



Sergio Buonaiuto

TECNICHE DI CONSOLIDAMENTO DEL TERRENO

Manuale pratico
per una corretta esecuzione dei lavori

[Scheda sul sito >](#)



Pali e Diaframmi ✓
Micropali e Tiranti ✓
Iniezioni ✓
Jet-grouting ✓

Sergio Buonaiuto

Tecniche di consolidamento del terreno

**MANUALE PRATICO PER UNA CORRETTA
ESECUZIONE DEI LAVORI**



Dario Flaccovio Editore

Sergio Buonaiuto

TECNICHE DI CONSOLIDAMENTO DEL TERRENO

ISBN 9788857903316

© 2014 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686

www.darioflaccovio.it info@darioflaccovio.it

Prima edizione: settembre 2014

Buonaiuto, Sergio <1959->

Tecniche di consolidamento del terreno : manuale pratico per una corretta esecuzione dei lavori / Sergio Buonaiuto. - Palermo : D. Flaccovio, 2014.

ISBN 978-88-579-0331-6

I. Terreni – Consolidamento.

624.151362 CDD-22

SBN Pal0272998

CIP - Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Stampa: Tipografia Priulla, Palermo, settembre 2014

Adriatech S.r.l. Via Prati, 39 65125 Pescara

Figure: 1.11, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.13, 3.14, 3.15, 3.17.

SIP&T S.p.A. Via Giovanni Agnelli,6 84081 Baronissi (SA)

Figure: 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 1.10, 1.12, 1.13.

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

L'editore dichiara la propria disponibilità ad adempiere agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte.

La fotocopiatura dei libri è un reato.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.

INDICE

Premessa

1. Pali trivellati

1.1.	Introduzione	pag.	11
1.2.	Fasi esecutive	»	12
1.2.1.	Definizione del tipo di palo	»	12
1.2.2.	Scelta delle attrezzature	»	14
1.2.2.1.	Palo trivellato a secco	»	14
1.2.2.2.	Palo trivellato con impiego di fanghi di perforazione	»	15
1.2.3.	Localizzazione aree di cantiere	»	17
1.2.4.	Valutazione programma lavori	»	18
1.2.5.	Definizione campo prova	»	19
1.2.6.	Organizzazione trasporti e impianto cantiere	»	19
1.2.7.	Inizio attività	»	20
1.2.8.	Valutazione risultati	»	37
1.2.9.	Entrata a regime	»	37
1.3.	Controlli finali e campo prova	»	38

2. Diaframmi

2.1.	Introduzione	»	47
2.2.	Fasi esecutive	»	49
2.2.1.	Definizione del tipo di diaframma	»	49
2.2.2.	Scelta delle attrezzature	»	54
2.2.2.1.	Diaframma strutturale a secco	»	54
2.2.2.2.	Diaframma strutturale con impiego di fanghi di perforazione	»	55
2.2.2.3.	Diaframma plastico	»	56
2.2.3.	Localizzazione aree di cantiere	»	58
2.2.4.	Valutazione programma lavori	»	60
2.2.5.	Definizione campo prova	»	61
2.2.6.	Organizzazione trasporti e impianto cantiere	»	61
2.2.7.	Inizio attività	»	62
2.2.8.	Valutazione risultati	»	84
2.2.9.	Entrata a regime	»	84
2.3.	Controlli finali e campo prova	»	85

3. Micropali

3.1.	Introduzione	»	87
3.2.	Fasi esecutive	»	89
3.2.1.	Definizione del tipo di micropalo	»	90
3.2.2.	Scelta delle attrezzature	»	93
3.2.3.	Localizzazione aree di cantiere	»	97
3.2.4.	Valutazione programma lavori	»	99
3.2.5.	Definizione campo prova	»	100
3.2.6.	Organizzazione trasporti e impianto cantiere	»	101
3.2.7.	Inizio attività	»	101
3.2.8.	Valutazione risultati	»	133
3.2.9.	Entrata a regime	»	134
3.3.	Controlli finali e campo prova	»	134

4. Tiranti

4.1.	Introduzione	»	141
------	--------------------	---	-----

4.2.	Fasi esecutive	»	142
4.2.1.	Definizione del tipo di tirante.....	»	143
4.2.2.	Scelta delle attrezzature.....	»	146
4.2.2.1.	Tiranti a secco.....	»	147
4.2.2.2.	Tiranti con sistema acqua/aria	»	148
4.2.2.3.	Tiranti con aria e martello fondo foro.....	»	149
4.2.3.	Localizzazione aree di cantiere	»	151
4.2.4.	Valutazione programma lavori	»	152
4.2.5.	Definizione campo prova	»	155
4.2.6.	Organizzazione trasporti e impianto cantiere	»	155
4.2.7.	Inizio attività.....	»	156
4.2.8.	Valutazione risultati.....	»	173
4.2.9.	Entrata a regime.....	»	174
4.3.	Controlli finali e campo prova	»	174
5. Iniezioni			
5.1.	Introduzione	»	185
5.2.	Evoluzione storica	»	186
5.3.	Iniettabilità dei terreni e miscele.....	»	187
5.3.1.	Iniettabilità dei terreni	»	188
5.3.2.	Miscele d'iniezione	»	192
5.4.	Fasi esecutive	»	202
5.4.1.	Scelta delle attrezzature.....	»	203
5.4.1.1.	Impianti per l'impiego di malte.....	»	204
5.4.1.2.	Impianti per miscele a base di cemento e/o silicato sodico.....	»	204
5.4.1.3.	Impianti per miscele a base di resine.....	»	205
5.4.2.	Localizzazione aree di cantiere	»	206
5.4.3.	Valutazione programma lavori	»	208
5.4.4.	Definizione campo prova	»	210
5.4.5.	Organizzazione trasporti e impianto cantiere	»	210
5.4.6.	Inizio attività.....	»	211
5.4.7.	Applicazioni pratiche.....	»	229
5.4.8.	Valutazione risultati.....	»	235
5.4.9.	Entrata a regime.....	»	237
5.5.	Controlli finali e campo prova	»	237
6. Jet-grouting			
6.1.	Introduzione	»	241
6.2.	Fasi esecutive	»	242
6.2.1.	Definizione del tipo di jet-grouting.....	»	245
6.2.2.	Scelta delle attrezzature.....	»	252
6.2.2.1.	Jet-grouting monofluido	»	255
6.2.2.2.	Jet-grouting bifluido	»	257
6.2.2.3.	Jet-grouting trifluido.....	»	258
6.2.3.	Localizzazione aree di cantiere	»	259
6.2.4.	Valutazione programma lavori	»	261
6.2.5.	Definizione campo prova	»	262
6.2.6.	Organizzazione trasporti e impianto cantiere	»	269
6.2.7.	Inizio attività.....	»	269
6.2.8.	Valutazione risultati.....	»	286
6.2.9.	Entrata a regime.....	»	288
6.3.	Controlli finali e campo prova	»	289
<i>Conclusioni e ringraziamenti.....</i>			» 297

Premessa

Nel settore delle fondazioni, e più in generale nelle opere di specializzazione, l'Italia si è sempre distinta nel mondo sia per il valore dei propri progettisti, spesso anche ideatori di specifiche tecniche di consolidamento, che come produttori nel mondo delle attrezzature di perforazione.

Imprese come la Rodio S.p.A., la Trevi S.p.A. o la Fondedile S.p.A. hanno, agli inizi del secolo scorso, gettato le basi di molte delle lavorazioni ancora oggi in uso nel settore dei consolidamenti spesso realizzando anche le attrezzature necessarie; mi piace ricordare un caso per tutti che vide nel 1952 l'ing. F. Lizzi dell'allora Soc. An. Fondedile ideatore del palo radice che veniva realizzato con delle perforatrici (M2) che da artigianali sistemi manuali furono trasformate, negli anni successivi, in attrezzature motorizzate.

Negli anni '90 i lavori della TAV e l'introduzione del sistema di qualità furono motivo di un ulteriore impulso del settore con la definizione di nuove tecniche esecutive e nuovi limiti di accettabilità delle singole fasi di ogn lavorazione.

La predisposizione di campi prova, adeguati all'importanza dell'opera da realizzare, consentì un approccio distinto al lavoro, permettendo, sia di anticipare quelli che poi si sarebbero potuti rivelare punti critici durante l'esecuzione dei lavori che di pianificare in maniera ottimale e funzionale le varie lavorazioni.

Il sistema qualità permise di standardizzare le lavorazioni consentendo un controllo puntuale di tutte le criticità durante l'esecuzione delle singole attività, evidenziando eventuali anomalie e consentendo l'applicazione delle necessarie manovre correttive.

I controlli finali realizzati su campioni significativi delle singole lavorazioni consentirono, infine, di verificare la rispondenza delle opere realizzate ai requisiti fissati dai progettisti.

Ho avuto la fortuna di avere vissuto in prima persona questa fase positiva del settore delle opere di specializzazione in Italia e ho avuto modo di maturare un'esperienza diretta nell'esecuzione dei lavori che ho potuto trasferire nella mia attività professionale.

Negli ultimi anni (mi riferisco all'inizio del 2000) ho avuto la possibilità di avvicinarmi alla realtà lavorativa spagnola seguendo una serie di lavori estremamente impegnativi.

Anche in questo caso ho vissuto direttamente l'entusiasmo di una Spagna, ancora non coinvolta dal peso di una crisi che avrebbe a breve travolto l'Europa, per realizzare la linea ad alta velocità (AVE) e le nuove linee metropolitane di Barcellona.

In quegli anni, caratterizzati dalla volontà di “fare”, non esistevano ostacoli non superabili, le attrezzature venivano modificate e adattate alle specifiche esigenze lavorative, spesso si provavano tecniche che nascevano dalla partecipazione di un intero gruppo lavorativo senza distinzione tra operatore e direttore dei lavori, spinti tutti dall'unico obiettivo di raggiungere lo scopo finale.

Nel 2010, con la Spagna oramai paralizzata nel settore delle costruzioni, sono tornato a seguire una serie di lavori in Italia e, purtroppo, tra la crisi economica che iniziava a coinvolgere anche le nostre imprese edili e la riduzione di opere di prestigio, ho constatato che molto del lavoro fatto per professionalizzare il nostro settore era andato perso.

