

1) Definizione di un diaframma

Uno dei problemi, abbastanza frequenti e non sempre di facile soluzione che l'ingegneria delle fondazioni è chiamata ad affrontare è l'intercettazione o l'isolamento di falde sotterranee in terreni immersi.

Queste opere d'intercettazione (schermi) possono essere di vario tipo, e la loro scelta è condizionata dalle caratteristiche del terreno e dalla natura della struttura principale.

I sistemi generalmente più usati sono i seguenti:

- A) Schermo d'iniezioni cementizie o chimiche
- B) Palancolati di contenimento (in acciaio, calcestruzzo, o legno)
- C) Diaframmi gettati in opera di calcestruzzo o altri materiali

Con diaframma (o paratia) s'intende quindi un particolare tipo di schermo sotterraneo impermeabile.

Esso è realizzato in calcestruzzo o altri materiali gettati in sito, previo idoneo scavo del terreno cui il calcestruzzo si sostituisce. Sostanzialmente esso è un setto impermeabile verticale di spessore ridotto, rispetto alla sua estensione in profondità, che in molti casi può essere notevole.

Nel caso di diaframmi in c.a. a lui sono affidate anche funzioni statiche, anzi nel tempo queste ultime hanno in sostanza assunto un ruolo predominante.

2) Cenni generali sull'applicazione dei diaframmi in c.a.

Come sopra accennato il diaframma in c.a. è una struttura del tutto simile ad un muro in cemento armato che al posto di estendersi in elevazione si sviluppa in profondità e del quale assume anche le funzioni.

Le sue applicazioni quindi sono:

- A) Schermo impermeabile per intercettazione di falde sotterranee per esempio: taglione in profondità d'opere di sbarramento, cintura perimetrale a scavi profondi ecc.
- B) Opere di sostegno per es.: muro di sostegno di pareti a protezione di scavi, difesa al piede di argini o scapate, muro di contenimento di banchine o moli ecc.
- C) Elementi portanti per fondazioni indirette per es.: singoli pannelli a sezione rettangolare, croce, T o a stella, usati in alternativa ai pali.

3) Dimensioni e forme correnti

Il diaframma in c.a. è nato dalla necessità di migliorare la tura allora esistente usata in alternativa al palancolato metallico, costoso e non sempre utilizzabile.

Questa tura era una struttura discontinua per lo più costituita da uno schermo di pali accostati, generalmente in legno o calcestruzzo, di scarsa affidabilità soprattutto per quanto riguarda la tenuta idraulica.

Il diaframma invece essendo realizzato da una struttura continua formata da elementi verticali monolitici a sezione per lo più rettangolare, contigui e opportunamente giuntati fra loro è in grado di offrire una sicura garanzia di impermeabilità.

Le forme e le dimensioni più in uso sono le seguenti:

A) Diaframmi lineari

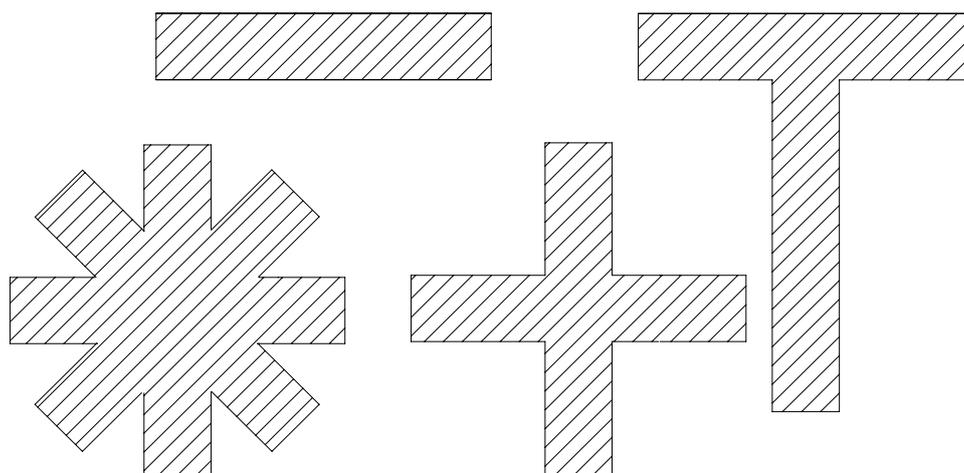
Sono una serie di elementi contigui a sezione rettangolare (chiamati pannelli) il cui lato più breve (spessore) è compreso generalmente tra i 50 e i 120 cm. Il lato più lungo varia da 2 a 6 MT

B) Diaframmi a T

Sono costituiti da elementi di sezione a forma di T di spessore generalmente non superiore al metro. La dimensione dell'ala si aggira intorno ai 3 metri, mentre il gambo è di lunghezza variabile, comunque in genere ha le stesse dimensioni dell'ala.

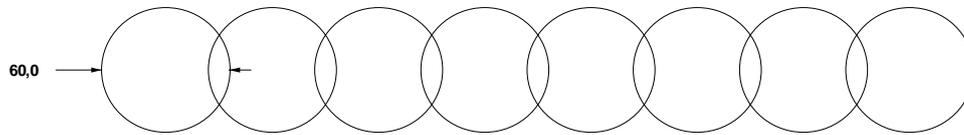
C) Diaframmi a stella e a croce

Sono essenzialmente utilizzati come elementi portanti in sostituzione di pali, per essi valgono le stesse dimensioni indicate per gli elementi a T.



D) Diaframmi a pali

Si usano ancora, e solo in casi particolari, diaframmi costituiti da una serie di elementi cilindrici o simili compenetranti tra loro. Questi tipi di diaframma sono stati quelli che hanno dato l'avvio al nascere di nuove tecnologie nell'esecuzione di ture sotterranee impermeabili portando in seguito alla realizzazione degli attuali diaframmi. Generalmente questi diaframmi sono costituiti da pali in c.a. aventi, il più delle volte, un diametro di 60 cm e intersecandosi tra loro migliorano il collegamento tra palo e palo agli effetti di una maggiore tenuta idraulica.



4) Carichi

Come già detto al diaframma in c.a. sono stati affidati nel tempo oltre che funzioni di schermo impermeabile anche funzioni statiche essendo risultato che esso, nonostante il particolare ambiente nel quale viene realizzato il getto, si comporta come una normale struttura in c.a.

Normalmente i carichi verticali applicati non debbono indurre nel calcestruzzo sollecitazioni per compressione superiori a $40 \square 50 \text{ Kg/cm}^2$.

Queste strutture sono in grado di sopportare sollecitazioni flessionali e taglianti di entità tale che le tensioni ideali non eccedono $80 \square 90 \text{ Kg/cm}^2$. A titolo indicativo riassumiamo qui sotto una tabella dei carichi che possono essere applicati ad un metro corrente di diaframma lineare in funzione dello spessore e dell'armatura.

Spessore (cm)	60	80	100	120
Armatura (Kg/m^2)	60	65	70	75
Carico verticale (ton)	30	35	45	55
Momento flettente (ton x MT)	60	80	110	145

Nel caso di diaframmi a T, aumenta, come è intuibile, la capacità di sopportare momenti flettenti più elevati; per esempio, pannelli di 80 cm di spessore a T con ala da 3,50 mt, sono stati in grado di sopportare $400 \pm 420 \text{ ton. per metro}$.

5) Terreni nei quali i diaframmi sono realizzati e fasi esecutive

Salvo casi particolari, i diaframmi sono richiesti per realizzare schermi impermeabili o opere di sostegno e molto più frequentemente sono chiamati a svolgere entrambe le funzioni. I terreni che richiedono il loro impiego sono quindi generalmente costituiti da formazioni permeabili, quasi sempre di natura alluvionale, o di scarsa stabilità o spingenti (per esempio argille). Tutti questi terreni però devono possedere determinati requisiti, in assenza dei quali non è possibile costruire i diaframmi attraverso di essi, a meno di non ricorrere a interventi preventivi costosi ed a volte di esito incerto.

I terreni quindi devono essere:

A). Di facile scavo terreni con trovanti o blocchi rocciosi non sono quindi indicati.

B). A tenuta di fango bentonitico usato per sostenere le pareti dello scavo in fase di esecuzione, terreni clastici, alluvioni grossolane prive di elementi fini, zone interessate da canalizzazioni sotterranee non preventivamente occluse, non permettono quindi l'esecuzione di diaframmi.

C). Terreni di consistenza non inferiore a determinati valori ($R_p \square \square \text{ Kg / cm}^2$) in particolare i terreni fangosi richiedono un attento studio preliminare delle loro caratteristiche prima di decidere la costruzione di un diaframma in essi. Per la costruzione dei diaframmi sono state messe a punto varie tecnologie, comunque tutte quante hanno in comune le seguenti fasi esecutive:

1ª Fase) Scavo del terreno in profondità a sezione obbligata. Per stabilizzare le pareti dello scavo viene utilizzato un fango generalmente a base di bentonite, con il quale si mantiene costantemente colmo lo scavo in corso. Si realizza cioè lo scavo del terreno e la sua immediata sostituzione con fanghi stabilizzanti

2ª Fase) Posa in opera a scavo ultimato di armature in tondino di ferro già assemblate fuori opera in apposite gabbie, e degli eventuali casseri recuperabili a getto ultimato per la formazione dei giunti.

