

Realizzazione di diaframmi e paratie senza asportazione di terreno Il CSM – Cutter Soil Mixing

Bringiotti M.
GeoTunnel S.r.l.

Nicastro D.
GeoTunnel S.r.l.

SOMMARIO

Il Cutter Soil Mixing (CSM - taglio e miscelazione del terreno) è una recente tecnologia ideata da Bauer Maschinen per la realizzazione di pannelli rettangolari di terreno consolidato mediante miscelazione in posto con un legante, al fine di realizzare strutture portanti o diaframmi idraulici; tale sistema è stato studiato e realizzato unendo le conoscenze del trattamento dei terreni, noto come Deep Mixing Method – DMM, e lo scavo di pannelli con la tecnologia delle Idrofres. Mescolare delle miscele cementizie con il terreno utilizzando la tecnologia CSM è un nuovo ed efficace metodo per realizzare paratie di ritenuta e/o sostegno, diaframmi impermeabili e per il miglioramento delle caratteristiche meccaniche dei terreni, nelle gallerie artificiali, nei parcheggi sotterranei, nelle discariche, ecc.; molte di queste opere richiedono anche una paratia di tenuta ai liquidi per limitare la migrazione di contaminanti o l'abbassamento della falda ed il suo ripercuotersi sulla stabilità dei terreni e delle costruzioni. Inoltre, il CSM è un metodo particolarmente valido per la stabilizzazione di sabbie sciolte e come strumento per mitigare fenomeni di liquefazione in zone di attività sismica.

Parole chiave: CSM, Soil Mixing, Diaframma, Bauer, GeoTunnel

1 DMM – DEEP MIXING METHOD

Il miglioramento della resistenza meccanica e delle caratteristiche idrauliche dei terreni è generalmente perseguito con una serie di tecniche che rientrano nella definizione di “consolidamento dei terreni”, tra cui la “compattazione dinamica”, il “precarico” associato al “drenaggio profondo”, le “iniezioni di miscele a bassa pressione”, il “jet grouting” e la “miscelazione meccanica profonda” o “deep mixing”.

Deep mixing è un termine generico che individua vari metodi di consolidamento in cui i leganti, calce e/o cemento, vengono mescolati meccanicamente con il terreno. Tale trattamento prevede generalmente che il terreno venga mescolato in sito mediante un utensile rotante formando delle colonne che presentano caratteristiche di resistenza, deformabilità e permeabilità migliori del terreno circostante non trattato.

1.1 Il processo di miscelazione in sintesi

Il processo di miscelazione nel deep mixing è molto complesso e comprende varie fasi. Lo scopo è diffondere il legante nel terreno in modo da creare le condizioni migliori affinché avvengano le reazioni chimiche di idratazione. E' importante quindi che la diffusione del

legante sia il più possibile uniforme nel volume della colonna, sia in direzione longitudinale che trasversale, per ottenere ovunque le medesime caratteristiche.

Il processo esecutivo del deep mixing può essere diviso in tre fasi principali: 1) penetrazione dell'utensile di miscelazione alla profondità richiesta; 2) dispersione del legante; 3) diffusione molecolare.

2 IL CSM – CUTTER SOIL MIXING

La novità consiste in una metodologia che abbina la tecnica del deep mixing a quella di scavo a mezzo di idrofresa; si realizza uno scavo a pannelli rettangolari attraverso l'uso di teste fresanti equipaggiate con denti taglienti anziché utensili montati su uno o più alberi verticali rotanti che producono colonne circolari.

L'idea di abbinare i due sistemi ha portato allo sviluppo della tecnologia CSM (Cutter Soil Mixing); l'intervento di consolidamento eseguito tramite questo sistema può essere finalizzato alla realizzazione di strutture portanti o diaframmi a scopo idraulico: pannelli isolati possono essere utilizzati come pali e pannelli secanti tra loro possono formare una paratia continua strutturale oppure, a seconda delle necessità, un diaframma plastico ai soli fini idraulici. Per la realizzazione di opere strutturali si può

prevedere l'introduzione di tubi, palancole o putrelle di rinforzo all'interno dei pannelli stessi.

