambientali ottenuti*

Riduzione della quantità di sabbia da smaltire e del consumo di sabbia nuova.

#### *Prestazioni ambientali e dati operativi*

Una miscela di sabbia verde con sabbia del nucleo legata chimicamente avente le seguenti caratteristiche: 8-12 % contenuto di fini, 3-5 % LOI, < 2 % umidità; produce una rigenerazione con le seguenti caratteristiche:

- resa di rigenerazione, basata sul contenuto di  $\text{SiO}_2$  della sabbia di scarto: 70-80 %;
- contenuto ultra fine (< 0,063 mm): max. 2%;
- contenuto fine: < 2 %;
- perdita alla combustione: < 0,5 %;
- granulometria media: inalterata.

La tecnica utilizza un accumulo di installazione modulare, utilizzando unità di base da 0,8-1,2 t/h, con un consumo di energia elettrica pari a circa 15-20 kWh/t (escluse le apparecchiature di depolverazione).

Il sistema pneumatico può essere utilizzato per la rigenerazione di miscele organiche e monosabbia e sabbia mista contenente bentonite. Trova applicazione anche come pre o post trattamento nel processo combinato meccanico-termico-meccanico. In questi casi l'utilizzo principale è necessario per l'asportazione di polvere residua dai granelli di sabbia e il raffreddamento. La sabbia rigenerata può essere utilizzata nella costruzione di stampi (utilizzando sabbia rigenerata al 100%) o miscelata con nuova sabbia nella fabbricazione delle anime (utilizzando il 40-60% di sabbia rigenerata).

#### *Effetti crossmediali*

La rigenerazione della sabbia richiede energia aggiuntiva e provoca ulteriori emissioni di polvere e polvere residua da smaltire.

Considerazioni tecniche rilevanti per l'applicabilità

Generalmente applicabile.

#### *Forza trainante per l'attuazione*

- Legislazione che utilizza alte tariffe di smaltimento volte a ridurre la quantità di residui da smaltire.
- Requisiti legali.
- Condizioni locali.

## 5.8 *Rigenerazione termica*

### *Descrizione*

Utilizzo del calore per bruciare i leganti e i contaminanti contenuti nelle sabbie legate chimicamente e miste.

Il processo è combinato con un pretrattamento meccanico iniziale per la riduzione della sabbia alla grana corretta dimensione e la rimozione di contaminanti metallici.

### *Descrizione tecnica*

La rigenerazione termica utilizza il calore per bruciare leganti e contaminanti. Tutti i processi termici necessitano di un primo passaggio meccanico per ridurre la sabbia alla giusta granulometria e vagliare eventuali contaminanti metallici. Questo pretrattamento può comportare anche una (parziale) abrasione della bentonite e la rimozione della polvere. Il riscaldamento della sabbia è solitamente ottenuto per mezzo di un forno a letto fluido, operante a temperature per lo più comprese tra 700 °C e 800 °C. Vengono utilizzati anche forni rotanti o forni a più focolari. Il calore può essere fornito dalla combustione di gas, da riscaldatori elettrici o attraverso emissione di infrarossi ad onde corte. La velocità di trattamento di questi sistemi varia da 250 kg/h a più di 5 t/h.

I gas emessi vengono bruciati per eliminare il monossido di carbonio e gli eventuali COV. Questa fase di trattamento può essere fatta sulle pareti libere della fornace, se abbastanza grande, aggiungendo aria complementare o mediante postcombustori alimentati a gas. Se la temperatura della combustione

del gas non è sufficientemente elevata o se il tempo durante il quale i gas sono ad alta temperatura non è sufficiente, viene aggiunto un dispositivo di postcombustione separato. In tutti i casi, le emissioni possono essere considerate come non significative.

Le emissioni vengono filtrate, per lo più mediante filtri in tessuto. Pertanto è necessario il raffreddamento, che può avvenire mediante iniezione di acqua, scambio/recupero di calore o miscelazione con aria fatta entrare naturalmente attraverso aperture/fessure ecc.

### *Benefici ambientali ottenuti*

Riduzione della quantità di sabbia da smaltire e riduzione del consumo di sabbia nuova.

