

RECUPERO E RICICLO DELL'ABRASIVO NEL TAGLIO A GETTO D'ACQUA

R. Ciccu, A. Serci
Dipartimento Di Geoingegneria e Tecnologie Ambientali
Università degli Studi di Cagliari
Piazza d'Armi
091213 Cagliari

RIASSUNTO

La memoria discute il problema del possibile recupero e riciclo dell'abrasivo utilizzato nelle operazioni di taglio a getto d'acqua con riferimento a due sistemi utilizzati per la formazione del getto (abrasivo iniettato o premiscelato), quale alternativa alla pratica corrente di smaltimento e messa a dimora dei fanghi in discarica controllata.

In particolare vengono esaminati i problemi tecnici relativi all'estrazione dei fanghi, al loro trattamento finalizzato al recupero della frazione riutilizzabile e alla messa a dimora dei fini residui di scarto. La convenienza economica all'operazione viene esaminata nel tentativo di individuare le condizioni favorevoli.

SUMMARY

The paper deals with the problem of the possible recovery and recycling of the spent abrasive used in cutting operations with either of the two systems available for the generation of abrasive-laden waterjet (injected or premixed) as an alternative to the widespread solution of mud disposal in conventional landfills.

In particular the arising technical problems are examined with reference to the phases of extraction of the slurry from the vessel and the subsequent treatment aimed at recovering a suitable fraction to be recycled and the disposal of discarded fines. The economic convenience of the operation is examined in the two cases with the goal of finding the favourable conditions.

1. INTRODUZIONE

Lo smaltimento dell'abrasivo usato nel taglio con getto d'acqua rappresenta un problema particolarmente importante per gli utilizzatori di questa tecnologia che sono costretti a interventi periodici per lo svuotamento della vasca di raccolta, e la parziale deacquificazione dei fanghi per agevolarne la manipolazione con mezzi meccanici, per poter poi provvedere alla sistemazione, provvisoria o definitiva, in vasche o in bacini di contenimento nell'ambito dello stabilimento stesso o al carico, il trasporto e la messa a dimora finale in discariche esterne.

Questa prassi tuttora generalizzata, oltre alle interferenze sul normale svolgimento dell'attività produttiva, con conseguente caduta dell'efficienza tecnica della macchina di taglio, comporta un aggravio economico non trascurabile per le Aziende.

D'altro canto l'abrasivo rappresenta una voce importante nell'articolazione del costo del taglio e pertanto un recupero sia pure parziale della frazione utile da riciclare alla macchina, in opportuna miscela con l'abrasivo fresco, può apportare un contributo positivo al bilancio economico. Ciò comporta la necessità di sottoporre i fanghi a un idoneo processo di trattamento capace di consentire la separazione delle componenti indesiderate ai fini della riutilizzazione (residui del taglio, frazioni granulometriche fini, frammenti di dimensioni eccessive, acqua).

E' evidente che tale processo deve essere semplice e a basso costo in modo tale da giustificare l'operazione sul piano economico. Inoltre il prodotto del trattamento deve avere caratteristiche sostanzialmente simili a quelle dell'abrasivo originario per mantenere inalterata la capacità produttiva del sistema senza inconvenienti sulla velocità di taglio e senza deterioramento della qualità dello stesso.

2. ESPERIENZE PREGRESSE

Lo studio delle possibilità del recupero e del riciclo dell'abrasivo è stato affrontato in passato con risultati interessanti ma non ancora pienamente soddisfacenti al punto che pochi sono i casi nei quali le procedure individuate si sono finora tradotte in fatti concreti. In particolare in Italia l'esperienza realizzata presso l'Athena non sembra abbia

registrato proseliti, forse anche a causa della complessità della soluzione adottata e del rilevante costo di primo impianto.

Sul piano delle ricerche scientifiche alcune prove di taglio di lastre di alluminio con abrasivo recuperato eseguite presso il Politecnico di Milano in collaborazione con la Tecnocut sembra abbiano mostrato una buona conservazione dell'efficacia rispetto all'abrasivo fresco.

Una ricerca più ampia e articolata è stata condotta presso l'IW dell'Università di Hannover nell'ambito della quale è stato anche affrontato lo studio del meccanismo di disintegrazione delle particelle di abrasivo durante l'intero processo di taglio a diverse condizioni sperimentali (velocità di taglio, dimensione granulometrica e portata di abrasivo). In particolare, dopo aver accertato l'effetto delle condizioni operative sul processo di disintegrazione usando abrasivo fresco alle diverse classi granulometriche, sono state acquisite indicazioni interessanti per quanto concerne l'influenza del numero di ricicli sullo sviluppo del processo di disintegrazione e sui risultati del taglio.

Sulla base dei risultati relativi al progressivo spostamento delle curve granulometriche si è potuto quantificare la porzione dell'abrasivo suscettibile di riuso.