I metodi DMM sono utilizzati principalmente per il trattamento di terreni teneri (coesivi e non-coesivi). Il metodo CSM estende l'utilizzo del DMM anche ai terreni più consistenti ed alle rocce tenere.

I principali vantaggi sono:

- l'alta produttività;
- l'utilizzo del terreno stesso come materiale da costruzione;
- la produzione di materiale di risulta contenuta (importante nelle zone di terreni contaminati);
- il metodo non genera vibrazioni;
- la possibilità di raggiungere profondità elevate con le attrezzature sospese su fune.

3 LA TECNOLOGIA

La tecnologia CSM fa uso di due set di ruote fresanti che girano su di un asse orizzontale per produrre pannelli rettangolari: due sistemi di trasmissione sono connessi ad uno speciale supporto il quale, a sua volta, viene collegato e connesso ad una prolunga "Kelly". Il Kelly è montato sul mast principale della macchina di scavo per mezzo di due slitte che guidano ed estraggono l'utensile e, se necessario, lo ruotano. In alternativa al Kelly può essere utilizzato il sistema sospeso a fune che permette di raggiungere profondità maggiori.

In Fig. 1 sono visibili, nello stesso cantiere, in primo piano un CSM su kelly ed a destra un modello sospeso.



Figura 1. Stazione AV di Bologna (Astaldi)

Durante la fase di discesa delle teste fresanti il terreno viene frantumato e disgregato dalle ruote mentre al contempo la miscela cementizia viene iniettata tramite un apposito ugello tra le teste stesse; in fase di estrazione le teste fresanti ruotano in maniera tale da mescolare il legante con il terreno e formare un pannello rettangolare.

4 LE ATTREZZATURE

La macchina CSM è costituita dai seguenti componenti principali:

- il gruppo fresante BCM con quattro ruote dentate;
- un sistema di guida e di collegamento del gruppo fresante alla macchina base;
- la macchina base.

Il sistema è modulare ed i vari elementi possono venire intercambiati per adattare le attrezzature alle condizioni diverse dei cantieri (terreni, profondità, dimensioni dei pannelli).

4.1 Gruppo fresante BCM

Il gruppo fresante BCM è basato sulle tecnologie delle idrofresce Bauer, con analoghe motorizzazioni e riduttori. I motori idraulici sono contenuti in una struttura impermeabile che incorpora anche la strumentazione elettronica, composta principalmente da sensori di misurazione della pressione esterna e strumenti che misurano la verticalità lungo gli assi X-Y (e Z), la coppia trasmessa e la velocità di rotazione.

Due gruppi fresanti sono disponibili per coprire un'ampia gamma di applicazioni:

- BCM 5, per applicazioni di media entità e terreni facili.
- BCM 10, progettata per i pannelli di dimensioni più grandi e per elevate profondità di trattamento; l'alta coppia disponibile ed il maggior peso di questa macchina la rendono ideale per i terreni più difficili.

Le principali caratteristiche del gruppo fresante BCM vengono riportate in Tab. 1.

Tabella 1. Dati tecnici di sintesi dei moduli fresanti CSM

		BCM 5	BCM 10
Coppia	kNm	0 - 50	0 - 100
Velocità di rotazione	rpm	0 - 40	0 - 35
Altezza	m	2,35	2,8
Lunghezza pannello	m	2,4	2,8
Larghezza pannello	m	0,50 - 1	0,65 - 1,2
Peso	kg	5.100	7.400

Le ruote dentate sono progettate per rompere il terreno e per amalgamarlo con la miscela cementizia. La natura dei suoli determina se sia necessario favorire la capacità delle ruote di rompere il terreno oppure di miscelarlo. Per coprire la necessità di lavorare efficacemente in materiali diversi, sono disponibili ruote con differenti dentature e geometrie, come si può evincere dalla Fig. 2.

La massima profondità raggiunta con un'asta monoblocco è di ca. 35 m, mentre la massima profondità raggiunta con il gruppo fresante sospeso su funi è superiore agli 80 m.



Figura 2. Ruote dentate del gruppo fresante BCM, da sn. Verso dx: Ruota da taglio (standard), Ruota miscelatrice e Ruota combi

4.2 Configurazioni delle macchine

Possono venire utilizzate diverse configurazioni di CSM in funzione della profondità e del tipo di terreno.