### *Prestazioni ambientali e dati operativi*

La sabbia viene solitamente riscaldata a temperature di 700-850 °C. Teoricamente, questo richiede 200 kWh/t. In pratica, vengono riportati consumi energetici di 150-350 kWh/t, a seconda dell'energia di recupero e del potere calorifico della sabbia.

I sistemi termici sono normalmente utilizzati per sistemi a sabbia legata chimicamente e a sabbia mista, a condizione che la quota di sabbie legate chimicamente (anime) sia sufficientemente elevata.

Tuttavia, è necessario considerare:

- Alcuni leganti possono lasciare residui di sali inorganici sulla superficie del grano. Quando la temperatura aumenta al di sopra del punto di fusione, questi si diffondono sulla superficie della sabbia e possono causare la sinterizzazione dei granelli di sabbia al raffreddamento. Esempi noti sono la resina di resolo e le sabbie legate con resina di silicato.
- Il riciclo termico delle resine furaniche provoca l'emissione di SO<sub>2</sub> se si utilizzano acidi solfonici come agente indurente. La temperatura del sistema di scarico deve essere sufficientemente elevata per evitare la condensazione dell'acido solforico. Se l'emissione fosse elevata, potrebbe essere necessaria la pulizia ad umido dei fumi. Il fosforo (dall'acido fosforico usato come indurente) non evapora ma rimane in superficie sotto forma di sale. Ciò può portare all'accumulo di P nel materiale riciclato e se la concentrazione di P supera lo 0,5-0,7%, può verificarsi una reazione metallurgica, causando lo scarto del pezzo fuso.

Il grado di attuazione della rigenerazione termica è basso rispetto a quello della rigenerazione meccanica.

### *Effetti crossmediali*

La rigenerazione termica richiede combustibile e genera emissioni di polveri e prodotti di combustione (NOX, CO; e nel caso del petrolio: SO<sub>2</sub>).

L'elevato consumo energetico e la complessità dell'installazione sono bilanciati da una bassa usura dei granelli di sabbia e il recupero della polvere in forma termicamente inerte.

La rigenerazione termica di sabbia legata al furano con acido paratoluensolfonico come indurente, richiede la depurazione dei fumi: ad es. filtro in tessuto, post-combustione di CO e/o adsorbimento di SO<sub>2</sub>.

*Considerazioni tecniche rilevanti per l'applicabilità*  
Generalmente applicabile.

*Forza trainante per l'attuazione*

- Alte tariffe di smaltimento volte a ridurre la quantità di residui da smaltire.
- Requisiti legali.
- Condizioni locali.

## 5.9 *Rigenerazione combinata (meccanica-termica-meccanica) per impianti misti sabbie organico-bentonitiche*

*Descrizione*

Dopo il pretrattamento (setacciatura, separazione magnetica) e l'essiccazione, la sabbia viene pulita meccanicamente o con sistema pneumatico per rimuovere il legante. Durante il trattamento termico, i componenti organici sono bruciati e gli inorganici polverizzati o bruciati sulla superficie dei grani. Nella fase finale, i rivestimenti dei grani vengono rimossi meccanicamente o pneumaticamente e smaltiti come polvere.

*Descrizione tecnica*

Nelle sabbie miste organico-bentonitiche, sui grani della sabbia sono presenti bentonite indurita e leganti organici. La polvere è composta da bentonite attiva e vulcanizzata, polvere di carbone (solo per fonderie di ferro), particelle di quarzo e residui di leganti organici. Le sabbie miste si trovano principalmente nelle fonderie di ferro e rappresentano circa il 75 % della produzione totale di sabbia esausta. La rigenerazione può essere eseguita utilizzando sistemi meccanici, pneumatici, termici o combinati.

La sabbia viene pretrattata (setacciatura, separazione magnetica) ed essiccata, in modo da ridurre il contenuto d'acqua < 1 %. Successivamente, la sabbia viene pulita meccanicamente o pneumaticamente per rimuovere il legante. Nella fase termica vengono bruciati i componenti organici e inorganici. I componenti vengono trasferiti alla polvere o bruciati sui grani. Nella fase finale, questi strati vengono rimossi meccanicamente o pneumaticamente e smaltiti come polvere.

*Benefici ambientali ottenuti*

Riduzione della quantità di sabbia da smaltire e del consumo di sabbia nuova.