Concretamente, la ricerca ha mostrato che il numero di riusi presenta un'influenza trascurabile sul comportamento delle particelle nel processo di disintegrazione e pertanto l'efficienza di taglio dell'abrasivo riciclato (granato nella classe granulometrica 90- 100 μm) resta praticamente inalterata.

L'esperienza di Hannover indica che, ponendo come condizione per il riuso il limite granulometrico inferiore di 90 μm , circa il 68 % dell'abrasivo può essere riutilizzato dopo il primo taglio. La proporzione, sempre calcolata sull'alimentazione originaria, si riduce al 36 % dopo un secondo riciclo e diventa 18 % dopo un terzo. Praticamente quasi il dimezzamento ogni volta. Per aumentare la quantità riciclabile occorrerebbe accettare una parte aggiuntiva di fini al disotto di 90 μm poiché questi presentano una capacità di taglio ancora interessate seppure inferiore e a quella della particelle più grosse. Includendo nella frazione riciclabile anche la classe (-90 +45 μm) la proporzione suscettibile di riciclo passerebbe dopo il primo uso dal 60% al 90%.

Tuttavia l'utilizzazione dei fini comporta problemi di regolarità del dosaggio e costi più alti di trattamento e essiccamento, riproponendo pertanto la necessità di stabilire comunque un limite granulometrico inferiore nel "range" dei fini.

Analoghe ricerche sono state sviluppate presso l'Università di Cagliari nel campo dei getti abrasivi premiscelati utilizzando il sistema DIAJet per la formazione della sospensione.

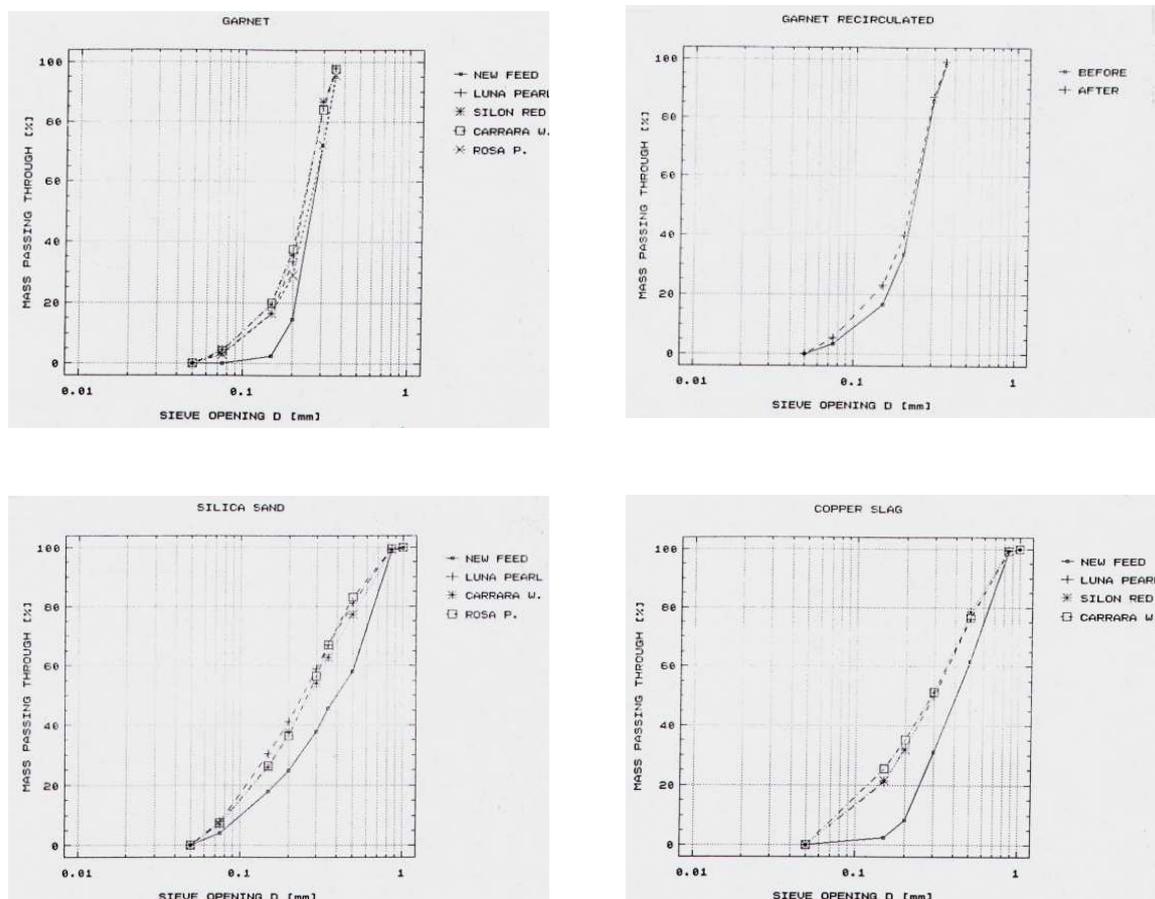


Figura 1. Curve delle distribuzioni granulometriche degli abrasivi prima e dopo il taglio di materiali diversi con il sistema DIAJet

Anche in questo caso sono state effettuate prove sistematiche di taglio del marmo e del granito con abrasivo fresco e usato, riciclando alla macchina la frazione “underflow” separata con una semplice ciclonatura alla dimensione di classificazione intorno a 100 – 150 µm.

