

**AUTOSTRADA A2 "MEDITERRANEA"
COLLEGAMENTO PORTO GIOIA TAURO GATE SUD CON
AUTOSTRADA A2 - LOTTO 1 E LOTTO 2**

DG 54/17 LOTTO 1

COD. UC165

PROGETTO DEFINITIVO

COD. UC167

GRUPPO DI PROGETTAZIONE: R.T.I.: INTEGRA CONSORZIO STABILE (capogruppo mandataria)
Prometeoengineering.it S.r.l. - Dott. Geol. Andrea Rondinara

RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:
Prof. Ing. Franco BRAGA (Integra Consorzio Stabile)

CAPOGRUPPO MANDATARIA:



GEOLOGO:
Dott. Geol. A. CANESSA (Prometeoengineering.it S.r.l.)

Direttore Tecnico:
Prof. Ing. Franco Braga

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:
Dott. Ing. Alessandro Orsini (Integra Consorzio Stabile)

MANDANTI:



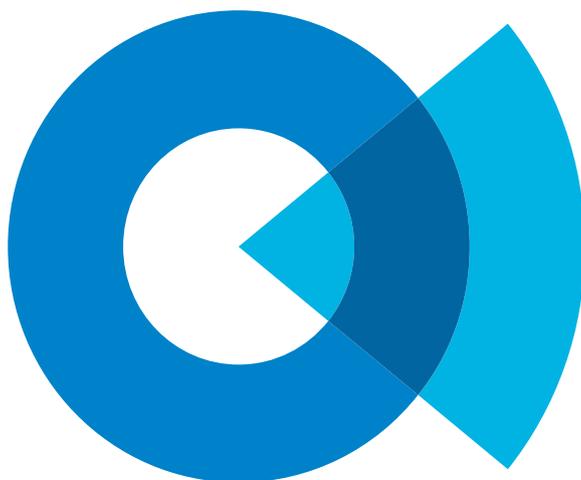
RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:
Dott. Ing. Giuseppe Danilo Malgeri

Direttore Tecnico:
Dott. Ing. Alessandro FOCARACCI

Dott. Geol. Andrea Rondinara

**02 - STUDI GENERALI
02.03 - GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA E GEOTECNICA**
Relazione illustrativa sulle indagini geognostiche e geofisiche

CODICE PROGETTO PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
DPUC0165	LIV. PROG. N. PROG.	T00SG00GETRE02_A			
DPUC0167	D 21	CODICE ELAB. T00SG00GETRE02		A	-
A	EMISSIONE	Settembre 2022	Citterio	Salcuni	Focaracci
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO



SOCOTEC

Committente:  **anas**

Lavoro: CONTRATTO APPLICATIVO n. 16: Servizi indagini geognostiche, geofisiche, di laboratorio e di monitoraggio geotecnico-geomorfologico, a supporto della progettazione definitiva/esecutiva dell'intervento "UC 165 – Autostrada A2 "Mediterranea" – Viabilità complementare – Porto di Gioia Tauro RC - Lavori di potenziamento funzionale raccordo stradale sud alla rete TEN-T - Collegamento Porto di Gioia Tauro gate - A2 (1° Lotto dal Gate allo svincolo con la S.S: 18).

REV	DATA	Descrizione	Preparato	Verificato	Approvato
00	27/04/2022	Prima emissione	Piero De Cenzo	Merola Lorenzo	Massimo De Iasi

RAPPORTO TECNICO CONCLUSIVO INDAGINI



SOCOTEC

INFRASTRUCTURE

Sommario

1. PREMESSA	4
2. INDAGINI DIRETTE	5
2.1. SONDAGGI GEOGNOSTICI	5
2.1.1. PRELIEVO CAMPIONI GEOTECNICI	7
2.1.2. PROVE SPT	7
2.1.3. INSTALLAZIONI IN FORO	8
2.1.4. PROVE DI PERMEABILITÀ TIPO LEFRANC	10
2.1.5. PROVE PRESSIOMETRICHE MENARD	12
2.2. PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE	15
2.2.1. STRUMENTAZIONE	15
2.2.2. METODOLOGIA DELLA PROVA	16
2.3. POZZETTI ESPLORATIVI GEOTECNICI, ARCHEOLOGICI ED AMBIENTALI	17
2.3.1. PROVE DI CARICO SU PIASTRA	18
2.3.1.1. ATTREZZATURA	18
3. INDAGINE MAGNETOMETRICA PER LA VERIFICA MASSE METALLICHE	21
4. INDAGINI GEOFISICHE	22
4.1. SISMICA A RIFRAZIONE	22
4.1.1. PRINCIPI BASE DEL METODO	22
4.1.2. FATTORI DI INFLUENZA DELLE VELOCITÀ SISMICHE	24
4.1.3. STRUMENTAZIONE IMPIEGATA	26
4.1.4. SCHEMA DI ACQUISIZIONE	28
4.1.5. PROCESSING	28
4.2. PROSPEZIONE SISMICA DOWN HOLE	30
4.2.1. PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO E CENNI SUL METODO	30
4.2.2. ACQUISIZIONE	30
4.2.3. ATTREZZATURA	31
4.2.4. PROCESSING INDAGINE DOWN HOLE	32
4.3. METODO HVSR	36
4.3.1. PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO E CENNI SUL METODO	36
4.3.2. FREQUENZA FONDAMENTALE DEL SITO	36
4.3.3. PROFILI SISMICO-STRATIGRAFICI E PARAMETRO VSEQ	38
4.3.4. ACQUISIZIONE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	38
4.4. RISULTATI INDAGINI GEOFISICA	40
5. PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO	41

AVELLINO DEPARTMENT

Via Campo di Fiume, 13 – 83030 Montefredane (AV)
Tel.: +39 0825 24353 - Fax.: +39 0825 248705

SOCOTEC ITALIA Srl – P.Iva 01872430648 - Capitale sociale 7.144.000,00 euro
Sede Legale: Via Bariola, 101-103 - 20020 Lainate (MI)
Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099

www.socotec.it



SOCOTEC

INFRASTRUCTURE

6. RILIEVO TOPOGRAFICO DEI PUNTI DI INDAGINE	41
6.1. STRUMENTAZIONE	41
6.2. ACQUISIZIONE	42
6.3. ELABORAZIONE E RESTITUZIONE	43
7. INDAGINI AMBIENTALI	43

ALLEGATI:

- FASCICOLO 1 - STRATIGRAFIE SONDAGGI;
- FASCICOLO 2 – PROVE IN FORO;
- FASCICOLO 3 - STRATIGRAFIE POZZETTI ESPLORATIVI;
- FASCICOLO 4 - PROVE DI CARICO SU PIASTRA;
- FASCICOLO 5 – SCHEDE MONOGRAFICHE PUNTI DI INDAGINE;
- FASCICOLO 6 – INDAGINE MAGNETOMETRICA;
- FASCICOLO 7 - PROVE LABORATORIO;
- FASCICOLO 8 – GEOFISICA;
- FASCICOLO 9 – PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE
- FASCICOLO 10 ANALISI CHIMICHE

AVELLINO DEPARTMENT

Via Campo di Fiume, 13 – 83030 Montefredane (AV)
Tel.: +39 0825 24353 - Fax.: +39 0825 248705

SOCOTEC ITALIA Srl – P.Iva 01872430648 - Capitale sociale 7.144.000,00 euro
Sede Legale: Via Bariola, 101-103 - 20020 Lainate (MI)
Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099

www.socotec.it

**SOCOTEC****INFRASTRUCTURE****1. PREMESSA**

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati delle indagini geognostiche, geofisiche e di laboratorio eseguite tra Marzo 2022 e Aprile 2022 relativi al **CONTRATTO APPLICATIVO n. 16: Servizi indagini geognostiche, geofisiche, di laboratorio e di monitoraggio geotecnico-geomorfologico, a supporto della progettazione definitiva/esecutiva dell'intervento "UC 165 – Autostrada A2 "Mediterranea" – Viabilità complementare – Porto di Gioia Tauro RC - Lavori di potenziamento funzionale raccordo stradale sud alla rete TEN-T - Collegamento Porto di Gioia Tauro gate - A2 (1° Lotto dal Gate allo svincolo con la S.S: 18)"**.

