

COMUNE DI GENOVA

**OPERE DI PROLUNGAMENTO DELLA METROPOLITANA
TRATTA CANEPARI RIVAROLO
SERVIZI DI AGGIORNAMENTO E
INTEGRAZIONE DEL PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA**

PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO - ECONOMICA RAFFORZATO



Il Progettista: <i>Ing. Mario Bordi</i> <i>Ordine Ing. Genova n.5723</i>	Il Project Engineering Manager: <i>Ing. Marco Marchesini</i> <i>Ordine Ing. Roma n. 39603</i>	Il Reponsabile Unico del Progetto Dirigente Grandi Infrastrutture di Trasporto - Area Project Management Office <i>Ing. Manuela Sciutto</i> <i>Ordine Ing. Genova n. 8953</i>
	Il Coordinatore per la sicurezza in fase di Progettazione: <i>Geom. Bruno Bucari</i> <i>Ordine geom. Genova n.3004</i>	
Il Responsabile dell'Integrazione tra levarie discipline specialistiche: <i>Ing. Mario Bordi</i> <i>Ordine Ing. Genova n.5723</i>	Il Geologo: <i>Dott. Geol. Roberto Pedone</i> <i>Ordine Geologi della Liguria n 183</i>	

GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA
Specifica indagini geognostiche e ambientali

CODICE PROGETTO			NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO			P0_SIGI_GEO_R_009_0			
LIV. PROG. ANNO			CODICE ELAB.			
P0044365 P 25			P0 SIGI GEO R 009		0	-
2						
1						
0			PRIMA EMISSIONE		20/03/2025	L. PAVIGLIANITI M. MARCHESINI M. BORDI
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO



INDICE

	Pag.
LISTA DELLE TABELLE	2
LISTA DELLE FIGURE	2
1 PREMESSA	3
2 RIFERIMENTI	4
3 CARATTERI GEOLOGICI E STRATIGRAFICI DELL'AREA DI INTERVENTO	5
3.1 CONSIDERAZIONI SUL LIVELLO DI FALDA	6
4 INDAGINI PREGRESSE	7
4.1 CAMPAGNA DI INDAGINI PREGRESSE	7
4.2 CAMPAGNA DI INDAGINI PD BRIN – CANEPARI (2020)	8
4.3 CAMPAGNA DI INDAGINI PFTE CANEPARI - RIVAROLO (2020)	9
4.4 CAMPAGNA DI INDAGINI PFTE CANEPARI - RIVAROLO (2020)	10
4.5 CAMPAGNA DI INDAGINI TRATTA AV/AC TERZO VALICO DEI GIOVI (COCIV, 2019 E 2020)	11
5 INDAGINE INTEGRATIVA	12
5.1 INDAGINI GEOTECNICHE	12
6 SPECIFICA PER INDAGINI E PROVE	18
6.1 SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO (S)	18
6.1.1 Sondaggi	18
6.1.2 Prove SPT	22
6.1.3 Rilievi di falda nel sondaggio ed installazione di piezometri	24
6.2 INDAGINI GEOFISICHE	26
6.2.1 Prospezione sismica MASW	26
6.2.2 Down-hole (DH)	27
6.3 PROVE DI LABORATORIO	28
6.3.1 Esami geotecnici di laboratorio su campioni di terre	28
6.3.2 Esami ed analisi per la determinazione delle caratteristiche fisiche	32
6.3.3 Prove di laboratorio per la determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche	33
6.4 SPECIFICA PER INDAGINI E PROVE AMBIENTALI	34

LISTA DELLE TABELLE

	Pag.
Tabella 4-1 – Tabella riassuntiva indagini pregresse	7
Tabella 4-2 – Tabella riassuntiva indagini Progetto definitivo Brin - Canepari	8
Tabella 4-3 – Tabella riassuntiva indagini PFTE Canepari - Rivarolo	9
Tabella 4-4 – Tabella riassuntiva indagini PFTE Canepari - Rivarolo	10
Tabella 4-5 – Tabella riassuntiva indagini COCIV - Tratta AV/AC Terzo Valico dei Giovi	11
Tabella 5-1 - Contenuti Campagna geognostica (sondaggi e prove in sito)	16
Tabella 5-2 – Pozzetti ambientali/geotecnici indagini integrativa	17
Tabella 5-3 – Prospezione sismiche MASW della campagna d'indagini integrativa	17

LISTA DELLE FIGURE

	Pag.
Figura 3-1 - Foglio n. 213-230 "Genova" della Carta Geologica Italiana (Progetto CARG), area di interesse cerchiata in rosso.	5
Figura 3-2 – Planimetria delle opere di prolungamento della tratta Canepari - Rivarolo	6
Figura 3-3 – Profilo Geologico delle opere di prolungamento della tratta Canepari – Rivarolo	6
Figura 4-1 – Planimetria ubicazione indagini pregresse	7
Figura 4-2 - Planimetria ubicazione indagini Progetto definitivo Brin - Canepari	8
Figura 4-3 - Planimetria ubicazione indagini PFTE Canepari - Rivarolo	9
Figura 4-4 - Planimetria ubicazione indagini PFTE Canepari – Rivarolo	10
Figura 4-5 - Planimetria ubicazione indagini COCIV - Tratta AV/AC Terzo Valico dei Giovi	11

1 PREMESSA

L'intervento consiste nella progettazione delle opere di prolungamento della metropolitana - tratta Canepari – Rivarolo- procedura aperta per l'affidamento in appalto dei servizi di aggiornamento e integrazione del progetto di fattibilità tecnico-economica. Il presente rapporto descrive i riferimenti normativi e tecnici presi a riferimento per la redazione della presente specifica tecnica, riporta sommariamente le caratteristiche geologiche e stratigrafiche del sito in esame e infine, espone in dettaglio i contenuti della campagna d'indagine integrativa necessaria per l'aggiornamento del progetto di fattibilità tecnico-economica.

2 RIFERIMENTI

- ✓ Ministero dei Lavori Pubblici, 1988, Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione;
- ✓ Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, 2018, Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni», Decreto 17 gennaio 2018;
- ✓ D.G.R. n.IX/2616 del 30 novembre 2011-Aggiornamento dei “Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n.12”, approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n.8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28 maggio 2008,n.8/7374

3 CARATTERI GEOLOGICI E STRATIGRAFICI DELL'AREA DI INTERVENTO

L'area oggetto del presente intervento progettuale ricade interamente all'interno dei depositi alluvionali quaternari del torrente Polcevera, ovunque ricoperti dal denso tessuto urbanizzato di questo settore della Città di Genova.

Le unità geotecniche individuate risultano:

- Depositi alluvionali, che si suddividono:
 - Riporti
 - Coltri eluvio-colluviali
 - Depositi alluvionali medio-grossolani
- Unità tettonica Montanesi:
 - Cappellaccio di alterazione;
 - Zona cataclastica
 - Argilliti di Mantanesi

Il modello geologico complessivo della zona interessata dagli interventi appare abbastanza definito ed è stato impostato sulla base delle risultanze delle indagini geognostiche e geofisiche eseguite in zona.

Il substrato dell'area è costituito dalle argilliti di Montanesi, argilliti emipelagiche e argilliti siltose nere con intercalazione di arenarie.

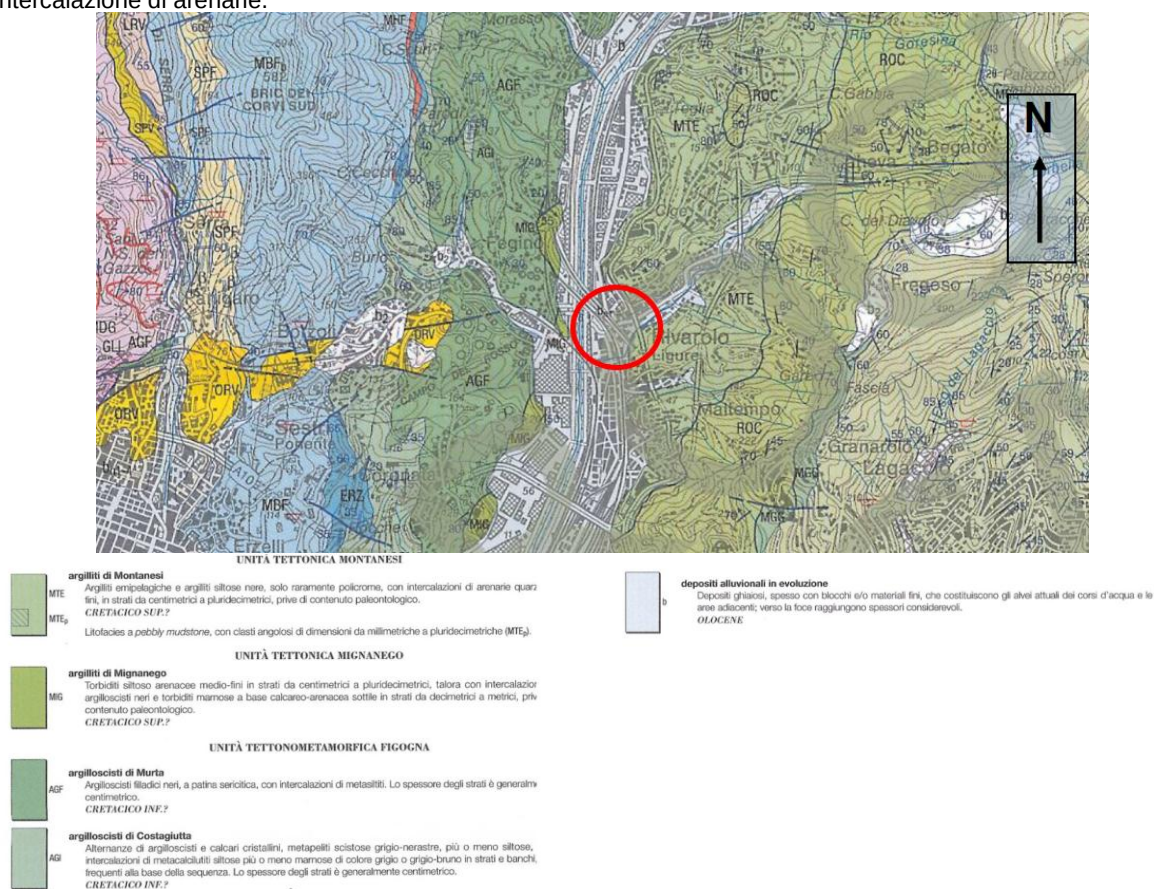


Figura 3-1 - Foglio n. 213-230 "Genova" della Carta Geologica Italiana (Progetto CARG), area di interesse cerchiata in rosso.

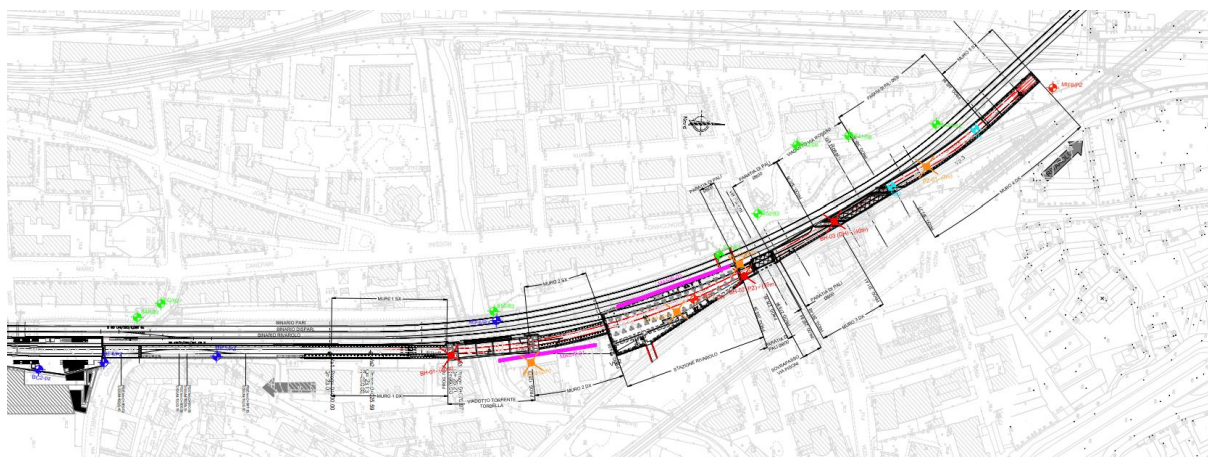


Figura 3-2 – Planimetria delle opere di prolungamento della tratta Canepari - Rivarolo