3ª Fase) Getto dello scavo di calcestruzzo generalmente con il sistema "contractor". In questa fase si effettua la totale sostituzione del fango stabilizzante di perforazione con il calcestruzzo. Il calcestruzzo in tal modo si sostituisce al fango bentonitico e successivamente a presa avvenuta costituisce assieme all'armatura in ferro, il diaframma in c.a.

Praticamente le varie tecnologie esecutive dei diaframmi, messe a punto nel tempo, variano tra loro per il sistema usato per effettuare lo scavo che deve essere stabile, a sezione obbligata ed a pareti verticali, e così pure non si differenziano nelle fasi di posa in opera delle armature e getto del calcestruzzo. Ci soffermeremo quindi sui vari metodi di scavo utilizzati a partire dai primi, fino ad arrivare a quelli attualmente in uso, illustrando in particolare le fasi 2 e 3.

6) Tecniche esecutive

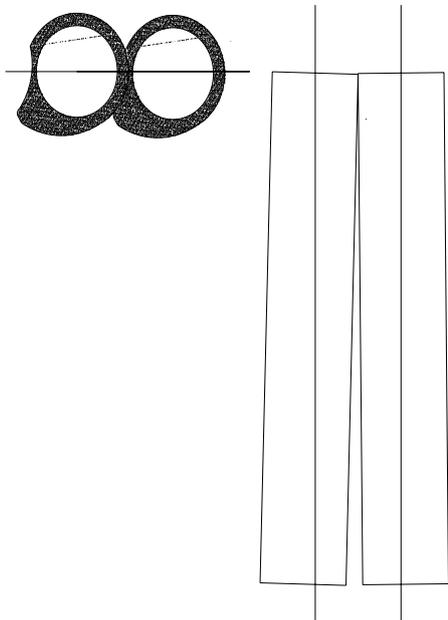
Brevi cenni storici

L'inizio della moderna tecnologia dei diaframmi può essere fissato nell'anno 1950 quando l'impresa di fondazioni ICOS si aggiudicò l'appalto per la costruzione di un diaframma a pali secanti in c.a. attraverso l'alveo del fiume Volturno a Venafro nei pressi di Caserta.

In questa occasione, per la prima volta in un'opera idraulica venne utilizzato, durante l'esecuzione dei pali di una tura, il sistema di perforazione senza rivestimento dello scavo con l'impiego di fanghi bentonitici stabilizzanti già utilizzato lungamente nel campo delle trivellazioni petrolifere. Tutti i successivi perfezionamenti e le innovazioni che hanno portato agli attuali diaframmi a pannelli presero l'avvio da questa prima applicazione.

Paratia a pali secanti

Questo tipo di diaframma rappresenta il coronamento di una lunga serie di tentativi precedenti volti alla ricerca di un miglioramento della classica tura a pali accostati ($\varnothing 420 \pm 500$) la quale non era in grado di garantire la tenuta idraulica richiesta. Infatti la zona di tangenza dei pali, anche perfettamente verticali era comunque di così esigua consistenza da non formare un valido schermo al passaggio dell'acqua; inoltre, poiché la perforazione tubata il più delle volte devia dalla verticale, in profondità i pali divergono fra loro rendendo la tura discontinua e permeabile. Vennero perciò escogitati vari sistemi per migliorare la zona di tangenza dei pali. In pratica si cercò di rendere i pali compenetranti sia ponendo in opera in un preforo tubato un prefabbricato sagomato, sia impiegando nell'esecuzione delle perforazioni, colonne di rivestimento non più a sezione circolare ma di particolare forma con lunette in modo da realizzare quel maggior contatto o incastro dei pali tra loro.



Tutti questi sistemi trovarono però un ostacolo insormontabile nell'impossibilità pratica di mantenere la verticalità ai prefori eseguiti, per cui in profondità si verificavano gli stessi inconvenienti di distacco degli elementi incastro dei pali tra loro. Tutti questi sistemi trovarono però un ostacolo insormontabile nell'impossibilità pratica di mantenere la verticalità ai prefori eseguiti, per cui in profondità si verificavano gli stessi inconvenienti di distacco degli elementi già registrate nelle ture dei pali tangenti. Questi metodi ormai caduti in disuso sono citati per evidenziare quella che fu la sostanziale innovazione nella tecnica esecutiva apportata dalla ICOS nel lontano 1950 cioè l'introduzione di un sistema di perforazione non più tubato che permise l'esecuzione di fori verticali. Il diaframma venne così realizzato:

a) I pali erano secanti tra loro, il diametro di 60 cm e con interasse di 50 cm e la paratia veniva realizzata in due fasi.

Nella prima fase si eseguiva un certo numero di pali isolati, con interasse doppio di quello sopra indicato SERIE DISPARI. Nella seconda fase si eseguivano i pali intermedi che si incastravano nei pali della prima serie scalpellando e asportando il calcestruzzo dei pali laterali SERIE PARI.

b) Il sistema di perforazione adottato era quello a percussione canadese con aste cave, senza rivestimento del foro e con impiego di fanghi stabilizzanti bentonitici in circolazione diretta. Con questo sistema si ottenne una paratia a pali compenetranti e quindi vi fu un notevole miglioramento del giunto fra palo e palo ed inoltre sicuramente impermeabile per tutta la sua profondità data la sicura verticalità dei pali. Ritengo opportuno illustrare per quali motivi il sistema di perforazione sopraccitato permise di eseguire fori verticali non ottenibili con la perforazione tubata e inoltre che il problema della verticalità dei vari elementi che costituiscono un diaframma è sempre attuale in quanto la tenuta di una paratia si realizza solamente se gli elementi che la compongono rimangono complanari tra loro per tutta la sua estensione. La perforazione tubata è difficilmente verticale per i seguenti motivi:

1) Difficoltà ad iniziare la perforazione con la colonna di rivestimento perfettamente verticale, con i mezzi comunemente usati.

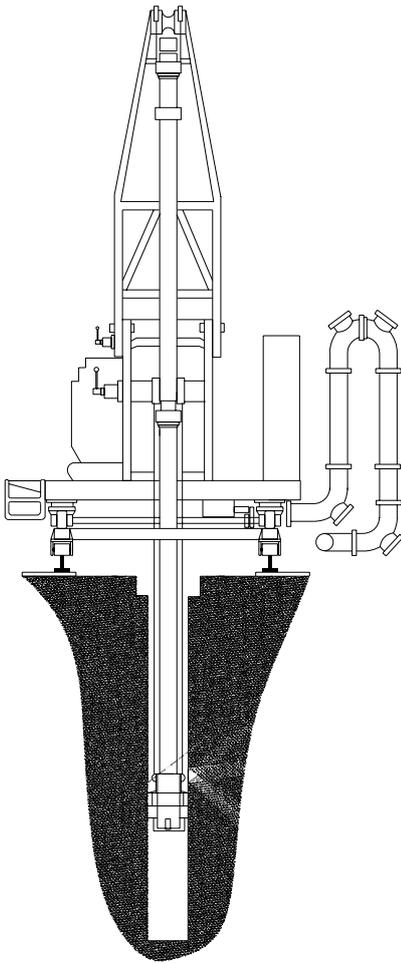
2) Deviazione della colonna di rivestimento durante la perforazione per difetto di omogeneità del terreno.

Nel caso poi delle costruzioni di ture per la presenza laterale o di un palo già gettato il cui fusto ovviamente presenta irregolarità a volte anche notevoli o di una colonna già infissa questa disuniformità si accentua.

Al sistema adottato dalla ICOS si abbinarono due tecniche (percussione e perforazione non rivestita) che assicurarono la verticalità dei fori anche in condizioni di terreno non uniforme, e soprattutto nelle difficili condizioni che si incontravano durante la perforazione dei pali della seconda fase che dovevano farsi strada nel calcestruzzo dei pali laterali dove si dovevano incastrare. La perforazione a percussione si avvale di un pesante scalpello a lama tagliente che viene lasciato liberamente cadere sul fondo del foro, esercitando così un'energica azione di frantumazione del terreno. In tal modo

è ovvio che lo scalpello non viene influenzato da fattori devianti durante il suo moto di caduta e si mantiene sicuramente su un allineamento verticale durante la perforazione essendo oggetto alla sola forza di gravità. Nei sistemi precedentemente usati una tubazione di rivestimento seguiva la perforazione proteggendola man mano che essa veniva eseguita, in tal modo però lo scalpello o qualsiasi altro attrezzo di scavo a percussione era costretto ad agire lungo l'asse del tubo di rivestimento che non sempre per le ragioni sopraccitate, coincideva con la verticale, per cui l'impiego della percussione in queste condizioni non poteva dare sufficienti garanzie di verticalità. L'abbinamento invece delle due tecniche (percussione e perforazione non rivestita) permette allo scalpello di non essere più condizionato dalla tubazione di rivestimento e di eseguire quindi delle perforazioni verticali. I detriti di risulta della perforazione sono portati in superficie dagli stessi fanghi stabilizzanti che, pompatisi al fondo del foro attraverso le aste cave di perforazione trascinano nel loro moto ascensionale i detriti alla bocca del foro e conseguentemente separati per mezzo di un vibro vagli; reintegrano continuamente il fluido di perforazione.