Nell'ambito del progetto summenzionato è stata effettuata una campagna di indagini geognostiche finalizzata alla determinazione delle caratteristiche geotecniche, sismiche ed ambientali.

In particolare, secondo quanto indicato nel piano delle indagini, sono state programmate le seguenti attività come da tabella di seguito riportata.

Sigla	SONDAGGI								DPSH	POZZETTI GEOTECNICI / ARCHEOL				POZZETTI AMBIENTALI	
	Prof. (m)	SPT	Prove Permeab	Prove Pressiom	Camp. Geo	Camp. Amb	Piez	DH	Prof. (m)	Prof. (m)	Camp. Geo	Camp. Amb	Carico su piastra	Prof. (m)	Camp. Amb
SI01pz	30,00	6	2	2	6	5	X	-	-	-	-	-	-	-	-
SI02pz	30,00	7	2	2	5	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
SI03dh	30,00	6	2	2	4	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
SI04dh	30,00	7	2	2	5	5	-	X	-	-	-	-	-	-	-
DPSH4	-	-	-	-	-	-	-	-	9,60	-	-	-	-	-	-
DPSH5	-	-	-	-	-	-	-	-	8,60	-	-	-	-	-	-
ADC 1 PA 01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	1
ADC 1 PA 02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	1
ADC 1 PA 03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	1
ADC 1 PA 04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	1
ADC 2 PA 05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	1
ADC 2 PA 06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	1
ADC 2 PA 07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	1
ADC 2 PA 13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	1
ADC 2 PA 14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	1
PZ 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,00	-	-	1	-	2
PZ11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,00	-	-	1	-	-
PZ ARC01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,00	-	-	-	-	-

AVELLINO DEPARTMENT
Via Campo di Fiume, 13 – 83030 Montefredane (AV)
Tel.: +39 0825 24353 - Fax.: +39 0825 248705

SOCOTEC ITALIA Srl – P.Iva 01872430648 - Capitale sociale 7.144.000,00 euro
Sede Legale: Via Bariola, 101-103 - 20020 Lainate (MI)
Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099
www.socotec.it

INFRASTRUCTURE

PZ ARC02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,00	-	-	-	1,00	1
PZ ARC03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,00	-	-	-	1,00	1

Di seguito si riporta foto aerea con ubicazioni delle indagini (fig. 1)

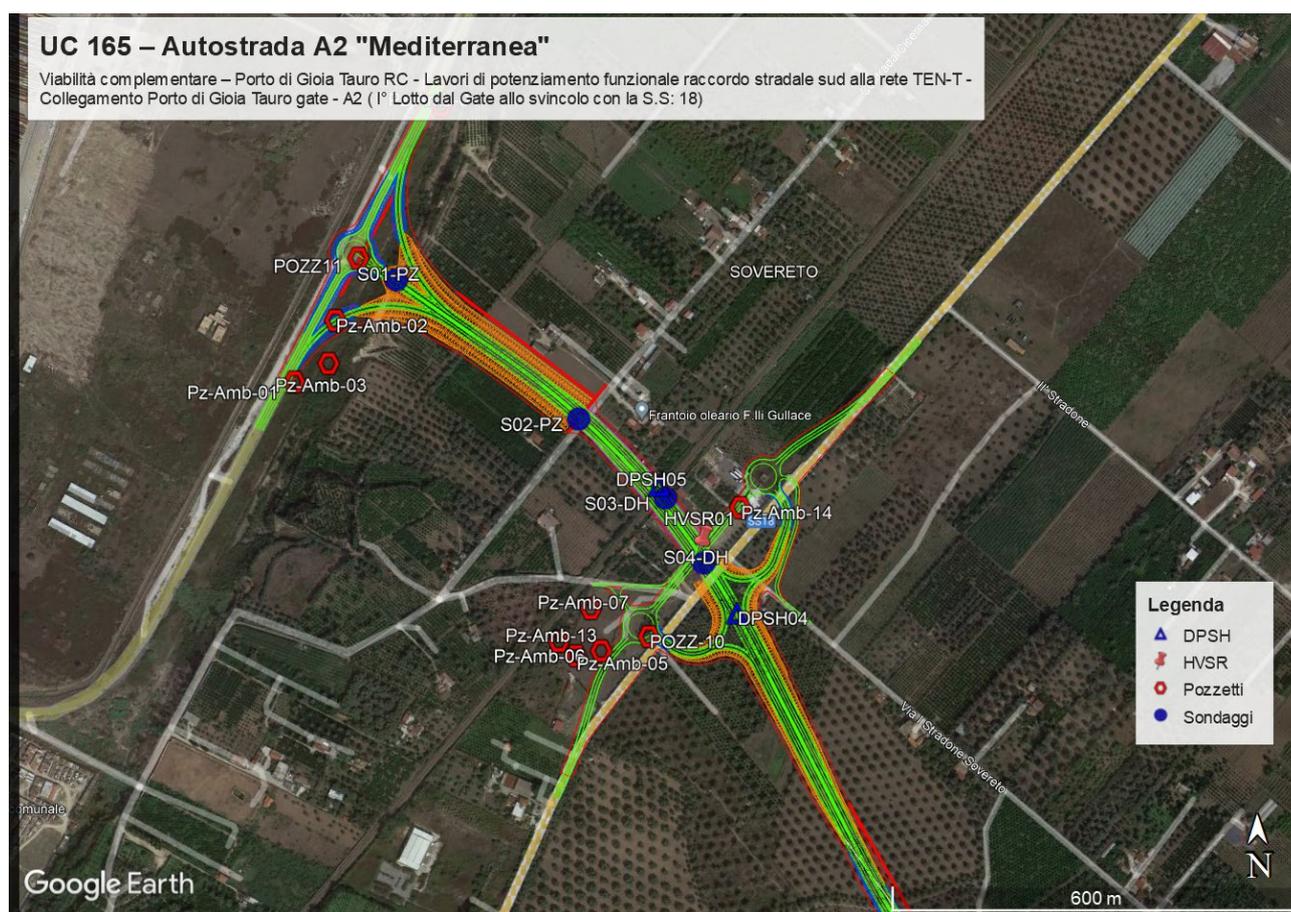


Figura 1: ubicazioni indagini

2. INDAGINI DIRETTE

2.1. SONDAGGI GEOGNOSTICI

I sondaggi geognostici a carotaggio continuo sono stati eseguiti rispettando le specifiche allegato al contratto, le Raccomandazioni AGI (1984) e le Modalità Tecniche ANISG (1977).

Sono stati eseguiti complessivamente n°4 sondaggi eseguiti a carotaggio continuo per la definizione stratigrafica, prove S.P.T, prove di permeabilità e prelievo campioni sia indisturbati che rimaneggiati. Di

**SOCOTEC**

INFRASTRUCTURE

seguito lo schema dei sondaggi effettuati con indicazione della profondità, del tipo di condizionamento del foro, delle prove in sito e prelievo di campioni sia geotecnici che ambientali.

Sond.	Lungh. [m]	Campioni	S.P.T.	Piez.	D.H.
SI01	30,00	6	6	30,00	-
SI02	30,00	5	7	30,00	-
SI03	30,00	4	6	-	30,00
SI04	30,00	5	7	-	30,00

Tabella 1: Schema indagini eseguite

Le caratteristiche tecniche delle sonde di trivellazione utilizzate per la realizzazione dei sondaggi sono riassunte nella seguente tabella:

VELOCITA' DI ROTAZIONE (giri/min)	500
COPPIA MASSIMA (daNm)	900
CORSA MASSIMA (cm)	350
SPINTA (daN)	6300
ARGANO A FUNE	SI
DAC TEST	-

Tabella 2: Caratteristiche tecniche delle Sonde di perforazione.

Le operazioni sono state eseguite da personale specializzato in perforazioni. La squadra operativa è stata composta da n°1 sondatore, n° 2 aiuto sondatore e dal geologo, il quale ha provveduto al rilievo stratigrafico dei terreni attraversati e alla conservazione delle carote estratte in apposite cassette catalogatrici, alla realizzazione dei report giornalieri e agli elaborati stratigrafici, al prelievo dei campioni ambientali di terreno e di acque sotterranee.