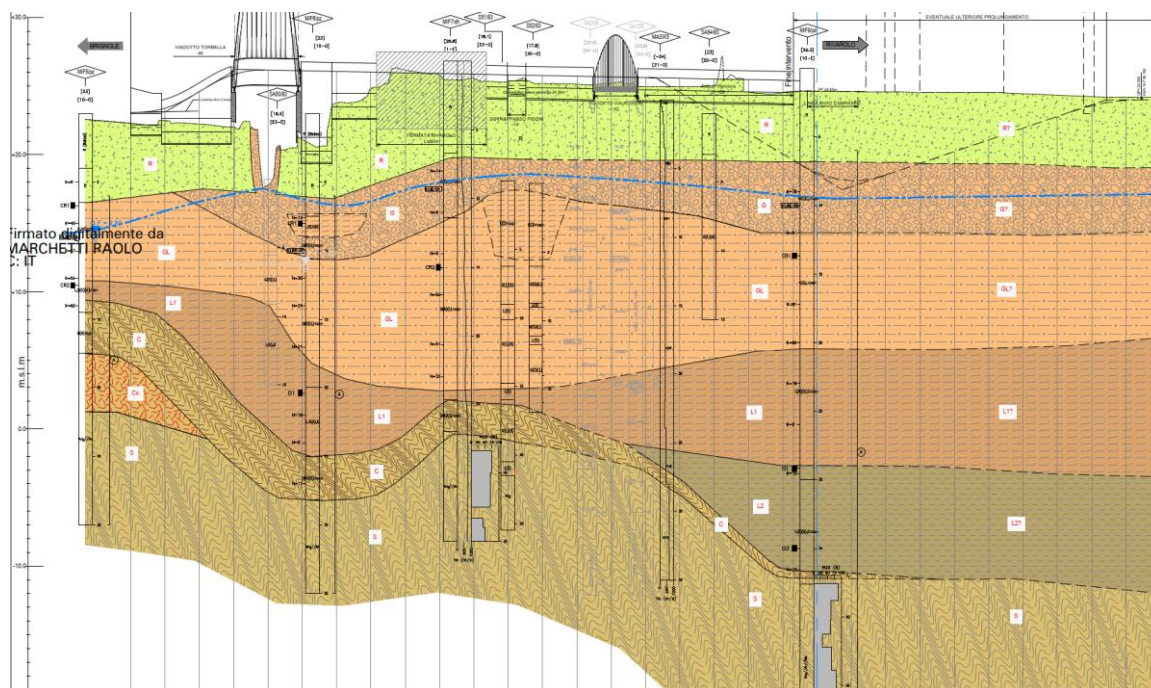


Figura 3-3 – Profilo Geologico delle opere di prolungamento della tratta Canepari – Rivarolo

3.1 CONSIDERAZIONI SUL LIVELLO DI FALDA

Visti i risultati delle campagne d'indagine ricadenti lungo la tratta in esame, il livello di falda riscontrabile all'interno dei piezometri installati nei sondaggi si attesta a circa 11 m da p.c (+12 m s.l.m.m.)

4 INDAGINI PREGRESSE

Nel presente capitolo viene fornita una sintesi delle indagini in sito ricadenti nell'area oggetto di studio, le seguenti sono state utilizzate per la definizione della nuova campagna integrativa:

- Campagna indagini pregresse (1983-2008) lungo la tratta Canepari-Rivarolo;
- Campagna indagini 2020 nell'ambito del progetto definitivo della tratta Brin – Canepari
- Campagna indagini 2020 nell'ambito del progetto di fattibilità economica Canepari – Rivarolo
- Campagna indagini 2019 e 2020 nell'ambito del progetto esecutivo del collegamento parco Rugna/Bettolo – Bivio Fegino via Campasso;

4.1 CAMPAGNA DI INDAGINI PREGRESSE

La campagna di indagini pregresse che ricade lungo la tratta in oggetto considerata ai fini progettuali è riportata in Tabella 4-1.

Tabella 4-1 – Tabella riassuntiva indagini pregresse

Codice indagine	Sondaggi					Prove in sito		
	Anno	Profondità [m]	piezometro	Down-hoe	CR.	C.I.	SPT	pressiometro Permeabilità Lefranc
SA49/83	1983	12						
SA50/83	1983	15						
SA51/83	1983	25.50						
SA52/83	1983	16.70						
S42/08	2008	36	si				8	2
S41/08	2008	36	si				7	2
SA54/83	1983	15						

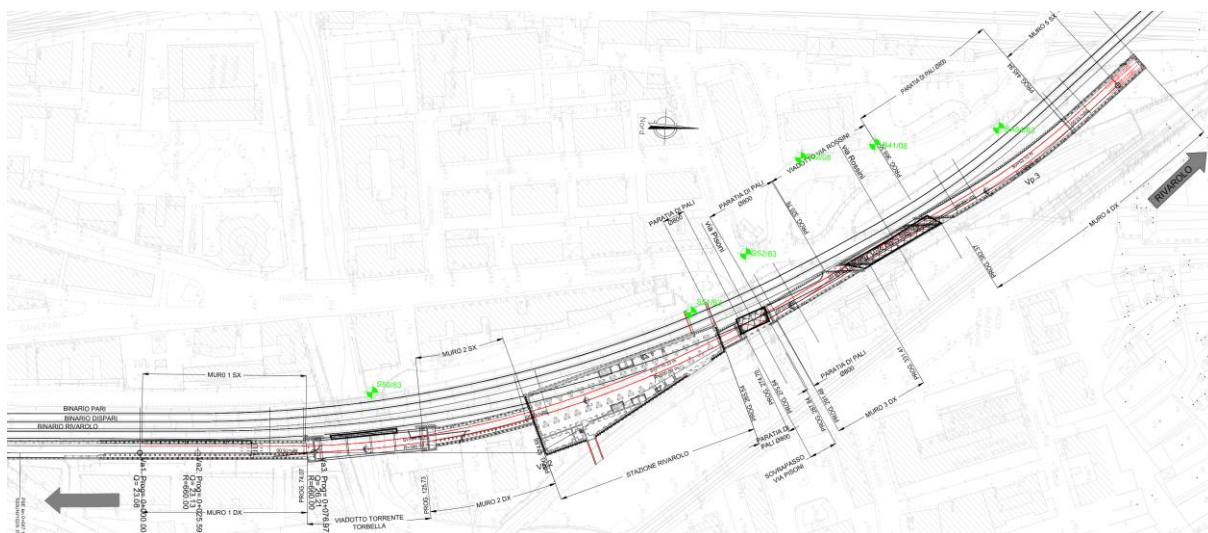


Figura 4-1 – Planimetria ubicazione indagini pregresse

4.2 CAMPAGNA DI INDAGINI PD BRIN – CANEPARI (2020)

Le indagini geognostiche effettuate nel 2020, nell'ambito del Progetto Definitivo della tratta Brin-Canepari, sono riportate in Tabella 4-2. Di queste indagini, quelle ricadenti lungo la tratta in esame sono i sondaggi MIF5/PZ e MIF6/PZ. In tabella si riportano anche le indagini non strettamente ricadenti lungo la tratta oggetto del presente studio, in quanto sono incluse nella tratta immediatamente contigua e comprendono informazioni utili sulle medesime formazioni geologico/geotecniche.

Tabella 4-2 – Tabella riassuntiva indagini Progetto definitivo Brin - Canepari

Codice indagine	Sondaggi						Prove in sito		
	Anno	Profondità [m]	piezometro	Down-hoe	CR.	C.I.	SPT	pressiometro	Permeabilità Lefranc
MIF1/DH	2020	37		si	2	-	8		1
MIF2/PZ	2020	40	si		3	-	5		1
MIF3/DH	2020	30		si	1	1	1		1
MIF4/PZ	2020	25	si		2	2	5		1
MIF5/PZ	2020	30	si		2	-	5		1
MIF6/PZ	2020	35	si		1	1	7		1

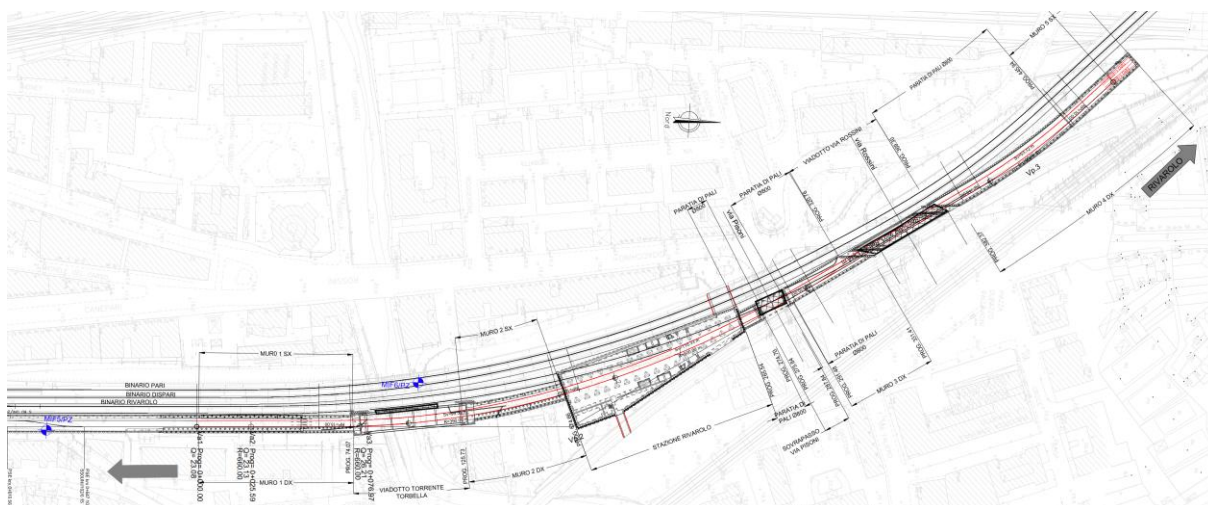


Figura 4-2 - Planimetria ubicazione indagini Progetto definitivo Brin - Canepari

4.3 CAMPAGNA DI INDAGINI PFTE CANEPARI - RIVAROLO (2020)

Le indagini geognostiche effettuate nel 2020, nell'ambito del Progetto di fattibilità tecnico economica della tratta Canepari - Rivarolo, sono riportate in Tabella 4-3.

Tabella 4-3 – Tabella riassuntiva indagini PFTE Canepari - Rivarolo

Codice indagine	Sondaggi						Prove in sito		
	Anno	Profondità [m]	piezometro	Down-hoe	CR.	C.I.	SPT	pressiometro	Permeabilità Lefranc
MIF7/DH	2020	35		si	1	-	6		1
MIF8/PZ	2020	50	si		1	2	8		1



Figura 4-3 - Planimetria ubicazione indagini PFTE Canepari - Rivarolo

4.4 CAMPAGNA DI INDAGINI PFTE CANEPARI - RIVAROLO (2020)

Le indagini geognostiche effettuate nel 2020, nell'ambito del Progetto di fattibilità tecnico economica della tratta Canepari - Rivarolo, sono riportate in Tabella 4-4.

Tabella 4-4 – Tabella riassuntiva indagini PFTE Canepari - Rivarolo

Codice indagine	Sondaggi						Prove in sito		
	Anno	Profondità [m]	piezometro	Down-hoe	CR.	C.I.	SPT	pressiometro	Permeabilità Lefranc
MIF7/DH	2020	35		si	1	-	6		1
MIF8/PZ	2020	50	si		1	2	8		1



Figura 4-4 - Planimetria ubicazione indagini PFTE Canepari – Rivarolo

4.5 CAMPAGNA DI INDAGINI TRATTA AV/AC TERZO VALICO DEI GIOVI (COCIV, 2019 E 2020)

Le indagini geognostiche effettuate nel 2019 e 2020 in corrispondenza del Viadotto Rossini, nell'ambito del progetto esecutivo del collegamento parco Rugna/Bettolo – Bivio Fegino via Campasso sono riportate in Tabella 4-5.

Tabella 4-5 – Tabella riassuntiva indagini COCIV - Tratta AV/AC Terzo Valico dei Giovi

Codice indagine	Sondaggi						Prove in sito		
	Anno	Profondità [m]	piezometro	Down-hoe	CR.	C.I.	SPT	pressiometro	Permeabilità Lefranc
1N	2019	35		si	-	-	11		-
S02	2020	50	-		-	-	10		-



Figura 4-5 - Planimetria ubicazione indagini COCIV - Tratta AV/AC Terzo Valico dei Giovi

5 INDAGINE INTEGRATIVA

5.1 INDAGINI GEOTECNICHE

Alla luce del quadro geotecnico e geologico dell'area in esame, appare pertanto necessario un approfondimento del modello geotecnico in corrispondenza delle fondazioni dei nuovi Viadotti Via Rossini, Viadotto Torbella e tra il sovrappasso Pisoni e la stazione di Rivarolo. Tali opere saranno realizzate per il prolungamento della tratta Canepari – Rivarolo.