*Prestazioni ambientali e dati operativi*

Questa tecnica di rigenerazione viene utilizzata per sabbie miste contenenti bentonite. Il successo economico e tecnico della rigenerazione dipende dalla scelta della sabbia da rigenerare. Il processo non è adatto a rigenerare tutta la sabbia. La sabbia non termicamente danneggiata può essere riutilizzata

direttamente, ed il processo non è adatto perché rimuoverebbe leganti attivi e additivi. La selezione e la separazione delle sabbie adatte al processo deve essere eseguita durante la sformatura, prima dell'omogeneizzazione.

La sabbia rigenerata può essere utilizzata per la produzione di anime con ridotte esigenze geometriche. L'applicabilità per la produzione di anime è legata all'apporto iniziale di sabbia chimicamente legata.

Inoltre, queste sabbie possono essere applicate senza limitazioni per la sostituzione delle perdite nei cicli di formatura in terra a verde.

Negli ultimi anni sono state sviluppate varie tipologie di impianti per il trattamento delle sabbie miste, ma non hanno ancora trovato ampia implementazione nel settore. Alcuni funzionano solo su scala pilota. Altri sono stati sviluppati per una specifica fonderia e producono una sabbia rigenerata adatta al riutilizzo solo nello stesso processo e i risultati non possono essere trasferiti ad altre fonderie.

#### *Effetti crossmediali*

La rigenerazione della sabbia richiede energia aggiuntiva e provoca ulteriori emissioni di polvere e polvere residua da smaltire.

#### *Considerazioni tecniche rilevanti per l'applicabilità*

Generalmente applicabile.

### *5.10 Rigenerazione a umido per sabbie verdi, silicati o legate con CO<sub>2</sub>*

#### *Descrizione*

La sabbia viene mescolata con acqua per produrre un fango. La rimozione dei residui di legante legato ai grani è eseguita attraverso un intenso sfregamento interparticellare dei granelli di sabbia. I leganti sono rilasciati nell'acqua di lavaggio. La sabbia lavata viene essiccata, vagliata e infine raffreddata.

#### *Descrizione tecnica*

Dopo la rimozione del metallo, la sabbia viene miscelata con acqua per produrre un fango che permette di separare facilmente il legante e consente la successiva vagliatura a umido (1,6 mm). La rimozione del legante residuo legato al grano viene eseguita nell'unità di rigenerazione a umido, attraverso un intenso sfregamento interparticellare dei granelli di sabbia. I leganti vengono rilasciati nell'acqua di lavaggio. La sabbia lavata viene asciugata fino ad un valore di umidità massimo dello 0,3%, vagliato a secco (a 1,2 mm) e quindi raffreddato. Può essere seguita da un'ulteriore estrazione del ferro magnetico e da una raccolta finale delle polveri. I residui di legante sono separati dalla sospensione e trattati per consentirne lo smaltimento sicuro.

Il vantaggio principale del processo rispetto ai processi meccanici e termici è che consente monitoraggio del processo in tempo reale. Attraverso il controllo del pH è possibile un monitoraggio continuo del processo, consentendo se necessario di azioni correttive in tempo reale e producendo una sabbia rigenerata con qualità costante. La tecnica consente la rimozione dello strato legante mediante azione

meccanica a umido, combinando con un'azione chimica quando necessario, senza ridurre le dimensioni dei granelli di sabbia.

Il processo mira principalmente ad abbassare sia il grado di oolitizzazione della sabbia usata (LOI max 1 %) sia l'acidità.

Dati industriali affermano che oltre al problema della generazione di acque reflue (vedi effetti crossmediali), la rigenerazione a umido di solito ha una resa scarsa (tasso di recupero pari a circa due terzi della sabbia esausta).

#### *Benefici ambientali ottenuti*

Riduzione della quantità di sabbia da smaltire e del consumo di sabbia nuova.

#### *Prestazioni ambientali e dati operativi*

Nessuna informazione fornita.

#### *Effetti crossmediali*

Il processo a umido genera un fango da smaltire e un flusso di acque reflue. Il grande problema di questo flusso di acque reflue è la bassa sedimentazione della bentonite e la sua difficile rimozione dalle acque reflue. Le acque reflue dalla rigenerazione delle sabbie di silicato di sodio mostrano la presenza di ioni alcalini, difficili da estrarre.