Il sistema qualità si è trasformato da elemento guida durante l'esecuzione dei lavori, in una noiosa attività di raccolta di documenti, che sempre più spesso vede coinvolti tecnici poco interessati al lavoro.

La passione, quella fiamma che ci spingeva spesso a dedicare al lavoro quasi la totalità del nostro tempo, sembra oramai qualcosa di dimenticato e di distante da quelle che sono le esigenze attuali.

In questo contesto e con la volontà di raccogliere quelle che sono le esperienze pratiche accumulate durante la mia attività professionale, ho deciso di scrivere questo manuale sulle tecniche di consolidamento del terreno.

Il manuale, suddiviso per tipologia di lavorazione, raccoglie tutte le principali attività legate al settore delle fondazioni speciali spaziando dai pali di grosso diametro ai diaframmi, dai micropali alle iniezioni di consolidamento, ai tiranti e al *jet-grouting*.

Le singole attività saranno affrontate sempre da un punto di vista pratico, dando spazio a come eseguire ogni specifica lavorazione controllando tutte le varie fasi esecutive allo scopo di analizzare e risolvere le eventuali criticità che potrebbero determinarsi.

Contemporaneamente verranno affrontati anche gli aspetti organizzativi del cantiere, guidando il lettore nella scelta delle attrezzature più idonee, fornendo indicazioni su come installare il cantiere e pianificare i lavori.

Per eventuali approfondimenti tecnici invito sia a consultare il mio sito web www.geologiaeconsolidamenti.com che a contattarmi personalmente tramite lo stesso sito, sarà mia cura rispondere a tutti quanto prima.

Buon lavoro.

1. Pali trivellati

1.1. Introduzione

La realizzazione di un palo consiste, in estrema sintesi, nella possibilità di creare nel sottosuolo un elemento artificiale in grado di trasferire al terreno i carichi prodotti da una struttura realizzata in superficie.

Durante la realizzazione di un'opera edile che sia una piccola villetta, un viadotto ferroviario o un albergo di oltre 400 metri di altezza, sarà sempre necessario confrontarsi con i terreni su cui la struttura andrà ad appoggiare.

Uno dei problemi principali dei progettisti sarà quindi quello di caratterizzare il terreno e di dimensionare le fondazioni da realizzare.

Nel caso di carichi minimi e di terreni idonei sarà possibile realizzare fondazioni estremamente semplici e superficiali, ma quando sarà necessario trasferire al terreno carichi e sollecitazioni notevoli risulterà indispensabile eseguire adeguate opere di fondazioni profonde.

Nella pratica delle fondazioni speciali esiste una moltitudine di sistemi che consentono di migliorare le caratteristiche meccaniche del terreno per renderlo idoneo a sostenere le strutture da realizzare, ma una delle più usate è quella dei pali di grosso diametro.

La tecnologia odierna consente la realizzazione di pali di diametro compreso tra i 400 e i 2.500/3.000 mm a profondità che variano da pochi metri fino a superare i 90.

Le caratteristiche fisiche del palo, direttamente collegate ai carichi che dovrà sopportare e ai terreni in cui il palo andrà a essere realizzato, condizionano fortemente il tipo di palo che verrà eseguito.

Tra i pali più comuni da realizzare esistono i pali trivellati (sia a secco che con impiego di opportuni fanghi di perforazione per il sostentamento delle pareti di scavo), i pali intubati, i pali a elica continua (CFA), i pali battuti, ecc.

In questo capitolo verrà affrontata la realizzazione dei pali trivellati, siano essi a secco che con impiego di fanghi, in quanto risultano essere i più diffusi nella realizzazione delle opere pubbliche.

1.2. Fasi esecutive

Per una corretta pianificazione di un cantiere di pali sarà necessario affrontare e pianificare le seguenti fasi:

- definizione del tipo di palo da eseguire;
- scelta delle attrezzature idonee alla tipologia di palo da realizzare;
- localizzazione delle aree di cantiere da destinare agli impianti fissi;
- valutazione iniziale del programma lavori previsto;
- definizione di un campo prova iniziale o, nel caso non fosse possibile, pianificazione dei controlli “intensivi” che andranno realizzati durante lo scavo dei primi pali;
- organizzazione dei trasporti e inizio impianto cantiere;
- inizio attività con campo prova o, in alternativa, inizio lavori con pali monitorati;
- valutazione dei risultati ottenuti e azioni correttive sulle metodologie esecutive;
- entrata a regime del cantiere.

1.2.1. Definizione del tipo di palo

Una volta acquisito il progetto esecutivo e quindi stabilito che la soluzione adottata dal progettista prevede la realizzazione di pali trivellati, si andranno a raccogliere le informazioni sui terreni da perforare e quindi ci si dedicherà allo studio della relazione geologica allegata al progetto.

Si inizierà quindi a verificare le stratigrafie dei sondaggi eseguiti, le eventuali prove *in situ* che siano state realizzate e i risultati di laboratorio effettuati sui campioni indisturbati prelevati durante le indagini.

I parametri che, in questa prima fase, verranno cercati saranno quelli relativi alla curva granulometrica, alla coesione, all'angolo di attrito e alla permeabilità dei terreni.

Contemporaneamente si verificherà l'eventuale presenza di una falda freatica che possa interferire con i pali da realizzare e, nel caso, verrà valutata la sua quota rispetto al piano campagna.

Una volta chiarita la situazione geologica complessiva sarà possibile decidere il tipo di perforazione da eseguire e, in particolare, se sarà necessario o meno l'utilizzo dei fanghi di perforazione.

La perforazione di un palo prevede l'impiego di attrezzature specifiche, attualmente le perforatrici idrauliche risultano essere le più diffuse.

In questo tipo di attrezzature un idoneo utensile di scavo viene collegato a un sistema di aste telescopiche controllate da un argano idraulico per consentire la movimentazione verticale.

L'utensile di perforazione, insieme alle aste a cui è collegato, ruota su se stesso mediante una tavola *rotary* idraulica.

Pertanto la perforazione avviene mediante un processo costante e ripetuto nel tempo di infissione a rotazione dell'utensile nel terreno, riempimento dello stesso con il materiale incontrato, sollevamento dell'utensile a bocca foro e scarico del materiale lateralmente all'attrezzatura di perforazione, il tutto si ripete fino al raggiungimento della quota di ultimazione del palo.

Evidentemente, un terreno che risulti avere una coesione bassa o nulla (sabbie) difficilmente consentirà uno scavo senza determinare problemi di stabilità delle pareti, al contrario, nel caso si dovessero realizzare pali in terreni coesivi (argille), sarà facilmente utilizzabile il palo trivellato a secco.

Chiaramente le due situazioni limite passano, nella realtà, attraverso una variabilità che spesso non è solo legata allo spostamento planimetrico delle aree di lavoro, frequentemente, infatti, anche lungo l'asse di perforazione di uno stesso palo esistono alternanze di terreni tali da rendere necessaria una scelta valida per tutta la perforazione. In queste condizioni, che rappresentano la norma in natura, sarà necessario analizzare, in funzione delle profondità, i cambi di coesione e si opterà per l'impiego dei fanghi in tutti i casi in cui non sarà possibile garantire la necessaria stabilità delle pareti dello scavo.

Solo quando i terreni sciolti saranno limitati ai primi metri di perforazione sarà possibile valutare, eventualmente, l'uso di un tubo esterno di rivestimento che, stabilizzando i terreni incoerenti, consentirebbe lo scavo dei successivi terreni coesivi con una trivellazione a secco.

Altro fattore che determinerà la decisione sul tipo di palo da realizzare sarà la presenza di eventuali falde acquifere; solitamente tale situazione indica una permeabilità del terreno tale da indurre all'uso di fanghi di perforazione.

Ovviamente anche gli utensili di perforazione andranno scelti in funzione del terreno da perforare, quindi su terreni argillosi e limosi o comunque con una coesione tale da consentire lo scavo a secco sarà possibile l'impiego di eliche; diversamente, nel caso di terreni sciolti sarà preferibile l'impiego di *bucket*.

L'eventuale presenza di livelli cementati o di roccia fratturata potrebbero determinare la necessità dell'impiego di utensili specifici come scalpelli e carotieri.

Poiché generalmente le grandi opere pubbliche si sviluppano lungo percorsi di svariati chilometri, come nel caso di lavori autostradali o ferroviari, può essere necessario valutare le modalità esecutive dei pali in condizioni geologiche diverse, si dovrà quindi analizzare l'andamento dei terreni in relazione a ogni specifico punto di lavoro per evidenziare eventuali variazioni che possano determinare un approccio diverso al lavoro.

Ultimata questa prima fase di studio e definito il tipo di perforazione che si andrà a realizzare, si potrà passare al punto successivo.

1.2.2. Scelta delle attrezzature

Nella fase della scelta delle attrezzature, bisognerà conoscere due nuove informazioni fornite dal progetto: il diametro del palo da realizzare e la profondità massima che sarà necessario raggiungere dal piano campagna.

Questi due ulteriori dati permetteranno di definire le attrezzature più idonee per il tipo di lavorazione da eseguire.

Le perforatrici in commercio si differenziano, sostanzialmente, per le prestazioni massime che possono ottenere.

In particolare con potenze maggiori sarà possibile l'impiego di diametri maggiori e la possibilità di raggiungere profondità elevate.

Evidentemente le attrezzature più potenti avranno come aspetto negativo le dimensioni che, essendo maggiori, richiederanno costi di trasporto superiori e aree di lavoro adeguate alla loro movimentazione.

Un aiuto nell'individuazione delle attrezzature di perforazione più idonee, per ogni specifica situazione, potrà venire dalla consultazione del sito web www.geologiaeconsolidamenti.com e dallo studio delle relative schede tecniche.

Nei paragrafi a seguire viene fatto un riepilogo delle attrezzature necessarie per la realizzazione delle due tipologie di palo.

Volutamente non sono indicati i diametri di perforazione, in quanto variabili da caso a caso.