Il sistema di circolazione dei fanghi è lo stesso utilizzato nelle perforazioni petrolifere, tuttavia non vi sono le medesime condizioni, infatti in queste ultime il diametro dei fori è di dimensioni molto limitato, generalmente non superiore a 10" e le potenze delle pompe di circolazione molto elevate con notevoli velocità ascensionali dei fanghi; ne deriva che il trasporto alla superficie dei detriti si effettua agevolmente e che la viscosità dei fanghi può essere contenuta entro limiti ragionevoli a tutto vantaggio sia della loro depurazione indispensabile al loro riutilizzo che della loro minore potenza necessaria al loro pompaggio.



Nel nostro caso invece essendo il foro di grosse dimensioni (600 mm min.) si utilizzano pompe con portate limitate a (circa 6 ± 7 litri/sec) con velocità di risalita nel preforo bassissime (pochi centimetri al secondo) per cui è indispensabile utilizzare fanghi ad altissima viscosità per poter portare in superficie i detriti di perforazione. Aumentano così notevolmente le difficoltà di depurazione dei fanghi che risultano insufficienti e soprattutto il getto dei pali avviene in un ambiente sfavorevole a meno di non ricorrere a perforazione ultimata, alla completa sostituzione dei fanghi con altri più freschi. Questo sistema illustrato nella figura a lato è molto lento e costoso, tuttavia è ancora valido e viene ancora impiegato in terreni particolarmente difficili e duri (alluvioni grossolane trovanti, morene, ecc.) dove gli altri sistemi di scavo (a rotazione o con benne) non sono utilizzabili.

Paratie e pannelli

I risultati ottenuti dal diaframma a pali secanti che aveva risolto sul piano tecnico il problema delle ture in calcestruzzo impermeabili, mise in moto un processo di ricerca da parte di tutte le imprese specializzate interessate nel campo delle fondazioni per introdurre sul mercato soluzioni altrettanto valide tecnicamente (se non di più) ma soprattutto economicamente competitive.

Tutti quanti in questa ricerca seguirono la via degli scavi non rivestiti con impiego di fanghi stabilizzanti (essenzialmente bentonitici) abbandonando però la tecnologia di perforazione usata in campo petrolifero per metterne a punto altre più adatte al tipo di manufatto da realizzare.

Inoltre la prima idea, comune a tutti, fu quella volta alla limitazione del numero di giunti che se pure perfezionati rimanevano pur sempre il punto debole della struttura.

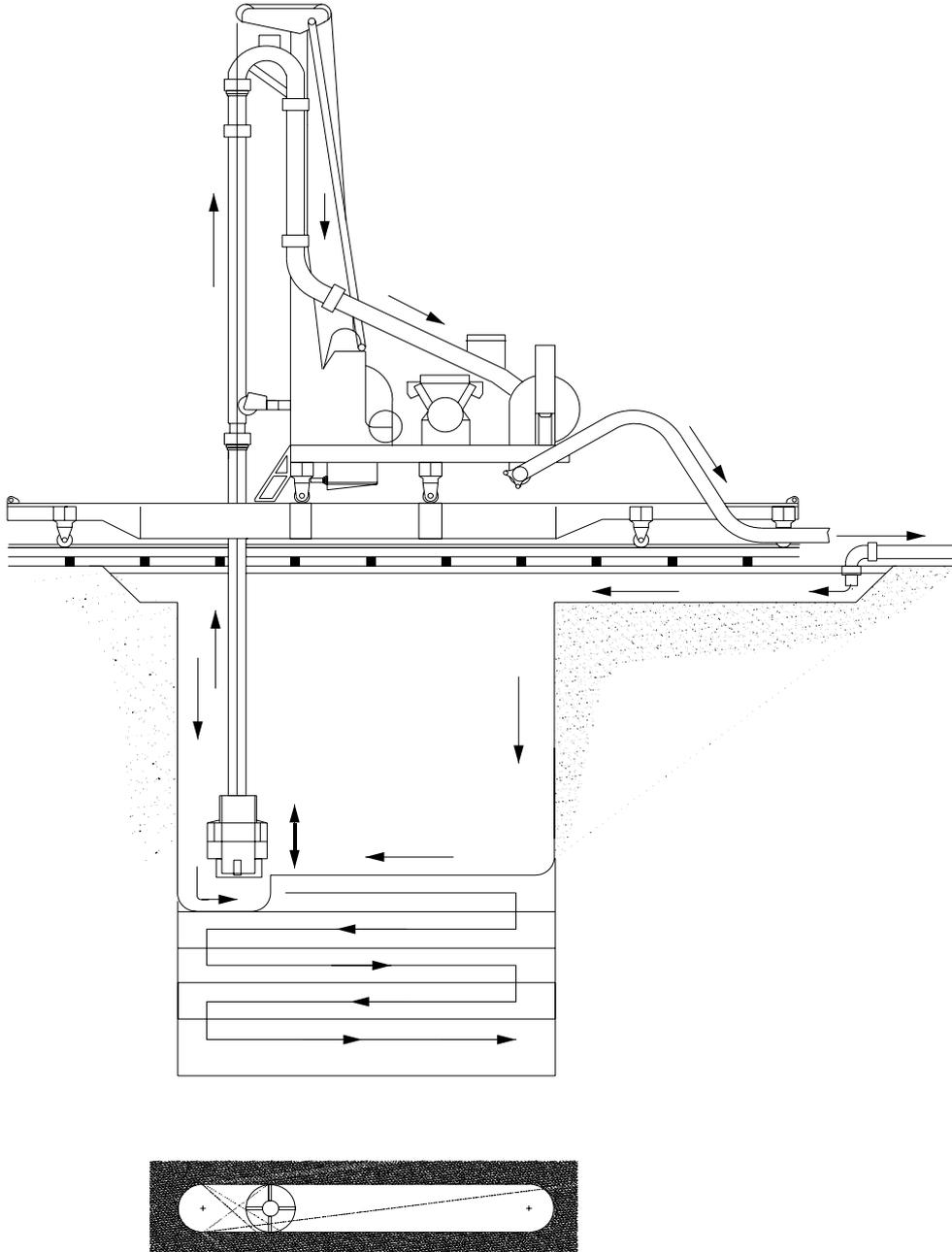
L'unica risposta al quesito fu quella di utilizzare al posto di più elementi cilindrici (pali) un elemento a sezione rettangolare (Pannello).

Il numero di giunti risultò così di conseguenza notevolmente ridotto, e si poté pure dedicare una maggior cura alla loro realizzazione senza eccessivi aggravii sul costo globale del diaframma.

Si delinearono negli anni successivi (2^a metà del 1953) due tecnologie ben distinte per lo scavo dei pannelli: la prima eseguendo lo scavo in ambiente di fanghi statici, cioè utilizzando i fanghi solamente per la stabilizzazione dello scavo in corso ed effettuando invece meccanicamente la rimozione dei detriti di risulta dal fondo dello scavo, la seconda invece eseguendo lo scavo con circolazione di fanghi, utilizzando però il

sistema di circolazione rovescia facendo cioè risalire i detriti di scavo e i fanghi di sostentamento attraverso le aste cave di perforazione, il cui diametro venne ingrandito a 6" poi a 8". Si realizzò al interno delle aste una velocità di risalita dell'ordine di $1,5 \pm 2,5$ metri al secondo, più che sufficiente a portare in superficie detriti anche di grosse dimensioni (4"- 6") pollici e fu quindi possibile l'adozione di fanghi più idonei e meno viscosi, semplificando notevolmente le attrezzature per la loro depurazione; ci si svincolò pure dalla soggezione delle dimensioni dello scavo che era estremamente vincolante nel caso della circolazione diretta. Entrambi i sistemi, nella loro fase iniziale presentavano inconvenienti sia pure di natura differente e continuarono ad essere utilizzati per due decenni fino a che il sistema di scavo in fanghi statici prese il sopravvento; infatti oggi giorno i vari sistemi di scavo a circolazione rovescia di fanghi sono stati per lo più abbandonati soprattutto perché non sono economicamente competitivi e vengono utilizzati solo in particolari e gravose condizioni di lavoro. Il passaggio dalla paratia a pali a quello a pannelli fu ovviamente possibile grazie alle proprietà di un fango bentonitico (o analogo) di sostenere pareti verticali ad andamento circolare ed anche rettilineo.