#### *Considerazioni tecniche rilevanti per l'applicabilità*

Generalmente applicabile.

Il sistema di rigenerazione a umido può essere applicato solo su sabbia verde e legata con silicati o sabbie legate con CO<sub>2</sub>. La rigenerazione da questi tipi di processi consente il pieno riutilizzo della sabbia rigenerata sia negli stampi che nelle anime. I test sulla sabbia verde rigenerata hanno mostrato la possibilità di produrre anime di buona qualità con una quantità di legante accettabile (1,8% in totale).

#### *Forza trainante per l'attuazione*

Questo sistema è in grado di far fronte ai cambiamenti nella qualità della sabbia esausta in modo migliore rispetto ai processi meccanici o termici.

### *5.11 Rigenerazione di sabbia di silicato di sodio (Water glass) mediante sistema pneumatico*

#### *Descrizione*

La sabbia viene riscaldata per rendere fragile lo strato di silicato prima dell'uso di un sistema pneumatico. La sabbia rigenerata viene raffreddata prima del riutilizzo.

#### *Descrizione tecnica*

La sabbia water-glass è difficile da rigenerare. L'uso di un sistema pneumatico consente la realizzazione di impianti di rigenerazione operanti con un tasso di

rigenerazione del 60 %. Il sistema funziona secondo lo stesso principio descritto nel paragrafo 5.7.

Per questo tipo di legante, tuttavia, la sabbia deve essere riscaldata a 220 °C prima della rigenerazione, al fine di rendere fragile lo strato di silicato. La sabbia deve avere un'umidità inferiore allo 0,3% prima della rigenerazione. La sabbia rigenerata può essere riutilizzata nello stesso sistema. Affinché i componenti organici funzionino correttamente, la sabbia rigenerata deve essere raffreddata a una temperatura inferiore a 20 °C, prima di essere reimpressa nel ciclo di stampaggio.

I sistemi di rigenerazione della sabbia water-glass comprendono le seguenti fasi di processo: rottura – essiccazione/riscaldamento – bonifica (pneumatica) – raffreddamento – filtrazione.

Questa tecnica ha un rendimento inferiore rispetto alla rigenerazione termica delle sabbie con leganti organici.

Il processo presenta i seguenti limiti:

- minore resistenza iniziale a compressione;
- tempi di applicabilità più brevi delle miscele di sabbie d'anima;
- perdita di stabilità durante lo stoccaggio delle anime;
- perdita di resistenza alla compressione nel tempo, soprattutto con l'uso di leganti con elevata collassabilità.

Per compensare questi problemi, sono necessarie modifiche allo schema di elaborazione o al raccoglitore le miscele.

#### *Benefici ambientali ottenuti*

L'applicazione della sabbia water-glass come legante ha un basso impatto ambientale, rispetto all'applicazione di leganti organici. Questa tecnica permette la rigenerazione (parziale) della sabbia water-glass e quindi riduce la necessità di smaltimento della sabbia esausta e l'utilizzo di materia prima.

#### *Prestazioni ambientali e dati operativi*

In Europa sono presenti diversi impianti che utilizzano questo trattamento. Il rendimento del trattamento (dall'85 al 95% in peso) e le percentuali di riutilizzo (dal 50 al 90% nella produzione di stampi e anime) nello stesso impianto, variano notevolmente in funzione dei processi messi in atto per realizzare il trattamento.

#### *Effetti crossmediali*

Consumi legati al riscaldamento della sabbia esausta. L'emissione di CO<sub>2</sub> corrispondente è stimata a 18 kg/tonnellata di sabbia trattata. Si possono verificare emissioni di NOX.

#### *Considerazioni tecniche rilevanti per l'applicabilità*

Generalmente applicabile.

L'applicabilità della rigenerazione per le sabbie water-glass dipende dal catalizzatore utilizzato. Nel caso di esteri di poliacetato di glicerolo, la rigenerazione non è più possibile dopo un certo numero di cicli.

Con gli esteri carboniosi, la rigenerazione è possibile e persino più facile che per la sabbia legata con CO<sub>2</sub>. Se la sabbia non può essere raffreddata sotto i 20 °C prima di tornare al mescolatore, devono essere utilizzati esteri a reazione lenta. In questi casi non è possibile la rigenerazione. La situazione potrebbe verificarsi nei climi caldi durante l'estate.