1.2.2.1. Palo trivellato a secco

Nel caso del palo trivellato a secco, le attrezzature necessarie saranno:

- perforatrice da pali idonea ai diametri e alle profondità di progetto;
- gru di servizio per la movimentazione delle gabbie e il successivo getto con calcestruzzo;
- avampozzo metallico di diametro maggiore rispetto al palo e di lunghezza di circa 3,5-5,0 metri. Sarà necessario dotare tale avampozzo di due appoggi laterali che consentano sia di sostenere l'avampozzo sul terreno che di permettere allo stesso di sporgere dal terreno per garantire una protezione intorno all'area di scavo;
- cestello con tubi getto di diametro adeguato e in grado di raggiungere le profondità di fine palo per consentire il getto del calcestruzzo riducendo al minimo i fenomeni di disgregazione e separazione degli inerti;
- pedana e tramoggia per il getto;
- utensili di scavo; in questa categoria vanno raccolti i vari *bucket*, eliche, scalpelli e carotieri da roccia, ecc., necessari per la perforazione. Evidentemente sarà la natura stessa dei terreni incontrati che determinerà le scelte più idonee;

- materiali di usura quali picchi, denti, ecc., che andranno montati sugli utensili di scavo e che saranno da scegliere sempre in funzione del terreno da scavare;
- cisterne per il gasolio necessario alle attrezzature;
- motosaldatrici per giunzione gabbie, riparazione e manutenzione degli utensili di scavo;
- gruppo elettrogeno per illuminazione;
- pala meccanica per la movimentazione del materiale di scavo.

Attrezzature secondarie utili saranno ancora:

- container ufficio;
- container spogliatoio per il personale;
- container per i servizi igienici;
- materiale per la messa a terra di tutte le attrezzature (picchetti, morsetti, treccia di rame, ecc.);
- materiale per recinzioni e segnalazioni di cantiere;
- estintori;
- funi di ricambio;
- utensili vari.

1.2.2.2. Palo trivellato con impiego di fanghi di perforazione

Nel caso del palo trivellato, con l'impiego di fanghi di perforazione, le attrezzature necessarie saranno le seguenti:

- perforatrice da pali idonea ai diametri e alle profondità di progetto;
- gru di servizio per la movimentazione delle gabbie e il successivo getto con calcestruzzo;
- impianto di miscelazione dei fanghi;
- silos per lo stoccaggio dei prodotti necessari per la produzione dei fanghi;
- vasche metalliche per lo stoccaggio dell'acqua necessaria per la produzione dei fanghi;
- vasche metalliche per la raccolta e maturazione del fango;
- pompe per la mandata dell'acqua dalle vasche al miscelatore dei fanghi;
- pompe per la mandata del fango dalle vasche di maturazione al palo;
- pompe per il recupero dei fanghi durante la fase di getto del palo;
- dissabbiatore fanghi;
- tubazioni di raccordo tra le vasche e tra le varie pompe di mandata e di ritorno dei fanghi complete di raccorderia e saracinesche;
- avampozzo metallico di diametro maggiore rispetto al palo e di lunghezza di circa 3,5-5,0 metri. Sarà necessario dotare tale avampozzo di due appoggi laterali che sostengano l'avampozzo sul terreno e che consentano a una parte

dell'avampozzo stesso di sporgere dal terreno per garantire una protezione intorno all'area di scavo;

- cestello con tubi getto di diametro adeguato e in grado di raggiungere le profondità di fine palo per consentire il getto del calcestruzzo riducendo al minimo i fenomeni di disgregazione e separazione degli inerti;
- pedana e tramoggia per il getto;
- utensili di scavo, in questa categoria vanno raccolti i vari *bucket*, eliche, scalpelli e carotieri da roccia, ecc., necessari per la perforazione. Evidentemente sarà la natura stessa dei terreni incontrati che determinerà le scelte più idonee;
- materiali di usura quali picchi, denti, ecc., che andranno montati sugli utensili di scavo e che saranno da scegliere sempre in funzione del terreno da scavare;
- cisterne per il gasolio necessario alle attrezzature;
- motosaldatrici per giunzione gabbie, riparazione e manutenzione degli utensili di scavo;
- gruppo elettrogeno per illuminazione;
- pala meccanica per la movimentazione del materiale di scavo.



Figura 1.1. Attrezzatura pali trivellati

Attrezzature secondarie utili saranno ancora:

- container ufficio;
- container spogliatoio per il personale;
- container per i servizi igienici;
- materiale per la messa a terra di tutte le attrezzature (picchetti, morsetti, treccia di rame, ecc.);
- materiale per recinzioni e segnalazioni di cantiere;
- estintori;
- funi di ricambio;
- utensili vari.

Inoltre sarà necessario valutare il grado di abrasione dei terreni attraversati sia per definire gli utensili di scavo più idonei che per prevedere gli elementi di usura (denti, picchi, ecc.) adeguati. Su tale aspetto, la cui importanza non va sottovalutata, ci si soffermerà qui di seguito.

Le ditte che si occupano di produrre materiale per la perforazione offrono un'ampia possibilità di scelta consentendo, oltre a una vasta e diversificata produzione di utensili di perforazione, anche l'impiego di utensili di usura che prevedono forme, dimensioni e grado di durezza dei materiali impiegati differenti, consentendo risultati ottimali in ogni tipo di terreno.

Una scelta attenta non solo consentirà una maggiore velocità di perforazione, ma permetterà anche di ridurre i costi legati sia ai maggiori consumi degli elementi di usura che alle rotture da stress degli stessi utensili di scavo o, nei casi peggiori, della stessa attrezzatura di perforazione.

1.2.3. Localizzazione aree di cantiere

La fase della localizzazione delle aree di cantiere, quando sottovalutata, produce, inevitabilmente, ripercussioni importanti sull'economia del progetto.

Fondamentale risulta programmare una visita al cantiere prima di completare l'ordine delle attrezzature necessarie ai lavori; tale attività andrà realizzata insieme al responsabile a cui sarà assegnato il compito di seguire, in maniera continuativa, il cantiere.

Durante il sopralluogo sarà necessario pianificare e definire, con l'impresa appaltatrice dei lavori, come e dove posizionare l'area di cantiere.

Nella scelta sia delle attrezzature da impiegare che del tipo di cantiere da impiantare sarà fondamentale lo sviluppo areale dei lavori, bisognerà quindi valutare la possibilità di individuare un'area di cantiere baricentrica ai lavori per ridurre al minimo gli spostamenti interni riducendo le fasi di fermo.

Nel caso non fosse possibile un unico posizionamento dell'area da destinare agli impianti fissi, andrà valutata la possibilità di realizzare un impianto "agile", più facilmente movimentabile, sempre allo scopo di contenere i tempi necessari agli spostamenti.

Ovviamente l'aspetto della logistica del cantiere assume un'importanza fondamentale per la realizzazione dei pali con impiego di fanghi mentre, nel caso di pali trivellati a secco, avrà una rilevanza minore in quanto non sarà necessario spostare anche l'impianto.

Chiaramente, nella fase iniziale di definizione delle aree di cantiere sarà necessario decidere anche dove andranno posizionate le aree di stoccaggio dei materiali. In particolare bisognerà valutare sia dove posizionare le gabbie di armatura in attesa del loro impiego che quali aree debbano essere destinate alla raccolta del materiale di risulta degli scavi.

In entrambi i casi sarà necessario individuare aree prossime alla zona di scavo dei pali allo scopo di evitare inutili e costosi spostamenti delle attrezzature.

Infine sarà necessario valutare le specifiche aree di lavoro destinate all'esecuzio-

ne dei pali; spesso si osservano cantieri con aree estremamente ridotte che non permettono un'agevole movimentazione delle attrezzature.

È fondamentale dimensionare le aree tenendo in conto la necessità che, in alcuni momenti delle fasi lavorative, si determinerà la presenza, contemporaneamente, della perforatrice in fase di scavo del palo e della gru di servizio impegnata prima nella posa della gabbia di armatura e poi al getto del calcestruzzo e delle autobetoniere.

Quindi, sia per un aspetto pratico che per la sicurezza dei lavoratori impegnati sul cantiere, sarà bene curare attentamente questo argomento.

La pianificazione completa del cantiere può sembrare ovvia e banale, ma anni di esperienza di cantiere insegnano che ogni nuovo inizio di cantiere, anche se composto dalle stesse squadre e con le stesse attrezzature impiegate sul cantiere immediatamente precedente, riserva una serie di “sorprese” che spesso determinano rallentamenti della fase iniziale.

È quindi fondamentale dare il massimo risalto a questo punto sensibilizzando al massimo chi andrà a operare in cantiere.

1.2.4. Valutazione programma lavori

Nella fase iniziale di pianificazione dei lavori rientra anche una valutazione di massima di quelle che possono essere le produzioni attese. Tale stima è fondamentale per la valutazione delle forniture, sia delle gabbie di armatura che del calcestruzzo, fondamentali per l'esecuzione dei lavori.

Troppo spesso si osservano cantieri che, pur disponendo delle attrezzature e della capacità tecnica per eseguire produzioni maggiori, non sono messi nelle condizioni di operare al meglio per una mancata pianificazione delle forniture.

Quindi è preferibile abbandonare la posizione che viene riassunta da una frase troppo spesso ascoltata: “se non iniziamo a provare il primo foro come facciamo a capire la produzione?”. Le ipotesi vanno fatte in ogni caso, la verifica operativa fornirà indicazioni sull'esattezza delle ipotesi fatte e, nel caso ci fossero riscontri differenti, si avrà sempre la possibilità di rivedere i programmi in un secondo momento.

Tale attività sarà inoltre utile anche per verificare il rispetto dei tempi esecutivi adottando, nel caso risultasse necessario, eventuali azioni correttive come l'inserimento di ulteriori gruppi di lavoro o lavorazioni su più turni.

Nella valutazione del programma lavori è bene inserire anche un'ipotesi relativa al personale che si prevede di impiegare.

Nel caso di pali trivellati a secco si avrà bisogno di due operatori per il funzionamento della perforatrice e della gru di servizio, ovviamente nei casi in cui esiste la possibilità di lavorazioni in contemporanea, inoltre sarà necessario prevedere

almeno altre tre persone di cui due dedicate all'assistenza alla gru di servizio e una di assistenza alla perforatrice.

Per evitare l'impiego di ulteriore personale l'operaio previsto in assistenza alla perforatrice dovrà essere in grado di operare sulla pala necessaria alla movimentazione del materiale di risulta.

Nel caso di pali con impiego di fanghi sarà necessario prevedere un'ulteriore figura che avrà la responsabilità dell'impianto di miscelazione.

