

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD

1° LOTTO

Piovene Rocchette - Valle dell'Astico

PROGETTO DEFINITIVO

CUP	G21B1 30006 60005
WBS	B25.A31N.L1
COMMESSA	J16L1

COMMITTENTE



S.p.A. AUTOSTRADA BRESCIA VERONA VICENZA PADOVA
Area Costruzioni Autostradali

CAPO COMMESSA
PER LA PROGETTAZIONE
Dott. Ing. Gabriella Costantini

PRESTATORE DI SERVIZI:
CONSORZIO RAETIA



RAPPRESENTANTE: Dott. Ing. Alberto Scotti

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE
TRA LE PROIEZIONI SPECIALISTICHE:
Technital S.p.A. - Dott. Ing. Andrea Renso



PROGETTAZIONE:



ELABORATO: **OPERE D'ARTE MAGGIORI**
OPERE IN SOTTERRANEO
GALLERIA SANT'AGATA 2
CAMPO PROVA JET GROUTING - RELAZIONE TECNICA

Progressivo	Rev.
07 02 03 001 02	

Rev.	Data	Descrizione	Redazione	Controllo	Approvazione	SCALA: -
00	MARZO 2017	PRIMA EMISSIONE	TECHNITAL - C.MARCHINO	C.PESCE	A.RENSO	NOME FILE: J16L1_07_02_03_001_0106_OPD_02.dwg
01	GIUGNO 2017	REVISIONE PER VERIFICA	TECHNITAL - C.MARCHINO	C.PESCE	A.RENSO	CM. PROGR. FG. LV. REV.
02	LUGLIO 2017	RECEPIMENTO OSSERVAZIONI	TECHNITAL - C.MARCHINO	C.PESCE	A.RENSO	J16L1_07_02_03_006_0101_OPD_02

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO
PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL’ASTICO

Committente:



Progettazione:

CONSORZIO RAETIA



PROGETTO DEFINITIVO

GALLERIA S. AGATA 2
CAMPO PROVA JET GROUTING - RELAZIONE TECNICA

INDICE

ELENCO DEI SIMBOLI	4
1 INTRODUZIONE	5
2 OGGETTO E SCOPO	6
3 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	7
4 UBICAZIONE DEL CAMPO PROVA	8
5 FINALITA’ DEL CAMPO PROVA	9
6 GENERALITA’ SULLA TECNOLOGIA DI GETTINIEZIONE	10
7 FASI ESECUTIVE	12
8 CAMPO PROVA RELATIVO ALLE COLONNE VERTICALI - FASI 1-2-3	13
8.1 DESCRIZIONE DEL CAMPO PROVA	13
8.2 ESECUZIONE COLONNE SINGOLE	14
8.2.1 <i>Parametri operativi</i>	14
8.2.2 <i>Risultati attesi</i>	15
8.2.3 <i>Verifiche e controlli</i>	16
8.3 ESECUZIONE COLONNE COMPENETRATE	19
8.3.1 <i>Parametri operativi</i>	19
8.3.2 <i>Verifiche e controlli</i>	19
9 CAMPO PROVA RELATIVO ALLE COLONNE ORIZZONTALI – FASI 4-5-6	21
9.1 DESCRIZIONE DEL CAMPO PROVA	21
9.2 ESECUZIONE COLONNE SINGOLE	21
9.2.1 <i>Parametri operativi</i>	21
9.2.2 <i>Risultati attesi</i>	22
9.2.3 <i>Verifiche e controlli</i>	23
9.3 ESECUZIONE COLONNE COMPENETRATE	25
9.3.1 <i>Parametri operativi</i>	25
9.3.2 <i>Verifiche e controlli</i>	25
10 INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI	27

Indice delle tabelle

Tabella 1: Parametri operativi per l’ecuzione delle 6 colonne singole verticali – Fase 1..... 14

Tabella 2: Parametri operativi per l’ecuzione delle 4 colonne singole orizzontali – Fase 4..... 22

Indice delle figure

Figura 1	Ubicazione del campo prova	8
Figura 2	Risultati attesi per la colonna tipo A	15
Figura 3	Scheda operativa fac-simile da utilizzare per ogni colonna del campo prova	17
Figura 4	Posizioni X e Y per l’esecuzione dei carotaggi, allineamento AB suggerito per cross-hole.....	19
Figura 5	Risultati attesi per la colonna tipo G	23
Figura 6	Posizioni X e Y per l’esecuzione dei carotaggi, allineamento AB suggerito per cross-hole.....	25

ELENCO DEI SIMBOLI

- V_m = volume iniettato di miscela
 V_d = volume disperso
 V_r = volume refluo
 R_e = raggio di erosione
 R_f = raggio di fratturazione idraulica
 ϕ_u = diametro dell'ugello
 n = numero ugelli
 P_m = pressione di iniezione al monitor
 ΔT = tempo di stazionamento (time step)
 ΔS = intervallo di risalita (lifting step)
 q_u = pressione limite nel terreno
 u_f = pressione di fratturazione idraulica
 σ'_{vo} = sforzo verticale efficace in sito
 γ_r = peso di volume del refluo
 γ_c = peso di volume della colonna
 γ_m = peso di volume della miscela
 γ_d = peso di volume del disperso

1 INTRODUZIONE

La presente relazione tecnica riguarda l'esecuzione di un campo prove propedeutico alla realizzazione dei trattamenti di consolidamento con metodo jet-grouting previsti per l'avanzamento in galleria. Tali trattamenti sono previsti dall'alto in corrispondenza delle zone di imbocco dove la copertura litostatica è minore di 10 m (sezione tipo C e Call), mentre verranno eseguiti in avanzamento dal fronte di scavo per coperture più elevate (sezione tipo C1a). Tutte le colonne verranno realizzate con tecnica monofluido. Il diametro richiesto per i trattamenti è di 0.80 m per le colonne orizzontali da eseguire in avanzamento, 1.20 m per le colonne verticali eseguite dal piano campagna.

Il campo prova, che verrà eseguito in adiacenza all'imbocco Sud, prevede colonne singole e compenstrate, la cui esecuzione con diversi set di parametri operativi consentirà la scelta delle specifiche tecniche più adeguate alla realizzazione delle colonne propedeutiche allo scavo in sotterraneo.

2 OGGETTO E SCOPO

Oggetto della presente relazione è il campo prova relativo ai trattamenti jet-grouting necessari per lo scavo della galleria S. Agata 2.

Lo scopo è quello di definire le modalità operative, le attrezzature da impiegare, i dosaggi, i parametri di gettiniezione delle colonne e di verificare la rispondenza delle caratteristiche raggiunte dal terreno consolidato rispetto alle prescrizioni di progetto.