I sondaggi a carotaggio continuo, sono stati eseguiti a rotazione con il metodo classico con sistema ad aste e carotiere.

Tale perforazione avviene tramite aste di collegamento che vengono tirate su dopo ogni manovra (tratto perforato) per estrarre dal carotiere, posto alla base della colonna di aste, la carota di sedimento. Il raggiungimento di profondità maggiori avviene aggiungendo in superficie aste alla batteria. Le aste impiegate hanno diametro tra 76.1 mm.

Gli utensili di perforazione prevalentemente usati sono stati: carotiere semplice T1 con corone al widia, valvole di testa, valvole a farfalla e cestelli per il prelievo di materiale a bassa consistenza. Gli stessi carotieri sono stati utilizzati per la pulizia del foro.

INFRASTRUCTURE

Per il rivestimento dei fori sono stati usati Tubi metallici filettati del diametro esterno nominale da 127 mm e 152mm in funzione della strumentazione da installare in foro.

Le carote estratte nel corso della perforazione sono state sistemate in apposite cassette catalogatrici munite di scomparti divisorii e coperchio apribile di dimensioni 5m X 1m.

Su ogni cassetta è stato indicato l'oggetto, il cantiere, la profondità, ed il codice del sondaggio e fotografate.



Figura 2: Cassette catalogatrici

La stratigrafia dei terreni attraversati del singolo sondaggio è riportata nel fascicolo I degli allegati.

2.1.1. PRELIEVO CAMPIONI GEOTECNICI

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono stati prelevati campioni geotecnici con campionatori Shelby e campioni rimaneggiati. I campioni sono stati successivamente sottoposti ad analisi di laboratorio.

2.1.2. PROVE SPT

Le prove SPT vengono eseguite seguendo la normativa vigente (AGI, 1977) nonché dalle norme presente sul capitolato speciale d'appalto.

La prova consente di determinare la resistenza di un terreno alla penetrazione dinamica di un campionatore infisso a partire dal fondo di un foro di sondaggio.

La strumentazione impiegata consiste in:

- Tubo campionatore apribile longitudinalmente: \varnothing est= 50.8 mm; \varnothing int= 35 mm L minima (escluso tagliente principale)>457 mm; L utile = 630 mm;
- La scarpa tagliente terminale (con rastremazione negli ultimi 19 mm) = 76 mm; il campionatore sarà munito di valvola a sfera alla sommità e aperture di scarico e sfiato;

INFRASTRUCTURE

- Massa battente di peso 63,5 kg che cada da 75 cm di altezza;
- Aste collegate al campionatore aventi peso per metro lineare 6.5 kg (± 0.5 kg/ml). Le aste saranno diritte, ben avvitate in corrispondenza dei giunti e con flessione totale della batteria pronta per la prova $< 1^\circ/\text{m}$. La caduta del maglio deve essere libera; pertanto deve essere adottato un dispositivo di sgancia.

Di seguito si riporta tabella con le risultanze delle prove SPT eseguite

SONDAGGIO	Tipologia prova SPT	Profondità prova	N1	N2	N3
S01	PC	3,00-3,45	9	12	16
	PC	6,00-6,45	15	19	26
	PC	9,00-9,39	25	35	50R9
	PC	12,50-12,90	31	44	R10
	PC	15,50-15,60	37	50R10	
	PC	19,00-19,22	44	50R12	
S02	PC	3,00-3,45	8	9	9
	PC	6,00-6,13	50Rcm13		
	PC	9,00-9,27	45	50R12	
	PC	11,60-11,84	32	50R9	
	PC	14,50-14,60	50Rcm10		
	PC	17,50-17,95	25	31	43
S03	PC	4,00-4,45	15	24	37
	PC	7,00-7,45	28	31	32
	PC	11,00-11,32	45	50R12	
	PC	14,00-14,26	40	50R11	
	PC	18,00-18,23	42	50R8	
	PC	20,50-20,68	45	50R5	
S04	PC	3,00-3,45	13	12	17
	PC	6,00-6,45	16	19	24
	PC	10,20-10,65	15	22	36
	PC	13,40-13,75	18	28	42
	PC	16,00-16,23	42	50R8	
	PC	20,00-20,22	44	50R7	
	PC	24,00-24,20	45	50R5	

Tabella 3: Tabella SPT

2.1.3. INSTALLAZIONI IN FORO

Tubi per la down hole

I tubi per la Down hole sono stati installati nel sondaggio SI03 e SI04.

INFRASTRUCTURE

Si tratta di tubi in PVC da 80 mm di diametro interno e dello spessore di 4 mm, in spezzoni da 3 m assemblati tramite filettatura e nastro autovulcanizzante. All'estremità della prima colonna di tubi viene aggiunto un tubicino per l'iniezione della miscela cementante che avverrà a bassa pressione dal basso verso l'alto.

Una volta inserita la colonna di tubi in PVC all'interno del foro di sondaggio ultimato e protetto da rivestimenti metallici, si è provveduto alla cementazione tramite una miscela cementizia composta da acqua, cemento e bentonite in rapporto di peso 100:30:5 rispettivamente. La cementazione è avvenuta dal basso verso l'alto. Alla fine si è provveduto ad eseguire dei rabbocchi progressivi di cemento e si è posato in opera il chiusino metallico protettivo.

Piezometri a tubo aperto

I piezometri sono costituiti da batterie di tubi da 3m del diametro pari a 3" e giuntati tra loro mediante filetti.

Lo schema geometrico di installazione è stato concordato con la DD.LL. secondo le specifiche tecniche consegnate dalla committenza.

L'installazione dei piezometri è avvenuta sempre all'interno del foro di sondaggio protetto da rivestimenti metallici. Prima di introdurre la tubazione piezometrica nella colonna dei tubi di rivestimento si è provveduto a lavato il foro con acqua pulita.

Terminata le attività di installazione dei piezometri si è provveduto allo sviluppo/spurgo dello stesso.



Figura 3: installazione piezometro, spurgo e prelievo campione acqua

2.1.4. PROVE DI PERMEABILITÀ TIPO LEFRANC

Come previsto dal piano indagine fornitoci dall D.D.L.L., sono state eseguite prove di permeabilità tipo Lefranc a carico variabile data la natura dei terreni prevalentemente a grana fine-media. La prova è destinata a misurare la conducibilità idrica del terreno; a seconda della geometria realizzata in corrispondenza del tratto di foro prescelto e quindi della direzione del flusso che si instaura durante la prova, la permeabilità misurata sarà quella orizzontale (K_h), quella verticale (K_v) o una media tra le due ($K_h \cdot K_v$).

La prova va eseguita in fase di avanzamento della perforazione in terreni non rocciosi, sotto falda o fuori falda, in quest'ultimo caso dopo avere saturato con acqua il terreno.

Nel caso di terreni a conducibilità non elevata si esegue a carico idraulico variabile; a carico idraulico costante nel caso di elevata conducibilità.

Per l'esecuzione della prova è necessario che le pareti del foro siano rivestite con tubo di rivestimento per tutto il tratto non interessato alla prova.

Le prove a carico variabile al di sotto del livello della falda possono essere eseguite abbassando il livello dell'acqua nel foro di un'altezza nota e misurando la velocità di risalita del livello (prove di risalita), oppure

INFRASTRUCTURE

riempiendo il foro d'acqua per un'altezza nota e misurando la velocità di abbassamento del livello (prova di abbassamento).

Il coefficiente di permeabilità K (m/s) può essere determinato utilizzando la seguente formula:

$$K = A / (F \cdot T)$$

dove:

- A = area della sezione trasversale del foro al livello dell'acqua, cioè la sezione del rivestimento (m²)
- F = fattore di forma che dipende dalla geometria della prova (m);
- T = tempo di riequilibrio (basic time-lag) (s)

Il calcolo del fattore di forma F viene eseguito con la soluzione analitica indicata da Hvorslev (1951), scelta in base alla geometria della prova.

Per la determinazione di T si devono diagrammare i valori del rapporto h/h_0 , in scala logaritmica, con i corrispondenti valori di tempo t in scala decimale ($t = 0$ all'inizio della prova quando $h/h_0 = 1$, essendo h l'altezza misurata e h_0 l'altezza iniziale).

Si traccia poi la retta che meglio collega i punti sperimentali diagrammati.