Si propone l'esecuzione di almeno una verticale di indagine in corrispondenza delle seguenti opere:

- spalla del Viadotto di via Rossini,
- spalla del Viadotto Torbella,
- tra la stazione di Rivarolo e il Sovrappasso Pisoni

Tali opere in progetto, presentano fondazioni che saranno realizzate con elementi di tipo profondo (pali di medio/grande diametro o micropali), adeguatamente approfonditi per sostenere le sollecitazioni della struttura in elevazione.

Tale campagna di indagine si ritiene necessaria in seguito alle seguenti constatazioni:

- ✓ In alcuni casi è necessario integrare o approfondire i rilievi sismici, in modo da poter meglio caratterizzare le caratteristiche del sottosuolo sotto l'aspetto dinamico.
- ✓ Definizione dell'azione sismica finalizzata alla verifica della stabilità delle opere in condizioni sismiche ed alla possibile occorrenza di fenomeni di liquefazione;
- ✓ Approfondimento dei parametri di deformabilità e/o ambientali lungo l'intera tratta in esame e per le aree di cantiere.

In accordo alle raccomandazioni AGI, è necessario indagare il volume significativo di terreno coinvolto dalla fondazione che si estende dalla profondità di imposta fino a 1-2 volte circa, a seconda dei casi, la larghezza dell'opera. Nel caso specifico di fondazioni su pali, la profondità da indagare oltre la testa dei pali è pari alla larghezza dell'opera.

In merito alla definizione della campagna d'indagine integrativa, si sono osservati i seguenti criteri:

- ✓ Tecnico-Normativi, riferiti alle normative attualmente in vigore;
- ✓ Conoscitivi: associati alle informazioni ad oggi disponibili sull'area, legate alle pregresse indagini, ma anche alla documentazione di progetto disponibile.

La campagna d'indagine integrativa per l'area prevede i seguenti contenuti:

- ✓ n. 1 Sondaggi a carotaggio continuo di profondità pari a 40 m;
- ✓ n. 1 Sondaggi a carotaggio continuo di profondità pari a 35 m; attrezzato con piezometro a tubo aperto;
- ✓ n. 1 Sondaggi a carotaggio continuo di profondità pari a 40 m attrezzato con tubazione PVC per l'esecuzione della prova sismica tipo down-hole;
- ✓ n. 4 Pozzetti esplorativi ambientali/geotecnici spinti fino alla profondità di 1.5-2 m da p.c. (fino a dove si arriva con l'escavatore in sicurezza) e successiva esecuzione di un sondaggio per raggiungere la profondità di 5 m da p.c.
- ✓ n. 2 prospezioni sismiche MASW;

All'interno dei sondaggi a carotaggio continuo si prescrive:

- ✓ l'utilizzo del tipo di carotiere più idoneo per il campionamento e il riconoscimento del tipo di terreno (coesivo e non coesivo); alla luce della concreta possibilità di pervenire ad una errata o poco significativa descrizione del materiale attraversato, l'uso predominante del carotiere semplice potrebbe non essere idoneo; in tal caso si raccomanda un uso diffuso del carotiere doppio o triplice;
- ✓ nei terreni granulari l'esecuzione di prove Standard Penetration Test (SPT) ad intervalli di circa 5 m, se per le profondità individuate (previste), non fosse possibile l'esecuzione della prova, si richiede di ricollocare la stessa nelle profondità limitrofe a quella richiesta;

- ✓ poiché la caratterizzazione geotecnica degli strati sabbio-ghiaiosi si baserà sui valori della resistenza penetrometrica SPT, si raccomanda l'uso del campionatore Raymond, limitando al massimo l'uso della punta chiusa;
- ✓ per la stessa ragione si raccomanda la massima cura nella preparazione del fondo foro prima dell'esecuzione della prova SPT: la pulizia del fondo foro con apposita manovra, il riconoscimento del tipo di terreno attraverso il quale sarà eseguita la prova, la misura della profondità della prova prima dell'esecuzione della stessa;
- ✓ è indispensabile, prima del raggiungimento della quota di prova SPT, che la pulizia del foro avvenga senza l'uso del fluido di perforazione, in modo da non disturbare il terreno più del minimo necessario;
- ✓ i campioni estratti dal campionatore Raymond devono essere accuratamente posti in sacchetto trasparente di Nylon, e identificati con il numero del sondaggio e la profondità della prova. Sul sacchetto va riportata la sequenza del numero di colpi N1, N2, N3 misurati nel corso della prova.
- ✓ nel caso in cui si dovesse incontrare uno strato lapideo, durante la perforazione, è richiesta l'indicazione nel log stratigrafico dell'indice RQD;
- ✓ nei terreni coesivi il prelievo di campioni indisturbati ad intervalli indicati dalla presente specifica. Se per le profondità individuate, non fosse possibile l'esecuzione del prelievo, si richiede di ricollocare lo stesso nelle profondità limitrofe a quella richiesta;
- ✓ il prelievo di campioni rimaneggiati, nei terreni granulari, ad intervalli indicati dalla presente specifica;
- ✓ l'annotazione nel log stratigrafico delle osservazioni sul livello dell'acqua naturale nel terreno;
- ✓ l'installazione nei sondaggi, identificati con la sigla (BH-02-Pz), di piezometri a tubo aperto. La profondità di installazione sarà definita durante la realizzazione del sondaggio
- ✓ L'allestimento nei sondaggi, identificati con la sigla (BH 03 (DH), di tubo PVC sino ad una profondità di 35 m, per successiva esecuzione di prova sismica in foro, tipo Downhole;
- ✓ l'esecuzione di prove di permeabilità, volte a definire le caratteristiche di conducibilità idraulica delle unità geotecniche presenti. Nello specifico si prevede la realizzazione di prove di tipo Lefranc in corrispondenza di terreni sciolti e di tipo Lugeon negli strati lapidei;

All'interno dei pozzetti ambientali/geotecnici si prescrive:

- ✓ il prelievo di campioni e prove con lo scopo di individuare eventuali inquinanti presenti nel terreno o nel ballast che, per le finalità dell'intervento, dovrà essere rimosso o movimentato, compresa la caratterizzazione del rifiuto;
- ✓ I prelievi dovranno essere svolti nei punti indicati in planimetria come PZ01, PZ02, PZ03 e PZ04.
- ✓ Per i pozzetti ambientali è preferibile lo scavo meccanico (con escavatore) in sicurezza fino alla profondità di 1.5-2 m da p.c con successivi carotaggi per raggiungere la profondità di 5 m da p.c.
- ✓ dal punto di vista geotecnico, il prelievo di campioni rimaneggiati dai pozzetti, nei terreni granulari, alle profondità sopra citate (1 m oppure 1.5 m), per investigare i primi orizzonti di terreno in corrispondenza dei piani di posa del rilevato ferroviario
- ✓ i campioni saranno prelevati con fustella rigida di pvc, di diametro 10 cm e lunghezza pari a 20 cm, spinta a pressione a partire dal fondo scavo; prima dell'infissione della fustella il suo interno sarà lubrificato con olio di vasellina; dopo aver pulito le estremità della fustella, subito dopo il prelievo si sigillerà il campione con paraffina; nel sacchetto di nylon contenente il campione verranno poste le targhette con i dati per la sua identificazione (pozzetto n., profondità, data). I campioni prelevati vanno conservati in luogo fresco, non al sole e consegnati al laboratorio incarico nel più breve tempo possibile.
- ✓ l'esecuzione di prove di laboratorio sui campioni estratti, tra cui analisi granulometriche e prove di costipazione.

L'esecuzione di prove di laboratorio sui campioni estratti che prevedano:

- analisi granulometriche;
- prove di classificazione
- limiti di atterberg;
- determinazione di peso di volume e contenuto d'acqua naturale;
- prove di taglio diretto su campioni rimaneggiati;
- Prova edometrica;

- Prova triassiale UU;
- Prova triassiale CD;
- Prova di compressione monoassiale semplice su campioni lapidei;
- Prova trazione indiretta (brasiliiana)

Nelle tabelle successive si riassumono i contenuti delle indagini integrative in Laboratorio ed in Sito (Geognostiche e Geofisiche), mentre per quanto riguarda l'ubicazione si rimanda agli elaborati grafici allegati. L'ubicazione è definita all'interno degli elaborati "Planimetria indagini geognostiche e ambientali".

Si precisa che la scelta delle prove da eseguire e delle profondità a cui eseguire prove o prelevare campioni è stata eseguita al fine di fornire un riferimento in fase di progettazione di Fattibilità Tecnico Economica, sulla base delle risultanze delle indagini ad oggi disponibili. In corso di esecuzione della campagna di indagine integrativa sarà possibile apportare eventuali variazioni, alla luce delle effettive evidenze riscontrate in sito.

Il numero e la tipologia delle indagini integrative sono stati definiti in accordo alle risultanze delle indagini ad oggi disponibili e in base agli elaborati del Progetto Esecutivo della tratta AV/AC del Terzo Valico dei Giovi. Tali informazioni hanno portato a modificare il piano indagini in fase di offerta; inoltre, l'impossibilità di effettuare i sondaggi geognostici alla base del rilevato ferroviario, ha portato ad un ulteriore approfondimento dei sondaggi a base di gara per poter raggiungere le profondità previste, in quanto il piano di esecuzione sarà dal rilevato ferroviario.

In **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** si riporta un confronto tra le indagini proposte a base gara e le indagini ottimizzate con la relativa motivazione delle scelte fatte, alla luce della conoscenza delle risultanze delle indagini ad oggi disponibili (Autostrade e Ampliamento Aeroporto).

Indagini a base gara		Indagini ottimizzate		Motivazione
Sondaggio pozzetto	Profondità	Sondaggio pozzetto	Profondità	
	[m]		[m]	
BH-01	35	BH-01	40	Sondaggio necessario per avere informazioni circa l'assetto geotecnico e geologico in corrispondenza delle fondazioni della Spalla del viadotto Torbella. La profondità è stata aumentata perché il sondaggio verrà eseguito dal rilevato ferroviario, visto l'impossibilità di eseguirlo alla base del rilevato. La prova Dowh Hole all'interno del sondaggio è stata eliminata vista la presenza delle prove sismiche delle indagini pregresse.
BH02 (PZ)	30	BH02 (PZ)	35	Sondaggio necessario per avere informazioni circa l'assetto geotecnico e geologico tra la stazione Rivarolo e il sovrappasso Pisoni. La profondità è stata aumentata perché il sondaggio verrà eseguito dal rilevato ferroviario, visto l'impossibilità di eseguirlo alla base del rilevato.

Indagini a base gara		Indagini ottimizzate		Motivazione
Sondaggio pozzetto	Profondità	Sondaggio pozzetto	Profondità	
	[m]		[m]	
BH03 (DH)	35	BH03 (DH)	40	Sondaggio necessario per avere informazioni circa l'assetto geotecnico e geologico in corrispondenza della spalla del Viadotto Rossini. La profondità è stata aumentata perché il sondaggio verrà eseguito dal rilevato ferroviario, visto l'impossibilità di eseguirlo alla base del rilevato.
PZ-01	1.5	PZ-01	1.5 -2 + carotaggio fino a 5 m da p.c.	Pozzetto ambientale/geotecnico necessario per il prelievo di campioni e prove con lo scopo di individuare eventuali inquinanti presenti nel terreno o nel ballast. La prova di carico prevista è stata eliminata in quanto il rilevato ferroviario potrebbe essere bonificato o completamente modificato/stravolto.
PZ-02	1.5	PZ-02	1.5 -2 + carotaggio fino a 5 m da p.c.	Pozzetto ambientale/geotecnico necessario per il prelievo di campioni e prove con lo scopo di individuare eventuali inquinanti presenti nel terreno o nel ballast. La prova di carico prevista è stata eliminata in quanto il rilevato ferroviario potrebbe essere bonificato o completamente modificato/stravolto.

Indagini a base gara		Indagini ottimizzate		Motivazione
Sondaggio pozzetto	Profondità [m]	Sondaggio pozzetto	Profondità [m]	
-	-	PZ-03	1.5 -2 + carotaggio fino a 5 m da p.c.	Pozzetto ambientale/geotecnico necessario per il prelievo di campioni e prove con lo scopo di individuare eventuali inquinanti presenti nel terreno o nel ballast.
-	-	PZ-04	1.5 -2 + carotaggio fino a 5 m da p.c.	Pozzetto ambientale/geotecnico necessario per il prelievo di campioni e prove con lo scopo di individuare eventuali inquinanti presenti nel terreno o nel ballast.