3 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Carnevale F., Belloni L.G., Grassi A. (2012), *“Evaluation of geometry and characteristics of jet-grouting columns: an analytical approach”* – 4th International Conference on Grouting and Deep Mixing, New Orleans
- Croce P., Flora A., Modoni G. (2004), *“Jet grouting – Tecnica, progetto e controllo”* – Hevelius Edizioni
- Jaworski G.W., Duncan J.M., Seed H.B. (1981), *“Laboratory study of hydraulic fracturing”* – Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, 107, 713-732
- Modoni G., Croce P., Mongiovì L. (2006), *“Theoretical modelling of jet grouting”* – Geotechnique 56, No 5, 335-347
- Shibazaki M. (2003), *“State of practice of jet grouting”* – Grouting and ground treatment, Geotechnical Special publication No.120, ASCE.
- Tornaghi R. (1993), *“Controlli e bilanci analitici dei trattamenti colonnari mediante jet grouting”* – RIG.3/1993
- Tornaghi R. (1993), *“Trattamento colonnare dei terreni mediante gettiniezione (jet grouting)”* – XVII Convegno Nazionale di Geotecnica, 26-28 Aprile 1989 – Taormina

4 UBICAZIONE DEL CAMPO PROVA

Il campo prova verrà realizzato a pk 2+750.00 circa in adiacenza all'imbocco Sud, lungo l'asse direttivo della carreggiata Nord, Figura 1. In questa zona il piano campagna naturale si colloca a quota 302.5 m circa, ma sarà successivamente ribassato per creare la trincea di approccio alla progressiva di imbocco della galleria naturale. Questa è la ragione per cui si è scelto di posizionare qui il campo prova: una volta eseguite infatti le colonne di prova relative ai trattamenti verticali, il piano di scavo verrà ribassato sagomando le scarpate secondo la geometria già prevista per gli scavi provvisori dell'imbocco. Sarà così possibile visionare la qualità e dimensioni delle colonne verticali, così da individuare il set di parametri più adeguato alla realizzazione dei trattamenti verticali dall'alto. Inoltre lungo una delle scarpate perimetrali all'area ribassata sarà possibile eseguire le colonne di prova relative ai trattamenti orizzontali.

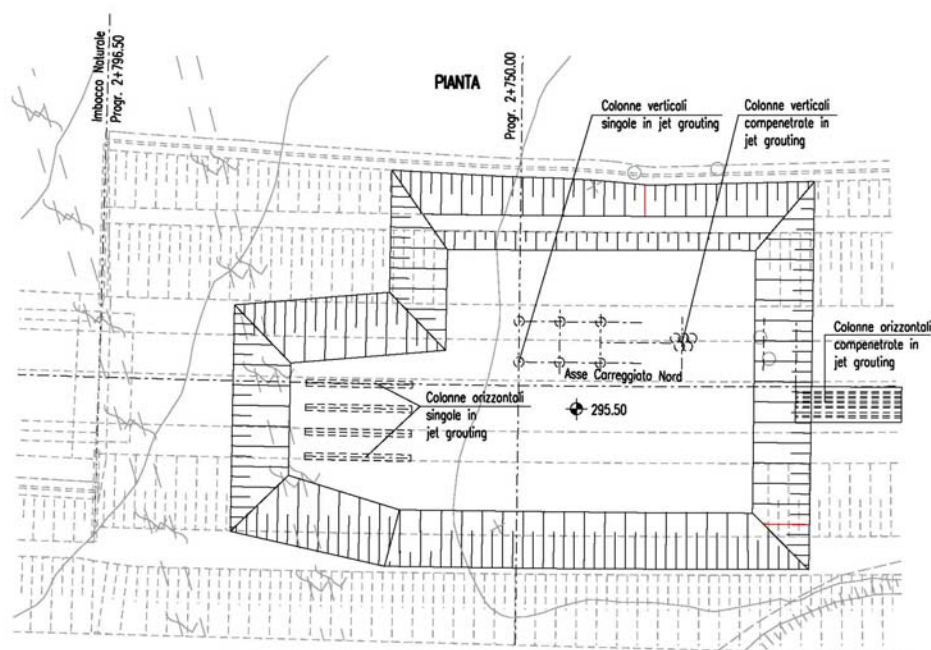


Figura 1 Ubicazione del campo prova

5 FINALITA' DEL CAMPO PROVA

Il campo prova sulle colonne jet-grouting ha i seguenti obiettivi:

- Stabilire i parametri per l'esecuzione delle colonne jet-grouting;
- Definire i dosaggi delle miscele cementizie;
- Controllare le caratteristiche delle colonne: uniformità delle colonne, diametro e resistenza a compressione;
- Verificare la rispondenza della geometria ai requisiti di progetto.

Questi stessi obiettivi riguardano sia le colonne dei trattamenti verticali (sezioni tipo C e Call) sia quelle orizzontali da eseguirsi dal fronte della galleria in avanzamento (sezione tipo C1a).

6 GENERALITA' SULLA TECNOLOGIA DI GETTINIEZIONE

La tecnologia della gettiniezione viene operata infiggendo nel terreno un'asta perforatrice, dotata di ugelli di iniezione (monitor). Tale asta ha lo scopo di creare in fase discendente il foro che verrà poi ripercorso in senso ascendente dall'asta, in fase di estrazione, per la gettiniezione del terreno circostante.

In generale, la gettiniezione può essere operata secondo tre diverse metodologie, differenti soprattutto per il diverso tipo di miscela utilizzata e per le modalità e la sequenza con le quali essa viene iniettata:

- tecnologia monofluido, ove la miscela iniettata è costituita da acqua e cemento con funzione sia disgregante che, poi, stabilizzante;
- tecnologia bifluido ove la miscela è composta da acqua e cemento + aria. L'aria ha funzione disgregante del terreno, il quale viene gettiniettato e stabilizzato con miscela acqua/cemento;
- tecnologia trifluido, che riserva la funzione disgregante a due getti coassiali di aria ed acqua, che fuoriescono nella parte più alta del monitor. Subito sotto ci sono gli ugelli che gettiniettano la miscela, stabilizzando il terreno precedentemente disgregato dalla miscela acqua/aria. Si rammenta che l'asta si sta muovendo verso l'alto.