In qualche caso, i punti sperimentali per valori di h/h_0 vicini ad 1 possono seguire una curva; ciò deve essere trascurato e la linea retta va tracciata attraverso i restanti punti.

Si disegna quindi una retta parallela a quella precedente, ma che passa per l'origine degli assi ($h/h_0 = 1$; $t = 0$).

Il valore del tempo t letto in corrispondenza del rapporto $h/h_0 = 0.37$ è il valore richiesto del tempo di riequilibrio T . Le prove di permeabilità eseguite sono raccolte nel fascicolo II **“prove di permeabilità Lefranc”**. La tabella 4 riporta una ricapitolazione dei valori ottenuti dalle prove di permeabilità Lefranc all'interno dei sondaggi geognostici.

SONDAGGIO	Profondità Prova (m)	K (m/s)
SI01	7,00	2,13E-05
SI01	18,00	9,96E-06
SI02	5,00	3,33E-05
SI02	16,00	6,72E-06
SI03	4,50	7,56E-06
SI03	12,00	5,17E-06
SI04	4,50	1,43E-05
SI04	12,00	4,75E-06

Tabella 4: risultati prove Lefranc

2.1.5. PROVE PRESSIOMETRICHE MENARD

Come previsto dal piano indagine fornitoci dalla D.D.L.L., sono state eseguite prove pressiometriche tipo Menard. Per le suddette prove è stata utilizzata un sonda pressiometrica tricellulare del tipo Ménard-Apageo (Fig. 3).

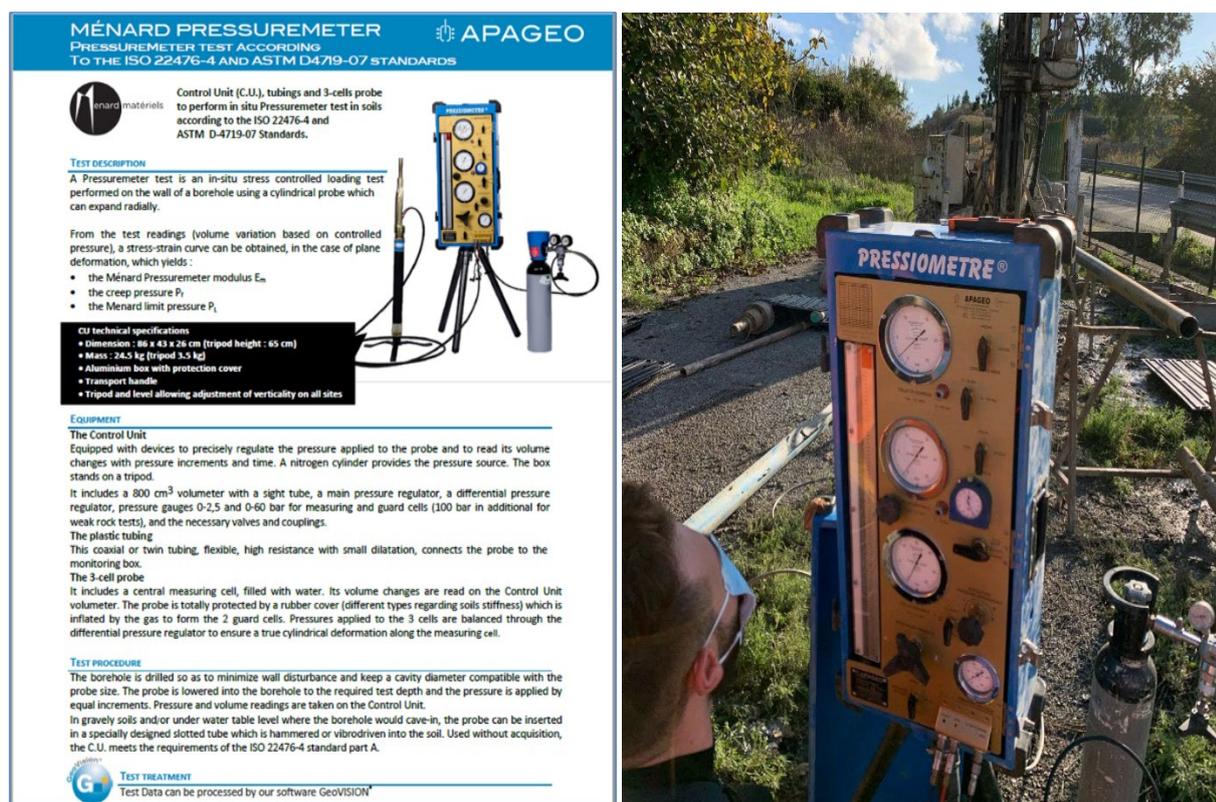


Figura 4: Caratteristiche Pressiometro Menard

Le prove sono state eseguite secondo le specifiche di Ménard del 1965 e, per quanto non compreso, secondo le seguenti normative e raccomandazioni:

- Norme ASTM D.4719-87 Standard Test Methods for Pressuremeter Testing in Soils (1994).
- Le Pressiomètre Ménard. Notice general D.60 (edition 07/77) - Centre d'Etudes Géotechniques Louis Ménard.
- Méthode d'essai LPC n.15-10 (1988). Essai pressiométrique normal. Norme Française NF 94-110 "Essai pressiométrique Ménard".

La prova pressiometrica MPM consiste nella misurazione delle dilatazioni indotte in una cella facente parte di una sonda tricellulare, calata in foro di sondaggio appositamente realizzato con un carotiere da 62 mm.

La sonda pressiometrica si compone di una sonda cilindrica ad espansione idraulica costituita da una cella centrale o cella di misurazione e da due celle di guardia laterali; le misurazioni vengono effettuate sulla

INFRASTRUCTURE

cella centrale che, posta in pressione dalla massa d'acqua iniettata all'interno, si espande radialmente. Le celle di guardia, dilatate dal gas, mantengono costante la geometria del sistema, impedendo che la cella centrale abbia deformazioni diverse da quelle radiali.

La prova viene eseguita imponendo incrementi di carico mantenuti costanti per 60" e con letture intermedie a 30", misurando le dilatazioni della cella centrale e, quindi, le corrispondenti deformazioni volumetriche del terreno.

Le pressioni vengono lette in superficie da manometri di precisione dotati di scale differenziate, mentre le deformazioni vengono rilevate da un sistema volumetrico. Le pressioni lette al manometro vengono depurate della pressione d'inerzia della sonda.

La taratura di pressione della sonda è effettuata prima delle prove, facendo espandere liberamente la cella pressiometrica e registrando i volumi di equilibrio a 60" per ogni incremento di pressione, fino alla capacità massima tollerata della guaina. Viene eseguita anche una taratura dell'insieme sonda - cavi - centralina sulle variazioni di volume (taratura di volume); le dilatazioni misurate, anche se di entità trascurabile, sono dovute all'elasticità dei tubi ed alla compressibilità del fluido. La membrana viene dilatata all'interno di un tubo metallico indeformabile aumentando la pressione fino al valore massimo di prova.

Essendo le pressioni di circuito lette in superficie in corrispondenza del manometro, ad un'altezza di circa 0.75 m dal p.c., le pressioni al livello della cella differiscono da quelle misurate di una quantità pari all'altezza della colonna d'acqua nei tubi. Alla pressione letta è stata così sommata la pressione dovuta alla colonna d'acqua (correzione idrostatica).

I dati registrati durante la prova sono:

- pressione letta al manometro;
- volume iniettato a 30";
- volume iniettato a 60";

Da questi volumi si risale alla variazione del volume fra la lettura a 30" e la lettura a 60" ($V_{60} - V_{30}$), a pressione costante (volume di fluage) e la variazione di volume fra le letture a 60" di due gradini di pressione successivi. Queste due variazioni di volume permettono di controllare lo sviluppo della prova e stimare la pressione di fine prova.

Il grafico pressione - volume è messo in parallelo con il grafico del volume di fluage. La forma della curva di fluage, infatti, è indicativa per l'individuazione sia della pressione di ricompressione P_0 (e quindi del volume

INFRASTRUCTURE

V_o) di inizio del tratto pseudo-elastico della curva (lineare) sia della pressione finale del tratto rettilineo P_f (e quindi del volume V_f).