Sono stati sperimentati tre diversi tipo di abrasivo (granato Barton HP 80, sabbia silicea e “copper slag”) con diverse portate di alimentazione. Il granato ha presentato un tasso di degrado granulometrico più contenuto rispetto agli altri due abrasivi consentendo di recuperare per il riciclo una proporzione in massa maggiore del 95 %. Tale proporzione si è sostanzialmente mantenuta dopo il primo riuso, con conseguente riduzione della frazione riciclabile calcolata rispetto all'alimentazione iniziale intorno al 90 %.

Infatti l'esame delle curve granulometriche (Figura 1) dimostra che il trasferimento di massa tra le classi avviene in maniera più “bilanciata” nel caso del granato mentre nel caso degli altri due abrasivi si realizza uno spiccato spostamento verso la classe più fine con rilevante “impoverimento” delle classi intermedie.

Lo studio ha inoltre riguardato anche le modificazioni di forma delle particelle di abrasivo attraverso osservazioni con microscopio a fibre ottiche e analisi di immagine.

Si è potuto constatare che:

- Non sussistono significative differenze di forma prima e dopo il taglio nel caso del granato, anche dopo due ricicli senza aggiunta di abrasivo fresco. Gli spigoli vivi sono ancora presenti significando che il “potere aggressivo” è sostanzialmente mantenuto.
- Per quanto concerne la sabbia silicea e soprattutto il “copper slag” appare evidente una certa modificazione di forma con maggiore frequenza di elementi arrotondati, mentre i grani con spigoli vivi sono probabilmente generati dalla comminuzione dei grani grossi originari.

Il bilancio di massa in termini assoluti ottenuto raccogliendo i fanghi di ciascuna serie di prove di taglio a diverse portate di alimentazione dell'abrasivo nella sospensione è riassunto nella tabella 1.

Tabella 1. Bilancio di massa dell'operazione di ciclonatura per i diversi abrasivi utilizzati nel taglio del marmo e del granito con il sistema AWSJ (Pressione 65 MPa, portata media di alimentazione 2.000 g/min)

ABRASIVO	ROCCIA	MASSE (solido secco) [kg]			RECUPERO [%]
		Alimentazione	Underflow	Overflow	
Copper slag	Granito sardo	320	208	112	65
	Marmo Carrara	168	109	59	65
Garnet	Granito sardo	167	162	5	97
	Marmo Carrara	80	61	19	76
	Rosa Portugal	51	31	20	60
Garnet riciclato	Granito	65	61	3	94
Sabbia silicea	Granito sardo	74	49	24	67
	Marmo Carrara	50	39	16	67
	Rosa Portugal	57	33	23	58

Appare sorprendente il fatto che l'abrasivo sembra consumarsi maggiormente nel caso di taglio dei materiali più teneri (marmi) lasciando pensare che la comminuzione avvenga prevalentemente per abrasione reciproca delle particelle piuttosto che per contatto con il materiale tagliato.

Prove di taglio con abrasivo (garnet Barton HP80) riciclato dopo il taglio del granito hanno prodotto risultati sostanzialmente simili a quelli ottenuti con abrasivo fresco, confermando quanto previsto sulla base dell'analisi granulometrica e di forma. Ciò è spiegabile con le seguenti considerazioni:

- Solo una piccola parte dell'abrasivo contenuto nel getto partecipa attivamente al taglio del materiale o è soggetto a disintegrazione per collisione reciproca tra le particelle, anche per l'assenza di aria nel getto; la maggior parte sembra fluire attraverso il taglio senza subire danni. Questo vale soprattutto per il garnet (KH: 12.800 MPa) nei confronti del granito (KH: 6.500 MPa), meno nel case del marmo (KH: 1.300 MPa) e degli abrasivi di durezza inferiore (KH: 8.560 per la sabbia silicea e 5.050 per il copper slag).
- Il degrado di granulometria e di forma degli abrasivi è direttamente collegabile alla loro durezza. Pertanto il trattamento dei fanghi finalizzato riciclo è interessante solo per il granato, sia per l'elevato recupero conseguibile, sia per il mantenimento di una buone efficienza di taglio, sia infine in considerazione del prezzo di acquisto relativamente elevato. D'altro canto il riciclo degli abrasivi di basso valore commerciale non è un problema critico dal punto di vista economico.

Rispetto ai dati relativi al sistema ad abrasivo aspirato sembra che il degrado dell'abrasivo sia considerevolmente minore nel caso dei getti sospesi, probabilmente a causa del fatto che la portata di alimentazione dell'abrasivo è un

ordine di grandezza più alta e la velocità delle particelle considerevolmente inferiore in relazione alla limitata pressione di lavoro (65 MPa contro i 240 MPa dell'esperienza di Hannover).