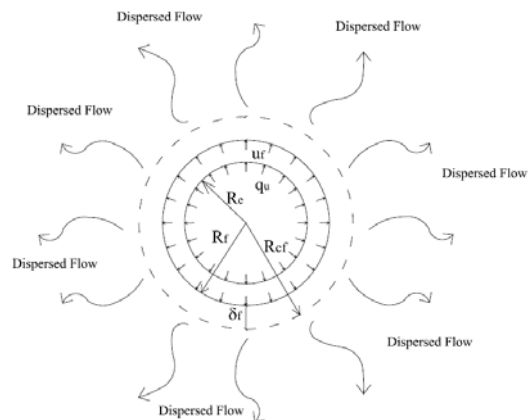
La gettiniezione produce delle colonne di terreno cementato. Ciò è dovuto al fatto che durante l'iniezione, le aste ruotano attorno al proprio asse ed erodono il terreno al contorno, miscelandolo poi con la miscela cementizia che viene immessa in pressione attraverso gli ugelli presenti alla testa del monitor.

I parametri operativi che intervengono nella tecnologia del jet-grouting sono molti:

- lifting step ΔS : è il passo di movimentazione dell'asta verso l'alto in fase di estrazione e gettiniezione;
- tempo di stazionamento ΔT : è il tempo di permanenza dell'asta ad una certa profondità ossia la durata di ogni lifting step;
- velocità di trattamento v_t : è il rapporto tra lifting step e la sua durata, $\frac{\Delta S}{\Delta T}$;
- velocità di rotazione ω : è la velocità di rotazione delle aste, in fase di iniezione;
- pressione di iniezione della miscela P_m ;
- portata della miscela Q_m ;
- volume di iniezione V_m : è il volume di miscela iniettato per ogni metro lineare di trattamento;
- rapporto acqua cemento A/C della miscela cementizia;

- diametro degli ugelli ϕ_u ;
- numero di ugelli n.

Condizione necessaria e sufficiente perché si formi la colonna è ottenere l’erosione del terreno: questo avviene quando la pressione di iniezione supera la sua capacità di resistenza fino ad una distanza dal punto di iniezione che definisce il diametro di erosione. A questa distanza non si ha più una pressione sufficiente ad avanzare con un processo di erosione, ma si può ancora verificare un fenomeno di fratturazione idraulica che incrementa ulteriormente il diametro della colonna. Terminata anche la fratturazione idraulica, la pressione residua nella cavità della colonna non è più in grado di incrementare il diametro ed il processo termina. Sotto l’azione della pressione residua la miscela può però ancora disperdersi nel terreno circostante per filtrazione (volume disperso). Una ulteriore perdita di miscela può verificarsi lungo l’intercapedine tra le aste ed il foro, con la venuta a giorno di un volume di refluo.



Il processo è regolato da un bilancio in peso in cui si mettono a confronto due termini:

- la somma del peso della miscela iniettata e del peso del terreno trattato, sottratto il peso del terreno estratto
- la somma del peso della colonna, peso del refluo e peso del volume disperso

Il concetto alla base del bilancio è che per ottenere una colonna con un certo diametro non basta fornire la necessaria energia di disaggregazione, ma è anche necessario iniettare un sufficiente volume di miscela.

7 FASI ESECUTIVE

Fase 1

Esecuzione di 6 colonne singole verticali di prova. Le colonne verranno eseguite dal piano campagna naturale (quota 302.5 m s.l.m.m.) e prevedranno 4 m di perforazione a vuoto ed una lunghezza del trattamento di 15 m.

Fase 2

Ribasso del piano di lavoro fino a quota 295.5 m s.l.m.m., sagomando le scarpate perimetrali secondo la geometria già prevista per gli scavi provvisori dell'imbocco.

Presenza delle colonne jet-grouting verticali realizzate fino a tale profondità.

Fase 3

Esecuzione di 5 colonne verticali compenstrate, con 4 m di perforazione a vuoto.

Fase 4

Esecuzione sulla scarpata di monte di 4 colonne orizzontali di prova, con 4 m di perforazione a vuoto

Fase 5

Avanzamento della scarpata di monte per consentire la presa visione delle colonne orizzontali.

Fase 6

Esecuzione sulla scarpata di valle di un arco costituito da 7 colonne compenstrate orizzontali, con 4 m di perforazione a vuoto.

Avanzamento della scarpata di monte per consentire la presa visione dei primi 3 m dell'arco composto da colonne orizzontali compenstrate.

Con il procedere degli scavi fino al piano di sbancamento finale si potranno poi visionare tutte le colonne di prova verticali eseguite fino a tale profondità.

8 CAMPO PROVA RELATIVO ALLE COLONNE VERTICALI - FASI 1-2-3

8.1 DESCRIZIONE DEL CAMPO PROVA

Il campo prova relativo alle colonne verticali si compone di due diverse lavorazioni, ovvero l'esecuzione delle colonne singole verticali e successivamente l'esecuzione delle colonne compenstrate, la cui disposizione corrisponde alla geometria di progetto. In questo modo con l'esecuzione delle colonne singole - Fase 1 - sarà possibile testare vari set di parametri operativi per l'esecuzione del jet-grouting. L'integrazione dei controlli in corso d'opera eseguiti durante l'esecuzione delle colonne singole con le informazioni derivanti dalla presa visione diretta di un tratto di colonne appena realizzate - Fase 2 - consentiranno di scegliere il set di parametri più idoneo all'esecuzione delle colonne compenstrate, Fase 3.

In Fase 1 si eseguiranno n.6 colonne, con altrettanti diversi set di parametri operativi, disposte ad interasse di 5 m le une dalle altre. Le colonne saranno caratterizzate da 4 m di perforazione a vuoto al di sotto del piano campagna e da 12 m di lunghezza di trattamento. La quota del piano di lavoro di questa fase è circa 302.5 m s.l.m.m., che corrisponde al piano campagna naturale dell'area.

In Fase 2 si procederà allo scavo di ribasso della zona interessata dai trattamenti di Fase 1 fino ad una profondità di 7 m dal piano campagna originario, sagomando le scarpate laterali secondo la geometria prevista per gli scavi provvisori dell'imbocco. In questo modo sarà possibile prendere visione delle colonne singole realizzate in Fase 1, osservando per ciascuna colonna (corrispondente a sua volta ad un diverso set di parametri) l'omogeneità di miscelazione terreno/miscela, il diametro delle colonne, la continuità del trattamento. A valle della Fase 2 sarà possibile selezionare la colonna singola che si ritiene ottimale per l'esecuzione dei trattamenti in progetto: da qui deriveranno i parametri operativi da utilizzare per la successiva Fase 3.