Individuato il tratto rettilineo della curva, si può stimare il modulo pressiometrico normalizzato di Ménard E_p attraverso la relazione:

$$E_p = 2 \cdot (1 + \nu) \cdot V_m \cdot \Delta P / \Delta V$$

V_m = volume medio della cella nel tratto pseudo-elastico; ΔP = variazione di pressione nel tratto pseudo-elastico; ΔV = variazione di volume nel tratto pseudo-elastico.

Il volume medio della cella può essere stimato dalla relazione:

$$V_m = V_i + (V_f + V_o) / 2$$

dove V_i = volume iniziale teorico della cella (535 cm³ nel caso del pressimetro utilizzato).

La pressione limite che corrisponde convenzionalmente alla pressione a cui si raggiunge il volume $V_l = V_i + 2V_o$, non è praticamente raggiungibile in fase di prova poiché comporterebbe una rottura totale del terreno con conseguente espansione infinita della sonda.

Essa può essere però stimata a partire dal grafico bilogarithmico pressione-variazione relativa di volume ($\Delta v/v$), sul quale in prossimità della pressione limite la curva assume un andamento rettilineo e tende al valore $\Delta v/v = 1$ in corrispondenza della pressione limite P_l . Tale procedura per stimare P_l sembra essere la più conservativa.

Per ricavare il valore della “ C_u ”, in accordo con gli studi più accreditati, si sono utilizzate le seguenti relazioni (Amar e Jezequel 1972):

$$C_u = P_l / 5,5 \text{ per } P_l < 0,3 \text{ Mpa}$$

$$C_u = P_l / 10 + 0,025 \text{ per } P_l > 0,3 \text{ MPa}$$

La tabella 5 riporta la profondità della prova eseguita. Per problematiche legate all'impossibilità di eseguire una tasca adeguata, vista la natura dei terreni, non è stato possibile completare la prova.

	Profondità prova (m)	Volume limite (cm ³)	Pressione limite netta [P_l] (kPa)	Modulo pressiometrico [E_p] (kPa)	Modulo di Young [E] (kPa)
SI01	10.40	1065	2000	23392	70885
SI01	14.00	915	1700	25507	77294
SI02	8.00	1085	1700	25032	75855
SI02	25.00	727	3200	45124	136739

**SOCOTEC****INFRASTRUCTURE**

SI03	8.00	1065	2100	19850	60151
SI03	15.00	937	2100	39357	119264
SI04	8.00	1087	1400	25415	77015
SI04	15.00	963	2400	31694	96042

Tabella 5: Sintesi valori dei moduli pressimetrici ottenuti da prove pressimetriche Menard

2.2. PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

Le indagini hanno previsto la realizzazione di 2 prove DPSH spinte fino al rifiuto strumentale, nello specifico sono state eseguite:

	Prof (m)	Coord Gauss Boaga (EPSG3004)		Coord WGS84 (EPSG4326)		Quota Ellissoidica	Quota slm
DPSH4	6,80	4255958,158	2600569,063	38°26'53,46121"N	15°55'23,59178"E	78,193	35,889
DPSH5	4,60	4256174,325	2600397,521	38°27'00,83324"N	15°55'16,75534"E	70,967	28,652

La prova consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica infissa nel terreno per battitura. La prova fornisce informazioni di tipo continuo poiché le misure della resistenza alla penetrazione vengono eseguite durante tutta l'infissione.

2.2.1. STRUMENTAZIONE

Nella presente indagine è stato impiegato un penetrometro DPSH (Superpesante) tipo "Emilia" le cui caratteristiche sono riportate qui di seguito:

- Peso Massa Battente (M) = 63.50 Kg
- Altezza Caduta Libera (H) = 0.75 m
- Peso Sistema Battuta (M') = 2.0 Kg
- Diametro Punta Conica = 52.0 mm
- Area Base Punta Conica (A) = 21.24 cm²
- Angolo Apertura Punta = 60 °
- Lunghezza delle Aste = 1.50 m
- Peso Aste (M') = 8.3 Kg
- Avanzamento Punta = 0.30 m
- Numero Di Colpi N = N(30) di 30 cm

INFRASTRUCTURE

- Penetrazione per Colpo (e) = 1/N(30)
- Rivestimento / Fanghi = No



Figura 5: Penetrometro dinamico

2.2.2. METODOLOGIA DELLA PROVA

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno una punta conica metallica posta all'estremità di un'asta d'acciaio, prolungabile con l'aggiunta di successive aste. L'infissione avviene per battitura, facendo cadere da un'altezza costante un maglio di un peso standardizzato.

Durante l'esecuzione della prova vengono contati i colpi necessari ad infiggere di una determinata lunghezza, un tratto di asta. La resistenza del terreno è funzione diretta del numero di colpi necessari ad effettuare l'infissione.

Esistono attrezzature penetrometriche con diverse altezze di caduta, pesi della massa battente, diametri di asta e angoli di apertura della punta.

INFRASTRUCTURE

Nella presente indagine è stato impiegato un penetrometro DPM30

L'energia cinetica propria di ciascun colpo è il prodotto della massa del maglio per l'accelerazione di gravità e per l'altezza di caduta ($M \times g \times H$). I risultati di diversi tipi di prove dinamiche possono essere presentati (e/o paragonati) come valori di resistenza r_d o q_d , dove:

$$r_d = MgH/Ae = \text{MPa}$$

$$q_d = M/(M+M') * MgH/Ae = \text{MPa}$$

I valori di r_d e q_d non sono correlabili con le resistenze del terreno e, specie in presenza di elevate resistenze, i grafici r_d o q_d devono essere analizzati con precauzioni.

I risultati delle prove eseguite sono riportati nel fascicolo 9 allegato

2.3. POZZETTI ESPLORATIVI GEOTECNICI, ARCHEOLOGICI ED AMBIENTALI

Le indagini hanno previsto la realizzazione di 14 pozzetti su terreno naturale, spinti fino ad una profondità massima di circa 2,00 m dal p.c., allo scopo di:

- verificare in dettaglio la stratigrafia degli strati più superficiali;
- eseguire prove di carico su piastra circolare al di sotto dello spessore di terreno di scotico di 0.30 metri;
- prelievo di campioni geotecnici rimaneggiati sui quali eseguire prove di laboratorio geotecnico (analisi granulometrica e limiti di Atterberg) atte a definire il gruppo di appartenenza dei terreni nell'ambito della classificazione di una terra ad uso stradale
- prelievo di campioni da sottoporre ad analisi chimiche per caratterizzazione ambientale.
- Saggi archeologici con sorveglianza di un archeologo incaricato dalla committenza

Di seguito Si riporta dettaglio delle attività eseguite in ogni singolo pozzetto con le note relative ad eventuali variazioni rispetto al piano di indagine originario.

Pozzetto esplorativo	Prelievo campioni ambientali	Prelievo campioni geotecnica	Prova di carico su piastra	Note
ADC 1 PA 01	1	-	-	-
ADC 1 PA 02	1	-	-	-
ADC 1 PA 03	1	-	-	-
ADC 1 PA 04	1	-	-	-
ADC 2 PA 05	1	-	-	-
ADC 2 PA 06	1	-	-	-
ADC 2 PA 07	1	-	-	-
ADC 2 PA 13	1	-	-	-
ADC 2 PA 14	1	-	-	-



PZ 10	2	2	1	Saggio Archeologico
PZ11	-	2	1	Saggio Archeologico
PZ ARC01	-	-	-	Saggio Archeologico
PZ ARC02	-	-	-	Saggio Archeologico
PZ ARC03	-	-	-	Saggio Archeologico

Tabella 6: attività pozzetti esplorativi

2.3.1. PROVE DI CARICO SU PIASTRA

Sono state realizzate n.2 prove di carico a doppio ciclo con piastra circolare per la determinazione del modulo di deformazione M_d (CNR 146,a), ad una profondità di 0.30 metri all'interno dei pozzetti esplorativi.

Il modulo di deformazione M_d è una misura convenzionale della capacità portante dei terreni di sottofondo, degli strati di rilevato nonché degli strati legati di fondazione e di base delle pavimentazioni stradali.