L'unità può essere collegata ad un'asta kelly monoblocco tonda; tale combinazione assemblata sulle macchine più piccole può raggiungere profondità di 12 m.

Per profondità più elevate l'asta è di sezione rettangolare ed è possibile raggiungere profondità fino a 40 m. Due carrelli di guida collegano l'asta kelly al mast della macchina base e trasmettono alla frese le spinte ed i tiri necessari per eseguire i pannelli oltre a garantire la direzionalità della macchina. Il corpo BCM può essere ruotato $+45^\circ$ e -90° rispetto all'asse dello stesso.

L'unità fresante può anche essere montata su di un telaio sospeso su fune. Per la stabilità ed il controllo direzionale una serie di piastre guida possono essere azionate idraulicamente; tale azione corregge la direzione della macchina sull'asse y durante la fase di discesa. La velocità relativa delle ruote può essere variata per controllare la verticalità sull'asse x. I sistemi sospesi su fune sono tipicamente montati su gru idrauliche (classe MC), su macchine base speciali (tipo CBC) o sulle macchine da pali (tipo BG). Questi sistemi vengono usati per trattamenti di profondità superiore a 35 m.

Mentre nel sistema con prolunga kelly la forza necessaria per la penetrazione è fornita dalla macchina operatrice che la trasmette tramite le prolunghe al corpo BCM, nel sistema sospeso su fune è il peso stesso dell'unità fresante che consente di esercitare una pressione sul terreno tale da permetterne fresatura e penetrazione.

Per raggiungere profondità elevate, > 80 m, è stata ideata un'attrezzatura sospesa su fune: il CSM QUATTRO

Per non correre il rischio d'incaglio del corpo fresa, dovuto all'indurirsi del terreno soprastante quando lo

stesso si trova ad elevate profondità, sono stati installati quattro gruppi di ruote fresanti, dei quali i due superiori consentono di riscavare e miscelare anche in fase di risalita facilitandone la fuoriuscita dal terreno (Fig. 3).



Figura 3. Attrezzatura CSM QUATTRO

4.3 Attrezzature ausiliarie

Le attrezzature ausiliarie normalmente necessarie per eseguire il lavoro senza interruzioni sono:

- Silos per lo stoccaggio di cemento e bentonite muniti di coclee temporizzate.
- Impianto di miscelazione colloidale con sistema di dosaggio ponderale, temporizzato e computerizzato.
- Pompa di alimentazione radiocomandata.
- Un escavatore ed eventualmente una gru di servizio.
- Un vibrovaglio mobile per la prima separazione del reflusso ed una pompa peristaltica per pompare il reflusso all'impianto di dissabbiaggio (sistema bifase).
- Altre attrezzature: vasconi e cisterne acqua, bentonite e gasolio, pompe acqua, box ufficio, spogliatoio ed officina, eventuale compressore, generatore e tubazioni varie.

5 PROCEDURE DI ESECUZIONE

Un prescavo viene normalmente realizzato lungo il diaframma per raccogliere lo spurgo; non è necessaria la costruzione di muretti guida però è consigliabile realizzare

un sistema di riferimento per il posizionamento della fresa.

5.1 Scavo e miscelazione

Il gruppo fresante viene infisso nel terreno ad una velocità costante. Le ruote dentate frantumano il terreno e contemporaneamente un fluido viene iniettato attraverso gli ugelli situati fra le ruote; tale fluido viene miscelato omogeneamente con il terreno stesso. La direzione di rotazione delle ruote è preferibilmente verso l'esterno (per favorire la miscelazione) ma in ogni sito può essere variata, assieme alla velocità di rotazione delle stesse, per favorire l'efficienza della macchina.

Tutto il terreno tagliato dalle ruote dentate viene fatto passare attraverso le lame fisse dove viene obbligatoriamente rifrattumato e mescolato con la miscela. La velocità di penetrazione ed il volume del fluido iniettato sono regolati costantemente dall'operatore per ottimizzare l'assorbimento di potenza e per garantire una miscela terreno/fluido omogenea e sufficientemente liquida per permettere il facile passaggio della fresa sia in fase di penetrazione che in fase di estrazione. Oltre alla miscelazione del terreno con il composto legante, in taluni casi, utilizzando il metodo Bi-fase (cioè quando la fase di penetrazione e taglio del terreno viene effettuata utilizzando solo acqua o bentonite), come elemento veicolante può essere utilizzata in aggiunta anche dell'aria compressa, utile per migliorare l'effetto di liquefazione e miscelazione del terreno e per migliorare la risalita dell'utensile.