In Fase 3 si realizzeranno n.5 colonne compenstrate, che rispecchiano la disposizione dei trattamenti jet previsti in progetto per il consolidamento dall'alto (sezioni tipo C e Call). Le colonne verranno eseguite a partire dal piano di scavo a quota 295.5 m, ad una distanza di 10 m dalle colonne singole di Fase 1. Nuovamente si procederà all'esecuzione di controlli per valutare la continuità e riuscita della compenstrazione, e si preleveranno campioni per la misura del peso di volume e della resistenza a compressione della colonna.

8.2 ESECUZIONE COLONNE SINGOLE

8.2.1 Parametri operativi

La seguente Tabella 1 riassume i parametri operativi che sono stati proposti per l’esecuzione delle colonne verticali singole. Al momento gli elaborati progettuali delle sezioni di scavo relativi al consolidamento dall’alto contengono il set di parametri relativi alla colonna A, ma naturalmente tali indicazioni potranno essere soggette a modifica a seguito dei risultati del campo prova.

Come si può vedere, la tecnologia scelta è sempre quella del metodo monofludo, dal momento che il trattamento interesserà un detrito sciolto di medio-elevata permeabilità.

Le pressioni di iniezione sono state fatte variare tra 25 e 35 MPa.

La miscela cementizia da utilizzare sarà caratterizzata da un rapporto A/C pari a 1, solo per l’esecuzione di due colonne si impiegherà una miscela con A/C=0.8 al fine di valutare se una diversa densità e viscosità della miscela possa avere influenza sulle caratteristiche geometriche e di resistenza della colonna.

PARAMETRI OPERATIVI JET GROUTING							
CAMPO PROVA COLONNE VERTICALI							
PARAMETRI	TRATTAMENTO COLONNARE						
	A	B	C	D	E	F	
QUOTA TESTA TRATTAMENTO (m s.l.m.m.)	298.50	298.50	298.50	298.50	298.50	298.50	
QUOTA PIEDE TRATTAMENTO (m s.l.m.m.)	286.50	286.50	286.50	286.50	286.50	286.50	
LUNGHEZZA TRATTAMENTO (m)	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	
TECNOLOGIA DI ESECUZIONE (MF, BF, TF)	MF	MF	MF	MF	MF	MF	
COMPOSIZIONE MISCELA A/C (%)	1	1	1	1	0.8	0.8	
DIAMETRO UGELLI MISCELA (mm)	4.00	3.00	3.00	4.00	4.00	3.00	
RIPETIZIONI CON MISCELA (N, UGELLI PER RIVOLUZIONE)	2	4	4	2	2	4	
PRESSIONE MISCELA (MPa)	25	35	30	30	30	35	
LIFTING STEP (cm)	4	4	4	4	4	4	
TIME STEP (sec) ΔT	6	6	5	5	5	6	
VELOCITA' DI RISALITA (m/h)	24	24	28.8	28.8	28.8	24	
VELOCITA' DI ROTAZIONE (rpm)	10	10	12	12	12	10	
ENERGIA SPECIFICA Es (MJ/ml)	13.5	25.4	16.8	14.9	14.9	25.4	

Tabella 1: Parametri operativi per l’esecuzione delle 6 colonne singole verticali – Fase 1

8.2.2 Risultati attesi

Con riferimento alla sola colonna A si propongono nella seguente Figura 2 i risultati attesi in termini di diametro colonna, pesi di volume di refluo e colonna, volumi di iniezione, di refluo e disperso a metro lineare.

Come si può osservare, con l’aumento della profondità, e quindi del confinamento laterale, la colonna si riduce di diametro e nel contempo si riducono anche i pesi di volume di colonna e refluo perché è minore la porzione di terreno disgregato.

La profondità di testa della colonna secondo il progetto del consolidamento dall’alto può variare tra 2 e circa 8 m, il che corrisponde a significative variazioni del diametro atteso. La galleria si colloca a profondità medie tra 8 e 20 metri, ed è questo l’intervallo di profondità a cui è fondamentale assicurare il diametro di progetto pari a 1.20 m, che è quello che consente una adeguata compenetrazione tra le colonne.

Per quanto riguarda i pesi di volume, il terreno trattato è caratterizzato da un peso di 19 KN/m^3 , la miscela con rapporto A/C ha γ_m pari a 15 KN/m^3 . Con riferimento a questi valori, il peso di volume medio atteso per la colonna è di poco inferiore ai 19 KN/m^3 , quello del refluo è di 18 KN/m^3 .

Il volume di iniezione atteso è di $0.65 \text{ m}^3/\text{m}$ lineare di colonna, con un refluo prodotto pari al 75% del volume iniettato.

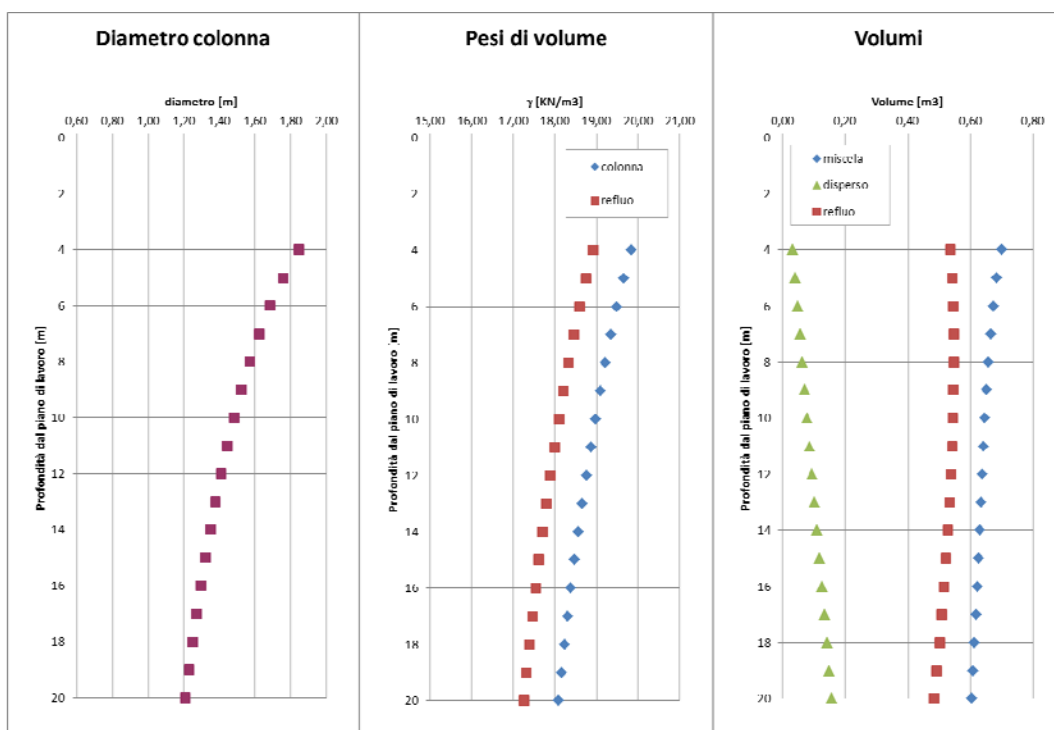


Figura 2 Risultati attesi per la colonna tipo A

8.2.3 *Verifiche e controlli*

Prima dell’esecuzione delle colonne:

- Esecuzione di n.2 prove down-hole (con doppio ricevitore tridirezionale) nella condizione ante-trattamento che si estendano in profondità 2 m oltre la lunghezza del trattamento in progetto.