1.2.5. Definizione campo prova

In base al tipo di opera che verrà realizzata sarà necessario predisporre un campo prova preliminare per valutare la bontà delle scelte progettuali.

Evidentemente questa fase di studio preliminare, che spesso viene valutata solo come un'inutile ritardo sull'inizio dei lavori influenzando negativamente sui già limitati tempi esecutivi, in realtà consente, oltre a garantire il risultato finale dei lavori, di verificare tutta una serie di parametri fondamentali per confermare o meno le scelte operate in fase di studio del lavoro.

Sarà quindi in questa specifica fase che sarà possibile confermare o adottare quei cambiamenti relativi sia agli utensili di perforazione che al tipo di fango di perforazione indispensabili per ottimizzare il cantiere in termini di produttività e quindi di economicità.

Ovviamente sarà necessario valutare la possibilità di soluzioni alternative per ridurre i fermi che si produrranno, inevitabilmente, tra la fase di esecuzione del campo prova e l'entrata in produzione del cantiere, determinati sia dalla fase di maturazione del calcestruzzo che dall'esecuzione delle stesse prove.

1.2.6. Organizzazione trasporti e impianto cantiere

Terminate le fasi preliminari di studio del cantiere, individuate le attrezzature idonee e programmate tutte le attività propedeutiche al montaggio del cantiere, sarà possibile organizzare i trasporti delle attrezzature.

La fase di montaggio delle attrezzature, e più genericamente dell'impianto cantiere, andrà realizzata nel più breve tempo possibile pianificando i trasporti secondo un ordine preciso e legato alle fasi di montaggio delle varie attrezzature.

Spesso capita di vedere cantieri dove la prima attrezzatura inviata è la perforatrice, che poi rimane ferma e inutilizzata per giorni.

Un esempio corretto di pianificazione dei trasporti e quindi di montaggio del cantiere potrebbe essere il seguente:

- gru di servizio;
- silos e impianto di miscelazione;

- vasconi metallici;
- pompe e tubazioni varie di raccordo;
- attrezzatura di perforazione.

Evidentemente lo scopo di questa sequenza, che è volutamente sintetica, è evidenziare la necessità di avere come prima attrezzatura la gru che sarà impiegata per le fasi di montaggio del resto del cantiere, successivamente sarà necessario inviare il silos necessario per stoccare il prodotto in polvere scelto per la preparazione del fango, quindi l'impianto di miscelazione e i vasconi per la raccolta del fango già miscelato e solo come ultimo invio le attrezzature di perforazione che, una volta montate, potranno iniziare immediatamente a perforare.

Ottimizzare questa fase consentirà tempi di montaggio minimi e quindi un'incidenza dei costi iniziali che non andranno a pesare eccessivamente sull'economia del cantiere.

1.2.7. Inizio attività

Ultimato anche il montaggio del cantiere sarà possibile dare inizio alle lavorazioni che, come detto precedentemente, vedranno l'esecuzione del campo prova come prima attività.

Nel caso non fosse possibile realizzare un vero e proprio campo prova previsto da progetto o comunque richiesto dalla direzione dei lavori, sarà necessario raccogliere tutta una serie di informazioni durante la realizzazione dei primi pali.

Tale operazione risulterà fondamentale per l'impresa esecutrice in quanto i dati raccolti forniranno indicazioni indispensabili per comprendere come il terreno reagisce alla perforazione e come si comportano i fanghi di perforazione, consentendo quindi una prima valutazione sui risultati finali che verranno ottenuti.

I parametri fondamentali da valutare saranno i seguenti:

- tempi esecutivi delle singole fasi di scavo, posa gabbia e getto del calcestruzzo;
- valutazione dei terreni incontrati durante la perforazione;
- assorbimento dei fanghi durante la perforazione;
- caratteristiche dei fanghi impiegati freschi (all'impianto);
- caratteristiche dei fanghi durante l'uso (fondo palo);
- assorbimento calcestruzzo lungo l'asse del palo.

Si entri ora nel merito dell'attività esecutiva del palo trivellato. Nella descrizione delle varie fasi verrà preso in considerazione solo il palo trivellato con fango, in quanto il palo a secco prevede le stesse fasi lavorative ma, ovviamente, senza la complicazione dell'uso di un fluido di perforazione.

Le fasi di lavoro risultano essere le seguenti:

- predisposizione piani di lavoro;
- tracciamento e tolleranze geometriche;
- confezionamento fanghi di perforazione;
- inizio perforazione e posa avampozzo;
- ultimazione perforazione e controlli;
- posa armatura metallica;
- posa calcestruzzo.

La preparazione dei piani di lavoro risulta essere un'attività propedeutica all'inizio delle lavorazioni e che riveste particolare importanza, dipendendo da essa non solo la movimentazione delle attrezzature, ma anche la stabilità delle stesse. Le attrezzature di perforazione, così come le gru di servizio, sono macchine di dimensioni notevoli e che possono svolgere la loro attività lavorativa in assoluta sicurezza ma, nel caso di cedimenti del piano di appoggio, possono innescarsi fenomeni di instabilità che, nei casi limiti, ne potrebbero determinare il ribaltamento con conseguenze facilmente immaginabili.

Oltre alla predisposizione dei piani di lavoro sarà necessario realizzare le piste di accesso che dovranno essere transitabili ai mezzi su ruote come autobetoniere, automezzi per il trasporto delle gabbie di armatura, autovetture di servizio, ecc., evidentemente piste non idonee andranno a rallentare e intralciare lo svolgimento delle lavorazioni determinando ritardi e mancate produzioni per l'impresa esecutrice dei lavori.

Nella fase di preparazione delle aree di lavoro si provvederà inoltre alla verifica che non esistano interferenze con tubazioni, cavi elettrici interrati e/o aerei, manufatti sotterranei ed eventuali ordigni bellici che possano essere causa di ostacolo e pericolo durante la fase di perforazione dei pali.

Ultimo punto da prendere in considerazione sarà quello della quota dei piani di lavoro che dovrà essere tale da evitare che i ferri di attesa della gabbia di armatura possano essere d'intralcio alla movimentazione delle attrezzature.

Terminata questa prima fase di lavoro sarà possibile procedere con il tracciamento dell'asse di perforazione dei pali; tale operazione dovrà prevedere l'impiego di picchetti numerati che, unitamente a una tabella riepilogativa, consentirà, oltre all'esatta individuazione del palo, anche di conoscere la profondità di scavo da raggiungere e la quota di posa della gabbia di armatura rispetto al piano campagna.

Le tolleranze, quando non diversamente specificato, nell'esecuzione dei pali prevedono un errore nella posizione planimetrica di 0,10 metri, una deviazione sulla verticalità non superiore al 2% e una differenza della quota di fine scavo compresa tra $\pm 0,20$ metri.

Si comprende chiaramente che un'errata trasmissione delle informazioni all'operatore o uno spostamento accidentale del picchetto può facilmente innescare errori nella posizione planimetrica del palo o nelle quote di fondo scavo e posa della gabbia di armatura.

Errori di questo tipo possono produrre danni economici che possono essere di entità estremamente variabile in quanto un palo non correttamente posizionato può anche richiedere una manovra correttiva con cambi sostanziali rispetto al progetto base.

Poiché durante l'esecuzione dei lavori può capitare che le attrezzature vadano a spostare i picchetti e, in alcuni casi, anche a rimuoverlo completamente, sarà necessario evitare il riposizionamento con allineamenti "improvvisati" e chiedere l'intervento di un topografo che possa riposizionare i picchetti correttamente.

Anche un'ora di fermo del cantiere, in questo caso, sarà preferibile al costo determinato da un palo fuori asse.

Stesso discorso vale sia per la profondità di scavo che per la quota di posa della gabbia di armatura che dovrà essere quella prevista in progetto.

In particolare, un errato posizionamento della gabbia andrà a richiedere manovre correttive per adeguare le lunghezze dei ferri di attesa con la struttura prevista sulla testa dei pali.

Si è visto, precedentemente, che in determinati terreni risulta necessario, per la realizzazione della perforazione del palo, impiegare un fango idoneo a garantire la stabilità delle pareti.

La quantità consigliabile di fango da predisporre prima dell'inizio dei lavori è valutabile in circa tre volte il volume teorico del palo.

I fanghi che normalmente vengono impiegati sono costituiti da una miscela di acqua e bentonite che, in alcuni casi, può essere anche additivata con ulteriori prodotti più specifici.

I requisiti richiesti per la bentonite saranno:

- residuo al vaglio da 200 mesh a umido < 25%;
- tenore di umidità < 15%;
- limite di liquidità > 400;
- viscosità cono di Marsh 1500/1000 della sospensione al 6% in acqua distillata > 40";
- decantazione della sospensione al 6% entro le 24 ore < 2%;
- acqua separata per pressofiltrazione di 450 cm³ della sospensione al 6% in 30' alla pressione di 7 kg/cm² = 18 cm³;
- pH dell'acqua filtrata = 7-10;
- spessore del cake sul filtro della filtropressa < 2,5 mm.

Il dosaggio della bentonite sarà compreso tra il 4% e il 7% rispetto al peso dell'acqua, evidentemente l'efficienza dei dosaggi impiegati andrà verificata durante la realizzazione dei pali e sarà in funzione dei terreni incontrati.

Per consentire la miscelazione acqua/bentonite verranno impiegati adeguati impianti che, sia nel caso di bentonite fornita in sacchi che in silos, dovranno consentire la corretta impostazione dei dosaggi stabiliti.

La figura 1.2 mostra un impianto automatizzato con silos per la bentonite sfusa.



Figura 1.2. Impianto miscelazione bentonite

Il prodotto miscelato verrà poi inviato in apposite vasche metalliche per la sua maturazione che, secondo il prodotto utilizzato, potrà variare tra le 6 e le 24 ore. In ogni caso il fango idratato andrà valutato prima del suo uso e dovrà rispondere alle seguenti caratteristiche:

- peso specifico = 1,02-1,10 ton/m³
- viscosità di Marsh = 33''-50''.