Dalle esperienze descritte nella letteratura appare quindi che il recupero dell'abrasivo è un'operazione da considerare con interesse, capace di apportare benefici alle aziende sotto il duplice profilo:

- Risparmio nell'acquisto di abrasivo fresco
- Contenimento dei costi di smaltimento.

Resta da risolvere il problema di trovare una tecnologia di trattamento semplice e di costo contenuto per quanto riguarda sia l'investimento iniziale da sostenere sia l'esercizio dell'operazione.

3. TECNICHE DI TRATTAMENTO

Il processo di trattamento ottimale per il recupero dell'abrasivo da riciclare dipende da una serie di condizioni riguardanti:

- Il sistema utilizzato per la generazione del getto abrasivo
- L'abrasivo impiegato (tipo e granulometria) e il materiale tagliato
- Le condizioni di lavoro (pressione e portata di abrasivo)
- Il programma di produzione

Il processo di trattamento, inoltre, è articolato in diverse fasi riassumibili in:

- Estrazione dalla vasca di raccolta dei fanghi depositati nel corso dell'operazione di taglio
- Alimentazione in testa al circuito di trattamento
- Separazione dei componenti indesiderati e produzione della frazione da riciclare
- Essiccamento eventuale dell'abrasivo recuperato
- Smaltimento dei rifiuti finali (fanghi residuali, frammenti di dimensione eccedente il "top size", acque di sfioro)

E' anzitutto da evidenziare che il flowsheet del processo e le macchine necessarie per realizzarlo sono sostanzialmente diversi per i due sistemi di generazione dei getti abrasivi.

Infatti nel caso dei sistemi con abrasivo premiscelato o "sospeso" (AWSJ) la frazione solida può essere alimentata a umido. Questo facilita considerevolmente la soluzione del problema del recupero e riciclo dell'abrasivo che può realizzarsi in circuito chiuso con la macchina di taglio con continuità o a intervalli di tempo programmati.

Il flowsheet del trattamento è mostrato nella figura 2.

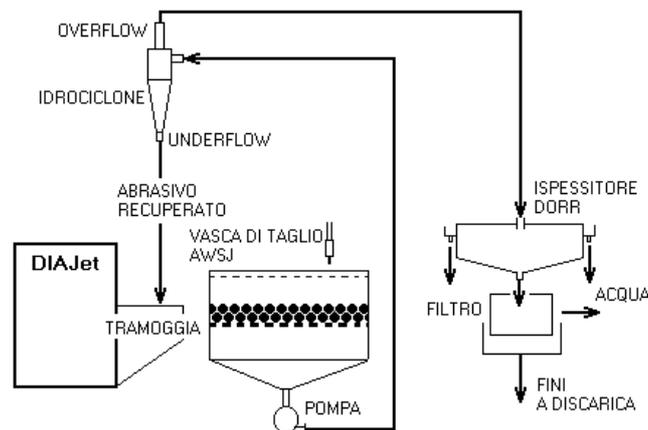


Figura 2. Flowsheet del trattamento della torbida abrasiva utilizzata nei sistemi AWSJ

L'estrazione della torbida dalla vasca di raccolta avviene per aspirazione con pompa centrifuga attraverso lo scarico di fondo evitando la sedimentazione dell'abrasivo per mezzo di agitazione meccanica. La pompa alimenta direttamente un idrociclone di diametro opportuno (circa 10 cm) nel quale avviene la classificazione per dimensioni in due frazioni:

- Underflow costituito prevalentemente dalle particelle grosse parzialmente addensate (contenuto di acqua residua intorno al 20-30%) con pochi fini trascinati per effetto dell'imprecisione tipica dell'apparecchio
- Overflow nel quale sono contenuti i fini e gran parte dell'acqua

Se la differenza di massa volumica tra l'abrasivo e i detriti del materiale tagliato è sufficientemente alta (come nel caso del taglio con granato dei materiali lapidei, vetro, plastiche, ceramica) l'idrociclone effettua anche una certa separazione per densità consentendo di recuperare un abrasivo più pulito.

Il prodotto "Underflow" può essere direttamente riciclato per caduta alla tramoggia di alimentazione dell'apparecchio di pressurizzazione insieme all'abrasivo fresco senza altre operazioni particolari. Eventuali eccessi di acqua possono essere facilmente eliminati per sfiato.

L'idrociclone deve essere alimentato con torbida diluita regolando la portata e la pressione della pompa (da 0,2 a 0,5 MPa) per garantire condizioni di lavoro ottimali. Dovendo mantenere costante il livello dell'acqua nella vasca di taglio, senza ricorrere a aggiunte o spillamenti dal circuito, la portata della pompa di circolazione deve essere pari a quella del getto. Questo può ottenersi facilmente nel caso dei sistemi di premiscelazione a bassa pressione (< 70 MPa) che operano con portate maggiori di 50 l/min. La pompa di ricircolazione può essere comandata da un dispositivo di controllo del livello del tipo ON/OFF con conseguente funzionamento del ciclone a intermittenza, perfettamente tollerato dalla macchina.