Durante l’esecuzione delle colonne:

- i parametri operativi verranno misurati e registrati in continuo con sistemi di acquisizione dati automatici, in modo da fornire il report completo per ciascuna colonna eseguita;
- durante l’esecuzione di ciascuna colonna verranno prelevati campioni della miscela acqua/cemento. I campioni verranno conservati a 20 °C in acqua per 7 e 28 giorni. Alla data prefissata, i campioni verranno aperti e suddivisi in diversi provini, minimo 3, da sottoporre a prove di compressione semplice in laboratorio
- il refluo verrà raccolto in superficie predisponendo apposito rivestimento, e dotato di raccordo a “T” per permettere di convogliare il refluo ad apposite vasche di raccolta gradate, in modo da poter valutare i volumi di refluo in relazione alla profondità di gettiniezione, per esempio registrando i volumi di refluo per ogni metro di risalita;
- dal tubo di raccolta verranno prelevati ad intervalli regolari, ogni 4 m di colonna, campioni di refluo da sottoporre a prove da eseguire, in modo speditivo, in sito: peso di volume, tempo di presa. Con il materiale di refluo prelevato ogni 4 m di trattamento verranno inoltre confezionati provini secondo le stesse modalità previste per la miscela e sottoposti a prova di compressione semplice a 7 e 28 giorni.

Per ciascuna colonna di jet-grouting dovrà essere compilata dalla ditta esecutrice una scheda operativa analoga a quella riportata di seguito.

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL’ASTICO

SCHEDA OPERATIVA			
OPERA			data
n° matr. macchina d’iniezione		N° matr. pompa	
n° matr. manometro N. 1		N° matr. manometro N° 2	
PARAMETRI OPERATIVI			
VERIFICHE	VALORI DI PROGETTO	VALORI RISCONTRATI	Note
POSIZIONAMENTO			
Quota piano campagna (m s.l.m.m.)			
Inclinazione asta di perforazione (%)			
PARAMETRI DI PERFORAZIONE			
Lunghezza della perforazione (m)			
Lunghezza perforazione a vuoto (m)			
Diametro utensile (mm)			
Caratteristiche utensile			
PARAMETRI DI INIEZIONE			
Numero ugelli miscela (n°)			
Diametro ugelli miscela (mm)			
Velocità di rotazione (giri/min)			
Velocità di risalita (cm/min)			
Pressione pompa miscela (MPa)			
Portata miscela (l/min)			
CARATTERISTICHE DELLA MISCELA			
Rapporto acqua cemento (a/c)			
Densità miscela			
Viscosità della miscela (a/c = 1) (s)			
Tempo di presa			
Prelievo di campioni per prove di rottura			
CARATTERISTICHE DEL TRATTAMENTO			
Diametro efficace (cm)			
Quota testa (m)			

Figura 3 Scheda operativa fac-simile da utilizzare per ogni colonna del campo prova

Subito al termine delle operazioni di gettiniezione:

- Esecuzione della prova Ruessel per la valutazione del diametro colonna, a partire dalla testa della colonna ogni 0.50 m di lunghezza. Per ciascuna posizione (ovvero per ciascuna quota di prova) sono previste 4 direzioni di misura, ciascuna ortogonale all'altra.

Lo strumento Ruessel serve a misurare in maniera meccanica il diametro delle colonne jet grouting. La misura avviene immediatamente dopo l'esecuzione (quando l'impasto è ancora fresco); lo strumento deve essere calato in asse colonna nel fango fresco. Si tratta di una speciale asta che va montata alla base della batteria jet grouting all'interno della quale è ricavato l'alloggiamento di una speciale catena snodata. Immediatamente dopo il completamento della colonna jet grouting, dopo aver rimosso la batteria di perforazione e prima di rimuovere la perforatrice, viene smontato il monitor portaugelli e al suo posto viene montato lo strumento che viene spinto assieme alla batteria di perforazione alla quota desiderata per effettuare la prova. Per eseguire il rilievo del diametro, la catena viene spinta verso l'esterno agendo sulla superficie attraverso una batteria di astine che scorrono entro la batteria di perforazione. Si provoca in tale modo la fuoriuscita della catena snodata fino a che questa non incontra il terreno vergine: misurando l'entità dello spostamento verticale delle astine si ricava anche la distanza tra la posizione di riposo e l'interfaccia del terreno vergine. Ripetendo la misura in varie posizioni angolari allo stesso livello è possibile risalire al diametro della colonna.

Dopo almeno 15 giorni di maturazione delle colonne

- Esecuzione di una prova cross-hole per ciascuna colonna singola, i cui risultati, messi a confronto con la down-hole ante-trattamento, consentiranno di valutare le caratteristiche delle colonne ottenute. Le prove si estenderanno in profondità 2 m oltre la lunghezza del trattamento in progetto.
- Per ciascuna colonna verrà eseguito 1 carotaggio verticale ad una distanza dal centro colonna pari alla metà del raggio atteso per determinare la continuità degli elementi di trattamento e prelevare i campioni per l'esecuzione di prove in situ e di laboratorio. I sondaggi verranno eseguiti a carotaggio continuo, le carote verranno raccolte in apposite cassette catalogatrici, fotografate (a colori) e soggette a descrizione di dettaglio, compresa indicazione di RQD, colore, consistenza, omogeneità, discontinuità ecc..
- Dalle carote prelevate nei sondaggi si preleveranno 30 provini (5 provini a colonna) da sottoporre a prove di laboratorio per la determinazione del peso di volume di ciascun campione e prove di compressione semplice ad espansione laterale libera ELL con determinazione del carico di rottura e del modulo E_{50} a 50% del carico di rottura.