La figura 1.3 mostra una tipica vasca di maturazione dei fanghi bentonitici realizzata con elementi di lamiera zincata ondulata opportunamente impermeabilizzata.

sario predisporre due cestelli completi per quei casi in cui verranno realizzati pannelli doppi;

- pedana e tramoggia per il getto. Anche in questo caso va previsto l'impiego di due attrezzature complete;
- utensili di scavo, in questa categoria sarà necessario prevedere un corpo benna di scorta, spalle e valve della benna di spessore adeguato ai diaframmi da realizzare, scalpelli da roccia, ecc. Evidentemente sarà la natura dei terreni incontrati che determinerà le scelte più idonee;
- materiali di usura quali picchi, denti, ecc., che andranno montati sugli utensili di scavo e che saranno da scegliere in funzione sempre del terreno da scavare;
- elementi metallici per la realizzazione dei giunti tra pannelli;
- estrattori idraulici per giunti;
- cisterne per il gasolio necessario alle attrezzature;
- motosaldatrici per giunzione gabbie, riparazione e manutenzione degli utensili di scavo;
- gruppo elettrogeno per illuminazione;
- pala meccanica per la movimentazione del materiale di scavo.

Attrezzature secondarie utili saranno ancora:

- container ufficio;
- container spogliatoio per il personale;
- container per i servizi igienici;
- materiale per la messa a terra di tutte le attrezzature (picchetti, morsetti, treccia di rame, ecc.);
- materiale per recinzioni e segnalazioni di cantiere;
- estintori;
- funi di ricambio;
- pistoni e guarnizioni di ricambio benna;
- utensili vari.

2.2.2.3. Diaframma plastico

Per quanto riguarda il diaframma plastico, le attrezzature necessarie sono quelle di seguito elencate:

- perforatrice per diaframmi idonea agli spessori e alle profondità di progetto;
- impianto di miscelazione acqua/bentonite;
- silos per lo stoccaggio della bentonite;
- impianto miscelazione latte bentonite/cemento;
- agitatore miscela latte bentonite/cemento;

- silos per lo stoccaggio del cemento;
- vasche metalliche per lo stoccaggio dell'acqua necessaria per la produzione della miscela bentonitica;
- vasche metalliche per la raccolta e maturazione del fango;
- pompe per la mandata dell'acqua dalle vasche al miscelatore della bentonite;
- pompe per la mandata del latte di bentonite alle vasche di maturazione;
- pompe per la movimentazione del latte di bentonite nelle vasche di maturazione;
- pompe per la mandata del latte di bentonite all'impianto di miscelazione con il cemento;
- pompe per la mandata della miscela autoindurente al pannello;
- tubazioni di raccordo tra le vasche e tra le varie pompe di mandata complete di raccorderia e saracinesche;
- utensili di scavo, in questa categoria sarà necessario prevedere un corpo benna di scorta, spalle e valve della benna di spessore adeguato ai diaframmi da realizzare, scalpelli da roccia, ecc. Evidentemente sarà la natura dei terreni incontrati che determinerà le scelte più idonee;
- materiali di usura quali picchi, denti, ecc., che andranno montati sugli utensili di scavo e che saranno da scegliere in funzione sempre del terreno da scavare;
- cisterne per il gasolio necessario alle attrezzature;
- motosaldatrici per riparazione e manutenzione degli utensili di scavo;
- gruppo elettrogeno per illuminazione;
- pala meccanica per la movimentazione del materiale di scavo.

Attrezzature secondarie utili saranno ancora:

- container ufficio;
- container spogliatoio per il personale;
- container per i servizi igienici;
- materiale per la messa a terra di tutte le attrezzature (picchetti, morsetti, treccia di rame, ecc.);
- materiale per recinzioni e segnalazioni di cantiere;
- estintori;
- funi di ricambio;
- pistoni e guarnizioni di ricambio benna;
- idoneo sistema di lavaggio per le aste e il corpo benna;
- utensili vari.

Si è già parlato dell'importanza di valutare adeguatamente i terreni incontrati durante la perforazione; sarà fondamentale definire gli utensili di scavo più idonei e prevedere gli elementi di usura (denti, picchi, ecc.) più performanti. Da tale scelta dipenderà l'ottenimento o meno delle corrette velocità di avanza-

mento dello scavo con il conseguente risultato non solo di una maggiore produttività, ma anche di una notevole riduzione dei costi legati al consumo precoce degli elementi di usura, alle rotture da stress degli stessi utensili di scavo e, in alcuni casi, anche a una riduzione dei danni sulle stesse attrezzature di perforazione.

Nel caso dei diaframmi plastici è importante segnalare, sempre allo scopo di evitare danni che potrebbero determinare fermi e conseguenti aumenti di costi del cantiere, l'importanza di proteggere le aste e il corpo benna dal contatto con le miscele autoindurenti.

Sarà quindi necessario predisporre un sistema di lavaggio che consenta, ogni volta che l'attrezzatura di lavoro venga fermata, di lavare completamente le aste e la benna eliminando ogni traccia della miscela.

Poiché l'attrezzatura di perforazione si sposta lungo il cantiere, il sistema di lavaggio dovrà seguire la stessa attrezzatura non essendo possibile ipotizzare la realizzazione di tale attività nella zona predisposta per gli impianti di confezionamento della miscela, in quanto comporterebbe continui spostamenti improduttivi della perforatrice.

2.2.3. Localizzazione aree di cantiere

La logistica di cantiere è una fase che meriterebbe, sempre, un'attenzione particolare in quanto da una corretta pianificazione delle aree di lavoro, di stoccaggio materiali e da destinare agli impianti fissi dipenderà il regolare svolgimento di tutte le attività.

Organizzare una visita di cantiere preliminare alla definizione della lista delle attrezzature necessarie per i lavori è di fondamentale importanza e andrebbe realizzata sempre insieme al responsabile che avrà il compito di condurre il cantiere. I diaframmi strutturali, per i quali si prevede uno scavo a secco, non necessitando di un impianto di produzione dei fanghi di perforazione, renderanno più agevole l'individuazione delle aree necessarie che risulteranno, ovviamente, meno estese. Le aree che andranno prese in considerazione saranno quindi solo quelle relative allo stoccaggio dei materiali di risulta degli scavi, quelle necessarie per il deposito delle gabbie di armatura e quelle che saranno impiegate per le strutture fisse di cantiere.

Nel caso di diaframmi strutturali scavati con impiego di fanghi e per i diaframmi plastici, la necessità di definire un'adeguata area da destinare agli impianti di confezionamento delle miscele assume, invece, un'importanza elevata e che va ad aggiungersi alle aree già precedentemente individuate.

In particolare andranno considerati, per i diaframmi strutturali, gli spazi necessari al posizionamento di un silos per la bentonite, per il miscelatore acqua/bentonite, per le vasche di raccolta dell'acqua, per le vasche di raccolta della ben-

tonite per la sua maturazione, per il dissabbiatore e per le vasche di raccolta della miscela utilizzata e recuperata durante la fase di getto del pannello.

Per il diaframma plastico sarà necessario prevedere l'impiego di almeno tre silos per lo stoccaggio sia della bentonite che del cemento, gli impianti di miscelazione saranno due di cui uno destinato esclusivamente alla miscela acqua/bentonite e l'altro al confezionamento della miscela autoindurente costituita dal latte di bentonite e cemento.

Inoltre andranno previste le vasche per l'acqua e la maturazione della bentonite, mentre non saranno necessarie le vasche di recupero dei fanghi di perforazione. Nella definizione delle aree necessarie per le vasche di maturazione della bentonite sarà necessario tenere sempre in considerazione il volume del pannello e gli extra consumi dovuti sia alla lavorazione stessa che agli assorbimenti del terreno e alla produzione giornaliera prevista.

Evidentemente l'elenco non è esaustivo, ma vuole essere solo indicativo e deve essere adeguatamente sviluppato in ogni suo aspetto legato, spesso, anche alle specifiche condizioni logistiche e contrattuali del lavoro.

Si avrà quindi la necessità di considerare anche aspetti quali la fornitura di acqua ed energia elettrica, lo sviluppo areale del cantiere valutando, opportunamente, la reale possibilità di affrontare tutto il lavoro da un'unica postazione o se saranno da prevedere spostamenti, il numero di attrezzature necessarie per il lavoro e quindi i relativi impianti da predisporre, le dimensioni delle aree di stoccaggio dei materiali in funzione della prevista produzione giornaliera, ecc.

Altro aspetto particolare di questa lavorazione sarà la necessità di realizzare, prima dell'inizio delle lavorazioni, dei muretti guida (cordoli) in calcestruzzo che serviranno sia per individuare e vincolare la posizione iniziale di ogni pannello, che come elemento rigido, necessario, oltre che a dare garanzie di maggiore stabilità alle attrezzature di scavo, anche a consentire le operazioni di posa della gabbia di armatura e del calcestruzzo.

Il cordolo andrà realizzato sempre per la realizzazione di paratie, ma è buona norma prevederlo anche nel caso di pannelli isolati realizzati come sottofondazioni.

Ulteriore aspetto da valutare sarà quello delle dimensioni delle aree di lavoro che dovranno essere tali da consentire la presenza, in contemporanea, delle attrezzature di scavo, di quelle destinate alla posa delle gabbie di armatura e del calcestruzzo e delle autobetoniere, garantendo i necessari spazi di sicurezza tra le stesse.

Inoltre, trattandosi di attrezzature di dimensioni e pesi notevoli, sarà necessario soffermarsi anche su questo aspetto per garantire piani di lavoro adeguati.

Infine si ricorda l'importanza che anche le piste di accesso hanno sul regolare svolgimento dei lavori, permettendo la transitabilità di tutti gli automezzi coin-

volti e necessari per il trasporto delle gabbie di armatura, per il calcestruzzo, per l'allontanamento del materiale di risulta degli scavi, per le autovetture del personale tecnico e per il personale operativo di cantiere.

2.2.4. Valutazione programma lavori

Si è già avuto modo, nel capitolo sui pali, di affrontare l'importanza di eseguire una valutazione di massima di quelle che potranno essere le produzioni giornaliere attese.

Risulta evidente e di facile comprensione come il regolare svolgimento delle attività di cantiere passi, inevitabilmente, attraverso una indispensabile azione di coordinamento di tutte le singole attività coinvolte.

Probabilmente per molti risulterà banale il seguente esempio, ma si pensi a come una semplice sottovalutazione della fornitura di acqua giornaliera possa risultare fondamentale e arrivare a compromettere il raggiungimento della massima produzione ottenibile.