Diaframmi a circolazione di fanghi rovescia Sistema a percussione RODIO



La RODIO S.p.A. fu la prima ad impiegare verso la fine del 1953 la circolazione rovescia, prima utilizzata per la perforazione di pozzi di grande diametro, unitamente al sistema a percussione per eseguire un diaframma a pannelli. Infatti la prima realizzazione venne realizzata a Bondeno sul Po quale opera di presa di uno scolmatore di piena collegato con il fiume Reno. L'attrezzo scavante a percussione è formato da una pesante campana a bordi taglienti e munito di lame radiali, di diametro pari allo spessore del diaframma da eseguire azionato a mezzo di un argano con funi a caduta libera e coassiale ad una batteria di aste cave da 6" \pm 8" collegata ad una pompa draga aspirante che effettua la circolazione dei fanghi e porta in superficie i detriti. Lo scavo viene realizzato per strati orizzontali di 40-50 cm lungo tutta la lunghezza del singolo pannello, facendo scorrere avanti e indietro lungo l'asse orizzontale del diaframma tutta l'attrezzatura del di perforazione che è installata su un carrello semovente a rotaie. Il sistema ha elevate doti di affidabilità, infatti possiede tutti i vantaggi offerti dalla percussione è in grado cioè di eseguire scavi perfettamente verticali in terreni difficili alluvionali anche con trovanti o morene.

Con la circolazione rovescia inoltre si utilizzano fanghi a bassa viscosità, facilmente e continuamente depurati dai detriti in vasche di decantazione, per cui il getto del calcestruzzo avviene nelle migliori condizioni.

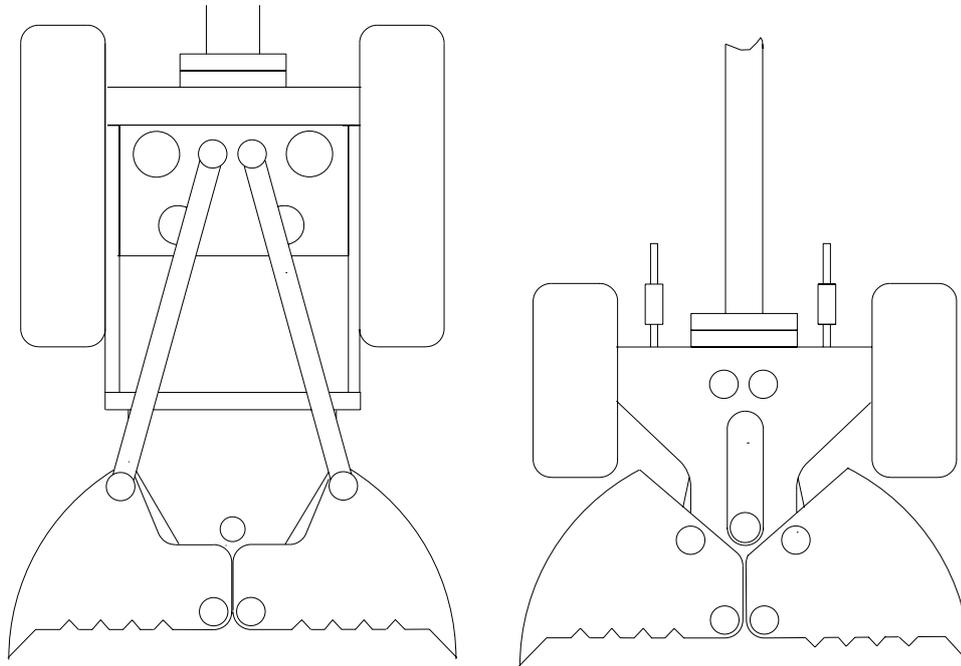
I punti deboli del sistema sono invece: apparato di circolazione dei fanghi, che essendo realizzato con una pompa centrifuga aspirante, presenta notevoli problemi di

esercizio. (necessità di una perfetta tenuta del circuito in depressione, continuo controllo durante la perforazione del rapporto solido liquido nei fanghi ecc.) Necessità di disporre di operatori altamente specializzati per le difficoltà operative e di gestione di una attrezzatura così complessa; impianto di circolazione dei fanghi reflui oneroso per le notevoli portate in gioco (100 - 200 litri/sec.) bassa produttività rispetto agli attuali sistemi a benna. Tali tipi di attrezzature furono messi a punto in modo pressoché analogo anche da altre imprese: ELSE, FONDISA, TITANIA ecc. che utilizzavano sistemi a rotoperussione per lo scavo della paratia, conservando però tutti i pregi e i difetti sopracitati di tali attrezzature che sono stati abbandonati man mano da tutte le imprese per il loro alto costo di funzionamento. Un sistema ancora in uso per particolari condizioni ed esigenze di cantiere è il sistema a frese multiple THONE BORING consistente in una pesante struttura sommersa la quale supporta una serie di piccole frese ad asse verticale, messe in diretta circolazione da motori idraulici, che viene calata nello scavo man mano che esso si approfondisce. Le frese sono disposte in modo da coprire completamente l'area corrispondente ad un pannello (generalmente 2,50 - 3,00 metri). I detriti vengono portati in superficie con una circolazione rovescia di fanghi realizzata con una pompa draga posta in superficie. La depurazione dei fanghi prima di essere rimessi in circolo nello scavo viene effettuata generalmente tramite un vibro vagli (dissabbiatore centrifugo). Questo sistema di perforazione è molto valido e permette una elevata produttività specifica ma la complessità di accantieramento e di gestione delle attrezzature riducono notevolmente la produzione media. Inoltre esso richiede un notevole impiego di mano d'opera non compatibile in aree dove il costo di quest'ultima è elevato. Limitatamente ai cantieri con terreni molto duri si utilizzano anche attrezzi che basano il loro funzionamento sul principio delle frese da roccia per lo scavo dei tunnel

Diaframmi eseguiti in ambiente di fanghi statici

Parallelamente ai sistemi di scavo con fanghi in circolazione rovescia si misero a punto altri sistemi, dove lo scavo viene realizzato con benne mordenti o raschianti ed il fango viene utilizzato solo come mezzo per stabilizzare le pareti della trincea. Mentre il sistema a benna raschiante è praticamente caduto in disuso i sistemi a benne mordenti bivalve si sono invece affermati e sono quelli generalmente impiegati oggigiorno; essi si possono classificare così:

A) Benna con sospensione a fune



Con questo sistema la benna è manovrata per le operazioni di calaggio e sollevamento da una fune metallica, azionata da argani a caduta libera o normali posti su escavatori o gru cingolati. Solitamente queste benne sono molto robuste e pesano fino a 6 – 7 tonnellate sia perché la verticalità dello scavo è affidata alla sola gravità e sia perché molte volte le benne vengono usate anche come scalpello quando i terreni sono particolarmente duri. La sospensione a fune richiede particolari accorgimenti con impiego di funi anti girevoli, che impediscono la rotazione della benna e la conseguente deviazione dello scavo dal piano verticale. La chiusura delle valve può essere effettuata in tre differenti modi:

1) Chiusura a fune

In questo caso una seconda fune comandata da un argano montato sulla gru aziona la chiusura della benna per mezzo di un gioco a taglie; questa seconda fune serve pure per il sollevamento della benna a valve chiuse. Questo sistema presenta i seguenti svantaggi: tempo di chiusura delle valve molto lento. Il tiro della fune esercita durante la fase di chiusura delle valve una trazione verso l'alto della benna alleggerendola e riducendone di conseguenza la potenza di scavo. Presenta invece il notevole vantaggio di mantenere automaticamente la benna in posizione verticale anche durante la fase di chiusura delle valve garantendo così la massima verticalità della trincea.

2) Chiusura idraulica

Le valve vengono azionate da uno o due pistoni idraulici comandati da una pompa esterna e con il sincronismo in chiusura delle valve ormai raggiunto dai vari costruttori si ha una maggior rapidità di funzionamento e una maggior potenza di chiusura delle valve stessi.

Svantaggi del sistema:

I tubi idraulici che portano l'olio in pressione sono comunque una complicazione, essi sono generalmente avvolti su raccoglitori a tamburo girevoli a molle multiple e nei modelli odierni a motori idraulici che in alcuni casi pongono dei problemi, difficoltà a mantenere la verticalità dello scavo, infatti tutte le benne bivalve durante la fase di chiusura sono soggette ad uno spostamento verso l'alto, questo comportamento è spiegato dal fatto che i taglianti delle valve penetrando nel terreno descrivono una traiettoria differente da quella circolare.