I cicli di scavo e miscelazione possono essere eseguiti in due modi.

5.1.2 Sistema bi-fase

Durante la fase di penetrazione, il taglio, la miscelazione e la fluidificazione del terreno vengono eseguiti iniettando solamente un fango bentonitico. Lo spurgo che risulta può essere condotto ad un dissabbiatore dove sono separati i solidi dalla parte fluida che viene quindi rimessa in circolo. Quando lo spurgo risulta troppo denso per essere pompato, lo stesso può essere rimosso meccanicamente e fatto passare attraverso un vibrovaglio e la parte liquida inviata al dissabbiatore (Fig. 4).

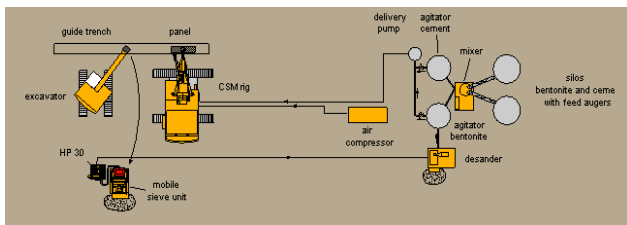


Figura 4. Schema in pianta del cantiere per la procedura con sistema bi-fase; lo spurgo denso viene rimosso meccanicamente e passato al vibrovaglio prima dell'invio al dissabbiatore

Al raggiungimento della profondità di progetto il fango bentonitico viene sostituito dalla miscela cementizia e,

generalmente, viene invertito il senso di rotazione delle ruote fresanti. Inizia quindi la fase di estrazione della macchina e la mescolazione del terreno con la miscela.

La velocità di estrazione ed il volume di miscela iniettata sono regolati per garantire il giusto rapporto miscela cementizia/ terreno e per esercitare il necessario costipamento del volume trattato. La fase di estrazione risulta molto importante perché da essa dipende l'entità della compattazione conferita al terreno.

I principali vantaggi del sistema bi-fase sono:

- maggiore sicurezza quando si lavora ad elevate profondità o quando il lavoro viene interrotto,
- minor consumo delle ruote fresanti e dei denti
- è il sistema preferito nei terreni difficili, alle profondità elevate e per i diaframmi plastici.

5.1.3 Sistema mono-fase

La miscela cementizia è iniettata nel terreno in fase di penetrazione-taglio ed anche in fase di estrazione-miscelazione; normalmente viene pompata circa il 70% del totale della miscela in fase di penetrazione. Lo spurgo raccolto nel prescavo può essere steso in cantiere per creare i piani di lavoro o viene convogliato in una vasca dove è lasciato indurire prima di essere rimosso.

Con questo sistema la velocità di estrazione è elevata in quanto la maggior parte della miscela cementizia viene iniettata nel terreno nella fase di penetrazione e taglio. I maggior vantaggi del sistema mono-fase sono:

- non servono impianti ausiliari per dissabbiare,
- alta velocità di estrazione,
- maggior semplicità operativa e maggior produttività rispetto al sistema bi-fluido
- è preferito per terreni facili, per profondità <20 m e per la costruzione di paratie di sostegno.

Per quanto riguarda un esempio relativo alle fasi esecutive si rimanda alla Fig. 5.

1. prescavo ed installazione guida
2. stazionamento macchina operatrice
3. fresatura e penetrazione del terreno
4. iniezione e miscelazione (mono o bi-fase)
5. recupero
6. inserimento armatura (paratia strutturale)
7. eventuale scavo



Figura 5. Fasi di esecuzione

5.2 Formazione di una paratia continua

Una paratia continua è formata eseguendo una serie di pannelli primari che sono quindi intersecati da pannelli secondari di chiusura. Se i pannelli secondari vengono

eseguiti quando i primari sono ancora in uno stato fluido il metodo si chiama “fresco-su-fresco”, viceversa se i secondari vengono eseguiti una volta che i primari sono induriti il metodo si chiama “fresco su duro” (ad esempio quando vi sono interruzioni nella continuità del lavoro).