Sarà quindi buona norma affrontare l'aspetto della produzione ipotizzabile per garantire la regolare fornitura di tutti i materiali necessari dall'acqua all'energia elettrica, dal gasolio ai materiali di usura per le manutenzioni, dalle gabbie di armatura al calcestruzzo necessario, dalla quantità di cordoli guida da predisporre ai mezzi necessari per lo smaltimento dei materiali di risulta degli scavi.

Come si avrà modo di affrontare in seguito, la realizzazione di paratie, in alcuni casi, può richiedere una precisa suddivisione dei pannelli da realizzare che richiederà l'impiego di specifiche gabbie di armatura.

Pertanto, in questi casi, sarà necessario pianificare anche la sequenza esecutiva dei pannelli per consentire la costruzione e la consegna in cantiere delle gabbie secondo le reali esigenze del cantiere.

Solo attraverso un'attenta pianificazione temporale di tutte le lavorazioni coinvolte sarà possibile ottimizzare il lavoro e ottenere il massimo rendimento economico dal cantiere.

Dall'attenta analisi della pianificazione dei lavori sarà possibile, inoltre, evidenziare criticità che possono arrivare a fermi momentanei del cantiere e sarà quindi possibile individuare soluzioni alternative che possano garantire la continuità ai lavori.

In questa fase sarà anche possibile valutare il numero di attrezzature necessarie e l'eventuale impiego di lavorazioni su più turni per conseguire il rispetto delle date di consegna lavori.

Infine, per una valutazione di massima relativa all'impiego di personale, si possono prevedere, per i diaframmi strutturali a secco, due operatori cui affidare l'uso della perforatrice e della gru di servizio, oltre a tre operai da utilizzare come as-

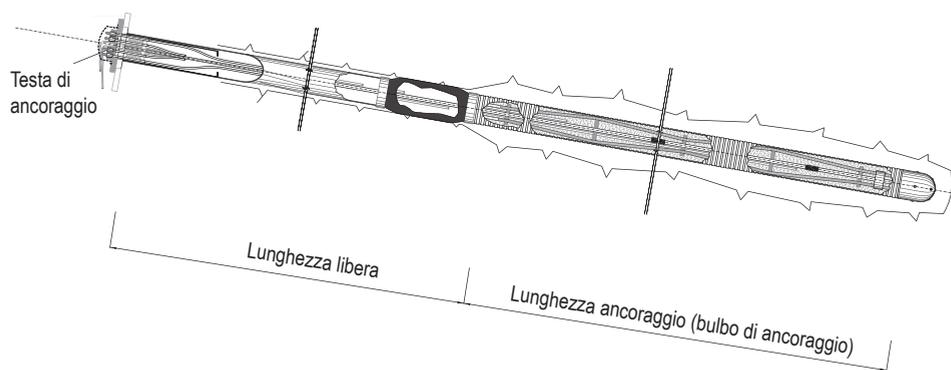


Figura 4.6. Schema tirante definitivo

In ogni caso il tipo di tirante non influenzerà la fase di messa in opera in quanto l'operazione avverrà in maniera analoga indipendentemente dal tipo di tirante.

I fattori che andranno presi in considerazione, nella valutazione del tipo di tirante impiegato, saranno il diametro della guaina esterna, condizionata dal numero di trefoli del tirante, la lunghezza totale del tirante e la presenza di tubi con o senza valvole per la fase d'iniezione.

Questi fattori andranno a condizionare il diametro di perforazione, la tecnica di posa del tirante e le attrezzature necessarie alla fase di getto del tirante.

Si è già vista la relazione esistente tra numero di trefoli e diametro di perforazione, mentre si illustrerà successivamente come procedere con le iniezioni cementizie.

Per una valutazione della movimentazione e della posa del tirante il fattore principale da considerare sarà quello legato alla lunghezza e al numero di trefoli impiegati.

Il tirante sarà fornito arrotolato singolarmente e per la sua movimentazione si potrà utilizzare un normale sollevatore da cantiere.

In assenza di un sollevatore, avendo a disposizione la giusta quantità di personale, si potranno sviluppare anche soluzioni alternative, come quella mostrata in figura 4.7.

Una volta avvicinato alla perforazione, il tirante andrà aperto rompendo le legature metalliche con cui viene fissato; in questa fase sarà bene prestare attenzione al rapido movimento con cui il trefolo tenderà ad aprirsi e che potrebbe portare a colpire gli arti inferiori del personale presente.

Sarà bene istruire il personale dei rischi conseguenti e prevedere che la persona impegnata al taglio delle legature si posizioni internamente al rotolo, e che all'esterno il personale si tenga alla distanza minima necessaria.



Figura 4.7. Movimentazione tiranti in cantiere



Figura 4.8. Procedura di apertura del tirante

Una volta liberato si potrà afferrare l'estremità inferiore del tirante e si procederà con l'introduzione manuale all'interno della perforazione.



Figura 4.9. Fase d'inserimento del tirante nella perforazione

Nel caso di tiranti molto lunghi o pesanti, potrà essere utile l'impiego di una particolare attrezzatura definita *ruota* o *giostra*, che, grazie alla possibilità di ruotare sul proprio asse centrale, agevola la fase di posa del tirante che viene srotolato, contemporaneamente alla sua introduzione nel foro, utilizzando la rotazione stessa della ruota.

Terminata quest'operazione, nel caso fossero stati utilizzati tubi di rivestimento provvisorio, si procederà con la loro estrazione curando di verificare che tale operazione non provochi la contemporanea risalita del tirante.

Si può quindi passare alla fase successiva ovvero all'iniezione del tirante.

La prima distinzione che andrà fatta sarà quella legata alla tipologia del tubo d'iniezione presente nel tirante.

Come già visto, esistono due tipi di tubi principali e in particolare quelli semplici e privi di tratti valvolati e quelli che sono invece caratterizzati dalla presenza di valvole con una precisa disposizione geometrica tra loro.

I tubi, di entrambi i tipi, saranno disposti lungo tutto il tirante ma collocati in posizioni diverse secondo il tipo di tirante.

Si avranno quindi situazioni in cui il tirante potrà essere dotato di un unico tubo, senza valvole, che richiederà un'iniezione realizzata in un'unica fase riempiendo totalmente l'intercapedine esistente tra le pareti del foro sia nella zona libera che in quella di fondazione.

Altra situazione potrà essere quella in cui l'iniezione avviene ancora attraverso un tubo senza valvole ma, in questo caso, sono presenti due tubi distinti che vanno a interessare le due zone di cui è composto il tirante, ovvero la zona libera e quella di fondazione.

In questo caso verranno iniettate le due zone sempre in un'unica volta ma separatamente tra loro.

In entrambi i casi descritti, trattandosi di tubi senza valvole, si collegheranno direttamente le tubazioni di mandata della miscela, provenienti dagli iniettori, ai tubi montati nel tirante collegandoli tra loro con una semplice raccorderia di adeguata misura.

Le tubazioni, una volta utilizzate, non potranno più essere impiegate, in quanto questo tipo d'iniezione non prevede la possibilità del lavaggio interno delle tubazioni impedendone l'utilizzo successivo.



Figura 4.10. Fase esecutiva iniezione con tubo non valvolato

Situazione diversa è quella invece legata alla presenza di tubi dotati di valvole e quindi alla possibilità di realizzare iniezioni di miscela cementizia in pressione e ripetute nel tempo.

In questo caso si iniettano quantità di miscela controllando sia i volumi che le pressioni residue raggiunte in ogni singola valvola.

Lo scopo di tale procedura è quella di creare, nella parte di fondazione del ti-

$$R_c = a \cdot \left(\frac{C}{A} \right)^b$$

dove

a = valore compreso tra 3 e 8 MPa

b = variabile funzione del rapporto C/A .

Per C/A compreso tra 0,2 e 0,4 la variabile b applicabile sarà compresa tra 2 e 3. Per valori compresi tra 0,4 e 1,0, b varierà tra 1,5 e 2.

Alle sospensioni appena descritte vanno aggiunte quelle caricate, ovvero, nel caso di trattamenti da realizzare per il riempimento di grosse cavità, sarà possibile aggiungere alla miscela base un inerte che potrà essere costituito da sabbie o ceneri volatili.

Altre miscele basate sull'impiego di cemento ma specifiche per affrontare situazioni particolari sono infine quelle che utilizzano additivi che consentono un aumento di volume della miscela allo scopo, ancora una volta, di riempire eventuali vuoti.

Un additivo spesso impiegato per tale scopo è la polvere di alluminio, che viene utilizzata con un dosaggio approssimativo di 2 kg per metro cubo di miscela.

L'impiego della polvere di alluminio produce un aumento di volume che può essere anche del 100% rispetto alla miscela base.

Altro additivo che può essere utilizzato è il silicato di sodio, in questo caso però l'effetto non è di aumento del volume ma di riduzione del tempo di presa che può essere portato anche a pochi secondi nel caso di dosaggi elevati.

Come indicazione dei rapporti utilizzabili si tenga presente che con un dosaggio non superiore al 7% di silicato, utilizzato con una miscela in cui il rapporto C/A è pari a 1, si riduce a circa 10-30 minuti il tempo di presa della miscela.

Infine, come ulteriore possibilità operativa, si richiama l'attenzione sulla possibilità d'impiego di particolari additivi per ottenere una migliore penetrabilità nel terreno.

Queste miscele sono additivate con fluidificanti che consentono, a parità di rapporto C/A , di ridurre la viscosità Marsh da 55-60 a 32-35 secondi.

Il dosaggio di questo tipo di additivo varia tra 0,5 e 5% del peso di cemento e dipenderà sia dal risultato ricercato che dalle specifiche tecniche del prodotto impiegato.

L'aumento di fluidità della miscela, e quindi il suo impiego, si limita temporalmente a circa 20-30 minuti.

Si precisa che questa trattazione non è esaustiva di tutte le possibili miscele impiegabili e che sarà necessario consultare i produttori di additivi chimici per

verificare tutte le possibili soluzioni alle specifiche necessità di consolidamento e/o impermeabilizzazione.

Si passi ora a valutare le principali soluzioni impiegate nel trattamento dei terreni chiarendo, come primo aspetto, la differenziazione esistente tra le due distinte classi di questo tipo di miscele.