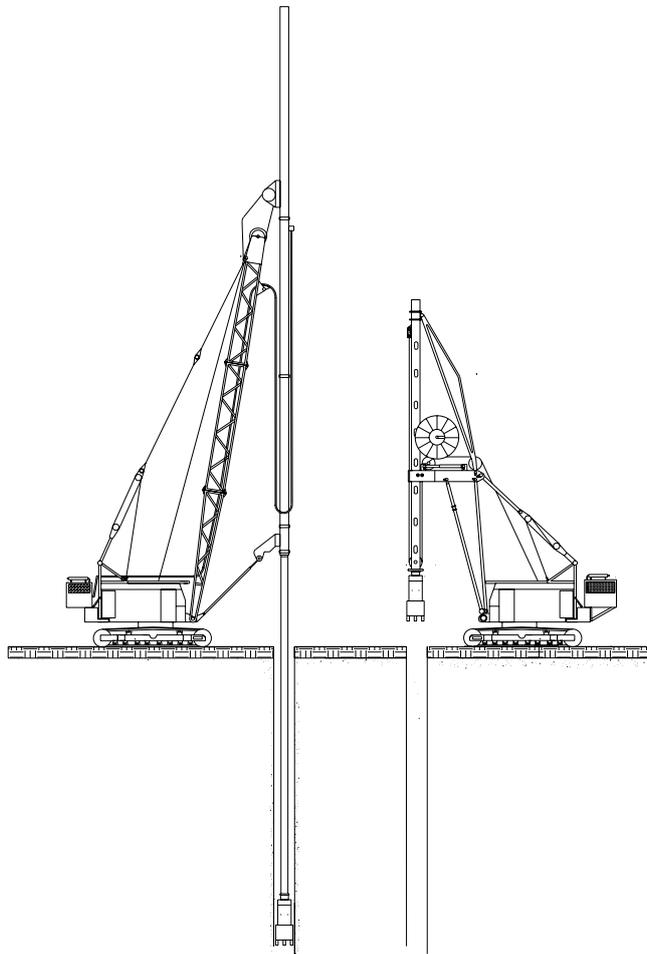
L'operatore deve avere l'avvertenza di tenere leggermente in tiro con la fune di sollevamento della benna durante la fase di chiusura altrimenti avviene che questa si appoggia ad una delle due pareti inclinandosi e dando così inizio ad una deviazione dello scavo che si accentuerà sempre più con l'approfondimento dello stesso.

3) Chiusura elettro idraulica

In questo caso la benna ha incorporato un motore elettrico azionante una centralina idraulica che a sua volta alimenta i pistoni di apertura e chiusura delle valvole. Un cavo elettrico alimenta dalla superficie il motore e trasmette inoltre gli impulsi alle varie elettrovalvole che comandano i movimenti dei pistoni. Questo sistema rispetto al precedente ha il vantaggio di sostituire i due tubi flessibili di alimentazione dell'olio in pressione con un solo cavo elettrico. Ha però lo svantaggio di avere una minore potenza, per il resto valgono le stesse considerazioni fatte in merito alla benna idraulica.

B) Benne solidali con asta rigida di manovra (Kelly)

Negli ultimi decenni sono stati introdotti in sostituzione della fune di manovra un'asta rigida (kelly) al piede della quale è fissata solidamente la benna di scavo. Questo kelly scorre entro una robusta guida montata su una gru cingolata e tenuta in posizione verticale da una serie di martinetti idraulici. In questo caso la verticalità dello scavo non è più solamente affidata alla gravità ma dipende soprattutto dal posizionamento corretto del kelly la cui verticalità dovrebbe essere soggetta a un continuo controllo durante lo scavo.



Sono stati messi a punto dai diversi costruttori dei sistemi di controllo in cabina più o meno efficienti e addirittura ha preso piede sempre più l'uso del kelly telescopico montato su una tavola rotante a 90 e 180° la quale permette il posizionamento dell'asta anche in posizioni difficili, vicino ad angoli di muri o fondazioni eseguite in precedenza questo sistema presenta indubbi vantaggi rispetto ai sistemi a fune:

A) Permette l'impiego di benne con comando idraulico senza gli inconvenienti prima descritti propri delle benne a funzionamento idraulico o elettro idraulico in quanto durante la fase di chiusura delle valve la benna viene tenuta nella corretta posizione dal kelly e non può quindi appoggiarsi su una delle pareti dello scavo; e bisogna dire che è senza dubbio questo il maggior vantaggio offerto da questo sistema.

B) Assicura una notevole velocità di scavo sia perché i tempi di manovra vengono ridotti infatti è molto più difficoltoso manovrare una pesante benna sospesa ad una fune e quindi soggetta ad oscillazioni durante le operazioni di rotazione dell'escavatore nel carico e scarico, nel centraggio dei muretti che una benna solidale ad un'asta rigida, sia perché il complesso benna kelly è molto pesante e quindi le valve hanno una notevole penetrazione nel terreno.

C) Viene completamente eliminato il pericolo di rotazione della benna sul proprio asse verticale che con la sospensione a fune è sempre presente. Questo sistema però, esige, come sopra detto, una particolare attenzione dell'operatore per garantire la verticalità dei pannelli inoltre ha una limitazione nelle profondità raggiungibili (max 40 - 45 MT.) per evidenti motivi di ordine meccanico e costruttivo dell'attrezzatura. Sarebbe inoltre indispensabile impiegare una gru sovradimensionata in modo da mantenere la guida del kelly in posizione verticale durante tutte le operazioni di scavo; se la gru è al limite della prestazione il sistema che tiene in posizione la guida dell'asta durante le operazioni di sollevamento del complesso benna-kelly tende ad inclinarsi in avanti portando fuori dalla verticale l'attrezzatura; inoltre il tiro

per il sollevamento che generalmente è applicato al piede dell'asta diventa eccentrico e ne esalta la deviazione. Ne consegue che la verticalità dello scavo è sempre più compromessa. Per ovviare a quest'ultimo inconveniente alcuni costruttori ultimamente hanno spostato il punto di attacco del tiro di sollevamento il più possibile verso l'alto.

CONSIDERAZIONI

Pensiamo di avere illustrato anche se velocemente i sistemi di scavo più significativi usati per la costruzione dei diaframmi a pannelli.

Dobbiamo dire che ormai i sistemi a benna, soprattutto quelli a benne guidate hanno praticamente soppiantato tutti gli altri metodi per la loro semplicità e rapidità di scavo.

Tali sistemi di scavo però richiedono una maggiore cura nelle operazioni di controllo e depurazione dei fanghi prima del getto del pannello.

L'incidenza nei costi globali dell'esecuzione di un diaframma dovuta a questi interventi su i fanghi diventa perciò proporzionalmente più alta, per cui molte volte le imprese esecutrici specializzate cercano di evitarne l'esecuzione o di eseguirle in modo affrettato ed incompleto, agevolati anche dal fatto che in pratica da parte dei committenti, quasi sempre imprese generali non vengono effettuati sufficienti controlli in questo senso.

Giunti

Nel caso di diaframmi a pali secanti il giunto tra i vari elementi attigui è realizzato direttamente durante lo scavo e quindi non richiede interventi successivi. La sua buon'esecuzione è perciò strettamente legata al sistema ed alla cura con cui è eseguita la perforazione.

Nel caso invece dei diaframmi a pannelli l'esecuzione dei giunti, tra l'altro di numero ridotto rispetto a quello dei diaframmi a pali, richiede particolari accorgimenti.

Un buon giunto deve impedire il passaggio dell'acqua, occorre quindi che garantisca:

1) Un contatto contiguo per tutta la sua altezza tra i pannelli adiacenti.

2) Che il calcestruzzo in prossimità del giunto sia di buona qualità e non abbia inclusioni di sabbia e bentonite o altre impurità.

3) Che il cake di bentonite nei pannelli in corrispondenza del giunto non abbia uno spessore eccessivo (non superiore a qualche millimetro)

Per soddisfare la prima condizione si ricorre all'impiego di speciali cassetture recuperabili, o a distruzione. Questi casseri vengono posti in opera nello scavo ultimato e per tutta la profondità prima del calaggio di eventuali gabbie di armatura ed in corrispondenza di quella estremità dello scavo che verrà poi a contatto con l'elemento del diaframma adiacente il cui scavo è ancora da eseguire. Tale cassero che sarà poi recuperato a presa del getto iniziata, fa in modo che il calcestruzzo di quest'elemento presenti in corrispondenza del successivo pannello con il quale verrà in contatto, una superficie liscia, verticale e conformata in modo tale da aumentare il percorso dei filetti fluidi che tentassero di passare attraverso il giunto.

A nostro avviso ha poca importanza la forma del cassero. In generale ogni impresa specializzata utilizza casseri di propria concezione e realizzati anche non perdendo di vista il problema del costo operativo. Di estrema importanza sono invece sia la corretta messa in opera del cassero che il suo recupero; comportandosi come le cassetture rampanti, essi infatti vengono recuperati tirando verso l'alto man mano che il getto sale nel pannello e come tali richiedono particolari attenzioni al fine di evitare strappi o collassi nel calcestruzzo o l'incollamento del cassero alle pareti. I tempi e le modalità di recupero devono perciò essere determinati di volta in volta in cantiere e sono legati alle caratteristiche del calcestruzzo, del terreno e di tutte le condizioni ambientali che possono influire sui tempi di presa, è bene che il recupero sia effettuato, con martinetti idraulici invece che con un tiro a fune con taglie, meno controllabili; generalmente si deve in ogni modo evitare un tiro a strappi è inoltre necessario che il cassero sia posto in opera in posizione verticale e mantenuto in tale assetto durante il getto.