Tabella 5-1 - Contenuti Campagna geognostica (sondaggi e prove in sito)

Sondaggio	Profondità [m]	N° Campioni TOT	N. prove SPT	Piezometro	DH	Profondità DH [m]
BH-01	40	5	8	-	-	-
BH-02(PZ01)	35	5	7	Si	-	35
BH-03(DH)	40	5	8	-	SI	40

Tabella 5-2 – Pozzetti ambientali/geotecnici indagini integrativa

Pozzetto	Profondità [m]
BH-01	1.5 -2 + carotaggio fino a 5 m da p.c
BH-02(PZ01)	35
BH-03(DH)	40

Tabella 5-3 – Prospezione sismiche MASW della campagna d'indagini integrativa

Prospezione sismica
MASW 01
MASW 02

Qui si seguito sono riportate le definizioni per esteso delle prove citate nella presente specifica e nelle tabelle riassuntive.

LEGENDA
Prove in situ

- ✓ SPT Standard Penetration Test
- ✓ DH Down hole
- ✓ PZ Piezometro a tubo aperto

6 SPECIFICA PER INDAGINI E PROVE

Rilievo planoaltimetrico

Per ciascun punto di indagine andrà effettuato il rilievo piano altimetrico. Si dovranno utilizzare entrambi i sistemi di riferimento: WGS84 nella rappresentazione UTM e in Gauss-Boaga coordinate rettilinee, in ogni caso dovrà essere coerente con quelle del progetto.

6.1 SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO (S)

6.1.1 Sondaggi

Si definisce sondaggio geotecnico a carotaggio continuo una perforazione caratterizzata dalle seguenti modalità esecutive:

- ✓ carotaggio continuo e rappresentativo del terreno attraversato;
- ✓ descrizione stratigrafica a carattere geotecnico dei terreni attraversati;
- ✓ prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati di terreno secondo le evidenze del carotaggio;
- ✓ esecuzione di prove geotecniche o geomeccaniche in foro;
- ✓ determinazione del livello piezometrico della falda, se presente;
- ✓ annotazione di osservazioni atte alla caratterizzazione geotecnica del terreno.

L'Impresa dovrà attrezzarsi per l'approvvigionamento dell'acqua necessaria alle operazioni di perforazione.

Tutte le carote saranno collocate in apposite cassette catalogatrici, descritte e fotografate.

Un rivestimento temporaneo sarà utilizzato per poter assicurare la stabilità delle pareti del foro durante tutte le fasi di perforazione attraverso il terreno, il substrato alterato e la roccia tenera.

Le posizioni dei punti di indagine riportate nel piano di indagine sono da ritenersi indicative. L'effettiva ubicazione sarà definita, in relazione all'accessibilità del sito per la possibile presenza di alberi, buche, ecc., entro un raggio non superiore a 3 m dalla posizione suggerita. Le effettive coordinate e quote saranno misurate e riportate nei certificate dei sondaggi.

Le indagini saranno coordinate ed assistite da un Geologo abilitato all'esercizio della professione, regolarmente iscritto all'Albo Professionale e di comprovata esperienza ed affidabilità, che svolgerà il ruolo di Direttore di Cantiere. Egli svolgerà tutte le attività professionali richieste in modo che i lavori vengano condotti nel pieno rispetto delle presenti specifiche. Qualunque eventuale variazione rispetto a tali specifiche dovesse ritenersi necessaria, dovrà essere tempestivamente comunicata alla Direzione Lavori.

Caratteristiche delle attrezzature

I sondaggi saranno effettuati mediante perforazione a rotazione con carotaggio continuo del materiale incontrato. I fori di sondaggio saranno verticali, con una deviazione massima non superiore al 3%.

L'area di lavoro sarà preparata in modo da consentire l'accesso libero e sicuro delle attrezzature e garantire un efficace drenaggio in ogni momento.

Il diametro della perforazione non sarà inferiore a 90 mm e non superiore a 130 mm. Il diametro effettivamente adottato sarà indicato nel certificato del sondaggio.

I sondaggi saranno realizzati con apparecchiature idonee a soddisfare i requisiti riportati nel seguito, e comunque tali da consentire il raggiungimento delle profondità di progetto e l'esecuzione delle misure e delle prove prescritte secondo quanto specificato.

Senza limitare il carattere generale di quanto sopra detto, l'attrezzatura comprenderà una sonda a rotazione che soddisfi i requisiti minimi di seguito specificati:

- ✓ Coppia massima: > 1000 kgm
- ✓ Max spinta: > 5000 kg
- ✓ Max tiro: > 4000 kg
- ✓ Velocità di rotazione massima: > 500 giri/min
- ✓ Una coppia di morse idrauliche per aste e rivestimenti, una delle quali deve poter essere azionata per accoppiare il disaccoppiare tubi filettati.
- ✓ Manometro a molla (fino a 5.0 MPa) sul circuito di circolazione del fango, montato su una connessione a T equipaggiata con doppia valvola, tra la pompa del fango e le aste di perforazione.

Operazioni di perforazione

Si provvederà durante la perforazione al rivestimento temporaneo del foro per l'intera profondità o per parti di essa, a seconda della necessità; il rivestimento verrà installato, se necessario, con l'uso di fluido (acqua) di circolazione.

In caso di avanzamento in materiali granulari, il battente di fluido in colonna sarà mantenuto sempre prossimo a bocca foro per evitare sifonamenti. Particolare attenzione sarà posta per evitare il lavaggio eccessivo e disturbo del terreno recuperato.

E' richiesto il carotaggio continuo del materiale incontrato, sia terreno che roccia, con recupero minimo pari al 90%. In terreni coesivi, la perforazione sarà effettuata utilizzando un carotiere semplice senza circolazione di fluido di perforazione o un carotiere doppio o triplo con minima circolazione di fluido (acqua) di perforazione al fine di arrecare il minor disturbo possibile al terreno sottostante.

Nei terreni coesivi da consistenti a duri e nella roccia, dovrà essere utilizzato il carotiere doppio. In questi potrà essere utilizzato anche il carotiere triplo con diametro interno minimo pari a 76 mm. Se necessario, sarà utilizzata una punta diamantata.

Sarà misurato il livello di falda nel foro ogni giorno all'inizio e alla fine della perforazione e riportato sul certificato del sondaggio.

Cassette catalogatrici

Le carote saranno riposte in apposite cassette catalogatrici in legno o in polietilene di alta qualità e saranno provviste di coperchio protettivo. Ogni cassetta catalogatrice sarà marcata in modo indelebile sul coperchio ed almeno su due lati con i dettagli del progetto, il numero/nome del sondaggio, numero seriale ed intervallo di profondità di carota contenute in essa.

La profondità di inizio e fine di ciascun spezzone sarà indicata con pennarello indelebile. Le cassette saranno tenute in deposito debitamente protette dalla pioggia e dalla luce diretta del sole.

Documentazione fotografica delle cassette catalogatrici

Le cassette catalogatrici verranno fotografate singolarmente con idonea fotocamera entro 24 ore dal loro completamento.

Tale operazione avverrà dopo aver controllato attentamente la leggibilità delle quote e degli altri riferimenti scritti sulla cassetta e dopo aver apposto sul lato interno del coperchio, un cartello con chiaramente riportati:

- ✓ committente e intestazione del progetto
- ✓ località
- ✓ numero del sondaggio
- ✓ numero della cassetta
- ✓ profondità di perforazione

La documentazione fotografica sarà eseguita prima di rimuovere e rimaneggiare le carote ed i campioni per il loro studio e prelievo, dopo aver apposto sul lato interno del coperchio una adeguata scala cromatica di riferimento o carta dei colori (tipo carta dei colori Kodak).

Le fotografie saranno scattate dall'alto da una distanza non superiore a 1,7 m e in modo che l'asse della foto sia perpendicolare alla superficie della cassetta per minimizzarne le distorsioni. Le condizioni di luce dovranno essere sufficienti, adeguate e costanti, le cassette non dovranno essere in ombra e tutte le necessarie indicazioni riportate sulle medesime dovranno essere nitide e chiaramente leggibili.

Prelievo dei campioni

Si prevede il prelievo di campioni nei terreni granulari ed in quelli coesivi con campionatore a pareti sottili (fustella).

Modalità Esecutive

Ogni campionamento deve essere preceduto dalle seguenti operazioni:

- ✓ adeguata stabilizzazione del foro mediante rivestimento provvisorio o fluido di perforazione, con pulizia del fondo;
- ✓ controllo della profondità dopo l'introduzione del campionatore;
- ✓ ulteriore manovra di pulizia con metodi adeguati (da definirsi in ogni caso specifico), qualora si accertasse la presenza di detriti sul fondo foro per un'altezza incompatibile con la lunghezza del campionatore; la tolleranza in tal senso può essere maggiore nel caso di apparecchi muniti di pistone e cioè "chiusi" alla base prima dell'infissione.

Ultimata l'infissione, il campionatore viene estratto usando gli accorgimenti necessari per staccare il campione dal terreno sottostante e per ridurre il disturbo dovuto alla decompressione ed al risucchio.

Il campione deve essere conservato nello stesso tubo o contenitore di prelievo, ripulito alle estremità, sigillato

ermeticamente con paraffina fusa o tappi a tenuta e munito di etichetta (non degradabile con l'umidità) in cui siano indicati:

- ✓ designazione del committente, del cantiere e del sondaggio;
- ✓ profondità del prelievo (da/a metri rispetto al p.c. o ad altro riferimento prescritto);
- ✓ data di prelievo.

Nella documentazione da fornire al Committente si dovrà anche indicare:

- ✓ tipo di campionatore e sue dimensioni;
- ✓ metodo di infissione del campionatore;
- ✓ lunghezza del campione, misurata prima della sigillatura;
- ✓ classificazione macroscopica del terreno, per quanto è visibile alle estremità del campione;
- ✓ altre eventuali osservazioni ritenute utili dall'operatore o misure complementari richieste dal Committente.

I campioni indisturbati devono essere protetti dai raggi del sole, dal gelo e da fonti di calore.

In cantiere pertanto dovranno essere conservati in locali idonei e tali da garantire un sufficiente grado di condizionamento in laboratori dotati di camera umida.

Per il trasporto dei campioni indisturbati bisognerà tenere conto in funzione della qualità dei campioni stessi di: vibrazioni, surriscaldamento, gelo, durata del trasporto.

Con riferimento ai principali tipi di campionatori esistenti e con riferimento alle categorie connesse alle modalità d'infissione degli stessi nel terreno, si individuano le seguenti tipologie di campionamenti:

1. a percussione;
2. a pressione;
3. a rotazione.

Norma di riferimento

- A.G.I. - Associazione Geotecnica Italiana (1977): Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche
- CSA - Capitolato speciale di Appalto: Indagini, prove in situ e di laboratorio. IT.PRL.05.10 – Rev. 1.0

Rilievo stratigrafico

Nel corso della perforazione verrà rilevata dal Geologo presente in cantiere la stratigrafia del terreno attraversato; nell'apposita scheda compariranno:

- ✓ riferimento progettuale
- ✓ luogo di cantiere
- ✓ coordinate e quota assoluta in m s.l.m.
- ✓ direttore di cantiere
- ✓ ditta esecutrice
- ✓ data di perforazione
- ✓ scala metrica verticale
- ✓ metodo di perforazione
- ✓ attrezzatura impiegata (sonda, carotiere, corona, ecc.)
- ✓ diametro di perforazione
- ✓ diametro degli eventuali rivestimenti
- ✓ tipologia e profondità dei campionamenti
- ✓ percentuale di carotaggio
- ✓ parametri geostretturali delle fratture (inclinazione, rugosità, riempimento, etc.)
- ✓ livello falda rilevato e data del rilievo
- ✓ descrizione dei singoli strati attraversati con le relative quote di separazione, comprendente:

Terreni (coesivi e granulari)

I) colore/i prevalente/i della formazione;

II) composizione granulometrica approssimata, nei termini correnti (trovanti, ciottoli, ghiaia, sabbia, limo, argilla),

indicando il ϕ massimo della ghiaia, elencando per prima la frazione prevalente e di seguito le eventuali altre frazioni in ordine di importanza percentuale;

III) caratteristiche di consistenza (terreni coesivi) nei termini correnti (tenero, molle plastico, moderatamente consistente, consistente, molto consistente) e valori di "Pocket Penetrometer" e "Vane", misurati sulla carota appena estratta, previa scortecciatura;

IV) caratteristiche di addensamento (terreni non coesivi o granulari) nei termini usuali (sciolto, addensato, molto addensato, lievemente cementato);

V) presenza di sostanze organiche o torbe, fossili, legno, calcinacci ecc. o altri riporti di natura antropica;

VI) presenza di ossidi, idrossidi e altri minerali accessori;

VII) grado di arrotondamento e/o di appiattimento e natura litologica di ghiaie e ciottoli;

VIII) grado di uniformità sui materiali non coesivi (ben gradato, uniforme).