- Si procederà quindi al ribasso del piano di scavo, di modo da scoprire parte delle colonne verticali e prendere visione della qualità del trattamento ottenuto. Durante questa operazione si procederà al prelievo di n.20 campioni di terreno a profondità crescente lungo l'estensione del tratto da scoprire per l'esecuzione di altrettante prove granulometriche.

8.3 ESECUZIONE COLONNE COMPENETRATE

8.3.1 Parametri operativi

I parametri operativi da utilizzare per l'esecuzione delle colonne verticali compenstrate verranno stabiliti sulla base dei risultati delle verifiche e controlli eseguiti sulle colonne singole.

8.3.2 Verifiche e controlli

Durante l'esecuzione delle colonne:

si faccia riferimento alle modalità indicate al paragrafo 8.2.3.

Dopo almeno 15 giorni di maturazione delle colonne

Si individuano le posizioni X e Y che individuano rispettivamente il centro di una colonna verticale e la posizione media tra due colonne compenstrate, Figura 4.

- In posizione X e Y verrà eseguito 1 carotaggio verticale per determinare la continuità degli elementi di trattamento e prelevare i campioni per l'esecuzione di prove in situ e di laboratorio. I sondaggi verranno eseguiti a carotaggio continuo, le carote verranno raccolte in apposite cassette catalogatrici, fotografate (a colori) e soggette a descrizione di dettaglio, compresa indicazione di RQD, colore, consistenza, omogeneità, discontinuità ecc..

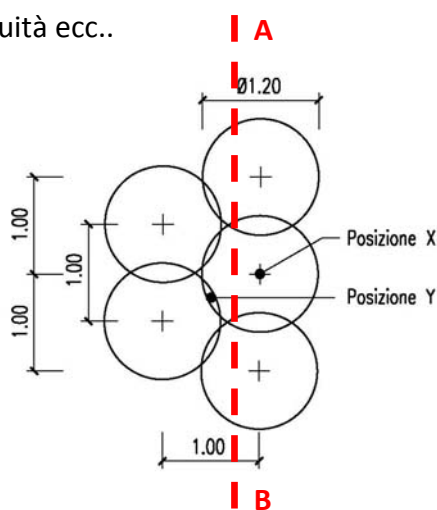


Figura 4 Posizioni X e Y per l'esecuzione dei carotaggi, allineamento AB suggerito per cross-hole

- Dalle carote prelevate nei sondaggi si preleveranno 10 provini (5 per sondaggio) da sottoporre a prove di laboratorio per la determinazione del peso di volume di ciascun campione e prove di compressione semplice ad espansione laterale libera ELL con determinazione del carico di rottura e del modulo E_{50} a 50% del carico di rottura.
- Si procederà quindi al ribasso del piano di scavo, di modo da scoprire parte delle colonne verticali compenstrate e prendere visione della qualità del trattamento ottenuto;
- Esecuzione di una prova cross-hole lungo l'allineamento AB (Figura 4) o analogo, i cui risultati, messi a confronto con la down-hole ante-trattamento, consentiranno di tarare i parametri da associare al terreno consolidato con colonne compenstrate. Le prove si estenderanno in profondità 2 m oltre la lunghezza del trattamento in progetto.

9 CAMPO PROVA RELATIVO ALLE COLONNE ORIZZONTALI – FASI 4-5-6

9.1 DESCRIZIONE DEL CAMPO PROVA

Il campo prova relativo alle colonne orizzontali si compone di due diverse lavorazioni, ovvero l'esecuzione delle colonne singole e successivamente l'esecuzione di un arco di colonne compenstrate, la cui disposizione rispecchia la geometria di progetto. In questo modo con l'esecuzione delle colonne singole - Fase 4 - sarà possibile testare vari set di parametri operativi per l'esecuzione del jet-grouting. L'integrazione dei controlli in corso d'opera eseguiti durante l'esecuzione delle colonne singole con le informazioni derivanti dalla presa visione diretta di un tratto di colonne appena realizzate - Fase 5 - consentiranno di scegliere il set di parametri più idoneo all'esecuzione delle colonne compenstrate, Fase 6.

In Fase 4 si eseguiranno n.4 colonne orizzontali, con altrettanti diversi set di parametri operativi, disposte ad interasse orizzontale di 3 m l'una dall'altra. Le colonne saranno caratterizzate da 4 m di perforazione a vuoto per allontanarsi dalla scarpata e da 13 m di lunghezza di trattamento. La quota del piano di lavoro su cui poggerà la macchina operatrice è circa 295.5 m s.l.m.m..

In Fase 5 si procederà all'avanzamento del fronte della scarpata mantenendo la stessa pendenza dello scavo, fino a scoprire le colonne singole realizzate in Fase 4. In questo modo sarà possibile osservare per ciascuna colonna (corrispondente a sua volta ad un diverso set di parametri) l'omogeneità di miscelazione terreno/miscela, il diametro delle colonne, la continuità del trattamento. A valle della Fase 5 si selezionerà la colonna singola che si ritiene ottimale per l'esecuzione dei trattamenti in progetto: da qui deriveranno i parametri operativi da utilizzare per la successiva Fase 6.

In Fase 6 si realizzeranno n.7 colonne compenstrate secondo una geometria ad arco, che rispecchia la disposizione dei trattamenti jet previsti in progetto per il consolidamento del contorno di scavo (sezione tipo C1a). Nuovamente si procederà all'esecuzione di controlli per valutare la continuità e riuscita della compenstrazione, e si preleveranno campioni per la misura del peso di volume e della resistenza a compressione della colonna.

9.2 ESECUZIONE COLONNE SINGOLE

9.2.1 Parametri operativi

La seguente Tabella 2 riassume i parametri operativi che sono stati proposti per l'esecuzione delle colonne orizzontali singole. Al momento gli elaborati progettuali relativi ai trattamenti jet-grouting previsti dalla sezione tipo C1a contengono il set di parametri relativi alla colonna

G, ma naturalmente tali indicazioni potranno essere soggette a modifica a seguito dei risultati del campo prova.

Come si può vedere, la tecnologia scelta è sempre quella del metodo monofludo, dal momento che il trattamento interesserà un detrito sciolto di medio-elevata permeabilità.

Le pressioni di iniezione sono state fatte variare tra 25 e 30 MPa.

La miscela cementizia da utilizzare sarà caratterizzata da un rapporto A/C pari a 1, solo per l'esecuzione di una colonna si impiegherà una miscela con A/C=0.8 al fine di valutare se una diversa densità e viscosità della miscela possa avere influenza sulle caratteristiche geometriche e di resistenza della colonna.