Nelle soluzioni colloidali o evolutive rientrano tutte quelle miscele in cui la viscosità varia nel tempo.

Si è già avuto modo di affermare come la viscosità della miscela sia un parametro fondamentale che andrà a influenzare, in funzione della granulometria dei terreni da trattare e dei vuoti esistenti, la fase d'iniezione.

In particolare, con viscosità basse la miscela risulterà più permeabile andando a interessare volumi di terreno trattato maggiori.

A questa categoria di soluzioni appartengono tutte quelle che si basano sull'uso del silicato sodico, mediante un'opportuna diluizione di questo componente sarà possibile ottenere viscosità iniziali molto basse e che evolveranno, più o meno rapidamente, verso valori sempre più elevati fino alla presa finale.

Dosando quindi adeguatamente il prodotto base si potrà ottenere un aumento del raggio di azione della miscela rispettando i valori di portata e pressioni massime previste per il trattamento da realizzare.

Poiché risulta una correlazione lineare tra portata e pressione per ogni specifico valore di viscosità, durante l'uso di questo tipo di miscele si osserverà un aumento delle pressioni impiegate a parità di portate o, nel caso d'iniezioni a pressioni costanti, una diminuzione delle portate.

Questo tipo di soluzioni risulta molto valido nelle applicazioni pratiche in quanto consente sia valori di resistenza finali adeguati ai lavori di consolidamento, che una valida soluzione per tutti quei trattamenti necessari per lavori d'impermeabilizzazione.

Altro fattore importante, da prendere in considerazione, è l'assenza di una frazione solida con il superamento delle problematiche legate ai fenomeni di sedimentazione già affrontati in precedenza per le sospensioni.

Il silicato sodico è caratterizzato dalla densità espressa in gradi Baumé e dal rapporto ponderale silice/soda dato da:

$$R_p = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Na}_2\text{O}}$$

I valori che individuano il silicato sodico, impiegato generalmente nei lavori di trattamento del terreno, variano tra 3 e 4 per R_p , tra i 30 e i 42 gradi Baumé ($Bé$) e il peso specifico risulta compreso tra 1,36 e 1,38.

Poiché le basse temperature determinano un rapido innalzamento della viscosità sarà necessario evitare l'uso del silicato sodico con temperature inferiori ai 0° centigradi.

I reagenti inorganici, come il bicarbonato di sodio o l'alluminato di sodio, vengono impiegati con soluzioni di silicato sodico molto diluito e quindi sono particolarmente indicati in quei trattamenti dove si ricerca un effetto impermeabilizzante più che di consolidamento.

I dosaggi normalmente usati variano entro i seguenti limiti:

silicato sodico ($R_p = 3,3$ e $Bé = 35-37^\circ$) = 100-200 l/m³

bicarbonato di sodio = 15-30 kg/m³

silicato sodico ($R_p = 3,3$ e $Bé = 35-37^\circ$) = 50-300 l/m³

alluminato di sodio = 10-30 kg/m³.

Nel caso in cui il trattamento dovesse avere una finalità prioritaria di consolidamento del terreno rispetto all'impermeabilizzazione, può essere utile l'impiego di cloruro di calcio come reagente che, in funzione della percentuale impiegata, provoca una presa rapida della miscela riducendo, drasticamente, la sua penetralità.

I reagenti organici più largamente utilizzati sono:

- monoesteri
- di-esteri
- tri-esteri
- aldeidi.

Anche in questo caso possono essere utilizzati indifferentemente sia per ottenere un gel tenero, impiegato nell'impermeabilizzazione, che un gel duro, più indicato per i consolidamenti.

Poiché il tasso di neutralizzazione, ovvero la capacità di neutralizzare completamente o in parte il silicato sodico, dipende dalla percentuale del reagente, sarà importante valutare anche questo aspetto nel dosaggio dei vari prodotti.

In generale si tenga presente che solo con valori oltre il 60% di neutralizzazione sarà possibile ottenere miscele stabili nel tempo e con i valori di resistenza a compressione più elevati.

I dosaggi più usati con reagenti organici rientrano nei seguenti limiti:

silicato sodico ($R_p = 3,3$ e $Bé = 35-37^\circ$) = 180-800 l/m³

reagente organico = 40-150 l/m³.

Come ulteriore indicazione di miscele pratiche da utilizzare nelle varie situazioni si riassumono alcuni esempi nella tabella 5.2.

Si immagini che la pressione massima sia pari a 1,5 MPa e che il limite massimo di volume iniettato sia fissato in 100 litri di miscela.

Dopo la prima fase di trattamento ci si potrà trovare in una situazione come quella illustrata nella tabella 5.4.

Appare immediatamente chiaro che in alcune valvole, in due zone ben individuate, le pressioni massime previste sono raggiunte prima che vengano iniettati i volumi massimi previsti.

Da questa prima informazione si possono definire le valvole da iniettare in seconda fase, evitando di ripetere quelle in cui le pressioni attese sono state raggiunte. La seconda informazione che si può raccogliere da questa scheda è riferita alle zone in cui sono state registrate le pressioni massime e in particolare si tratta di quelle relative alle valvole dalla 6 alla 9 e dalla 13 alla 14.

Tabella 5.5. Scheda di registrazione dei parametri d'iniezione (fase 2)

Nominativo impresa		Scheda registrazione iniezioni				
Cantiere:	Nominativo	Opera:	WBS	Data:	25/12/2014	
				Fore n°:	23	
Perforazione totale (m.):	12	Diametro perforazione (mm.):	130			
Lunghezza cieca (m.):	3	Lunghezza valvolata (m.):	9			
Numero valvole (n°):	17	Iniezione guaina esterna (l.):	230			
Valvola	I° Fase		II° Fase		III° Fase	
n°	Volume (l)	Pressione (MPa)	Volume (l)	Pressione (MPa)	Volume (l)	Pressione (MPa)
1	100	0,5	80	1,5		
2	100	0,5	90	1,5		
3	100	0,7	80	1,5		
4	100	1	50	1,5		
5	100	1	60	1,5		
6	80	1,5				
7	80	1,5				
8	80	1,5				
9	90	1,5				
10	100	1	100	1,3		
11	100	1	100	1,3		
12	100	0,8	80	1,5		
13	70	1,5				
14	70	1,5				
15	100	1,1	30	1,5		
16	100	1	60	1,5		
17	100	1	50	1,5		

Se si riferisce quest'indicazione alla quota del piano campagna si potrà individuare e correlare la geologia dell'area trattata con le indicazioni ottenute dalle iniezioni per individuare eventuali correlazioni e quindi analizzare il comportamento del terreno al trattamento.

La seconda fase di iniezioni potrà essere quindi quella illustrata in tabella 5.5.

In questo caso solo le valvole 10 e 11 non avranno ancora raggiunto le pressioni previste e quindi sarà necessario ripetere ulteriormente il trattamento fino al raggiungimento dei valori attesi.

Ovviamente tutte le varie fasi andranno completate con uno scrupoloso lavaggio della parte interna del tubo per consentire il riposizionamento del doppio otturatore nei giorni successivi.

Generalmente tra le varie fasi di trattamento verrà lasciato un tempo minimo di maturazione compreso tra le 12 e le 24 ore.

Tutte le schede, così registrate, andranno a formare una documentazione estremamente interessante per meglio definire la geometria di un intervento.

Si è avuto modo di dire che le perforazioni avranno una disposizione geometrica sul terreno predefinita, ma solo attraverso i risultati ottenuti durante le iniezioni si potrà valutare se la geometria scelta è quella idonea al trattamento e sarà possibile introdurre le eventuali variazioni che dovessero risultare necessarie.

Generalmente verranno realizzate maglie triangolari o quadrate con gli interassi che avranno valori variabili in funzione sia della permeabilità dei terreni trattati, che della profondità stessa di perforazione.

In questo modo sarà possibile valutare i volumi di miscela da iniettare in funzione del numero di valvole presenti per metro cubo di terreno da trattare e compensare eventuali deviazioni della perforazione dalla verticale.

Una volta definita la maglia da realizzare sarà necessario scegliere la sequenza esecutiva dei trattamenti.

Una possibile sequenza operativa sarà quella di procedere dai fori più esterni verso l'interno, in questo modo si otterrà di chiudere i terreni da trattare confinandoli durante le varie iniezioni.

Questo metodo consente di valutare rapidamente il successo o meno di un trattamento, in quanto valori di pressione elevata e assorbimenti contenuti delle iniezioni realizzate nella zona centrale del trattamento andranno a indicare l'avvenuto intasamento del terreno.

Di contro questo sistema presenta la possibilità di sviluppare delle pressioni improvvise durante gli ultimi trattamenti, che, quando non gestite prontamente, potrebbero produrre improvvisi innalzamenti del terreno con danni in presenza di eventuali strutture adiacenti ai lavori.

Altra possibilità è quella opposta, che prevede d'iniziare le iniezioni dal centro verso l'esterno.

A titolo di esempio si osservi la distribuzione di oltre 300 determinazioni di diametri realizzata durante una serie di trattamenti colonnari eseguiti per il consolidamento del fronte di scavo di una galleria in terreni granulometricamente classificabili come sabbie addensate (figura 6.1).

Il diametro ricercato era di 0,60 m e, dal campo prova realizzato, risultava ottenibile con un trattamento monofluido e l'impiego di energie pari a 10 MJ/m.

Allo scopo di applicare un sufficiente margine di sicurezza il trattamento fu realizzato con parametri tali da applicare un'energia pari a 13 MJ/m.

Dallo studio dei dati raccolti è risultato un diametro medio paria a 0,68 metri con un valore minimo di 0,35 e massimo di 1,08 metri.

In pratica, nonostante sia stata applicata un'energia costante per tutti i trattamenti e le condizioni geologiche siano state praticamente uniformi, si è osservato un diametro medio in linea con quanto richiesto, ma una variabilità dei diametri compresa in un range molto ampio.

Quest'esempio evidenzia la necessità sia di uno studio attento dei dati disponibili, che di realizzare sempre un campo prova, propedeuticamente ai lavori, indispensabile per garantire il buon esito di essi.

I progressi tecnologici nel campo delle pompe ad alta pressione, unitamente alla realizzazione di ugelli e monitor sempre più performanti, hanno permesso di superare i limiti fino a ora indicati.