Se la parete dello scavo alla quale il cassero si appoggia è verticale non vi sono problemi, quando però questa condizione non si verifica è molto difficile, anche se il cassero è posto in modo corretto mantenerlo nel suo giusto assetto poiché, per effetto dell'azione del calcestruzzo, che è necessariamente molto fluido, il cassero si deforma o si appoggia alla parete inclinandosi.

A parte ogni considerazione sulla qualità finale del giunto, il recupero del cassero diventa difficoltoso ed a volte impossibile.

L'operatore in questi casi è generalmente portato ad anticipare i tempi di recupero, con il pericolo di smottamenti del calcestruzzo non ancora sufficientemente indurito. Da parte di parecchie D.L. si ricorre nell'errore opposto di ritardare in modo irragionevole il recupero dei casseri, nella convinzione errata di avere un giunto migliore. E' in ogni modo intuibile che più il cassero è robusto più aumenta la sua affidabilità. Si può ottenere una buona qualità del calcestruzzo in corrispondenza del giunto, (rispetto alla seconda condizione) impiegando calcestruzzo con caratteristiche adeguate, eseguendo correttamente tutti quegli interventi necessari a garantire prima del getto, fanghi con caratteristiche appropriate e nel caso dei diaframmi in c.a. impiegando un'armatura concepita, in modo tale da non ostacolare l'afflusso di calcestruzzo nella zona del giunto. Per limitare poi lo spessore del cake di bentonite nel giunto occorre tenere sotto controllo le caratteristiche dei fanghi anche durante la perforazione. La pulizia meccanica con appositi attrezzi raschia giunti del calcestruzzo nel pannello a contatto di quello da gettare, eseguita a scavo ultimato è una buona pratica ma può risultare inutile se il giunto non è verticale o se i pannelli non sono perfettamente complanari. Ultimamente viene sempre più spesso utilizzato il giunto a distruzione tipo MILANO.

La cassetture è formata da un tubo di plastica ad alta resistenza di circa 200 mm di diametro, fermato in modo semplice all'estremità dell'armatura, che appoggia alla parete dello scavo; Il tubo è distrutto come sopra descritto a scavo ultimato con l'ausilio di un pesante scalpello appositamente conformato. Anche per questo tipo di giunto, valgono le regole sopracitate e inoltre il tubo si può deformare molto più facilmente, data la spinta del calcestruzzo dando origine a problemi di scalpellata poiché l'attrezzo fatica oltremodo a penetrare nel cassero stesso.

8 Fanghi di sostentamento

A) Scopi e caratteristiche

Ormai sui fanghi di perforazione esiste una bibliografia estesa perciò dedicheremo a quest'argomento solo qualche cenno. Come già detto uno scavo può mantenersi stabile se viene colmato da un fango costituito da una miscela colloidale d'acqua e argilla. Generalmente si utilizza la bentonite che è una particolare argilla, la quale si presta in modo specifico alla formazione di fanghi colloidali.

Le bentoniti vengono commercializzate, allo stato di polvere finissima in sacchi da 25 o 50 kg o sfusa.

Una buona bentonite deve avere le seguenti caratteristiche:

- Residui al vaglio da 10.000 maglie/cm ²	3 %
- Limite di liquidità	400
- Tenore d'umidità	15 %
- Viscosità marsh 1500/1000 della sospensione al 6% in acqua distillata	40"
- Decantazione della sospensione al 6% in 24 ore	2 %
- Acqua separata per pressofiltrazione di 450 cc della sospensione al 6 % in 30 minuti ¹ alla pressione di 7 kg/cm ²	18 cm ³
- pH dell'acqua filtrata	7
- Spessore del "cake" sul filtro della filtropressa	2,5 mm

Essa va miscelata con acqua dolce nel rapporto di 50-60 kg di bentonite per 1000 lt d'acqua

Il fango prodotto va tenuto a maturare per almeno 24 ore prima del suo impiego, per dare modo alla bentonite di idratarsi completamente. In molte specifiche tecniche s'indicano le caratteristiche principali che devono avere i fanghi prima dell'uso esse sono le seguenti:

- Peso specifico non superiore a 1,08 t/m³
- Viscosità marsh compresa tra 37-38" a 55"

Non sono d'accordo nel fissare, come generalmente si usa, il limite superiore del fango, sarei piuttosto del parere di fissare il limite inferiore di sotto al quale un fango cessa d'essere tale.

Durante il corso dello scavo, il fango è inevitabilmente inquinato dai detriti scavati, che determinano anche variazioni notevoli della sua composizione. Vi sono alterazioni chimiche del pH, di composizione; alla bentonite come mezzo disperso si aggiunge alle parti più fini del terreno che il fango incorpora a causa della sua viscosità. Mentre le parti grossolane del terreno sono separate dai fanghi già durante lo scavo, la sabbia ed i finissimi non sono eliminabili che a scavo ultimato, si usano due sistemi:

1) Sostituzione completa dei fanghi con altri già depurati e rigenerati con l'apporto di fanghi freschi.

2) Trattamento alla bocca dello scavo dei fanghi freschi e loro rigenerazione.

IL primo sistema è il più rapido, ma richiede una centrale per il trattamento e la rigenerazione dei fanghi che è possibile realizzare in cantiere solo se la quantità di diaframmi da eseguire supera certi valori (15.000-20.000 mq).

Il secondo sistema ovviamente è più lento e quindi incide sul tempo complessivo necessario per la costruzione del diaframma, però richiede meno spese d'impianto generale dei fanghi, ed è quindi utilizzato nei cantieri minori.

In ogni caso le attrezzature impiegate per la rigenerazione dei fanghi sono le stesse.

Si usa inoltre fissare dei valori massimi delle caratteristiche che i fanghi devono avere, durante la perforazione e prima dell'esecuzione del getto. Essi sono per lo più i seguenti:

- Peso specifico durante la perforazione non superiore a 1,25 t/m³
- Prima dell'inizio delle operazioni di getto non superiore a 1,15 t/m³
- Contenuto di sabbia non superiore al 5-6 % del volume.

Sono però contrario, ad una generalizzazione dei valori massimi accettabili; prendendo in considerazione per esempio, il peso del volume, quando s'incontrano terreni fini, il finissimo che può avere dimensioni pari, se non inferiori, a quella della miscela idratata della bentonite, entra a far parte integrante del fango perciò è in pratica impossibile separarlo dalla bentonite stessa. In questo caso il peso del volume può superare i limiti fissati, senza però che sia alterata la funzionalità del fango.

A volte succede che il capocantiere per mantenere il peso del volume entro determinati limiti, diluisca il fango con acqua, riportando il peso del volume al valore richiesto degradando però il fango, che perderà così buona parte delle sue proprietà colloidali. Lo stesso dicasi per le altre caratteristiche perciò, mi permetto di rivolgere un invito a quanti, sono preposti a stabilire i valori delle caratteristiche di un fango, perché tengano conto di volta in volta, nel definirli, del terreno attraverso il quale il diaframma è scavato. Penso, invece, che i valori di sabbia debbano essere abbassati al 3-4% ma che pure per loro, non si scenda al di sotto del 1-1,5% essendo ormai stato dimostrato, che un fango impoverito delle sue parti solide non risponde più al compito al quale è chiamato.

B) Confezionamento dei fanghi bentonitici

Il fango si ottiene miscelando la bentonite in polvere con acqua, con dosaggio a volume o a peso, con l'ausilio d'appositi mescolatori colloidali manuali o automatici a volte integrati da pompe centrifughe. I tempi di miscelazione non devono essere troppo brevi, e in altre parole non inferiori a 3¹, ma neppure troppo lunghi. Molte bentoniti sono confezionate additivandole con carbosimetilcellulosa che non sopporta un'eccessiva miscelazione, quindi la viscosità di un fango, raggiunge un optimum in un determinato tempo di miscelazione e poi decresce.

Sarebbe quindi buona norma eseguire, all'inizio del cantiere una serie di prove pratiche per determinare il miglior tempo di miscelazione.

C) Controllo delle caratteristiche dei fanghi

In cantiere dovrebbero essere a disposizione le attrezzature per il controllo delle caratteristiche dei fanghi, che in genere sono le seguenti:

- Bilancia Baroid: per il peso del volume
- Cono di Marsh: per la viscosità del fango
- Sabbimetro Baroid: per il contenuto di sabbia
- Cartine reagenti: per il controllo del pH dell'acqua
- La filtro pressa per il controllo dell'acqua libera che potrebbe essere richiesta solo per cantieri di una certa importanza, con impianto per la produzione e rigenerazione dei fanghi centralizzati.

Centrale di produzione dei fanghi bentonitici

Una centrale razionale deve disporre di almeno quattro vasche per lo stoccaggio e il trattamento dei fanghi.

Due vasche servono alternativamente come deposito dei fanghi freschi, nel senso che un contenitore raccoglie il fango prodotto durante la giornata e l'altro il fango prodotto il giorno precedente e alimenta il cantiere.