Esso è determinato mediante prova di carico con piastra circolare ed è definito dalla relazione:

$$M_d = \frac{\Delta p}{\Delta s} \cdot D \text{ in N/mm}^2$$

in cui:

- Δp = incremento della pressione trasmessa da una piastra circolare rigida di diametro $D = 300\text{mm}$, espresso in N/mm^2 ;
- Δs = corrispondente incremento di cedimento della superficie caricata, espresso in mm.

o il modulo $M_d = \frac{\Delta p}{\Delta s}$ convenzionalmente indicativo della portanza (tale modulo, salvo le variazioni dell'unità di misura, è identico a quello determinabile con riferimento alla precedente norma C.N.R. B.U. n. 9 del 1967, essendo rimasta invariata la procedura di esecuzione della prova)

2.3.1.1. ATTREZZATURA

L'attrezzatura per l'esecuzione della prova è la seguente:

- Piastra circolare in acciaio di spessore non minore di 20mm e del diametro di $300 \pm 1\text{mm}$. Tale piastra deve essere irrigidita mediante apposite nervature oppure mediante altra piastra in acciaio, di spessore non minore di 20mm e del diametro di 160mm, sovrapposta coassialmente ad essa.
- Scatola cilindrica metallica, all'interno della quale, in corrispondenza del centro della cerniera sferica descritta in seguito, è ricavata una superficie piana su cui appoggiare la punta del

INFRASTRUCTURE

comparatore posto al centro della piastra (procedura di prova a). Tale scatola può essere omessa nel caso in cui si adotti la procedura di prova tipo b.

- Cerniera sferica per il centramento del carico (bloccabile durante le operazioni di insediamento dell'attrezzatura), da disporre immediatamente al di sopra della piastra di carico
- Martinetto idraulico o meccanico della portata di circa 50KN, avente una sensibilità di 0,5 KN.
- Prolunga costituita da più aste cilindriche avvitate tra loro, in modo da consentire diverse lunghezze.
- Comparatori centesimali avente capacità di misura di 10mm, sensibilità di 1/100 di mm, ovvero n°3 comparatori dello stesso tipo nel caso di procedura di prova di tipo b.
- Braccio metallico snodabile portacomparatori, munito di dispositivo a vite micrometrica per l'azzeramento del comparatore (procedura a), ovvero n°3 bracci per procedura di prova di tipo b.
- Sostegno dei bracci portacomparatori costituito da una trave sufficientemente rigida, della lunghezza di circa 2,50m, munita all'estremità di due supporti per l'appoggio al terreno oppure, in alternativa, un sostegno costituito da due travi di uguale lunghezza di almeno 1,20m ciascuna, incernierati tra loro in modo da disporsi su tre supporti.
- Un contasecondi.

C.N.R. - Bollettino Ufficiale - (Norme tecniche) - Anno XXVI - N. 146

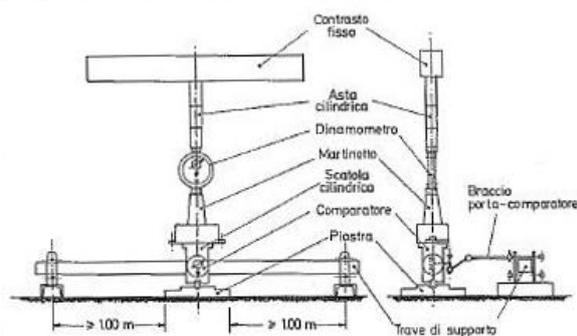


Fig. 1.

C.N.R. - Bollettino Ufficiale - (Norme tecniche) - Anno XXVI - N. 146

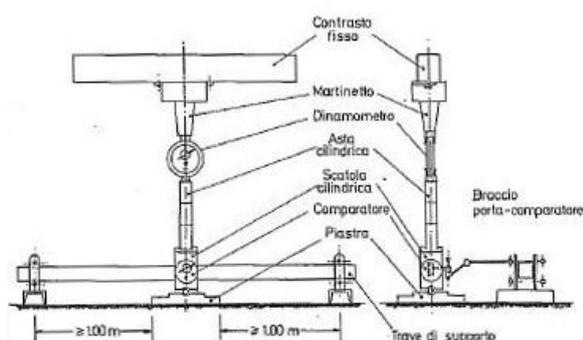


Fig. 2.

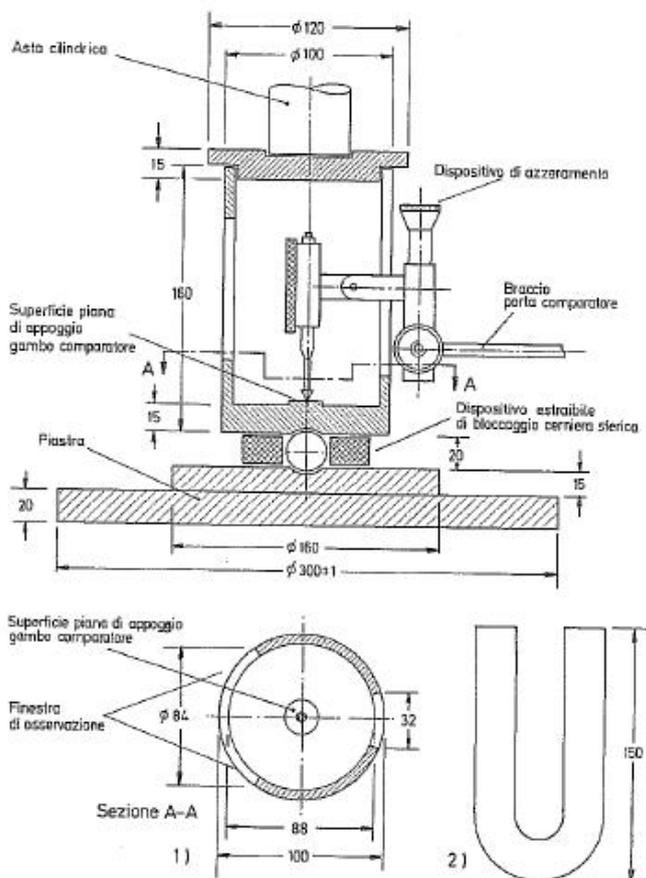


Fig. 3 - Scatola cilindrica
1, sezione A-A; dettaglio dispositivo estraibile bloccaggio cerniera sferica.

Per l'esecuzione di ciascuna prova, all'interno di ogni pozzetto, ad una profondità di 0.30 metri, il terreno è stato caricato progressivamente con step da 50 kPa fino alla pressione di 200 kPa; si è eseguito poi un ciclo di scarico fino a 50 kPa ed in fine un ciclo di ricarica fino a 200kPa.

E' stato ricavato il modulo di deformazione Md ed Md' nell' intervallo di carico 50-150 kPa

Di seguito si riporta tabella riepilogativa dei risultati delle prove di carico su piastra e delle densità in sito

Pozzetto	Prof. prova (m)	Md (0,05 e 0,15 N/mm ²) (MPa)	Md' (0,05 e 0,15 N/mm ²) (MPa)	Grado di costipamento
PZ10	0.30	12	62	0.19
PZ11	0.30	11	57	0.19

Tabella 7: Modulo Md ed Md'

INFRASTRUCTURE
3. INDAGINE MAGNETOMETRICA PER LA VERIFICA MASSE METALLICHE

Preliminarmente all'esecuzione di ogni sondaggio geognostico e dei pozzetti esplorativi, sono state eseguiti rilievi superficiali mediante Magnetometro tipo MAGNEX 120 LW della VOLTA (fig. 5) capace di rilevare variazioni del campo magnetico indotto dalla presenza di minerali ferromagnetici anche inferiori a 0,5 Nt.



Figura 6: Magnetometro tipo MAGNEX 120 LW della VOLTA

Le linee degli stendimenti elettro-magnetometrici sono state ubicate su base topografica fornita dalla committenza ed un opportuno rilievo speditivo di campagna.

I profili sono stati eseguiti facendo scorrere il magnetometro sul terreno, lungo strisciate tali da ricoprire una superficie di indagini di circa 100m² (fig.6). il centro dell'area investigata è stato individuato tramite rilievo GPS. In allegato si riportano i risultati delle indagini.