A seconda del metodo utilizzato si adottano sovrapposizioni diverse in relazione alla maggiore o minore fluidità dei primari. Infatti, con il metodo “fresco su duro” è possibile realizzare paratie continue con sovrapposizioni minori tra gli elementi essendo la fresatura all'estremità del pannello indurito più precisa di quella sul fresco.

La tecnica CSM consente di realizzare anche tratti in curva.

5.3 Inserimento dell'armatura

Elementi di armatura, necessari per ragioni strutturali, possono essere infissi nei pannelli appena completati; materiali tipici sono le putrelle, i tubi o le palancole in acciaio. Queste, fino a piccole profondità penetrano normalmente sotto il proprio peso, oltre possono essere infisse con l'ausilio di un escavatore o di un piccolo vibratore (Fig. 6). La densità dell'armatura viene calcolata secondo i carichi imposti e la resistenza caratteristica della miscela terreno/cemento.



Figura 6. Infissione dell'armatura a mezzo di vibratore (Dolomiti Rocce, Vittorio Veneto)

5.4 Documentazione

Tutti i parametri di produzione sono visualizzati e registrati dal computer con sistema B-Tronic – della macchina operatrice; i dati che più frequentemente vengono utilizzati sono:

- profondità;
- flusso e quantità totale di miscela;
- pressione del flusso della miscela;
- pressione della miscela terreno/cemento ai vari livelli;
- volume miscela/tempo;
- volume miscela/profondità;

- deviazioni assi x e y;
- velocità di rotazione ruote.

Tali informazioni possono essere stampate su formati diversi per produrre un archivio di assicurazione della qualità per ogni pannello. La Fig. 7 riporta, a titolo d'esempio, le stampe di stralci di dati ed i diagrammi rilevati durante il monitoraggio delle fasi di esecuzione di un pannello.

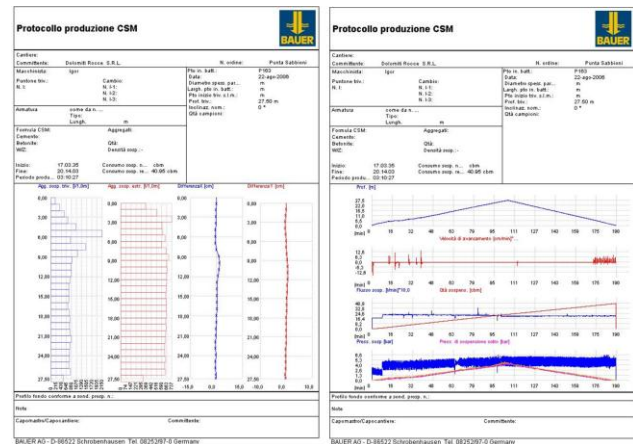


Figura 7. Diagrammi stampati dalla macchina operatrice durante l'esecuzione di un pannello

6 MATERIALI E RISULTATI OTTENIBILI

I componenti delle miscele cementizie normalmente utilizzate per la costruzione di paratie CSM sono cemento, bentonite ed acqua. E' possibile usare additivi o polimeri al posto della bentonite, cementi di altoforno ed altri materiali. La miscela cementizia viene progettata secondo i seguenti fattori:

- l'applicazione: diverse saranno le composizioni secondo lo scopo del trattamento, infatti diverse sono le proprietà richieste per i diaframmi di tenuta (resistenza, deformabilità, stabilità all'erosione, ...) e le paratie di sostegno (permeabilità, plasticità della miscela fresca, ...);
- le condizioni del terreno: granulometria, contenuto di fini, contenuto di materiale organico, peso specifico, SPT, porosità, contenuto d'acqua naturale, livello di falda, composizione chimica del terreno e contenuto chimico dell'acqua di falda.

Le proporzioni della miscela vanno determinate in seguito a prove di laboratorio prima dell'inizio dei lavori. Di seguito sono riportati alcuni valori delle proporzioni dei componenti delle miscele cementizie, dati che possono essere utilizzati come riferimento.