La capacità di queste vasche deve essere pari a 1,5 volte il volume del fango mediamente utilizzato in una giornata lavorativa.

Un'altra vasca, deve raccogliere il fango di recupero dai getti e anch'essa, deve avere una capacità corrispondente a 1,5 volte dei pannelli prodotti giornalmente. Nella quarta vasca confluiscono e sono miscelati fra loro i fanghi di recupero (che sono stati dissabbiati ed eventualmente additivati con correttivi atti a riportare il valore del pH nei valori stabiliti) e le bentoniti fresche. Da questa vasca il fango è poi inviato ai punti d'utilizzo. Questa vasca deve contenere una quantità di fanghi pari al volume necessario allo scavo dei pannelli prodotti. Le caratteristiche sopra richieste sono quelle di una centrale di confezionamento e rigenerazione dei fanghi che viene per lo più stoccata in cantieri, come prima detto, di una certa dimensione. Negli altri casi l'impianto si riduce ad un semplice mescolatore ed ad un massimo di due vasche di raccolta del fango; una per la produzione dello scavo in corso ed un'altra per il recupero dei fanghi provenienti dal getto del pannello.

Dissabbiaggio dei fanghi

E' un'operazione che si deve considerare indispensabile se si vuole riutilizzare un fango.

Com'è ovvio alla fine di uno scavo il fango di perforazione è inquinato dalle parti di terreno che rimangono in sospensione in lui. Mentre la separazione del finissimo è in concreto impossibile se non diluendone la concentrazione con l'aggiunta di fango fresco, quella della sabbia è ormai realizzabile con relativa facilità, usando appositi dissabbiatori a ciclone che nelle dimensioni correnti sono in grado di dissabbiare circa 100 m³ di fango/ora.

Generalmente alla fine di uno scavo il contenuto di sabbia raggiunge valori variabili dal 10 al 15% in volume; con questi dissabbiatori a ciclone si può ridurre tranquillamente il tenore di sabbia al 3-4%.

Il basso contenuto di sabbia in un fango, durante il getto è fondamentale per la sua buona riuscita, infatti, il fango a contatto con il calcestruzzo in corso di getto oltre ad avere un più alto contenuto di sabbia per il naturale effetto della decantazione, è inquinato dalla calce libera dovuta alla presa del cemento che provoca la sua flocculazione con un conseguente abnorme incremento della viscosità.

In pratica se il tenore in sabbia nel fango è elevato, la consistenza di un fango flocculato è simile a quella del calcestruzzo con il qual è a contatto, perciò è inevitabile che parte di questo fango sia inglobato nel getto soprattutto ai lati del pannello in corrispondenza dei giunti

9 Armature

Devono essere dimensionate tenendo conto del particolare ambiente nel quale esse sono collocate e delle norme del getto.

Soprattutto non bisogna che i progettisti esigano da questa tecnologia esecutiva quanto ottenibile con altre tecnologie ben differenti.

Infatti, la realizzazione di una struttura in c.a. all'aperto dove l'operatore può controllare l'esatta posizione dei ferri, la corretta esecuzione del getto, intervenire dove è necessario tempestivamente, è ben diversa da quella di una struttura gettata in una trincea sotterranea dove non è possibile praticare durante la sua esecuzione alcun controllo ed intervento correttivo diretto.

Le armature quindi devono permettere l'agevole passaggio del calcestruzzo attraverso i ferri soprattutto nelle zone di sovrapposizione dove è ancora più necessario che l'armatura sia ben annegata in lui.

Inoltre la normale risalita del calcestruzzo nel pannello non deve essere ostacolata in corrispondenza dei giunti, a questo scopo si raccomanda di tenere le staffature trasversali distanti dal giunto stesso. Di almeno 6 cm per parte dell'armatura in modo che il cemento abbia la possibilità di passare agevolmente.

I progettisti rinuncino quindi a forzature, la struttura deve essere dimensionata correttamente, senza volere ad ogni costo, incrementare le prestazioni del pannello armandolo oltre ogni limite. Purtroppo in questa fase le voci degli esecutori ai quali saranno imposte l'esecuzione e la responsabilità della buona riuscita dei diaframmi sono pressoché inascoltate.

Un altro grosso problema, non ancora risolto in modo soddisfacente è il centraggio delle gabbie nello scavo e di conseguenza la garanzia di un corretto copriferro che raccomandiamo non sia mai inferiore ai 6cm teorici.

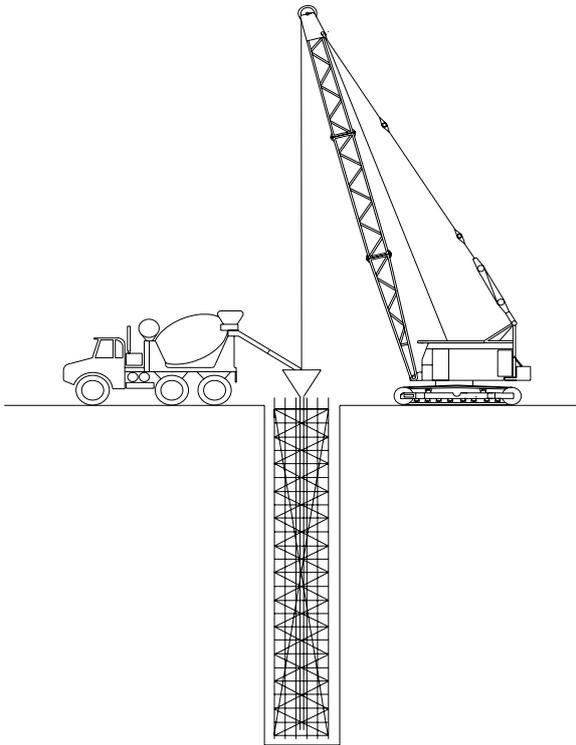
I centratori più usati sono dei rulli prefabbricati in calcestruzzo del diametro di 12-18 cm e dello spessore di 5-10 cm forati e infilati nelle staffe orizzontali delle gabbie d'armatura. Essi sono posti ad intervalli di 3-5 metri in coppie contrapposte in modo da guidare la gabbia durante il suo calaggio nello scavo. Si ottiene così un centraggio circa perfetto; le pareti dello scavo sono ovviamente irregolari, e se una serie di rulli viene a trovarsi in una zona, dove, la parete dello scavo si protende verso l'esterno è possibile che durante il getto, la gabbia sia spostata lateralmente e lo spessore del copriferro in altre zone ridotto. Un altro inconveniente dovuto all'impiego dei rulli è rappresentato dal fatto che essi, rotolando durante il calaggio della gabbia lungo la parete dello scavo, si ricoprono di uno strato di fanghiglia formata da terreno e cake bentonitico. Successivamente, durante il getto, vengono a crearsi nel corpo della struttura delle inclusioni di materiale fangoso proprio in corrispondenza di questi rulli. Si è tentato di eliminare quest'inconveniente, usando pattini al posto dei rulli, senza ottenere in ogni caso apprezzabili miglioramenti, poiché l'inclusione di terriccio avviene in questo caso al di sotto dei pattini.

Dobbiamo però aggiungere la considerazione che i diaframmi realizzati ormai da lungo tempo (circa 40 anni o sono se non di più) in ambienti non favorevoli, per opere marittime e certamente non con le cure e le tecnologie attualmente impiegate, svolgono ancora egregiamente il loro compito e non sembra che abbiano subito danni nel tempo. In effetti, queste inclusioni sono più impermeabili del calcestruzzo, la bentonite in loro contenute, combinandosi con la calce libera del cemento diventa in concreto insolubile, anche alla presenza d'ambiente alcalino, quindi si può pensare che l'armatura sia sufficientemente protetta nel tempo. Concludendo se queste inclusioni non sono molto diffuse, e di piccole dimensioni, il modo di funzionare della struttura non è compromessa.

10). Getto

Il sistema più usato è quello noto con la denominazione **"CONTRACTOR"**.

Esso consiste nel porre in opera il calcestruzzo preconfezionato e premiscelato attraverso un tubo convogliatore munito alla sommità di una tramoggia (imbuto) d'alimentazione ed avente la bocca di scarico preventivamente già immersa nella massa di bentonite.