E' da rilevare che il ciclone è un apparecchio relativamente poco sensibile a variazioni anche ampie delle caratteristiche della torbida (densità e viscosità) e non richiede regolazioni fini in caso di cambio di abrasivo e/o di materiale tagliato. Il costo del trattamento è molto basso limitandosi essenzialmente all'energia consumata della pompa (potenza intorno a 1 kW) e alla sostituzione delle parti soggette a consumo (girante e rivestimento di gomma del corpo pompa, ciclone, tubazioni etc.).

Tenendo conto che in regime di lavoro continuativo un sistema tipo DIAJet consuma una quantità di abrasivo variabile da 200 a 500 kg/h e ipotizzando un recupero di 70 % il costo unitario può essere valutato intorno a 10 - 20 Lit/kg compresi gli ammortamenti.

Ben più complesso è il caso dei sistemi AWJ nei quali l'abrasivo deve essere necessariamente alimentato a secco. Il problema è aggravato da altri fattori sfavorevoli quali:

- Un degrado granulometrico più spinto rispetto ai sistemi con abrasivo premiscelato e pertanto un minor recupero di abrasivo riciclabile.
- Necessità di procedere allo svuotamento della vasca a intervalli di tempo sufficienti per la formazione di uno strato di solido depositato asportabile meccanicamente.
- Sedimentazione eterogenea per densità e dimensioni con conseguente disomogeneità del fango estratto dalla vasca e difficoltà di trasferimento e di alimentazione regolare del sistema di recupero.

Per quanto detto, il trattamento dei fanghi non può essere realizzato in circuito chiuso ma deve prevedere un sistema a parte alimentabile "a campagne" con aggravio dei costi di investimento e di esercizio.

Dovendo rialimentare a secco l'abrasivo recuperato, l'uso dell'idrociclone non è in linea di principio consigliabile in quanto il prodotto ottenuto contiene ancora una eccessiva quantità di acqua da eliminare prima dell'essiccamento finale. Altri apparecchi in uso nel campo della preparazione dei minerali, quali gli elutriatori in controcorrente e i classificatori a rastrelli o a spirale non sembrano ugualmente idonei in quanto, dovendo lavorare in torbida diluita, richiederebbero il movimento di grandi quantità di acqua, pur potendo essi consentire l'ottenimento di un prodotto ben deacquificato.

Le tavole vibranti potrebbero essere prese in considerazione per la loro capacità di selezionare le particelle solide per densità eliminando nel contempo i fini. Esse tuttavia richiedono di essere alimentate in classi strette e sono caratterizzate da bassa capacità di trattamento per cui sono praticamente cadute in disuso.

In relazione all'obiettivo da conseguire consistente essenzialmente in una selezione granulometrica, l'operazione di setacciatura a umido con vaglio appare preferibile per i motivi seguenti:

- Semplicità dell'operazione rispetto alle altre tecniche di selezione
- Limitati costi di investimento e di esercizio
- Buona precisione della separazione
- Preparazione di un prodotto ben sgocciolato

Un flowsheet di trattamento basato sulla setacciatura è composto da:

- Sezione di alimentazione
- Vagliatura a umido per l'eliminazione dei fini e lo sgocciolamento
- Essiccamento
- Vagliatura a secco per l'eliminazione dei frammenti di dimensione grossa
- Ispessimento e eventuale filtrazione dei fini

L'alimentazione al vaglio deve comportare la preparazione di una sospensione possibilmente omogenea e sufficientemente diluita (contenuto di solidi inferiore al 30 %) in una apposita vasca dotata di agitatore meccanico. Questa deve essere alimentata con regolarità in modo da evitare eccessive oscillazioni delle caratteristiche reologiche e

assicurare un passaggio sul vaglio senza inconvenienti (accumulo di materiale sulla rete). Dalla vasca la sospensione può essere prelevata con pompa a membrana o per gravità (sifonatura). Il flusso del materiale sul vaglio e il passaggio dei fini attraverso la rete possono essere aiutati con spruzzi di acqua da ugelli distribuiti opportunamente e lo stasamento delle luci aiutato per mezzo di ultrasuoni.

IL sopravaglio contiene poca acqua e può essere direttamente inviato alla sezione di essiccamento mentre il sottovaglio è scaricato in una vasca di raccolta insieme all'acqua.

Per quanto concerne il tipo di macchina da utilizzare per la setacciatura, il vibrovaglio circolare con masse eccentriche rotanti rappresenta la soluzione migliore per le granulometrie al disotto del millimetro. Esso consente una buona capacità vagliante per unità di superficie e pertanto può essere di dimensioni particolarmente contenute (diametro intorno a 50 cm) in relazione alle limitate esigenze di trattamento (100 kg/h per servire sistema di taglio convenzionale).