Il riutilizzo della sabbia water-glass rigenerata per la preparazione di stampi o anime legati organicamente è problematico. L'elevato contenuto di elettroliti (leganti) ne impedisce l'uso con altri leganti utilizzati per le anime. I residui di water-glass altamente basici hanno un effetto negativo sull'adesione e stabilità delle anime, sia nei sistemi con leganti neutri che in quelli alcalini. Questi problemi portano ad un ridotto interesse allo sviluppo di questa applicazione.

A causa della bassa qualità della sabbia rigenerata, è necessario, durante la fase di estrazione dell'anima e raccolta della sabbia, identificare la quantità di sabbia rigenerata e la sua origine (es. numero di cicli), per poi scartare l'eventuale sabbia inutilizzabile.

#### *Forza trainante per l'attuazione*

La rigenerazione della sabbia water-glass, che ha una buona prestazioni ambientale in determinate applicazioni.

### *5.12 Riutilizzo interno della sabbia del nucleo (poliuretano (cold-box) e resina furanica legata)*

#### *Descrizione*

Sabbia derivante da anime rotte/difettose e sabbia in eccesso dalle macchine per la produzione delle anime, vengono trasportate ad un'unità di rottura. La sabbia risultante viene mescolata con nuova sabbia per la produzione di nuove anime.

#### *Descrizione tecnica*

La produzione di anime genera residui di sabbia costituiti da anime rotte, anime con piccoli difetti e sabbia in eccesso dalla produzione delle anime. I vari flussi di sabbia non utilizzati vengono inviati ad un'unità di demolizione. Dal trattamento si ottiene sabbia che può essere miscelata con sabbia nuova per la produzione di nuove anime.

#### *Benefici ambientali ottenuti*

Riduzione dell'utilizzo di sabbia nuova e minimizzazione della sabbia easusta inviata a smaltimento.

#### *Prestazioni ambientali e dati operativi*

Ricircolo interno del 5-10% della sabbia del nucleo, che altrimenti verrebbe smaltita.

*Effetti crossmediali*

Nessuno.

*Considerazioni tecniche rilevanti per l'applicabilità*

Generalmente applicabile.

Questa tecnica si applica alle sabbie legate con resine poliuretatiche (cold-box) e furaniche. Altri leganti non permettono questa tecnica.

L'implementazione della tecnica richiede modifiche nel controllo del processo. È necessario determinare il rapporto tra sabbia riciclata e nuova, ed eventuali modifiche del contenuto di legante.

*Forza trainante per l'attuazione*

- Ottimizzazione dell'utilizzo delle materie prime e riduzione della quantità di rifiuti da smaltire.
- Requisiti legali.
- Condizioni locali.

*5.13 Riutilizzo della polvere del circuito della sabbia verde nella costruzione di stampi*

*Descrizione*

La polvere viene raccolta attraverso la filtrazione delle emissioni dell'impianto di scuotimento e dalle stazioni di dosaggio e movimentazione della sabbia verde secca. La polvere raccolta (contenente legante attivi) possono essere riciclati nel circuito della sabbia verde.

*Benefici ambientali ottenuti*

Riduzione dell'utilizzo di materie prime primarie (leganti, bentonite e additivi (carbonio)).

*Prestazioni ambientali e dati operativi*

Una fonderia di ferro per automobili, che utilizza una linea di stampaggio automatizzata con una produzione di 8 000 t/anno di getti produce 480 t/anno di polvere. Questa sabbia viene raccolta, raffreddata e riciclata nel miscelatore della sabbia. La polvere raccolta contiene il 23% di bentonite attiva e il 10% di carbonio. Il 50% della polvere può essere rimesso in circolo senza alcun rischio di perdita di qualità.

*Effetti crossmediali*

Nessuno.

*Considerazioni tecniche rilevanti per l'applicabilità*

Generalmente applicabile. La tecnica può essere applicata alla sabbia verde ed implementata in impianti esistenti.

*Forza trainante per l'attuazione*

Ottimizzare l'utilizzo delle materie prime e ridurre la quantità di rifiuti da smaltire.