Usualmente questa colonna, costituita da elementi giuntati tra loro mediante filettatura, ha un diametro compreso tra 200 e 250 mm. La tramoggia d'alimentazione ha dimensioni limitate e la sua capacità, generalmente inferiore a $\frac{1}{2}$ m³. Il complesso tramoggia colonna è poi sospeso ad una fune comandata da un mezzo di sollevamento. Questo sistema richiede però il **rispetto assoluto d'alcune semplici norme**. Per prima cosa occorre che le pareti del tubo siano di buono spessore, per evitare ammaccature o deformazioni; inoltre i giunti devono **essere sicuramente stagni**, con filettatura robusta e di facile pulizia (evitare filetti triangolari). Bisogna che il sistema di sollevamento sia efficiente, a caduta libera e dimensionata in modo da poter muovere non solo il peso della colonna ma anche quello del calcestruzzo in lei contenuto, qualora per un insorgente tappo, questi non riesca più a defluire. Per seconda cosa occorre durante l'esecuzione del getto prestare attenzione alle seguenti norme:

A). L'inizio del getto è l'operazione più delicata, si deve intanto isolare il primo calcestruzzo dal fango del pannello con un tampone isolante; può essere di carta (utilizzando i sacchetti di bentonite o del cemento) se ben fatto. Si possono anche usare argille espanse. Il migliore è quello costituito da uno strato di palline di polistirolo espanso, inserito nel tubo di getto tra il fango ed il primo calcestruzzo. Le palline di polistirolo hanno il vantaggio di galleggiare sulla bentonite, di formare un buon setto isolante e di disperdersi senza alcun danno terminata la sua funzione, nella massa di calcestruzzo. Manovrando con cura la colonna da getto bisogna impedire il dilavamento del primo calcestruzzo che si

pone a cumulo in fondo allo scavo e che deve permettere l'innesco del rifluimento del primo cemento. Occorre inoltre disporre all'inizio del getto di un volume con calcestruzzo pari a quello del volume del tubo getto e di almeno 3-4 metri di pannello, perché il moto di rifluimento possa avvenire. Non è infrequente che il livello del calcestruzzo nella colonna getto si disponga per effetto dinamico e per differenza dei relativi pesi specifici, ad una quota più bassa di quella del fango esistente nella trincea. Se all'interno dello scavo non esiste un'adeguata massa di calcestruzzo, questi può essere irrimediabilmente dilavato da un ritorno nel tubo di getto del fango presente

B) Durante il getto è necessario che il rifornimento del calcestruzzo avvenga con regolarità ed un ritmo di almeno 20-25 m³/ora. Un rifornimento discontinuo e troppo lento riduce la lavorabilità e pregiudica il regolare deflusso, provocando a volte il temuto "tappo" nella colonna. Quest'inconveniente può richiedere per essere eliminato, l'estrazione della batteria dei tubi dal getto. La successiva ripresa del getto, così ottenuta è sempre un'operazione che presenta notevoli incognite e pone una seria ipoteca sulla buona riuscita del pannello.

Il tubo deve inoltre essere sempre immerso per una profondità variabile da due a sei metri nella massa di calcestruzzo già gettato; profondità minori ovviamente possono essere dannose per il pericolo di dilavamento. Tuttavia anche valori eccessivi d'immersione sono altrettanto dannosi, per il formarsi di vie preferenziali di risalita attraverso la massa del calcestruzzo, localizzate in una ristretta zona anulare perimetrale alla colonna da getto. Le conseguenze più deprecabili sono la formazione di sacche nel calcestruzzo di materiale sabbioso misto a fango flocculato. E', infatti, una convinzione errata, che il primo calcestruzzo immerso in un pannello risalga fino alla superficie dello scavo e che si comporti come un liquido sia pure denso e viscoso quanto si voglia. Prove di cantiere con calcestruzzo di differente colore, e di laboratorio, su modelli hanno dimostrato un comportamento del tutto differente; se questa distribuzione viene alterata è facile intuire come possano formarsi le tanto temute sacche di materiale fangoso e di beton dilavato. Qualora le dimensioni longitudinali di un pannello superino i 4-5 metri o questi abbia una particolare forma planimetrica (es. pannelli a T o a L) è consigliabile ricorrere all'impiego di due colonne getto.

Occorre però, rispettare alcune regole fondamentali, se non si vuole incorrere nel grave inconveniente d'inclusioni di materiale fangoso nella zona a contatto dei due getti. L'alimentazione bisogna che avvenga contemporaneamente, (per es. usando due betoniere) e il calcestruzzo sia particolarmente fluido (slump = 18-20 cm) In questo caso è bene prevedere l'utilizzo d'additivi che n'aumentino la lavorabilità senza incrementare troppo il rapporto acqua-cemento.

11) Organizzazione del cantiere - produttività e costi

Lo scavo di un diaframma deve essere preceduto, dall'esecuzione di una trincea, (cordolo guida) della profondità variabile da 80 a 120 cm. e dello spessore di 20 – 30 cm. Essa deve avere le pareti protette con calcestruzzo, leggermente armato che dovrebbe essere gettato contro terra, in modo da realizzare un buon collegamento con il terreno.

La scelta delle attrezzature di scavo deve essere fatta in base alla natura del terreno da attraversare, delle condizioni di spazio disponibile ed alle caratteristiche geometriche dei pannelli da eseguire. Attualmente, in considerazione del grado di perfezionamento, d'affidabilità, e di potenza delle attrezzature dello scavo disponibili, lo scavo di un diaframma di per sé non rappresenta l'anello più debole della catena delle operazioni necessarie all'esecuzione di un pannello. Altrettanto vale per la posa in opera delle armature, dei casseri dei giunti e della batteria di getto.

Le due operazioni invece che ancora oggi sono difficilmente programmabili e sono soggette ad imprevisti, sono quelle di rigenerazione dei fanghi a scavo ultimato e del recupero dei casseri del giunto.

Ricordiamo che prima del getto si debbono riportare entro i limiti richiesti le caratteristiche dei fanghi di sostentamento alterati durante lo scavo. Il fango o è sostituito con bentonite fresca o dissabbiato e corretto in sito. L'attrezzatura per eseguire queste operazioni non è mai generalmente dimensionata e scelta in modo adeguato. Si devono pompare dal fondo dello scavo fanghi a volte notevolmente abrasivi, con conseguenti e frequenti arresti per guasti o inadeguatezza nelle dimensioni delle pompe.

Bisogna evitare che quest'operazione di per sé molto banale, diventi ogni volta un'incognita che può alterare il ritmo produttivo del cantiere e nei casi peggiori, provocare il franamento delle pareti dello scavo. E', infatti, noto che la stabilità delle pareti dello scavo in certi terreni dipende anche dal tempo durante il quale esse rimangono aperte.

Il recupero dei casseri di giunto è per eccellenza sempre un'operazione piena d'imprevisti. Un ritardo nelle forniture del calcestruzzo, un errore di dosaggio all'impianto di betonaggio, condizioni di temperature variate, qualità del cemento leggermente differenti, possono da sole o in concomitanza bloccare improvvisamente l'estrazione dei casseri del giunto che, nei casi più sfavorevoli, potranno essere recuperati solamente molto più tardi, non essendo possibile arrestare le operazioni di getto, che deve in ogni modo, una volta iniziato essere ultimato.

Oltre quindi a portare in cantiere, attrezzature per l'estrazione dei casseri sovradimensionate bisogna avere l'avvertenza di tenere in cantiere una serie a disposizione per un impiego tempestivo. Inoltre nel dimensionare i cordoli guida bisogna tenere conto del fatto che devono sopportare anche la reazione dei martinetti per l'estrazione dei casseri.

Un cantiere di diaframmi deve disporre oltre che delle attrezzature di scavo di un'organizzazione per il carico ed allontanamento dei detriti, di un impianto per lo stoccaggio dei fanghi e il loro dissabbiaggio, di un'attrezzatura per la posa delle gabbie, il calaggio e l'estrazione dei casseri nei giunti e per il movimento della batteria dei tubi getto (si può utilizzare la stessa gru).

Per quanto riguarda la produzione e la velocità di scavo, sono strettamente legate alla natura del terreno e possono avere i valori seguenti: Considerando pannelli di spessore compreso tra 60 – 80 cm che sono normalmente i più comuni la velocità può variare da 40 – 50 mq/ora in terreni facili (limo sabbiosi) a 0,5 – 1,00 mq/ora nei terreni difficili. Da questi dati risulta che nel primo caso l'incidenza delle altre lavorazioni; infatti, i tempi di rigenerazione dei fanghi, il calaggio delle gabbie, la posa e l'estrazione dei casseri del giunto e quello del getto sono notevolmente più lunghe di quelle dello scavo. Infatti, la produzione delle paratie finite non supera il valore medio di 15 mq/ora, anche nei casi più favorevoli. E' evidente che ormai la produttività di un cantiere in questi casi (che sono i più frequenti) dipende da tutte le operazioni che una volta, quando i mezzi di scavo non erano così perfezionati, erano considerate secondarie e ininfluenti. Da ciò si nota facilmente che un lavoro di grosse dimensioni consente un'organizzazione più razionale ed efficiente del cantiere, e quindi costi finali sono notevolmente più ridotti.

12) Tolleranze controlli e specifiche

Le principali tolleranze da tenere sotto controllo sono:

A). Verticalità: deviazioni nell'ordine dell'1 – 1,25 % devono essere accettate.

B) Maggior consumo di calcestruzzo: dipende dalla natura del terreno attraversato e dalla forma planimetrica del pannello, in terreni fini, sabbiosi o ghiaiosi (con inerte di dimensioni max 5 – 8 cm) per pannelli rettangolari è bene prevedere un consumo extra del 8 – 10 %.