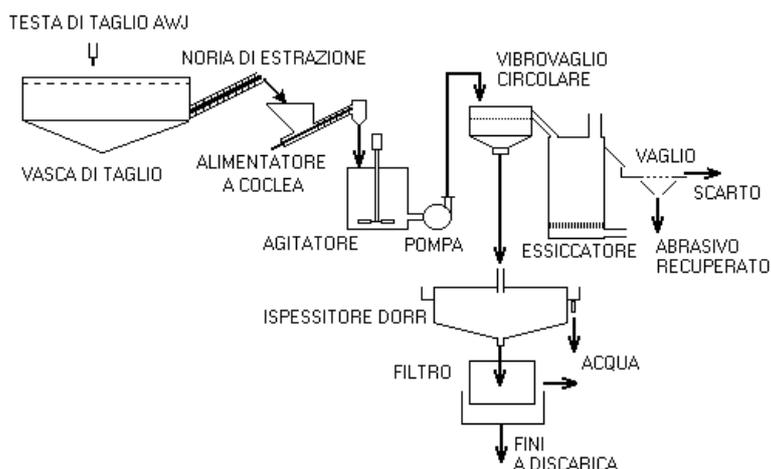


Figura 3. Flowsheet del trattamento della torbida abrasiva utilizzata nei sistemi AWJ

Lo smaltimento della torbida di rifiuto della setacciatura rappresenta la fase più fastidiosa del processo. La soluzione più semplice consiste nel semplice sversamento in un vascone all'esterno nel quale avviene la sedimentazione lenta del solido e la chiarificazione dell'acqua che può quindi essere immessa nella rete idrografica previo controllo di qualità.

Una volta raggiunto il limite di capacità del vascone l'acqua viene eliminata e si può procedere al carico con pala meccanica e al trasporto del materiale per la messa a dimora definitiva. Per minimizzare le interferenze a monte occorre prevedere la disponibilità di due comparti: uno in fase di riempimento e l'altro in fase di svuotamento.

Dovendo accelerare l'operazione per insufficienza di spazio o per esigenze organizzative si può in alternativa prevedere l'installazione di un piccolo ispessitore tipo Dorr o a lamelle, nel quale la sedimentazione può essere aiutata con l'eventuale aggiunta di flocculanti. I fanghi ispessiti contenenti circa il 30 – 40 % di acqua residua possono essere ulteriormente deacquificati fino a meno del 20% con filtro a dischi o a tamburo o con filtropressa prima di essere trasportati a discarica.

L'essiccamento del sopravaglio è un'operazione tecnicamente semplice e può essere realizzato sia in fornello tubolare con bruciatore a gas o a gasolio sia in un dispositivo a letto fluidizzato con riscaldamento elettrico o per combustione.

Gli schemi di trattamento sopra illustrati restano sostanzialmente validi indipendentemente dall'abrasivo impiegato (tipo e granulometria) e dal materiale tagliato. Le macchine infatti presentano una buona flessibilità e possono essere regolate per tener conto delle variazioni del flusso del materiale attraverso il circuito.

Tuttavia è da evidenziare che le caratteristiche del rifiuto finale da sistemare in discarica possono porre particolari problemi nel caso di presenza di elementi nocivi (metalli pesanti) derivanti dall'abrasivo o dal materiale tagliato che possono concentrarsi nei fini. Questo comporta la necessità di inertizzare il rifiuto o di sostenere maggiori costi di messa a dimora in discariche apposite.

Il recupero di abrasivo e quindi il dimensionamento corretto delle macchine e l'aggiustamento del circuito dipende anche dalle condizioni di lavoro (il recupero in generale cresce al diminuire della pressione e all'aumentare della portata di abrasivo), con particolare riferimento alla fase di essiccamento nel caso dei sistemi di taglio ad abrasivo aspirato. In particolare occorre valutare l'impegno energetico necessario e adeguare conseguentemente le dimensioni del fornello in relazione alla capacità di essiccamento necessaria e al tempo di permanenza.

E' infine da segnalare che lo schema di trattamento per il recupero e il riciclo dell'abrasivo può essere in certa misura influenzato anche dal programma di produzione. Una variazione frequente del tipo di abrasivo utilizzato e del materiale tagliato può infatti comportare la necessità di prevedere opportune integrazioni di impianto per una migliore selezione della qualità dell'abrasivo da riciclare.

Questa può essere realizzato con apparecchi che eseguono una separazione per densità (tavole vibranti nel caso di operazione a umido; canali a letto fluidizzato nel caso di operazione a secco) o sulla base di altre caratteristiche (elettriche, magnetiche) dei componenti da separare.

4. PROVE SPERIMENTALI

Allo scopo di acquisire riscontri sperimentali sulla fattibilità pratica delle soluzioni prospettate sono state eseguite prove di trattamento sul fango prelevato dalla vasca di taglio del sistema AWJ installato presso il laboratorio Waterjet del DIGITA-UNICA costituito da numerosi componenti derivanti dal taglio di materiali vari (acciaio, alluminio, marmo, granito, plexiglas) con diversi abrasivi (garnet in parte riciclato da altre operazioni di taglio dopo ciclonatura e essiccamento, sabbia silicea).