PARAMETRI OPERATIVI JET GROUTING							
CAMPO PROVA COLONNE ORIZZONTALI							
PARAMETRI	TRATTAMENTO COLONNARE						
	G	H	I	L			
LUNGHEZZA TRATTAMENTO (m)	13.00	13.00	13.00	13.00			
TECNOLOGIA DI ESECUZIONE (MF, BF, TF)	MF	MF	MF	MF			
COMPOSIZIONE MISCELA A/C (%)	1	1	1	0.8			
DIAMETRO UGELLI MISCELA (mm)	4.00	4.00	3.00	4.00			
RIPETIZIONI CON MISCELA (N, UGELLI PER RIVOLUZIONE)	2	2	4	2			
PRESSIONE MISCELA (MPa)	25	30	30	25			
LIFTING STEP (cm)	4	4	4	4			
TIME STEP (sec) ΔT	4	5	4	6			
VELOCITA' DI RISALITA (m/h)	36	28.8	36	24			
VELOCITA' DI ROTAZIONE (rpm)	15	12	15	10			
ENERGIA SPECIFICA E_s (MJ/ml)	9.03	14.9	13.44	13.54			

Tabella 2: Parametri operativi per l'esecuzione delle 4 colonne singole orizzontali – Fase 4

9.2.2 Risultati attesi

Con riferimento alla sola colonna G si propongono nella seguente Figura 5 i risultati attesi in termini di diametro colonna, pesi di volume di refluo e colonna, volumi di iniezione, di refluo e disperso a metro lineare.

Come si può osservare, con l'aumento della progressiva lungo la colonna, e quindi la riduzione dell'effetto di detensionamento indotto dallo scavo, la colonna si riduce di

diametro. Per tutta la sua estensione, comunque, la colonna deve garantire il diametro di 0.80 m necessario per creare una coronella di colonne compenetranti e collaboranti tra loro.

Per quanto riguarda i pesi di volume, il terreno trattato è caratterizzato da un peso di 19 kN/m³, la miscela con rapporto A/C ha γ_m pari a 15 kN/m³. Con riferimento a questi valori, il peso di volume medio atteso per la colonna è di 18.5 kN/m³, quello del refluo è di 17.5 kN/m³.

Il volume di iniezione atteso è di 0.40 m³/m lineare di colonna, con un refluo prodotto pari al 65% del volume iniettato.

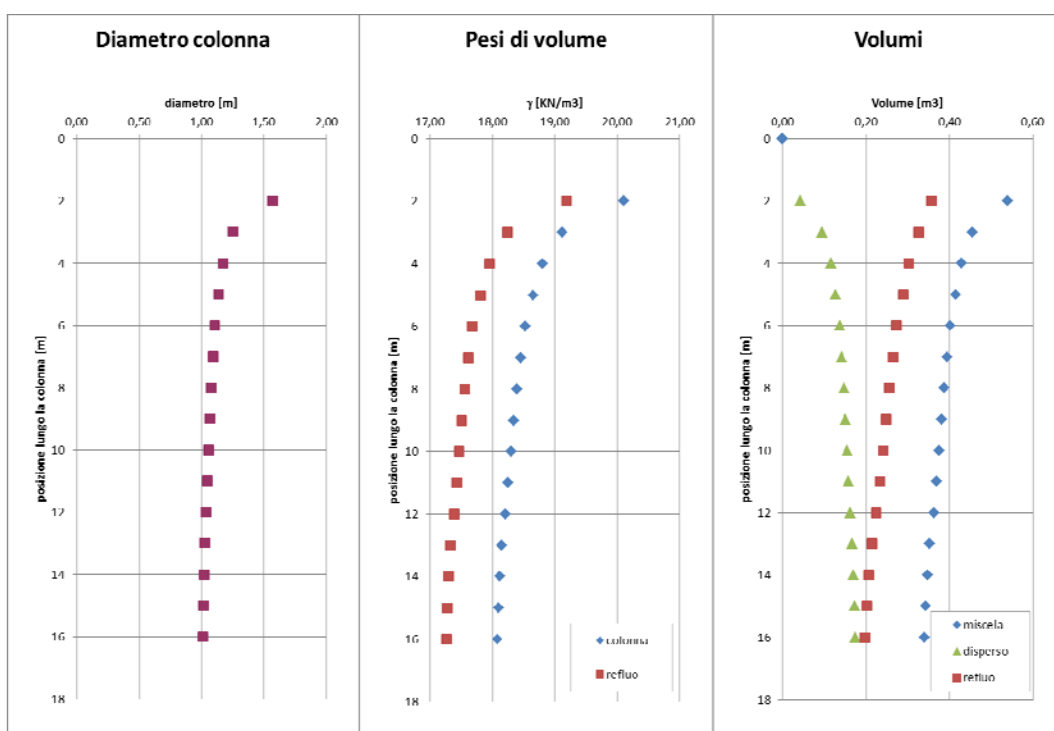


Figura 5 Risultati attesi per la colonna tipo G

9.2.3 Verifiche e controlli

Prima dell'esecuzione delle colonne:

- Esecuzione di n.2 prove down-hole (con doppio ricevitore tridirezionale) nella condizione ante-trattamento che si estendano in profondità 2 m oltre la lunghezza del trattamento in progetto.

Durante l'esecuzione delle colonne:

- i parametri operativi verranno misurati e registrati in continuo con sistemi di acquisizione dati automatici, in modo da fornire il report completo per ciascuna colonna eseguita;
- durante l'esecuzione di ciascuna colonna verranno prelevati campioni della miscela acqua/cemento. I campioni verranno conservati a 20 °C in acqua per 7 e 28 giorni.

Alla data prefissata, i campioni verranno aperti e suddivisi in diversi provini, minimo 3, da sottoporre a prove di compressione semplice in laboratorio

- il refluo verrà raccolto in superficie predisponendo apposito rivestimento, e dotato di raccordo a “T” per permettere di convogliare il refluo ad apposite vasche di raccolta gradate, in modo da poter valutare i volumi di refluo in relazione alla profondità di gettiniezione, per esempio registrando i volumi di refluo per ogni metro di risalita;
- dal tubo di raccolta verranno prelevati ad intervalli regolari, ogni 4 m di colonna, campioni di refluo da sottoporre a prove da eseguire, in modo speditivo, in sito: peso di volume, tempo di presa. Con il materiale di refluo prelevato ogni 4 m di trattamento verranno inoltre confezionati provini secondo le stesse modalità previste per la miscela e sottoposti a prova di compressione semplice a 7 e 28 giorni.