Rocce

I) colore/i prevalente/i della formazione;

II) natura litologica della roccia nei termini usuali (arenarie, calcareniti, calciruditi: da breccia molto grossolana a brecciola o da conglomerato molto grossolano a microconglomerato, calcari, calcari marnosi, marne calcaree, marne, argilliti, argilloscisti, gessi, etc.);

III) stato di aggregazione, dimensioni, forma e natura dei costituenti;

IV) grado di continuità del materiale: distanza e tipo di discontinuità e/o delle superfici di minor resistenza;

V) stato delle superfici di discontinuità;

VI) apertura delle discontinuità; materiali di riempimento delle discontinuità; stato di alterazione della matrice;

VII) inclinazione sull'orizzontale (piano perpendicolare all'asse della carota) delle superfici di discontinuità.

Le caratteristiche relative ai punti IV, V, VI e VII del precedente elenco saranno rilevate sulla base delle indicazioni fornite dall'ISRM (International Society For Rock Mechanics).

6.1.2 Prove SPT

Questa prova consiste nell'infissione a percussione di una speciale punta conica o di un particolare campionatore a pareti grosse (Campionatore Raymond – split spoon), i quali consentono di valutare la resistenza meccanica del terreno alla penetrazione, in base al numero di colpi infissi da un apposito maglio per un dato avanzamento.

Norma di riferimento: A.G.I. - Associazione Geotecnica Italiana (1977). Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche;

- ✓ ASTM D1586-67 (74); D1586-84. Standard Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soil";
- ✓ ISSMFE Techn. Committee (1988). Standard Penetration Test (SPT): International Reference Test procedure.
- ✓ L'uso della punta chiusa al posto del campionatore Raymond deve essere autorizzato dalla Direzione dei lavori (Committente o suo rappresentante).
- ✓ CSA - Capitolato speciale di Appalto: Indagini, prove in situ e di laboratorio. IT.PRL.05.10 – Rev. 1.0

Attrezzatura

Le dimensioni del campionatore, il peso delle aste e del maglio, l'altezza di caduta dello stesso, vengono indicati nella normativa sopra citata e sono riassunti nella tabella seguente:

Parametri per prove S.P.T.	
<i>Tubo campionatore apribile longitudinalmente:</i>	$\varnothing_{est} = 50.8\text{mm}$; $\varnothing_{int} = 35\text{mm}$; L_{minima} (escluso tagliente principale) $> 457\text{mm}$; $L_{utile} = 630\text{mm}$; L_{scarpa} tagliente terminale (con rastremazione negli ultimi 19mm) $= 76\text{mm}$; Il campionatore sarà munito di valvola a sfera alla sommità e aperture di scarico e sfiato
<i>Massa battente:</i>	di peso 63,4 kg che cada da 75cm di altezza
<i>Aste collegate al campionatore</i>	aventi peso per metro lineare 6.5kg (± 0.5 kg/ml). Le aste saranno diritte, ben avvitate in corrispondenza dei giunti e con flessione totale della batteria pronta per la prova $< 1^\circ/90^\circ$.

La caduta del maglio deve essere libera; pertanto deve essere adottato un dispositivo di sganciamento automatico che svincoli il maglio dal cavo, o altro dispositivo di sollevamento, all'altezza voluta.

Fra la testa di battuta in sommità delle aste ed il piano campagna deve essere installato almeno un centratore di guida ed irrigidimento delle aste stesse.

La differenza fra il diametro esterno delle aste e diametro interno della tubazione metallica provvisoria di rivestimento non deve superare di norma i 6 cm.

Qualora ciò avvenga devono essere predisposte, lungo la batteria delle aste ad intervalli di 3 m, opportune alette di irrigidimento, di dimensioni adeguate al diametro interno effettivo della tubazione di rivestimento provvisoria.

Modalità esecutive

La prova consiste nell'infingere nel terreno alla base del sondaggio il campionatore, per 3 tratti consecutivi, ciascuno di 15 cm, rilevando il numero di colpi (N) necessario per la penetrazione di ciascun tratto di 15 cm. Il valore di N_{spt} è dato dalla somma dei colpi ottenuti per il 2° e 3° tratto.

La prova viene sospesa quando il numero dei colpi N, per un tratto di 15 cm, supera 50. In tal caso si annota la penetrazione (in cm) ottenuta con 50 colpi: tale valore rappresenta il "Rifiuto" ossia il termine stesso della prova.

Le fasi da seguire sono le seguenti:

1. prima di eseguire la prova è necessario controllare con scandaglio la quota del fondo del foro, confrontandola con quella raggiunta con la manovra di perforazione o di pulizia precedentemente eseguita. Può risultare dal controllo che la quota misurata sia più alta per effetto di reflussi del fondo del foro o per decantazione di detriti in sospensione del fluido. Se tale differenza supera 7 cm la prova non può essere eseguita; si deve pertanto procedere ad un'ulteriore manovra di pulizia;
2. calare a fondo del foro la batteria di prova. La quota di inizio della prova S.P.T. deve corrispondere a quella misurata mediante il controllo di cui sopra che, come detto, può coincidere con quella di perforazione o pulizia ma può anche essere (fino a 7 cm) superiore. L'eventuale affondamento del campionatore, per peso proprio e delle aste, deve essere annotato ma è già parte integrante dei 45 cm complessivi di infissione;
3. procedere all'infissione contando ed annotando il numero dei colpi del maglio, fino ad un massimo di 50 colpi per ogni tratto di 15 cm. Il ritmo di percussione deve essere compreso tra i 10 ed i 30 colpi al minuto;

4. ad estrazione avvenuta il campione prelevato viene misurato, descritto, trascurando l'eventuale parte alta costituita da detriti, sigillato in adatto contenitore ed inviato al laboratorio;
5. in presenza di materiali molto compatti o ghiaie grossolane si adotterà la particolare punta conica chiusa.

Documentazione

La documentazione preliminare e quella definitiva da redigere comprenderà, per ciascuna prova eseguita:

- ✓ quota della tubazione provvisoria di rivestimento del foro;
- ✓ quota raggiunta con la manovra di perforazione o pulizia;
- ✓ quota del fondo del foro controllata prima di iniziare la prova;
- ✓ penetrazione (per peso proprio e delle aste) del campionatore;
- ✓ N per infissione di ciascuno dei 3 tratti di 15cm;
- ✓ eventuale "rifiuto";
- ✓ peso per metro lineare delle aste impiegate;
- ✓ lunghezza e descrizione geotecnica del campione estratto;
- ✓ tipo di campionatore (aperto o chiuso) impiegato.
- ✓ Inoltre, per ciascuna verticale indagata:
- ✓ grafico NSPT in funzione della profondità

Registrazioni particolari in corso di perforazione

Oltre alla registrazione della stratigrafia, il Geologo Direttore di Cantiere annoterà sinteticamente, nella documentazione provvisoria del lavoro, ogni notizia utile ed interessante:

- ✓ velocità di avanzamento;
- ✓ perdite di fluido di circolazione;
- ✓ rifluimenti in colonna;
- ✓ manovre di campionamento o prove non condotte a termine;
- ✓ altre eventuali.

Dai dati a disposizione si ritiene che saranno rinvenuti livelli idrici alle profondità di perforazione previste.

Sistemazione finale dei luoghi

Al termine dei lavori, in corrispondenza di tutti i punti di perforazione l'Impresa dovrà procedere alla sistemazione e pulizia finale dei luoghi.

Tale sistemazione, dopo il completamento dei pozzetti di protezione dei piezometri, consisterà nella asportazione dai luoghi di lavoro di tutti i residui artificiali delle lavorazioni (cemento, carta, plastica, legno, oggetti metallici, contenitori di nafta, olio, ecc.). Dovrà essere ripristinata inoltre l'originaria morfologia del terreno, qualora la preparazione della piazzola avesse comportato piccoli movimenti terra.

6.1.3 Rilievi di falda nel sondaggio ed installazione di piezometri

E' uno strumento posto in opera in fori di sondaggio, finalizzato alla misura della pressione neutra dell'acqua in particolari intervalli di profondità. Presenta tempi di risposta relativamente brevi dato il piccolo volume di acqua contenuto nello strumento. Isolando il tratto di misura questo tipo di piezometro è indicato anche in corrispondenza di falde sospese minori; il suo impiego è limitato ai terreni con permeabilità medio-bassa ($K > 10$ cm/sec). Nei normali fori di sondaggio è possibile installare 1 o 2 celle piezometriche. Per una corretta installazione è comunque necessario che il foro stesso sia realizzato con l'ausilio di tubi di rivestimento.

Norma di riferimento:

- A.G.I. - Associazione Geotecnica Italiana (1977). Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche;
- CSA - Capitolato speciale di Appalto: Indagini, prove in situ e di laboratorio. IT.PRL.05.10 – Rev. 1.0

Attrezzatura

La verticale strumentale completa deve essere costituita dai seguenti elementi:

- ✓ cella o celle di Casagrande; deve essere composta da un filtro a candela e da un telaio. Il filtro, avente un diametro esterno di circa 55mm e lunghezza compresa tra 100 e 500 mm. deve essere costituito da agglomerato di silice, o materiale equivalente, con porosità compresa tra 0.2 e 0.6 mm; il telaio deve avere ad una estremità due raccordi da 1/2". Tutti i materiali che costituiscono la cella piezometrica devono essere tali da evitare l'aggressione da parte della ruggine.
- ✓ I tubi di misura e di spurgo e manicotti: ogni cella piezometrica deve essere munita di un tubo di misura e di un tubo di spurgo in PVC aventi le seguenti caratteristiche:
 - diametro nominale 1/2";
 - lunghezza degli spezzoni pari a 3m uniti tramite appositi manicotti
 - Filetti: gas normale.

Le celle predisposte per la misura automatica della colonna d'acqua avranno uno dei due tubicini di diametro maggiorato (1.5" gas) per permettere l'inserimento all'interno della tubazione di un trasduttore di pressione elettrico. L'innesto tra la cella e la tubazione da 1.5" dovrà essere realizzato mediante apposito raccordo idraulico.

Installazione

L'installazione prevede le seguenti fasi operative:

1. controllo della quota di fondo del foro con idoneo scandaglio ;
2. se richiesto, riempimento del foro con malta di cemento-bentonite-acqua (50-10-100 parti in peso), sino alla quota di 1.5 m al di sotto di quella prevista per l'installazione del piezometro, con ritiro progressivo del rivestimento;
3. posa di un tappo impermeabile costituito da palline di bentonite ($\phi=1-2$ cm.) precedentemente confezionate, costipate con pestello, per lo spessore di 1 m., con ritiro ulteriore del rivestimento;
4. abbondante lavaggio del foro con acqua pulita immessa dal fondo;
5. controllo della profondità del foro;
6. posa di uno strato (spessore 0.5m.) di materiale granulare pulito uniforme e saturo ($\phi = 1-4$ mm.), ritirando i rivestimenti; tale operazione deve avvenire con il foro pieno d'acqua;
7. controllo della profondità del foro;
8. discesa a quota del piezometro preventivamente saturato (mantenuto fino a quel momento in acqua pulita) collegando i tubi di andata e ritorno, assicurandosi della perfetta tenuta dei giunti mediante sigillanti idraulici;
9. posa di sabbia pulita attorno e sopra il piezometro (0.5 m.) con ritiro della colonna di rivestimento senza l'ausilio della rotazione, con l'avvertenza di controllare che il piezometro non risalga assieme ai rivestimenti e che in colonna sia sempre presente sabbia;
10. posa di un tappo impermeabile di palline bentonitiche di circa 15 cm, costipate con pestello ad aste, con progressivo ritiro del rivestimento;
11. posa di uno strato di 15cm di ghiaia compattata con pestello;
12. realizzazione di un ulteriore strato di 15cm con palle di bentonite compattate tramite pestello;
13. innalzamento graduale della colonna di rivestimento mentre si compiono le operazioni di sigillatura;
14. cementazione del tratto di foro rimanente, come nel caso del primo riempimento, fino alla sommità (se non prevista l'installazione della seconda cella piezometrica), ritirando gradualmente la colonna di rivestimento;

15. spurgo della cella con acqua pulita per almeno 20 minuti;
16. protezione delle estremità dei tubi con tappi avvitati;
17. posa di un pozzetto metallico con chiusura a lucchetto e chiave per la protezione dei terminali piezometrici. A protezione ulteriore del tubo metallico può essere posato un pozzetto in calcestruzzo di profondità sufficiente per evitare lo scalzamento ad opera delle acque superficiali e/o la manomissione da parte di maleintenzionati. Qualora si preveda di installare all'interno della stessa perforazione due celle Casagrande a differenti profondità, deve essere eseguito un adeguato tappo impermeabile che consenta un completo isolamento fra le due celle piezometriche. Tale isolamento può essere realizzato con strati alternati di palline di bentonite e ghiaietto dello spessore di circa 10cm per una lunghezza totale di almeno 3m;

L'esecuzione della prima lettura significativa sarà da considerarsi tale dopo aver eseguito almeno tre letture, la prima delle quali deve avvenire a non meno di due ore dalla realizzazione del piezometro e le successive a distanza di 24 ore l'una dall'altra, fino a completa stabilizzazione del livello dell'acqua nel foro. La misura del livello dovrà essere eseguita in entrambi i tubi del piezometro, controllando così che il circuito e il filtro siano liberi da bolle d'aria o impurità che possano impedire il libero flusso dell'acqua. In caso di rilevamento di un livello dell'acqua non uguale nei due tubi, dovrà essere eseguito il lavaggio dei tubi.