Chiaramente le caratteristiche di resistenza, permeabilità e composizione del terreno trattato variano a seconda dei casi specifici e vengono determinate con prove in sito ed in laboratorio. Range di valori indicativi delle caratteristiche di terreni trattati con la tecnologia CSM, per diaframmi plastici, possono essere:

- Resistenza alla compressione: 0,5-2,0 MPa

- Permeabilità: circa 1×10^{-8} m/sec
- Contenuto di cemento: 100-200 kg/m³ terreno mentre per paratie di sostegno:
- Resistenza alla compressione: 5,0-15,0 MPa
- Contenuto di cemento: 200-450 kg/m³ terreno

7 VANTAGGI DELLA TECNICA

Una peculiarità del Cutter Soil Mixing è quella di consentire il trattamento non solo dei terreni teneri (coesivi e granulari), ma anche di quelli più consistenti e delle rocce tenere. Il metodo offre una serie di vantaggi rispetto alle tradizionali tecnologie in uso fra cui:

- Utilizzo dello stesso terreno trattato come materiale di realizzazione dell'opera.
- In condizioni stratigrafiche omogenee, il sistema CSM conduce alla realizzazione di pannelli di terreno consolidato con caratteristiche costanti. In condizioni stratigrafiche eterogenee, i pannelli potranno ottenere caratteristiche meccaniche similari variando i parametri volumetrici di immissione nel terreno della miscela legante.
- Il sistema CSM consente di ottenere una geometria dei pannelli regolare (rettangolari) e predeterminata attraverso la dimensione e la posizione delle ruote fresanti.
- La metodologia non genera significative vibrazioni (importante quando si lavora nei terreni teneri vicino a strutture e servizi esistenti).
- Nel suolo ghiaioso sabbioso, anche impiegando grossi volumi di miscela, non si verificano fenomeni di refluitamento. La lavorazione, in questo tipo di terreno, può dunque essere considerata "pulita". Operando in materiali limoso argillosi, si verifica invece un refluitamento variabile dal 20 al 60% (in funzione della geologia e della metodologia operativa) rispetto al volume di terreno trattato.
- L'iniezione dei materiali impiegati durante le fasi di perforazione e trattamento avviene senza asportazione di terreno. Questo consente di operare anche in prossimità di manufatti, scongiurando potenziali fenomeni di cedimento del terreno circostante. Poiché il volume di materiale immesso nel terreno è ridotto e le pressioni di iniezione sono estremamente basse, i possibili fenomeni di sollevamento diventano nulli o trascurabili.
- Con le attrezzature sospese su fune si possono raggiungere grandi profondità (superiori agli 80 m).
- Possibilità di impiego in situazioni particolari (esempio: presenza di sottoservizi, vedi Fig. 8).

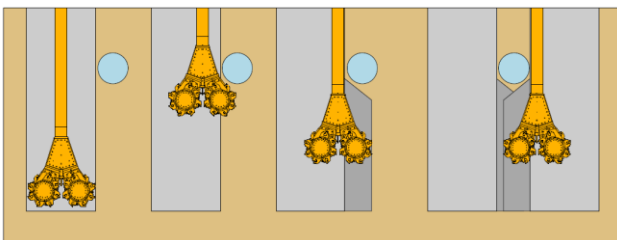


Figura 8. Superamento dei sottoservizi

7.1 Confronto CSM vs. tecniche DMM Rotary

Rispetto alle realizzazioni deep mixing con tecniche rotary tradizionali, con il CSM si ottengono direttamente paratie e diaframmi strutturali di geometria regolare con sfridi praticamente inesistenti.

I pannelli rettangolari, se confrontati con una serie di colonne contigue o intersecanti, offrono un buon numero di vantaggi: sul piano strutturale, comparando la sezione rettangolare del pannello con una serie di colonne contigue o intersecanti di diametro equivalente allo spessore del pannello, constatiamo che la forma rettangolare è molto più efficiente. Inoltre, le aree di terreno trattato in compressione e tensione sono maggiori ed il braccio di leva dei pannelli rettangolari è superiore (questo implica un maggiore momento di resistenza).