Il campione complessivo è stato quartato e sottoposto alle seguenti operazioni in laboratorio:

- Analisi granulometrica a umido
- Essiccamento della frazione riciclabile
- Separazione magnetica a secco

Le curve granulometriche cumulate rilevate per setacciatura a umido del fango originario e dei prodotti del trattamento sono riportate nel diagramma di Figura 4 insieme quelle relative al garnet HP80 e HP 120 per un utile confronto.

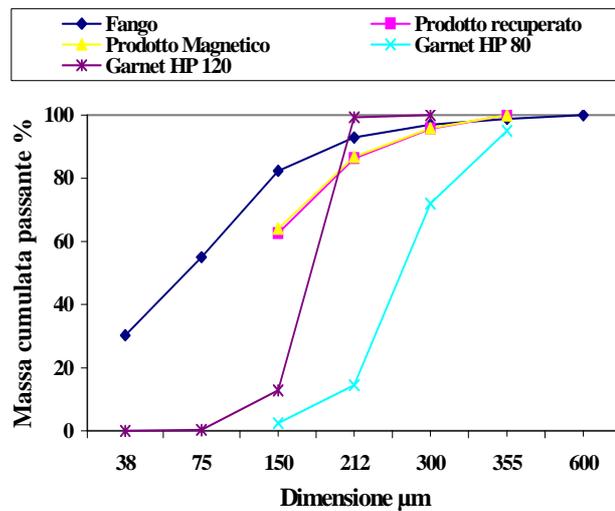


Figura 4. Curve granulometriche del campione di fango originario e dei prodotti ottenuti con vagliatura e separazione magnetica a confronto con quelle di abrasivi freschi di riferimento.

E' interessante osservare che la curva granulometrica dell'abrasivo recuperato si avvicina a quella del Barton HP120 mentre l'abrasivo di partenza era prevalentemente costituito da HP80 (gli altri abrasivi sono eliminati con la separazione magnetica).

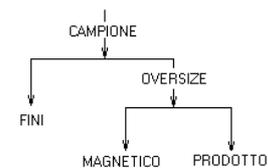
Considerando riciclabile la frazione granulometrica compresa entro gli stessi limiti dell'abrasivo originario di riferimento si ottiene un recupero sul secco pari a circa il 45%.

La separazione magnetica della stessa frazione ha consentito di concentrare un prodotto più pulito costituito essenzialmente da garnet.

I risultati delle prove effettuate sono riassunti nella Tabella 2.

Tabella 2. Prove di trattamento dei fanghi delle operazioni di taglio con AWJ (macchina TECNOCUT)

OPERAZIONE	PRODOTTI	RECUPERO [%]	
		Sull'operazione	Sul totale
Vagliatura	Frazione utile	43,88	43,88
	Rifiuto	56,22	56,22
Separazione magnetica (-355 +75 µm)	Frazione utile	84,5	37,08
	Rifiuto	37,08	16,24



Prove di taglio di eseguite su lastra di acciaio Inox (spessore 10 mm) utilizzando la frazione utile (-355 +75 µm) della vagliatura hanno dimostrato che l'abrasivo recuperato presenta un'efficacia di taglio leggermente inferiore a quella del garnet HP120, caratterizzato da una curva granulometrica simile, mentre una certa perdita di efficacia si manifesta nei confronti del garnet HP80 e HP50, come indicato dai dati della tabella 3.

Tabella3. Prove di taglio con abrasivo ricircolato.
Velocità di taglio e portata di abrasivo in condizioni di taglio passante

ABRASIVO	VELOCITA' MAX [cm/min]	PORTATA ABR. [g/min]	EROSIONE SPEC. [cm ² /g]
Barton HP50	200	291	0.687
Barton HP80	200	300	0.667
Barton HP120	200	374	0.535
Recuperato (Magnetico)	135	109	1.239

Condizioni sperimentali:

Diametro ugello primario 0,25 mm

Diametro focalizzatore 0.8 mm

Pressione alla pompa: 380 MPa

5. ASPETTI ECONOMICI

La convenienza economica di procedere al trattamento per il recupero e il riciclo dell'abrasivo utilizzato dipende essenzialmente dal recupero conseguibile, dal costo dell'operazione, dal prezzo di acquisto dell'abrasivo fresco e, in misura secondaria, dal costo di messa a dimora in discariche per rifiuti speciali.

Per i sistemi AWSJ il riciclo dell'abrasivo è sempre vantaggioso in relazione agli alti recuperi, al basso costo del trattamento e al rilevante impiego di abrasivo, almeno per quanto riguarda le macchine attualmente disponibili nel mercato che lavorano a bassa pressione (<70 MPa).