A questa fase di controllo dovrà presenziare la direzione dei lavori che successivamente prenderà in consegna il piezometro.

Documentazione

La documentazione da produrre comprenderà, per ciascuna cella (o coppia) installata:

- ✓ informazioni generali;
- ✓ schema geometrico di installazione;
- ✓ quota assoluta dei terminali piezometrici;
- ✓ tabelle e grafici con letture piezometriche eseguite.

6.2 INDAGINI GEOFISICHE

6.2.1 Prospezione sismica MASW

Il metodo sismico consiste nel provocare una perturbazione elastica nel terreno e nel misurarne i tempi di percorrenza dalla sorgente ad una serie di rilevatori (geofoni), posti lungo una linea retta a distanze crescenti dalla sorgente. Attraverso l'interpretazione di tali dati, basata essenzialmente sulla legge di Snell (sismica a rifrazione con onde P), è possibile differenziare lungo la linea dei geofoni e in verticale, i vari strati costituenti il terreno, definendone lo spessore e la velocità di propagazione delle onde elastiche.

È altresì possibile rilevare l'esistenza di zone anomale nel terreno, legate a variazioni litologiche o alterazioni.

Con la metodologia illustrata in precedenza, si misura la velocità di propagazione delle onde di tipo "P".

Con la tecnica nota in letteratura come "Masw" è possibile ricavare monodimensionalmente, la velocità di propagazione delle onde di tipo "S", necessarie per una definizione più precisa delle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso indagato e per la classificazione del suolo di fondazione ai sensi della normativa sismica. Dalle registrazioni effettuate si ricava, tramite le trasformazioni " τp ", la curva di dispersione e dall'inversione di quest'ultima, il profilo Vs. Attraverso l'interpretazione dei sismogrammi ottenuti, è possibile definire l'andamento della velocità delle onde S sino a notevole profondità, e calcolare così la velocità delle onde S mediata dal piano di esecuzione della prova sino alla profondità del substrato (V_{Seq}) o di 30 m in caso di substrato a profondità maggiore (VS30).

Caratteristiche delle attrezzature

L'attrezzatura utilizzata dovrà essere costituita almeno dai seguenti componenti:

- ✓ sismografo digitale a 24 canali, con possibilità di stack delle registrazioni, guadagno del segnale (in ampiezza) e dinamica del convertitore A/D minima a 24 bit.
- ✓ geofoni verticali a frequenza propria uguale o inferiore a 4.5 Hz per il metodo Masw, 14 Hz per il metodo a rifrazione, oppure 10 Hz per entrambi;
- ✓ sistema di energizzazione costituito da uno dei seguenti dispositivi da scegliersi in funzione della scala delle indagini:
- ✓ mazza battente con eventuale piastra di ripartizione appoggiata al suolo;
- ✓ energizzatori sismici impulsivi oleopneumatici e/o a gravità;
- ✓ fucili sismici;

Elaborazione dei dati

MASW

Esistono diverse tecniche di processing per stimare le curve di dispersione sperimentali a partire dai sismogrammi registrati. Le metodologie più diffuse sono l'analisi spettrale in dominio f-k (frequenza-numero d'onda) e ω -p (frequenza angolare-lentezza) dove i massimi di energia dello spettro sono associabili alle onde di Rayleigh e vengono identificati e trasformati in punti della curva di dispersione. Gli obiettivi dell'elaborazione dei dati sono quelli di riconoscere gli eventi dispersivi e di estrarli dalla globalità dei dati isolando eventi coerenti in ampi range di frequenza e, possibilmente, riconoscendo diversi eventi associabili a diversi modi di propagazione. L'obiettivo minimo dell'elaborazione è comunque l'identificazione del modo fondamentale privo di interferenze relative ai modi superiori e altri eventi sismici (onde di volume o guidate). È opportuno che il riconoscimento dei massimi spettrali avvenga con l'ausilio di codici di ricerca automatica.

Qualora non si eseguano le operazioni di stack in acquisizione, le registrazioni relative alle diverse energizzazioni relative al medesimo punto sorgente, possono essere processati separatamente. Per ogni registrazione viene condotta la procedura di elaborazione precedentemente descritta e i risultati (velocità di fase ad ogni frequenza) possono essere trattati statisticamente per ottenere una curva di dispersione media e le incertezze ad essa associate.

È inoltre utile confrontare le curve di dispersione stimate in diversi punti sorgente per valutare l'eventuale presenza di forti discontinuità laterali.

La curva di dispersione sperimentale (eventualmente costituita da più modi), viene utilizzata per un processo di inversione che fornisce come risultato finale il profilo verticale di VS. La risoluzione del problema inverso implica la parametrizzazione del modello di sottosuolo assunto, che viene di norma schematizzato come un mezzo elastico a strati piano-paralleli, omogenei ed isotropi, nel quale l'eterogeneità è rappresentata dalla differenziazione delle caratteristiche meccaniche degli strati. I parametri di modello sono VS, VP (o rapporto di Poisson), spessore e densità di ogni strato. I parametri incogniti dell'inversione sono VS ed eventualmente lo spessore degli strati, mentre VP (Poisson) e la densità sono assunti a priori. Inoltre, l'utilizzo di un modello monodimensionale è un'ipotesi che deve essere in linea di massima soddisfatta dal sito per garantire la validità del risultato finale.

Il processo di inversione è iterativo: a partire da un profilo di primo tentativo, costruito sulla base di metodi semplificati, ed eventualmente delle informazioni note a priori riguardo la stratigrafia, il problema diretto (simulazione della curva di dispersione teorica) viene risolto diverse volte variando i parametri incogniti di modello in modo da minimizzare lo scarto fra il set di dati sperimentali (curva di dispersione misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione simulata).

Il processo termina quando viene individuato un insieme di parametri di modello che renda lo scarto accettabile. Il numero dei parametri di modello deve essere scelto come il minimo in grado di descrivere la curva di dispersione sperimentale (solitamente 2-3-4 strati). Una sovrapparametrizzazione rischia, infatti, di ridurre la risoluzione dei singoli parametri dovuta a problemi di equivalenza.

La procedura di inversione può essere condotta con tecniche di ricerca locale (metodi linearizzati) o globale (metodi Monte Carlo) della soluzione.

6.2.2 Down-hole (DH)

La prova di tipo Downhole consiste nella misurazione dei tempi di arrivo di impulsi sismici generati in superficie ad un ricevitore posto all'interno di un foro di sondaggio verticale, adeguatamente rivestito con apposita tubazione.

La prova consente la misura diretta delle velocità di propagazione VP delle onde di compressione (onde P) e VS delle onde di taglio (onde S) e la determinazione dei parametri elastici dei terreni in condizioni dinamiche.

Si prevedono due diversi assetti metodologici:

- ✓ utilizzo di una singola sonda costituita da una tripletta di geofoni tridirezionali quale strumento ricevitore;
- ✓ utilizzo di una coppia di sonde costituite ognuna da una tripletta di geofoni tridirezionali da inserire in foro a interasse fisso (compreso di norma tra 1 e 4 metri) secondo la metodologia denominata "true time interval".

La procedura "true time Interval" con doppia sonda è nettamente preferibile al sensore singolo. Ad essa si farà sempre e comunque riferimento nell'esecuzione delle prove, salvo esplicita e preventiva autorizzazione della Società.

Per l'esecuzione della prova si dovrà fare riferimento alla seguente norma tecnica:

- ✓ SRM Commission on Testing Methods (1988) – Suggested Methods for Seismic Testing Within and Between Boreholes – Part 2: Suggested Method for Seismic Testing Within a Borehole.

L'attrezzatura di prova dovrà essere costituita dai seguenti componenti:

- ✓ sistema di energizzazione costituito da una massa battente manovrata a mano (mazza da 10 kg), agente a percussione in diverse direzioni su un massello di legno o calcestruzzo, ben saldato al terreno e posto nelle adiacenze della testa foro; potranno essere utilizzati anche un percussore oleodinamico agente all'interno di una piccola cassaforma interrata, oppure altri dispositivi concordati con la Società; è onere e responsabilità dell'Impresa dimensionare correttamente il sistema di energizzazione, in funzione della natura e delle caratteristiche dei terreni, che sono da considerarsi noti, in quanto le misure sono successive alla perforazione dei sondaggi entro i quali si eseguono le stesse; la sorgente di energia superficiale dovrà essere collocata ad una distanza adeguata dalla bocca del foro in funzione della migliore risoluzione dell'indagine stessa;
- ✓ 1 o 2 sonde tridirezionali, a frequenza compresa fra 8 e 14 Hz, e di diametro minore o uguale a 70 mm, da calare nel foro a profondità prefissate, in grado di registrare i tempi di arrivo delle onde di compressione e di taglio; ogni ricevitore deve potere essere reso solidale con la tubazione di rivestimento del foro tramite un dispositivo di bloccaggio meccanico o pneumatico;

- sismografo registratore a 12 canali, in grado di realizzare campionature di segnali tra 0.025 e 2 millisecondi e dotato di filtri high pass, band pass e band reject, di "Automatic Gain Control" e di convertitori A/D del segnale campionato ad almeno 16 bit;
- dispositivo di segnalazione di partenza automatica del segnale (trigger), caratterizzato da velocità di partenza inferiore a 10 microsecondi; il trigger non è necessario se si adotta l'assetto "true time interval" con doppio sensore;
- apposito software per l'elaborazione dei dati, in grado di fornire i valori di velocità delle onde di compressione e di taglio per ogni stazione di misura impiegando iterativamente algoritmi di calcolo adeguati (es. ART, SIRT, e ILSP) previo controllo dei tragitti dei raggi sismici (Ray Tracing Curvilineo).

Le modalità di esecuzione della prova dovranno essere le seguenti:

- ✓ posizionamento e bloccaggio della coppia di ricevitori a interasse fisso (o del singolo ricevitore, qualora ammesso) in corrispondenza del primo punto di prova, in accordo con il progetto delle indagini;
- ✓ generazione dell'impulso (è ammessa anche la somma di più impulsi) e registrazione dei tempi di arrivo delle onde di compressione e delle onde di taglio;
- ✓ generazione dell'impulso in opposizione di fase al precedente con identica posizione geofonica in foro (è ammessa anche la somma di più impulsi) e registrazione dei tempi di arrivo delle onde di compressione e delle onde di taglio;
- ✓ ripetizione delle medesime operazioni lungo tutta la verticale d'indagine.

Le misure saranno relative all'intervallo di profondità e avranno frequenza non inferiore a 1 misura ogni metro di sondaggio.

La documentazione di ciascuna indagine dovrà comprendere:

- ✓ caratteristiche tecniche delle attrezzature (energizzatore, contrasto, sensori, trigger, sismografo, sistema di memorizzazione);
- ✓ tabulato (disponibile in copia informatica e cartacea) contenente, per le varie profondità di prova, per ogni stazione: tempi di propagazione delle onde di compressione e taglio, velocità delle onde di compressione e taglio, e intervallo di profondità utilizzato per il calcolo (nel caso di singolo sensore);
- ✓ tabulato (disponibile in copia informatica e cartacea) contenente, per le varie profondità di prova, per ogni stazione: peso di volume adottato, coefficiente di Poisson, modulo di elasticità dinamico, modulo di taglio dinamico, modulo di compressibilità dinamico;
- ✓ sismogrammi delle registrazioni di campagna su supporto magnetico;
- ✓ relazione conclusiva, elaborata in base ai risultati delle indagini svolte in cui saranno indicati
- ✓ gli algoritmi di calcolo impiegati, tabelle e tavole ad integrazione e chiarimento delle analisi;
- ✓ elaborati grafici riportanti:
- ✓ tempi di arrivo delle onde di compressione e di taglio;
- ✓ velocità delle onde di compressione e di taglio;
- ✓ attenuazione e fattore qualità;
- ✓ tracce sismografiche onde di compressione;
- ✓ tracce sismografiche onde di taglio;
- ✓ risultanze finali ed interpretative.