Quando consideriamo un muro di colonne secanti, i diametri delle colonne devono essere più grandi dello spessore del pannello rettangolare per produrre una sezione di larghezza equivalente. Questo significa che quando usiamo la tecnica CSM tratteremo una quantità minore di terreno per ottenere lo stesso effetto. Chiaramente questo significa risparmiare energia e materiale, come si evince dallo schema di Fig. 9.

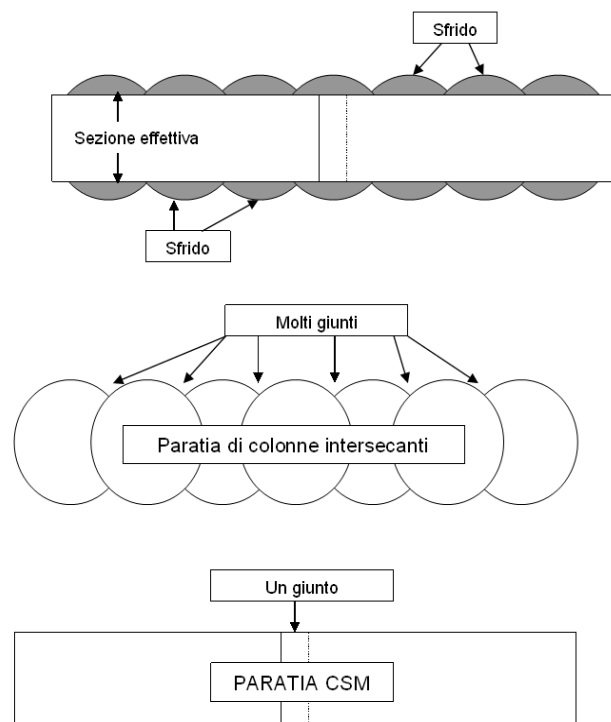


Figura 9. Confronto CSM con DMM; > efficienza e < costo

Inoltre, riguardo i diaframmi idraulici nei quali è di fondamentale importanza la corretta realizzazione dei giunti ai fini della tenuta, la tecnologia CSM permette la realizzazione di elementi continui con adeguate sovrapposizioni dei pannelli senza particolari problemi. Nei diaframmi di colonne intersecanti, invece, ottenere la continuità risulta più difficoltoso essendo maggiori il numero di giunzioni presenti a parità di estensione del

diaframma. Se progettiamo dei pannelli da utilizzarsi come muro di ritenuta, il singolo pannello in CSM è continuo per 2.400 mm (2.800 mm) della sua lunghezza, mentre un muro equivalente di pali secanti ha per lo meno tre giunzioni. Ovviamente il rischio di perdite attraverso un pannello costruito con la tecnica CSM è estremamente ridotto.

Un'altra possibilità del Cutter Soil Mixing è quella di permettere il posizionamento dei profilati di armatura nelle paratie strutturali, a seconda delle esigenze, sia al centro del pannello che in prossimità del bordo. Nei trattamenti rotary invece i profilati trovano collocazione esclusivamente in asse alle colonne.

Esistono ulteriori vantaggi che il metodo CSM e le macchine impiegate per attuarlo offrono quando comparate con le tradizionali eliche o pale rotanti: con il CSM le uniche parti in movimento sono le ruote fresanti, il che permette di montare all'interno del gruppo di trasmissione strumentazioni elettroniche che forniscono informazioni in tempo reale sulla situazione alla quota di scavo: verticalità, deviazioni, sovra pressioni interstiziali generate nel terreno, ecc.; inoltre, poiché l'asta monoblocco non ruota, non sono presenti perdite di energia dovute all'attrito tra asta e terreno trattato come nei tradizionali metodi DMM.

8. ALCUNE ESPERIENZE ITALIANE

8.1 Avigliana, TO – Cipa S.p.A. & Injectosond S.r.l.

Realizzazione dell'accesso a un sottopasso stradale alla linea ferroviaria, con muri di contenimento eseguiti con sistema CSM (limi sabbiosi/argillosi, H=10 m, S=0,5 m).



8.2 Borgo Sesia, VC – Vipp Lavori S.p.A.

Realizzazione di pozzi per fondazioni a pile di un viadotto stradale Anas (ghiaie localmente cementate, H=18 m).