Figura 7: area di investigazione

4. INDAGINI GEOFISICHE

Sono state realizzate n°1 indagini HVSR, n°2 indagine tipo down-hole (DH), n°2 una MASW e una sismica a rifrazione. Le suddette indagini hanno l'obiettivo di definire l'assetto sismostratigrafico dell'area in esame.

4.1. SISMICA A RIFRAZIONE

4.1.1. PRINCIPI BASE DEL METODO

Le indagini indirette, ed in particolare la metodologia a rifrazione, permettono la ricostruzione areale delle geometrie e degli spessori dei depositi di copertura, la profondità del substrato (entro i limiti di penetrazione del metodo), la verifica di eventuali discontinuità laterali, nonché di determinare le caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali attraverso la determinazione dei moduli elastici dinamici. Il metodo di sismica a rifrazione si basa sul concetto della bi-rifrazione delle onde elastiche a seguito del fronte d'onda conico. Data una sorgente di onde elastiche e uno stendimento di geofoni lungo un profilo, giungeranno in superficie ai geofoni onde dirette, onde riflesse ed onde coniche o birifratte (*head wave*): le onde analizzate sono quelle birifratte ossia quelle che giungono sulla superficie di separazione con un angolo d'incidenza critico (secondo la legge di Snell) e che quindi vengono rifratte con un angolo di 90° propagandosi parallelamente alla superficie rifrangente e venendo nuovamente rifratte verso la superficie con lo stesso angolo di incidenza. I contrasti di proprietà possono essere legati a cause stratigrafiche, strutturali, idrogeologiche. L'indagine viene eseguita disponendo una serie di i trasduttori del moto del suolo (velocimetri o accelerometri) lungo la superficie libera del suolo e generando onde elastiche da una sorgente puntiforme che può essere una massa battente, un fucile sismico o una carica esplosiva. I trasduttori situati più vicino alla sorgente rilevano prima l'onda diretta che arriva con velocità legata alle caratteristiche meccaniche dello strato di terreno più superficiale, mentre quelli più lontani rilevano le onde birifratte che viaggiano a velocità più elevata. Quando l'onda birifratta avrà percorso sufficiente distanza alla velocità V_2 , essa arriverà prima della diretta (Fig. 8).

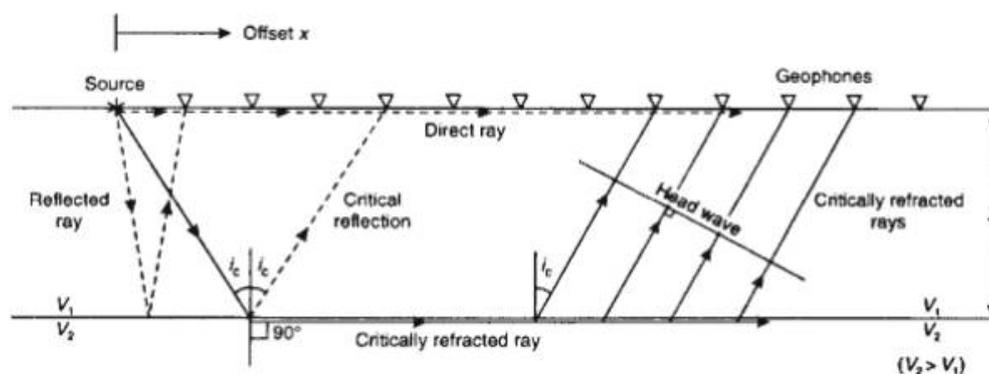


Figura 8 - Schema illustrativo delle onde sismiche

Se si riporta in un semplice grafico x-y, per ogni distanza di ciascun ricevitore, il tempo di arrivo del primo impulso letto sui sismogrammi, i punti si dispongono in una serie di allineamenti di cui il primo passante per l'origine: ciascuna linea è detta "dromocrona" ed è rappresentativa della velocità di propagazione delle onde elastiche nel mezzo posto al di sopra di un rifrattore (una superficie di separazione più o meno netta tra due materiali a comportamento elastico diverso). Il coefficiente angolare della dromocrona passante per l'origine rappresenta l'inverso della velocità di propagazione delle onde elastiche nel primo strato (V_0), i coefficienti angolari delle altre dromocrone rappresentano l'inverso delle velocità degli strati sottostanti (dal più superficiale al più profondo). L'intersezione tra due dromocrone è detto "punto di ginocchio" e rappresenta il punto in cui arrivano contemporaneamente le onde rifratte da due rifrattori adiacenti o, se consideriamo le prime due dromocrone, le onde dirette e le onde rifratte dal primo rifrattore. In un'indagine di sismica a rifrazione sarà possibile individuare un numero di punti di ginocchio pari al numero di rifrattori investigati (Fig. 9).

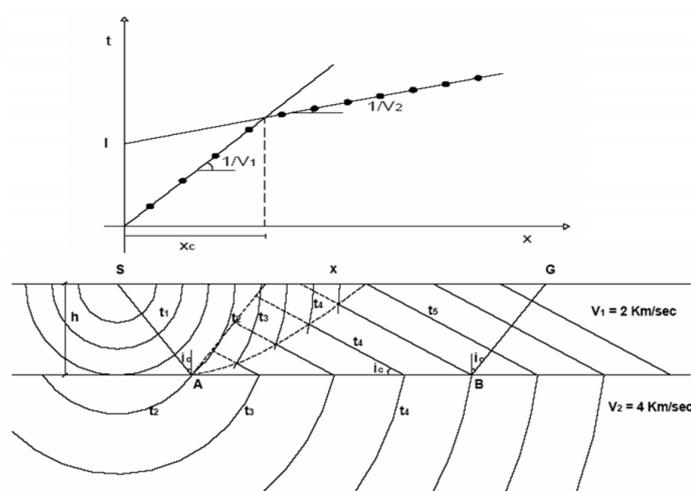


Figura 9 - Schema esemplificativo delle dromocrone in un sottosuolo a 2 strati.

Pertanto, più è profondo il rifrattore più il rispettivo punto di ginocchio sarà distante dalla sorgente: da ciò si deduce che gli impulsi rifratti possono essere ricevuti solo a partire da una certa distanza proporzionale alla profondità del rifrattore e che quindi la profondità totale di indagine è legata alla lunghezza dello stendimento dei ricevitori. Tramite semplici relazioni trigonometriche è possibile, note le velocità di propagazione delle onde elastiche nei diversi strati omogenei del sottosuolo, conoscere gli spessori di ciascuno di essi. Se gli strati sono poco spessi e caratterizzati da velocità crescente con la profondità (come normalmente avviene nei terreni non consolidati), i percorsi delle onde saranno curvi, con concavità rivolta verso l'alto, ed anche la corrispondente dromocrona sarà una curva. Nei casi reali, si assume che l'effetto



delle onde dirette, in termini di ampiezza delle vibrazioni, sia predominante rispetto a quello delle onde indirette, tanto da potere trascurare queste ultime e considerare il mezzo, limitatamente all'area comprendente la sorgente e il ricevitore, come mezzo omogeneo, isotropo e non confinato.

4.1.2. FATTORI DI INFLUENZA DELLE VELOCITÀ SISMICHE

Sebbene la velocità dell'onda P sia un buon indicatore del tipo di terreno o di roccia, non è un indicatore univoco. Ogni tipo di sedimento o roccia ha una vasta gamma di velocità sismiche e molti di questi range si sovrappongono tra loro. Ci sono molte variabili che influenzano il modulo elastico e quindi la velocità delle onde di compressione delle rocce e dei terreni. Nelle tabelle 8 e 9, si riportano le velocità da bibliografia di alcune delle principali litologie.

VELOCITA' ONDE DI COMPRESSIONE		
LITOLOGIA	VELOCITA' [m/sec]	
Suoli superficiali	300	700
Limi ed argille sature	1100	2500
Arenarie sature e porose	2000	3500
Acqua	1450	1500
Sabbie asciutte	400	1200
Sabbie sature	1500	2000
Arenarie	2100	4400
Argilliti	2000	6000
Calcari	2000	7000
Dolomie	2500	6500
Marne	2000	3000

Tabella 8 - Velocità delle onde di compressione di alcuni terreni.