Per quanto riguarda l'ipotesi di impianto studiata per i convenzionali sistemi AWJ con abrasivo aspirato, articolata secondo il flowsheet di figura 3, il quadro economico può essere riassunto come segue:

A. Costi di investimento

- Macchine (noria di estrazione, setacciatrice, essiccatore)	25 Mlit
- Accessori (pompa a membrana, coclea di alimentazione, vasca di agitazione etc.)	5 MLit
- Trattamento fanghi di rifiuto (addensatore, filtro)	30 MLit
Totale parziale	60 MLit
- Collegamenti (idraulici, elettrici)	15 MLit
- Montaggio e spese varie (40% costo macchine)	22 MLit
Totale parziale	37 Mlit
Totale generale	97 MLit

B. Costi orari di esercizio

(capacità di trattamento: 500 kg/h; tempo di funzionamento: 1 h/d)

- Manodopera (impegno parziale 30%)	15 kLit/h
- Energia elettrica (10 kW)	2 kLit/h
- Gasolio per l'essiccatore (10 l/h)	10 kLit/h
- Forniture e ricambi (rete vaglio, lubrificanti)	1 kLit/h
Totale parziale	28 kLit/h
- Ammortamenti (5 anni x 250 h)	78 kLit/h
Totale generale	106 kLit/h

C. Costo unitario dell'abrasivo recuperato

Dipende dalla quantità trattata (portata di alimentazione all'impianto) e soprattutto dal recupero conseguibile. La sensibilità del costo in funzione di questi due parametri può essere apprezzata dai dati riportati nella tabella 3.

Tabella 3. Sensibilità del costo di trattamento per kg di abrasivo recuperato

TRATTATO [kg/h]	RECUPERO CONSEGUITO [%]			
	20	40	60	80
100	5.300	2.650	1.765	1.325
200	2.650	1.325	883	663
300	1.765	883	588	442
400	1.325	663	442	331
500	1.060	530	353	265

Assumendo un prezzo medio dell'abrasivo fresco pari a 1.500 Lit/kg (esso varia a seconda del tipo di abrasivo, della localizzazione dell'utente, dell'entità del lotto ordinato, del canale commerciale seguito), il campo di convenienza economica nell'ipotesi di pari efficienza di taglio è indicato dall'area ombreggiata della stessa tabella 3.

Ovviamente occorrerebbe tener conto anche dell'onere di smaltimento del rifiuto fine (30 Lit/kg secondo le informazioni fornite dal Ministero Ambiente). La sua considerazione tuttavia non sposta sensibilmente il risultato essendo la sua incidenza trascurabile in prima approssimazione. Il trattamento diminuisce comunque l'onere di messa a dimora del rifiuto residuo e risulta a maggior ragione vantaggioso anche per questo aspetto.

L'esame della tabella 3 suggerisce che:

- Non sembra conveniente effettuare il trattamento per valori bassi del recupero
- E' vantaggioso concentrare il trattamento facendo marciare l'impianto "per campagne" a piena capacità (per esempio una volta al giorno per il tempo necessario)

Recentemente un costruttore americano (la Easijet di Tallmadge, Ohio) ha proposto in piccolo impianto integrato mobile denominato WARD 24 (Waterjet Abrasive Recycling Dispenser) composto da:

- Un dispositivo di formazione e alimentazione della torbida abrasiva con iniezione di aria compressa
- Un vibrovaglio circolare da 50 cm di diametro
- Un essiccatore a letto fluidizzato riscaldato elettricamente
- Un vaglio lineare per l'eliminazione della frazione eccedente il "top size"

La potenza installata è di circa 30 kW gran parte della quale assorbita dal riscaldamento mentre la capacità di trattamento può arrivare fino a 200 kg/h con un valore dell'abrasivo recuperato, nell'ipotesi di un prezzo di acquisto dell'abrasivo fresco di 0,35 US\$/lb (circa 1.500 Lit/kg), variabile tra 21 e 46 US\$/h a seconda del recupero e del trattato orario.

6. CONCLUSIONI

Il trattamento per il recupero e il riciclo dell'abrasivo risulta conveniente a patto che:

- L'impianto sia di capacità adeguata per poter consentire la concentrazione dell'operazione in un tempo limitato senza interferire con la normale attività lavorativa
- Il recupero di abrasivo riciclabile sia sufficientemente elevato
- I fanghi siano di composizione semplice per non complicare lo schema di trattamento

RINGRAZIAMENTI

Lavoro sviluppato nell'ambito del progetto CRAFT (Contratto CCC N° BRE2-CT93-0761) nel quadro dei programmi di ricerca MURST e CNR in collaborazione con l'EMSa

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

N. S. Guo, H. Louis, G. Meier, J. Ohlsen: Recycling capacity in Abrasive Water Jet Cutting in Jet Cutting Technology (A. Lichtarowicz Ed.) Kluwer Acad. Publish. 1992, pp 503-523

CRAFT Project : Abrasive Water Jet Cutting of Stones, Contract No. BRE2-CT 91.0761, 1994 (unpublished report)

Easijet: Opuscolo illustrativo WARD 24