8.3 Treporti, VE – MOSE, Mantovani S.p.A.

Il diaframma perimetrale di cinturazione nella sponda lato terraferma è stato realizzato tramite la tecnologia CSM (sabbie e limi argillosi, 14.000 mq, H=28 m, S=650 mm).



8.4 Priolo, SR – Vipp Lavori S.p.A.

Realizzazione di un diaframma impermeabile per il contenimento di inquinanti costituiti da idrocarburi (40.000 mq, H=16/18 m, S=500/650 mm).



8.5 S.Giorgio di Nogaro, VE – Taverna S.p.A.

Costruzione in situ di un muro continuo di materiale miscelato per la delimitazione di aree inquinate (riporti ed argilla, vari interventi a varie H e S ...). Nelle aree di intervento bonificate si è proceduto in seguito a realizzare nuovi complessi industriali.



8.6 Palazzo del Cinema, Lido di VE – Icop S.p.A.

Realizzazione di opere di fondazione,, permeabilità garantita pari a $k = 1 \times 10^{-9}$ m/s, in sabbie, ghiaie ed argille fronte mare (H=18-24 m, S=650 mm).

Le travi di armatura posate in opera sono state della tipologia IPE 500, collegate e rinforzate tra di loro a gruppi di 4, di lunghezze sfalsate a coppie.

La media di produzione si è attestata sui 120 m²/g.



BIBLIOGRAFIA

- Bringiotti M., Settembre e Dicembre 2004, *Dal Cutter Soil Mix al Triple Auger*, Quarry & Construction, Edizioni PEI, Parma
- Fiorotto R., Bringiotti M., 2005, *CSM – Cutter Soil Mixing; una nuova tecnologia per eseguire il “Soil Mixing” nel campo della costruzione di gallerie artificiali ed opere varie nel sottosuolo mediante paratie di tenuta e di sostegno*, Convegno SIG “Gallerie nelle infrastrutture di trasporto – Le grandi opere in Italia”, Samoter Veronafiere (VR) 5 maggio 2005
- Bringiotti M., Ottobre 2006, *Recenti Cantieri innovativi in Italia*, Quarry & Construction, Edizioni PEI, Parma
- Bringiotti M., Dossi M., Nicastro M, *Miscelazione profonda dei terreni; metodi classici e tecnologie innovative CSM by Bauer*, Ottobre 2008, Quarry & Construction, Edizioni PEI, Parma
- Bringiotti M., Carraro S., Dalle Coste A., Nicastro D., *La tecnologia Bauer nel Passante di Mestre*, Febbraio 2009, Quarry & Construction, Edizioni PEI, Parma
- Bringiotti M., *Geotecnica e Macchine da Perforazione - Metodologie ed Innovazioni*, Edizioni PEI, Parma, 2010

ABSTRACT

CSM – CUTTER SOIL MIXING – FOR THE CONSTRUCTION OF DIAPHRAGM WALLS WITHOUT MATERIAL EXCAVATION

Keywords: CSM, DMM, Diaphragm,

The CSM technique is really an innovative system for the construction of retaining walls, which can be designed for water proof or structural (and both) purposes.

This technology is quite recent and it has been invented and optimised by Bauer Maschinen in order to build rectangular panels of mixed in place material. The system has been studied and realized matching the knowledge on the DMM (Deep Mixing Method) and diaphragm excavation by trench cutter.

Mixing cement grout with the ground using CSM is a new and efficient method to build active walls, to increase the geomechanical properties of the materials treated, to realize underground spaces, tunnel walls, etc..

The system is really interesting in case of polluted area, in order to create water proof barriers, able to intercept contaminated fluids; the principle is also valid in case of need to stabilize the water table for foundations works.

It is also and frequently used to mitigate liquefaction phenomena in seismic areas, also for very high depth.

The technique is much more efficient if compared to the classic DMM, for reasons linked to working precision, stability, absence of vibrations and over pressures, poor production of overflow materials, very good working cycle and optimum usage of costly mixing materials.

In Italy this technology has been used in various situations, some of them quite peculiar, like for the MOSE project, high speed train station construction, viaduct deep shaft foundation works, complete encapsulation of polluted refineries and various other references.