L'aumento della pressione massima utilizzabile, unitamente a portate elevate, ha permesso di raggiungere elevate energie di trattamento con risultati che hanno consentito diametri anche prossimi ai 5 metri (*super jet*) in terreni idonei.

Per consentire una più agevole valutazione dei parametri di gettiniezione da utilizzare, si consiglia di predisporre fogli di calcolo che possano fornire, rapidamente, indicazioni sulle energie impiegate e sui possibili diametri raggiungibili confrontando tra loro diverse ipotesi pratiche.

Nel calcolo sarà utile considerare anche le caratteristiche delle pompe che verranno impiegate, in quanto solo così si potranno tenere in conto le reali pressioni e le portate raggiungibili.

Le schede tecniche delle principali pompe in commercio forniranno tutte le indicazioni necessarie.

La tabella 6.3 mostra un esempio pratico per raccogliere e calcolare i parametri necessari per la realizzazione di colonne di *jet-grouting* monofluido.

I dati iniziali, evidenziati con uno sfondo grigio, che andranno inseriti per il calcolo sono i seguenti:

- diametro atteso;
- numero degli ugelli;
- diametro degli ugelli;
- portata fluido teorica;

- ipotesi rendimento;
- passo risalita;
- velocità risalita;
- numero giri per passo;
- peso specifico cemento;
- rapporto *C/A*.

Tabella 6.3. Calcolo parametri *jet-grouting* monofluido

Calcolo parametri Jet-Grouting		
Dati geometrici colonna		Colonna n°.
		xxx
Diametro atteso	cm	100,0
Volume	l/ml	785,40
Parametri Jet-grouting		
Numero ugelli	n°	2,0
diametro ugelli	mm	2,5
Sez. tot. ugelli	mm ²	9,8
Portata fluido jet teorica	l/mn	140,0
Rendimento medio ugello	η	0,9
Pressione fluido jet	bar	423,7
Portata fluido jet reale	l/mn	126,0
Quantità fluido jet reale	l/ml	525
Quantità fluido jet teorico	l/ml	583
Passo risalita	cm	4,0
Velocità risalita	cm/mn	24,0
Tempo risalita	mn/ml	4,2
Sosta/passò	s	10,0
Giri / passo	g/pas	2,0
Tempo / giro	s/giro	5,0
Velocità rotazione	g/mn	12,00
Energia/ml	MJ/ml	22,2
Energia/mc	MJ/mc	28,3
Miscela cementizia		
Peso specifico cemento	ton/mc	3,0
Rapporto <i>C/A</i> miscela		1,0
Acqua	l	750,0
Cemento	Kg	750,0
Densità miscela	ton/mc	1,50

Le tabelle 6.4-6.6, per ogni tipo di sistema di *jet-grouting* realizzabile, indicano un range di parametri ottimali impiegabili.

Tabella 6.4. Parametri medi *jet-grouting* monofluido

Parametri medi Jet-grouting Monofluido	
Diametro ugelli	2.0 - 4.0 mm
Velocità di risalita	20 - 60 m/h
Velocità di rotazione	10 - 20 giri'
Pressione d'iniezione	30 - 60 MPa
Portata d'iniezione	1.5 - 4.0 l'
Volume d'iniezione	200 - 350 l/m

Tabella 6.5. Parametri medi *jet-grouting* bifluido

Parametri medi Jet-grouting Bifluido	
Diametro ugelli	2.0 - 4.0 mm
Diametro ugelli aria	30 - 60 mm ²
Velocità di risalita	10 - 30 m/h
Velocità di rotazione	5 - 15 giri'
Pressione d'iniezione	30 - 60 MPa
Pressione aria	0.6 - 1.2 MPa
Portata d'iniezione	1.5 - 4.0 l'
Portata aria	6000 - 15000 l'
Volume d'iniezione	500 - 1000 l/m

Tabella 6.6. Parametri medi *jet-grouting* trifluido

Parametri medi Jet-grouting Trifluido	
Diametro ugelli	3.5 - 9.0 mm
Diametro ugelli aria	30 - 60 mm ²
Diametro ugelli acqua	2.0 - 3.0 mm
Velocità di risalita	3 - 8 m/h
Velocità di rotazione	5 - 10 giri'
Pressione d'iniezione	1 - 10 MPa
Pressione aria	0.6 - 1.2 MPa
Pressione acqua	30 - 60 MPa
Portata d'iniezione	1.0 - 2.5 l'
Portata aria	6000 - 15000 l'
Portata acqua	1.0 - 3.0 l'
Volume d'iniezione	1000 - 1500 l/m

6.2.2. Scelta delle attrezzature

Per consentire una corretta scelta delle attrezzature si andrà quindi a verificare, come primo aspetto, il tipo di *jet-grouting* da eseguire e le caratteristiche tecniche, minime, che sia l'impianto che le pompe dovranno garantire.

Successivamente si valuterà l'aspetto geometrico delle colonne da realizzare, sarà fondamentale individuare le profondità totali da realizzare, le altezze effettive di trattamento e la presenza di un'eventuale perforazione a vuoto non interessata dal trattamento; andrà valutata, inoltre, la presenza di perforazioni inclinate e i valori massimi previsti in progetto.

Per meglio comprendere come operare la scelta più idonea, sarà bene prendere in considerazione la modalità esecutiva del trattamento.

Trattandosi di un consolidamento che avviene durante la risalita delle aste e volendo evitare interruzioni durante la sua realizzazione, si andrà a valutare la scelta della perforatrice sulla base della corsa utile dell'antenna.

Le perforatrici hanno dimensioni che risultano, per ovvi motivi di stabilità, proporzionate all'altezza dell'antenna e pertanto, nella scelta, entreranno in gioco anche fattori legati alla logistica dei luoghi.



Figura 6.2. Perforatrice per *jet-grouting*



Figura 6.3. Particolare antenna da *jet-grouting* con prolunga

Poiché l'altezza del trattamento varierà in funzione del progetto da realizzare, sarà bene valutare la possibilità di utilizzare perforatrici che abbiano altezze utili compatibili con quelle dell'intervento.

In questo modo si eviteranno, durante il trattamento, interruzioni del getto legate alla fase in cui le aste vengono svitate e smontate dalla batteria.

Spesso, per ovviare alla necessità di smontare le aste, vengono impiegate delle prolunghie, applicate all'antenna della perforatrice, al solo scopo di mantenere sulla perforatrice tutte le aste necessarie al trattamento limitando notevolmente la fase di fermo.

In alcuni casi, per consentire la realizzazione di trattamenti a profondità elevate e per altezze notevoli, si sostituiscono le perforatrici idrauliche con le attrezzature impiegate per la realizzazione dei pali o dei diaframmi a cui vengono applicate antenne idonee a consentire l'esecuzione del trattamento con continuità.

A tale riguardo risulta fondamentale affrontare anche l'aspetto legato alla possibile inclinazione che il progetto potrebbe prevedere nella realizzazione delle colonne di terreno consolidato.

L'impiego di antenne di altezza elevata influisce notevol-

mente sulla stabilità della perforatrice e le case costruttrici indicano, per le varie altezze raggiungibili, i valori massimi d'inclinazione possibile.

Ulteriore possibilità potrà essere quella di realizzare le colonne di terreno consolidato in galleria, in questo caso si opterà per l'impiego di un posizionatore che risulta la perforatrice più idonea per operare in tali situazioni.



Figura 6.4. Escavatori Link-Belt con antenna da *jet-grouting*

La realizzazione del trattamento direttamente attraverso le aste di perforazione ha, come ulteriore aspetto positivo, la possibilità di ridurre notevolmente l'impiego dei tubi di rivestimento per il contenimento delle pareti del foro.

Per questo tipo di determinazione sarà bene procedere attraverso più perforazioni, disposte lungo tutto il perimetro della colonna, per tenere in conto anche eventuali anomalie nella forma reale del trattamento.

Poiché con tale tecnica i possibili errori dovuti a differenze sulla verticalità tra la colonna e il carotaggio sono di difficile valutazione e spesso portano a conclusioni errate sulla stima dei diametri, è consigliabile procedere con soluzioni alternative.

Una di queste è offerta dalla possibilità di programmare, anche per consolidamenti che prevedono la realizzazione di colonne isolate, una serie di trattamenti disposti, geometricamente, con un interasse tale da risultare tangenti o leggermente compenetrati tra loro.

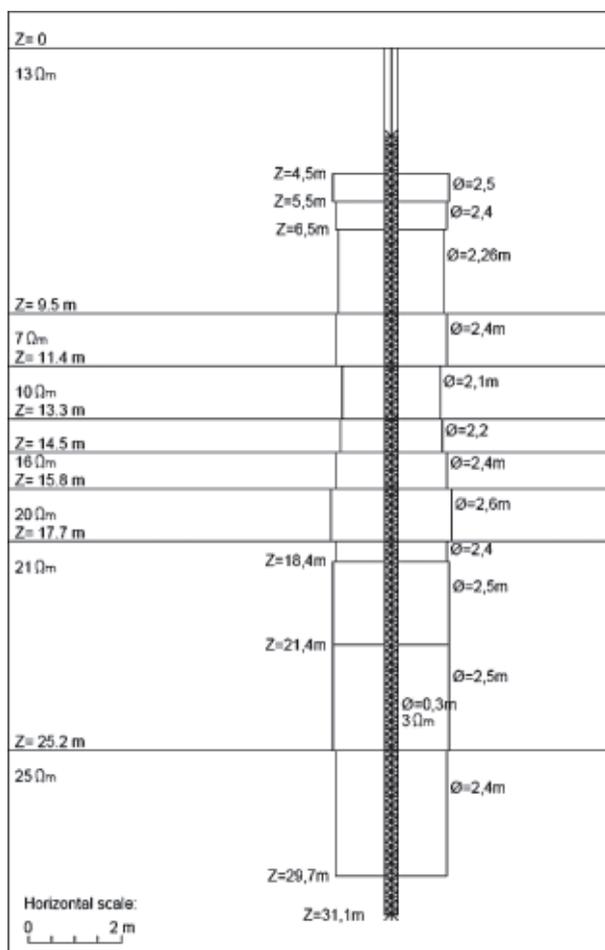


Figura 6.16. Rappresentazione diametri con metodo Cyljet