Per ciascuna colonna di jet-grouting dovrà essere compilata dalla ditta esecutrice una scheda operativa analoga a quella riportata nella precedente Figura 3.

Subito al termine delle operazioni di gettiniezione:

- Esecuzione della prova Ruessel per la valutazione del diametro colonna, a partire dalla testa della colonna ogni 0.50 m di lunghezza. Per ciascuna posizione (ovvero per ciascuna quota di prova) sono previste 4 direzioni di misura, ciascuna ortogonale all'altra.

Dopo almeno 15 giorni di maturazione delle colonne

- Esecuzione di una prova cross-hole per ciascuna colonna singola, i cui risultati, , messi a confronto con la down-hole ante-trattamento, consentiranno di valutare le caratteristiche delle colonne ottenute. Le prove si estenderanno in profondità 2 m oltre la lunghezza del trattamento in progetto.
- Per ciascuna colonna verrà eseguito 1 carotaggio parallelo all'asse colonna ad una distanza dal centro pari alla metà del raggio atteso per determinare la continuità degli elementi di trattamento e prelevare i campioni per l'esecuzione di prove in situ e di laboratorio. I sondaggi verranno eseguiti a carotaggio continuo, le carote verranno raccolte in apposite cassette catalogatrici, fotografate (a colori) e soggette a descrizione di dettaglio, compresa indicazione di RQD, colore, consistenza, omogeneità, discontinuità ecc..
- Dalle carote prelevate nei sondaggi si preleveranno 20 provini (5 provini per colonna) da sottoporre a prove di laboratorio per la determinazione del peso di volume di ciascun campione e prove di compressione semplice ad espansione laterale libera ELL con determinazione del carico di rottura e del modulo E_{50} a 50% del carico di rottura.

- Si procederà quindi all’avanzamento del fronte della scarpata, di modo da scoprire le colonne orizzontali e prendere visione della qualità del trattamento ottenuto. Durante questa operazione si procederà al prelievo di n.20 campioni di terreno a profondità crescente lungo l’estensione del tratto da scoprire per l’esecuzione di altrettante prove granulometriche.

9.3 ESECUZIONE COLONNE COMPENETRATE

9.3.1 Parametri operativi

I parametri operativi da utilizzare per l’esecuzione delle colonne orizzontali compenstrate verranno stabiliti sulla base dei risultati delle verifiche e controlli eseguiti sulle colonne singole.

9.3.2 Verifiche e controlli

Durante l’esecuzione delle colonne:

si faccia riferimento alle modalità indicate al paragrafo 9.2.3

Dopo almeno 15 giorni di maturazione delle colonne

Si individuano le posizioni X e Y che individuano rispettivamente il centro di una colonna orizzontale e la posizione media tra due colonne compenstrate, Figura 6.

- In posizione X e Y verrà eseguito 1 carotaggio orizzontale per determinare la continuità degli elementi di trattamento e prelevare i campioni per l’esecuzione di prove in situ e di laboratorio. I sondaggi verranno eseguiti a carotaggio continuo, le carote verranno raccolte in apposite cassette catalogatrici, fotografate (a colori) e soggette a descrizione di dettaglio, compresa indicazione di RQD, colore, consistenza, omogeneità, discontinuità ecc..

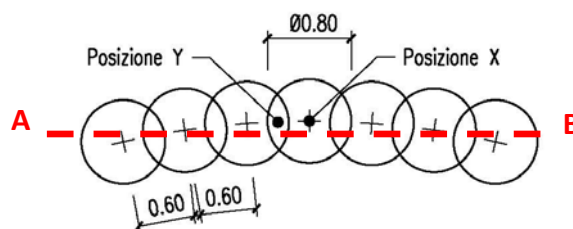


Figura 6 Posizioni X e Y per l’esecuzione dei carotaggi, allineamento AB suggerito per cross-hole

- Dalle carote prelevate nei sondaggi si preleveranno 10 provini (5 per sondaggio) da sottoporre a prove di laboratorio per la determinazione del peso di volume di ciascun campione e prove di compressione semplice ad espansione laterale libera ELL con determinazione del carico di rottura e del modulo E_{50} a 50% del carico di rottura.

- Si procederà quindi all’avanzamento del fronte della scarpata, di modo da scoprire le colonne compenstrate e prendere visione della qualità del trattamento ottenuto.
- Esecuzione di una prova cross-hole lungo un allineamento contenente almeno tre colonne compenstrate, per es. allineamento AB di Figura 6, i cui risultati, messi a confronto con la down-hole ante-trattamento, consentiranno di tarare i parametri da associare al terreno consolidato con colonne compenstrate. Le prove si estenderanno in profondità 2 m oltre la lunghezza del trattamento in progetto.

10 INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

Il campo prova previsto richiede 4 fasi di interpretazione dei risultati:

1. A seguito della Fase 2, si dovrà procedere alla scelta dei parametri operativi più adeguati alla realizzazione dei trattamenti previsti in Fase 3, che sono quelli che rispecchiano fedelmente la geometria di trattamento di progetto. Tale scelta deriverà dall’integrazione delle osservazioni in corso d’opera con i report forniti dall’esecutore per ciascuna colonna singola e con i risultati delle prove in sito e di laboratorio eseguite sulle colonne, sulle miscele e sui campioni di refluo. Solo al termine di questa fase interpretativa si potrà procedere con la Fase 3 del campo prova.
2. A seguito della Fase 3 e delle prove eseguite sulle colonne compenstrate, si completerà l’interpretazione di tutti i dati disponibili per le colonne verticali. Solo al termine di questa fase interpretativa si potrà dare il via all’esecuzione dei consolidamenti dall’alto previsti da progetto.
3. A seguito della Fase 5, si dovrà procedere alla scelta dei parametri operativi più adeguati alla realizzazione dei trattamenti previsti in Fase 6, che sono quelli che rispecchiano la geometria di trattamento di progetto. Tale scelta deriverà dall’integrazione delle osservazioni in corso d’opera con i report forniti dall’esecutore per ciascuna colonna singola e con i risultati delle prove in sito e di laboratorio eseguite sulle colonne, sulle miscele e sui campioni di refluo. Solo al termine di questa fase interpretativa si potrà procedere con la Fase 6 del campo prova.
4. A seguito della Fase 6 e delle prove eseguite sulle colonne compenstrate, si completerà l’interpretazione di tutti i dati disponibili per le colonne orizzontali. Solo al termine di questa fase interpretativa si potrà procedere con l’esecuzione dei trattamenti orizzontali in galleria.

L’interpretazione dei risultati sarà a cura del progettista.