6.3 PROVE DI LABORATORIO

La presente sezione è costituita dall'insieme delle attività di laboratorio, necessari per la caratterizzazione fisico-meccanica delle terre e delle rocce.

6.3.1 Esami geotecnici di laboratorio su campioni di terre

Identificazione dei campioni

L'identificazione dei campioni e/o delle parti di campione dovrà avvenire con le seguenti modalità:

- a) Ricevimento ed immagazzinamento campioni: sarà da verificare o da istituire una chiara identificazione dei campioni, facendo riscontro alle distinte o alle stratigrafie di accompagnamento e segnalando immediatamente ogni eventuale carenza o discordanza.
- b) Apertura e descrizione campioni: l'identificazione iniziale dovrà essere conservata e potrà essere in questa fase integrata dalla indicazione delle diverse parti di campione eventualmente distinte.
- c) Esecuzione dell'attività di laboratorio: l'identificazione derivante dalle fasi a) e b) dovrà seguire il materiale e pertanto potrà essere applicata sul materiale stesso, o potrà essere apposta al contenitore del materiale, o potrà essere desumibile dalla corrispondenza fra l'identità del contenitore utilizzato ed il materiale collocato, la stessa identificazione dovrà comparire nei moduli operativi nei quali saranno riportati i dati rilevati nel corso delle determinazioni effettuate.
- d) Elaborazione e documentazione: l'identificazione dovrà essere riportata nel corso degli eventuali procedimenti di elaborazione e dovrà comparire chiaramente nei moduli di documentazione finale dei risultati dell'attività svolta.

In generale un campione potrà essere identificato dai seguenti dati:

- ✓ denominazione della località;
- ✓ denominazione del prelievo;
- ✓ denominazione del campione;
- ✓ profondità di prelievo.

E' necessario che si possa garantire una corrispondenza biunivoca fra questi iniziali dati di identificazione ed i valori finali ottenuti dall'attività di laboratorio svolta sui campioni considerati.

E' raccomandato che, qualunque sia il criterio secondo il quale vengono raccolti e presentati i risultati dell'attività di laboratorio, dalla documentazione si possano desumere, eventualmente anche da moduli riassuntivi, sia le prove effettuate per ogni punto di prelievo (sondaggio), ordinate in base alla profondità di prelievo, che le prove effettuate su ciascun campione esaminato.

Conservazione dei campioni

I campioni, e specificamente quelli indisturbati o a limitato disturbo, verranno conservati in modo da preservarne le caratteristiche originarie.

All'atto della consegna, sempre in particolare per quanto concerne i campioni indisturbati o a limitato disturbo, si verificheranno le condizioni di sigillatura dei campioni stessi e, se necessario, si prenderanno eventualmente gli opportuni provvedimenti per ripristinarle (nel caso si prenderà nota delle operazioni effettuate).

In generale i campioni verranno alloggiati in ambienti a temperatura moderata e ad umidità elevata, con l'eventuale eccezione per quelli rimaneggiati.

E' raccomandato che i campioni siano depositati in un locale con temperatura media dell'ordine di 17÷23°C e con umidità possibilmente non inferiore all'80% o, meglio ancora, in un locale attrezzato a "camera umida".

Condizioni di trattamento dei campioni e mantenimento delle caratteristiche naturali

Fatta eccezione solo per il caso in cui venga espressamente richiesto, o contemplato dalle procedure, di operare su materiali in condizioni particolari, è implicito che l'attività di laboratorio preveda di trattare i terreni campionati in modo da alterarne il meno possibile le caratteristiche e le proprietà naturali che devono essere determinate o investigate.

In generale, gli inconvenienti che si dovranno prevenire sono principalmente quelli qui di seguito sintetizzati:

- ✓ significative variazioni del contenuto d'acqua (umidità) che macroscopicamente possono essere denunciate da essiccamento o rammollimento del terreno;
- ✓ modificazioni della struttura del terreno;
- ✓ alterazione della composizione granulometrica del terreno o delle parti di terreno distinguibili.

Di conseguenza è opportuno che l'ambiente in cui vengono effettuate le operazioni di apertura, descrizione, selezione dei materiali e confezione dei provini sia a temperatura moderata, protetto da una forte insolazione e non eccessivamente secco.

Fra l'estrazione del campione e l'inizio delle determinazioni o delle prove programmate, l'intervallo di tempo dovrà essere ridotto al minimo; nel caso in cui il materiale debba necessariamente attendere per essere sottoposto a prova, dovrà essere protetto, o sigillato, ed eventualmente riposto ancora in camera umida.

La selezione delle porzioni di campione e la confezione dei provini dovranno essere eseguite con la massima cautela, in modo da minimizzare il disturbo del terreno.

Infine, anche e specialmente nelle fasi di montaggio delle prove e di avviamento delle prove stesse, si raccomanda di mantenere il terreno nel suo stato originario, segnalando o evidenziando le eventuali variazioni di condizioni dovute alle procedure o alle metodologie adottate, ed evitando ogni tipo di modificazioni incontrollate.

Criteri di programmazione degli esami di laboratorio

In linea di principio l'attività del laboratorio geotecnico dovrà avere lo scopo di fornire dati utili per precisare la caratterizzazione, sempre dal punto di vista geotecnico, dei terreni investigati e campionati, in funzione della natura dei terreni stessi e delle esigenze progettuali e compatibilmente appunto con la natura, il tipo e le condizioni dei campioni disponibili.

A meno di problematiche particolari, sarà opportuno che l'attenzione venga rivolta particolarmente ai materiali coesivi che in generale possono essere sorgente di maggiori difficoltà nell'ambito della progettazione geotecnica e che però hanno la proprietà di conservare una migliore "memoria" della storia dello stato tensionale, oltretutto, per i noti problemi di campionamento, si ha una maggiore possibilità di disporre di campioni indisturbati di terreni più o meno coesivi piuttosto che di terreni granulari.

Al laboratorio dovrà essere fornita, oltre al programma di massima delle prove previste, anche una indicazione della disposizione stratigrafica dei terreni in esame ed una segnalazione delle finalità (tipi di opere, di interventi o di dissesti considerati) in modo che sia possibile ottimizzare l'attività da intraprendere in funzione della situazione in sito e dello scopo degli esami programmati.

Il laboratorio dovrà svolgere le proprie attività in stretta collaborazione ed interazione col progettista geotecnico.

Tale rapporto consentirà al progettista di disporre di una analisi critica immediata dei campioni disponibili ed al laboratorio di venire a conoscenza di notizie integrative sulle problematiche da affrontare; da questo rapporto inoltre può scaturire la possibilità di precisare ed eventualmente di adeguare il programma di prove e, nel caso, anche di adottare modalità e procedure specifiche e più opportune per l'esecuzione delle prove previste.

Per questi motivi, a meno di gravi inconvenienti, il laboratorio dovrà fornire alla Direzione Lavori il programma temporale per l'attività, in modo che sia possibile presenziare all'apertura dei campioni ed all'avvio dell'esecuzione del programma di prove.

Nel caso in cui non sia possibile instaurare una interazione fra il progettista ed il laboratorio e nel caso di controversie o di perplessità relative alle valutazioni e/o alle modalità operative del laboratorio, la Direzione Lavori si riserva di richiedere l'esame di alcuni campioni o l'esecuzione di alcune prove di controllo e verifica da effettuarsi presso un laboratorio di sua fiducia.

Tornando più specificamente al merito della programmazione dell'attività di laboratorio, è opportuno ribadire che è responsabilità del laboratorio operare in modo da garantire il miglior risultato possibile degli esami, delle determinazioni e delle prove, definendo dati valutabili come validi in base ai criteri dell'attendibilità, della significatività e della rappresentatività, dal punto di vista geotecnico.

A titolo non esaustivo, di seguito vengono presentate alcune indicazioni concernenti i principi generali che si raccomanda di seguire ai fini della caratterizzazione geotecnica di terreni mediante l'esecuzione di prove di laboratorio.

Criteri di descrizione e di scelta critica delle prove da eseguire

a) Descrizione dei campioni

All'atto dell'apertura dei campioni si provvederà alla descrizione preliminare dei terreni rappresentati; tale descrizione verrà effettuata con criteri geotecnici sulla base di esami visivi e manuali. I termini adottati saranno quelli convenzionali, di: argilla, limo, sabbia, ghiaia, ciottoli, e la corrispondente terminologia intermedia. Verrà identificata la componente del terreno che si valuta come più significativa dal punto di vista del comportamento geotecnico del terreno. Nel caso di materiali granulari o con prevalente componente granulare si formulerà una descrizione basata sulla valutazione delle proporzioni stimabili delle varie classi granulometriche presenti (con riferimento al termine del 50% per valutare la predominanza di una componente). Verranno quindi indicate le componenti subordinate del terreno. Si fornirà una definizione della colorazione prevalente del campione (ove specificamente richiesto si farà riferimento alla definizione colorimetrica secondo le Munsell Colour Charts). Nel caso in cui il campione sia costituito da parti significativamente differenziabili, si provvederà alla descrizione di ogni singola parte distinta con gli stessi criteri sopra indicati. Si provvederà infine a segnalare ogni ulteriore particolarità rilevabile ed utile per la caratterizzazione del terreno, sia dal punto di vista delle proprietà geotecniche che dal punto di vista della correlabilità stratigrafica.

A titolo di esempio, le particolarità che sono da segnalare possono essere collegate a:

- ✓ natura del materiale (materiale organico, materiale calcareo rilevato dalla reazione di effervescenza all'acido cloridrico diluito, ecc.);
- ✓ colorazione (zone di diverso colore, venature ossidate, ecc.);

- ✓ elementi anomali (resti animali o vegetali, quali conchiglie o radici, evidenti elementi minerali, quali mica-gesso-pomice, grossi inclusi litici, ecc.);
- ✓ sintomi di struttura del terreno (scagliosità, laminazione, fitte alternanze, ecc.);
- ✓ aspetto della componente più grossolana (forma prevalente, eventuale valutazione della natura geologica, ecc.);
- ✓ condizioni attribuibili (rimescolamento, fratturazione fresca, presenza di fanghi di al prelievo perforazione, ecc.);
- ✓ odore;
- ✓ eccetera.

b) Scelta critica delle prove da eseguire

L'attività di laboratorio verrà eseguita basandosi fondamentalmente sul programma di prove indicato. Nell'intraprendere le prove è però raccomandato che i responsabili del laboratorio attuino una valutazione critica della eseguibilità delle analisi, delle determinazioni e delle prove previste; tale valutazione è da effettuarsi tenendo conto del fatto che la finalità da perseguire è quella di fornire dati significativi e rappresentativi (dal punto di vista geotecnico), in funzione della natura dei terreni investigati e delle necessità progettuali, e compatibilmente con il tipo e le condizioni dei campioni disponibili. Escludendo il caso in cui sia programmato di operare su materiali ricostituiti, in generale è da adottare il criterio di definire le caratteristiche quanto più possibile attendibili dei terreni nelle condizioni naturali.

In generale quindi sui campioni non indisturbati (rimaneggiati) potranno essere eseguite solo alcune determinazioni delle caratteristiche fisiche che non vengano alterate da modalità di prelievo non molto accurate come, ad esempio:

- ✓ analisi granulometrica;
- ✓ determinazione delle caratteristiche di plasticità (limiti di Atterberg);
- ✓ determinazione del peso specifico dei grani;
- ✓ eventualmente misura della umidità.

In linea di massima l'esecuzione delle prove meccaniche, cioè delle prove per la determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni, sarà riservata ai campioni indisturbati o, in qualche caso, ai campioni a limitato disturbo.

Conseguentemente, all'atto dell'apertura e della descrizione preliminare del campione sarà cura dei responsabili di laboratorio di formulare anche una valutazione delle condizioni del materiale nella prospettiva, appunto, di poter intraprendere delle prove meccaniche che descrivano attendibilmente le proprietà naturali del terreno, tale valutazione verrà effettuata sulla base delle modalità di prelievo (ove note), di una stima della consistenza del materiale (effettuata, nel caso di materiali coesivi o con sensibile componente coesiva, con l'ausilio anche di strumenti quali il pocket penetrometer o il torvane), di una definizione dell'omogeneità del materiale (espressa, ove opportuno, asportando le parti più superficiali del campione, notoriamente più danneggiate dalle procedure di prelievo), e di ogni ulteriore considerazione utile per confrontare lo stato del campione con lo stato del terreno nelle sue condizioni in sito.

Queste osservazioni dovranno essere sinteticamente presentate a corredo della descrizione del campione, eventualmente integrandole con le altre possibili rilevazioni deducibili al momento della selezione dei materiali delle prove e della preparazione dei provini; da esse inoltre dovrà discendere l'attribuzione dello stato del campione ad una categoria di qualità che giustifichi la valutazione sulla attendibilità dei risultati delle prove scelte e realizzate.

Anche questa valutazione della qualità delle condizioni del campione ai fini della attendibilità delle determinazioni (sempre con criteri geotecnici), oltre alla segnalazione della parte di campione interessata (nel caso di campioni non omogenei e differenziabili), dovrà essere indicata a corredo della documentazione del campione e/o delle prove.

Lo stato del campione in vista della esecuzione delle prove potrà essere definito nel modo ritenuto più esauriente dai responsabili del laboratorio; a titolo di esempio esso potrà essere riferito a tre categorie basilari:

- ✓ condizioni buone (A);
- ✓ condizioni mediocri (B);
- ✓ condizioni cattive (C).

In linea di massima, e a meno di vincolanti prescrizioni di programma, le prove eseguibili in funzione delle condizioni dei campioni potranno essere:

- A. prove meccaniche sensibilmente sofisticate o da eseguire su provini in serie; e tutte le prove in generale;
- B. prove meccaniche più convenzionali o eseguibili su provini singoli; e tutte le prove di determinazione delle caratteristiche fisiche;
- C. prove per la determinazione delle caratteristiche fisiche, con gli stessi criteri dei campioni NON indisturbati.

Infine, nella scelta critica delle prove da eseguire si dovrà tenere conto anche delle dimensioni previste per i provini da confezionare, in particolare nel caso delle prove su serie di provini che necessitano di una elevata uniformità del campione.

6.3.2 Esami ed analisi per la determinazione delle caratteristiche fisiche

Di seguito sono elencate le attività di laboratorio previste per la determinazione delle caratteristiche fisiche di campioni di terre.

R Apertura e descrizione di campioni indisturbati o a limitato disturbo, alloggiati in fustelle cilindriche; apertura e descrizione di campioni non indisturbati (rimaneggiati); Fotografia di campione;

Estrazione con minimizzazione del disturbo (è raccomandato l'impiego di un estrusore idraulico, se necessaria una notevole spinta) di un campione di terreno alloggiato in fustella cilindrica; scotatura e ripulitura delle estremità del campione (se opportuna); descrizione geotecnica visiva-manuale del campione; eventuale valutazione della consistenza del materiale mediante pocket penetrometer e/o torvane; stima delle condizioni del campione; indicazione delle prove previste per il singolo campione (o per le parti di campione eventualmente distinte).

Estrazione dal contenitore di un campione di terreno non indisturbato (alloggiato ad esempio in sacchetto, barattolo, vasetto, ecc.); descrizione geotecnica, visiva-manuale del campione; indicazione delle prove previste.

documentazione

Modulo compilato in cui siano riportati i risultati delle operazioni eseguite, le osservazioni effettuate, l'indicazione delle prove previste.

P.I. Determinazione dei parametri indice:

Determinazione del contenuto d'acqua di un terreno, ricavato per differenza fra peso umido e peso secco e riferito al peso secco, ottenuto per essiccamento in forno termostato a 105°C.

RIFERIMENTI: CNR-UNI 10008, ASCTM D 2216

DOCUMENTAZIONE: Valore percentuale espresso con la prima cifra decimale; per materiali omogenei il valore può esprimere la media di più valori ottenuti sul campione; per materiali significativamente disomogenei il valore deve essere riferito alla parte di campione distinta. Documentazione delle pesate.

Determinazione della densità di un terreno, ricavata come rapporto fra pesata del materiale ed il suo volume, predeterminato, ottenuto su provini cilindrici confezionati mediante trimming, fustellatura e regolarizzazione, impiegando una fustella di volume noto.

RIFERIMENTI: CNR-BU N.62 ASCTM D 1188

DOCUMENTAZIONE: Valore espresso in g/cm³, con la definizione della seconda cifra decimale, o in kg/m³, come numero intero; per materiali omogenei il valore può esprimere la media di più valori ottenuti sul campione; per materiali significativamente disomogenei il valore deve essere riferito alla parte di campione distinta.

Documentazione delle dimensioni dei provini e delle relative pesate.

Determinazione del peso specifico dei grani solidi costituenti un terreno non grossolano ottenuta, col metodo del picnometro calibrato, come valore medio risultante dall'esecuzione di almeno due prove o tre, quando lo scarto delle due misure è superiore a 0,01 sullo stesso materiale. Come peso specifico è da intendersi il rapporto, ad una certa temperatura, fra la massa di un volume unitario di materiale e la massa dello stesso volume di acqua distillata disaerata; ottenuto per spostamento d'acqua, con pesate di precisione e con misura della temperatura nelle condizioni operative. Sono considerati grani solidi di un terreno le minute particelle (in linea di massima minerali) in cui può essere ridotto il materiale, che possono essere ritenute poco o non solubili in acqua e prive di vuoti non strutturali.

RIFERIMENTI: CNR-UNI 10013/1964, ASCTM D 854

DOCUMENTAZIONE: Valore espresso con tre cifre decimali ottenuto come media di almeno due determinazioni. Documentazione delle determinazioni effettuate

L.A. Determinazione dei limiti di Atterberg

Determinazioni delle condizioni limite di liquidità e di plasticità (congiuntamente) di un terreno, eseguite con le attrezzature ed in accordo con le metodologie previste dagli standards, espresse in termini di contenuto in acqua (umidità).

Per la determinazione del limite di liquidità è raccomandata l'esecuzione di almeno tre punti. Nel caso di adozione del metodo del punto singolo ciò deve essere chiaramente evidenziato.

RIFERIMENTI: CNR-UNI 10014/1964 ,ASCTM D 4318

DOCUMENTAZIONE: Coppia di valori percentuali espressi con la prima cifra decimale; nel caso di esito negativo di una o di entrambe le determinazioni si indicherà il singolo valore ottenuto o nessun valore, con la notazione "materiale non plastico". Documentazione delle determinazioni.

A.G. Analisi granulometrica

Analisi granulometrica per vagliatura, solo con trattamento a secco. E' raccomandato che la metodologia in argomento, che contempla il trattamento del materiale solo in condizioni secche, sia applicabile limitatamente al caso in cui il terreno presenti un contenuto di materiale fine (passante al vaglio n.200 o n.230 ASCTM) < 10%.

Analisi granulometrica della porzione di terreno fine, passante al vaglio n.200 o n.230 ASCTM, ottenuta mediante misure effettuate nel corso di un processo di sedimentazione in acqua, realizzate con aerometro-densimetro. L'elaborazione della prova viene espressa in termini di percentuali ponderali rispetto al materiale secco complessivo definite in corrispondenza dei diametri nominali delle particelle. La determinazione deve essere effettuata con almeno 5 misure e deve consentire la definizione (anche per interpolazione) della percentuale corrispondente al diametro nominale di 0.002 mm.

Il procedimento non comprende la determinazione del peso specifico dei grani, da determinare con le modalità previste.

Si raccomanda che, ove possibile, l'analisi granulometrica per sedimentazione in argomento sia realizzata, ad integrazione dell'analisi granulometrica per vagliatura, almeno nei casi in cui la presenza della frazione fine nel terreno sia > 25%.

6.3.3 Prove di laboratorio per la determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche

Di seguito sono elencate le attività di laboratorio previste per la determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche di campioni di terre.

TD Prova di taglio diretto

Prova di taglio diretto per la determinazione della resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci, realizzata con apparecchio del tipo "scatola di Casagrande", con prima fase di consolidazione del provino e con fase di rottura in condizioni drenate, realizzata lentamente per evitare l'instaurarsi di sovrappressioni interstiziali; condotta a velocità di deformazione imposta e controllata; compresa la preparazione del provino.

E' raccomandata l'esecuzione su provini cilindrici con diametro minimo pari a 60 mm, o quadrati con lati minimo di 60 mm.

E' richiesto che la prova sia eseguita su almeno tre provini omogenei, a diverse pressioni di consolidazione in funzione dello stato naturale del terreno o dello stato di sollecitazione previsto.

RIFERIMENTI: ASCTM D 3080

DOCUMENTAZIONE: Tracciamento almeno della curva sforzi/deformazioni; sono richieste altresì almeno le seguenti indicazioni: dimensione del provino, pressione di confinamento applicata, durata del periodo di consolidazione e misura del corrispondente cedimento, velocità imposta per la corsa di taglio.

Definizione delle caratteristiche di classificazione geotecnica del materiale (ove non già prevista).

Determinazioni delle caratteristiche fisiche iniziali del provino e tabelle corrispondenti ai dati rilevati e presentati.

6.4 SPECIFICA PER INDAGINI E PROVE AMBIENTALI

Si precisano qui di seguito le specifiche per l'esecuzione dei prelievi e per le prove aventi lo scopo di individuare eventuali inquinanti presenti nel terreno o nel ballast che, per le finalità dell'intervento, dovrà essere rimosso o movimentato, compresa la caratterizzazione del rifiuto.

I prelievi dovranno essere svolti nei punti indicati in planimetria come PZ01, PZ02, PZ03 e PZ04.

E' preferibile lo scavo meccanico per tutti i prelievi. Osservando il profilo stratigrafico, questi scavi dovrebbero avere profondità di 5 m. Per raggiungere tali profondità occorre un escavatore adeguatamente capace (> 20 ton). In subordine, si chiede di eseguire scavi fino a 2 m e poi carotaggi per le profondità ulteriori.

Per il primo metro: 2 barattoli 500 g per CSC + sacchetto per test di cessione + vial per composti volatili. In caso di eventuale presenza di rifiuti frammisti alla matrice terrosa, deve essere prelevato un sacchetto abbondante per la caratterizzazione del rifiuto.

Per i successivi metri fino al fondo dello strato di riporto: come sopra creando un campione composito, a condizione che lo strato di riporto non mostri distinguibili stratificazioni tali da richiedere campionamento specifico di caratterizzazione.

Per i successi metri di terreno naturale: 2 barattoli 500 g per CSC + vial per composti volatili, per ogni orizzonte stratigrafico distinguibile. Sarebbe inoltre auspicabile arrivare ad indagare fino al primo strato che abbia un colore tale da far supporre l'assenza di inquinanti.

In generale in ogni punto (PZ01, PZ02, PZ03 e PZ04) è necessario costituire almeno tre set di campioni diversi, uno per ogni strato o composizione di strato. Quindi ci deve essere almeno quello del primo metro, quello di fondo e uno intermedio.

NOTA 1: Per le vials, per minimizzare il disturbo del campione, è preferibile il prelievo dal fianco dello scavo e, nel caso di profondità elevate tali da non consentire l'accesso al fianco in sicurezza, il prelievo va fatto direttamente dalla benna che ha appena operato sul terreno alla quota di riferimento.

NOTA 2: Gli holding times per i composti volatili sono di soli 48 h in caso di vial non condizionate al metanolo, altrimenti di 14 giorni. Occorre organizzarsi con il laboratorio conseguentemente.

NOTA 3: Il punto PZ03 si trova in area privata asfaltata. Prima dello scavo deve essere accertata l'eventuale presenza di sottoservizi con georadar. L'asfalto deve essere ripristinato al termine dell'intervento. La profondità di questo può essere più contenuta, in ragione del fatto che ci si trova alla base del rilevato e di conseguenza il terreno di riporto dovrebbe limitarsi a circa un metro.

Riguardo al pietrisco esistente le indagini avranno lo scopo di caratterizzare la tipologia di rifiuto: o 17.05.07* o 17.05.08.

Dovranno essere individuati 5 punti equidistanti lungo il tracciato della futura tratta. Per ciascun punto si effettueranno due prelievi:

- Uno dallo strato superficiale, visibile intorno alle traverse;
- Uno dallo strato più profondo, al di sotto della quota di imposta delle traverse. Per fare questa operazione dovrà essere spostato a lato il pietrisco sovrastate. L'operatore dovrà prestare attenzione a rilevare il livello al quale si ha comparsa di pietre verdi (serpentino scisto). Tale è la quota alla quale si effettuerà il secondo prelievo. Per evitare la dispersione di fibre di amianto, il materiale dovrà essere innaffiato, e per evitare residui rischi di inalazione, il personale dovrà essere attrezzato con i necessari dispositivi di sicurezza. La quota individuata dovrà essere riportata su apposito registro; questa si intende misurata dall'estradosso della traversa.

Ciascun prelievo consisterà in un sacchetto per la caratterizzazione del rifiuto con verifica della possibilità di recupero e della compatibilità con i limiti per tipologia di scarica: inerti, non pericolosi o pericolosi.