VELOCITA' ONDE DI TAGLIO		
LITOLOGIA	VELOCITA' [m/sec]	
Suoli superficiali	50	300
Limi ed argille sature	200	800
Arenarie sature e porose	800	1800
Acqua	-	-
Sabbie asciutte	100	500
Sabbie sature	400	600
Arenarie	900	3100
Argilliti	500	2100

Calcari	1000	3500
Dolomie	1200	3800
Marne	750	1500

Tabella 9 - Velocità delle onde di taglio di alcuni terreni.

I primi esperimenti sulla variazione delle proprietà elastiche delle rocce sono iniziate tra il 1950 e il 1960. A quel tempo molti ricercatori (Wyllie et al., 1956; 1962; 1963; 1985) hanno studiato i cambiamenti della velocità di elasticità onde in funzione di saturazione, porosità e contenuto in argilla, fratturazione. In particolare:

- **Saturazione:** in condizioni di saturazione totale, la velocità delle onde P è controllata dal mezzo liquido (che è incompressibile) se superiore a quello dello scheletro solido: questo perché la velocità delle onde S non risulta influenzata da tale parametro (l'acqua non può sostenere sforzi di taglio). Per saturazioni parziali, invece, la velocità delle onde P è inferiore a quella ottenibile alla massima saturazione ma, nel contempo, è inferiore anche a quella che si ottiene per gli stati secchi.
- **Porosità e contenuto in argilla:** la diminuzione della velocità associata ad un aumento del contenuto di argilla può essere confrontata con la diminuzione della velocità associata ad un aumento della porosità. Infatti, le particelle di argilla creano una microporosità composta da piccoli pori di 1 μm riducendo notevolmente la dimensione dei pori. Da vari studi effettuati in merito, si evince che una gran parte della variazione della velocità dovuta al cambiamento di contenuto di argilla, è attribuibile alla significativa quantità di microporosità presente all'interno di minerali di argilla. Si riscontra, infatti, un brusco cambiamento delle proprietà della matrice rocciosa con l'aggiunta di una piccola quantità d'argilla.
- **Fratturazione:** il grado di fratturazione di una formazione rocciosa è legato alle proprietà idrogeologiche delle rocce, come la porosità e la permeabilità (capacità delle rocce di farsi attraversare dalle acque). L'importanza dell'impiego del metodo sismico per la valutazione del grado di fratturazione di una formazione rocciosa, è basata sulle evidenze sperimentali che indicano una diminuzione della velocità delle onde di compressione (VP) e di taglio (VS) e un aumento del coefficiente di attenuazione α al crescere della densità di frattura. In sintesi, le indagini suggeriscono che le velocità delle onde P e S decrescono con l'aumentare dei parametri di frattura, mentre il rapporto V_p/V_s aumenta con il decrescere dei parametri di frattura.

Le velocità sismiche che si andranno a misurare su rocce o terreni, pertanto, saranno spesso influenzate dall'effetto contemporaneo di tutti i fattori citati (oltre che ad altri meno importanti nel nostro contesto).

INFRASTRUCTURE

ampiamente noto in letteratura, la velocità delle onde P è fortemente influenzata dal grado di saturazione S_r . In particolare, in condizioni di saturazione totale, la velocità delle onde P è controllata dal mezzo liquido (che è incompressibile) se superiore a quello dello scheletro solido. Per $99\% < S_r < 100\%$ la velocità delle onde P varia sensibilmente con S_r , mentre per $S_r < 99\%$ V_P è controllata dalla rigidità dello scheletro solido nella stessa maniera delle onde SH. Infatti la velocità delle onde S non risulta influenzata da tale parametro (l'acqua non può sostenere sforzi di taglio).

4.1.3. STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

L'apparecchiatura utilizzata per questo tipo di prove si compone delle seguenti parti:

- sistema energizzante;
- sistema di ricezione;
- trigger;
- sistema di acquisizione dati.

Nel dettaglio:

sistema energizzante: tale sistema deve essere in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali. Per generare le onde di compressione P è stata utilizzata una massa battente da 5kg.

sistema di ricezione: per l'indagine sono stati utilizzati 24 geofoni del tipo elettromagnetico a bobina mobile (oscillazione verticale), con frequenza caratteristica di 4.5 Hz e 24 geofoni del tipo elettromagnetico a bobina mobile (oscillazione orizzontale), con frequenza caratteristica di 8 Hz (Fig. 10).



Figura 10 – Geofoni per onda P ed Sh; a) schema di funzionamento del geofono per onda P; b) geofono per onda P con frequenza caratteristica di 4.5 Hz; c) geofono per onda S con frequenza caratteristica di 8 Hz (utilizzato esclusivamente per la sismica a rifrazione).



SOCOTEC

INFRASTRUCTURE

trigger: la metodologia utilizzata, in quanto attiva, prevede che l'inizio della registrazione sia individuato mediante un *trigger*: consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui la massa battente colpisce la piastra o la trave (nel nostro caso si è usato un geofono starter) e l'impulso generato, inviato al sistema di acquisizione, consente di fissare il tempo zero di riferimento per il calcolo dei tempi di percorso delle onde generate.

sistema di acquisizione dati: sismografo costituito da un sistema multicanale a conversione digitale. Il modello è denominato *GEODE* (prodotto dalla *GEOMETRICS*, Fig. 11; Tab. 10) ed è caratterizzato da una risoluzione di acquisizione pari a 24 bit (Tecnologia Delta Sigma). Tale sistema è in grado di registrare, su ciascun canale in forma digitale, le forme d'onda e di conservarle su memoria di massa dinamica minima a 24 bit. Esso è collegato a ciascuno dei geofoni ed al sensore del trigger, consentendo quindi di registrare in forma numerica e visualizzare sotto forma di tracce, su un apposito monitor, le vibrazioni a partire dall'impulso inviato dal trigger.



Figura 11 - Sismografo GEODE (Geometrics).

A/D Conversion:	24 bit (Crystal Semiconductor sigma-delta converters)
DynamicRange:	144 dB (system), 110 dB (instantaneous, measured) at 2ms, 24dB.
Distortion:	0.0005% @ 2 ms, 1.75 to 208 Hz.
Bandwidth:	1.75 Hz to 20 kHz
Common Mode Rejection:	> -100 dB at <=100 Hz, 36 dB.
Crosstalk:	-125 dB at 23.5 Hz, 24 dB, 2 ms.
Noise Floor:	0.2uV, RFI at 2 ms, 36 dB, 1.75 to 208 Hz.
Stacking Trigger Accuracy:	1/32 of sample interval.
Maximum Input Signal:	2.8 VPP.
Input Impedance:	20 kOhm, 0.02 uf.
Preamplifier Gains: dB, or 0dB.	24 or 36 dB
Anti-alias Filters:	-3 dB at 83% of Nyquist frequency, down 90 dB.
Pre-trigger Data:	Up to 4,096 Samples.
Sample Interval:	0.02, 0.03125, 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 16.0 ms.
Record Length:	16,000 samples standard
Delay:	0 to 9999 ms in 1 ms steps.

AVELLINO DEPARTMENT
Via Campo di Fiume, 13 – 83030 Montefredane (AV)
Tel.: +39 0825 24353 - Fax.: +39 0825 248705

SOCOTEC ITALIA Srl – P.Iva 01872430648 - Capitale sociale 7.144.000,00 euro
Sede Legale: Via Bariola, 101-103 - 20020 Lainate (MI)
Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099
www.socotec.it

Data Transmission:	Ethernet connections
---------------------------	----------------------

Tabella 10 - Specifiche tecniche Sismografo GEODE.

4.1.4. SCHEMA DI ACQUISIZIONE

Per quanto riguarda gli stendimenti sismici sono stati realizzati con un passo intergeofonico massimo di 5m;

Tutti gli stendimenti sono caratterizzati da:

- tempo di acquisizione: 1 s;

intervallo di campionamento 0.125 μ s

4.1.5. PROCESSING

Il processing dei dataset di sismica a rifrazione è stato condotto mediante il Software RAYFRACT (Intelligent Resources Inc., Canada), studiato per l'elaborazione di dati relativi ad indagini sismiche eseguite in superficie, realizzate sia con onde P che S, per scopi geotecnico-ingegneristici, ambientali, nonché per l'esplorazione nel campo delle georisorse. Rayfract consente sia la ricostruzione della geometria dei rifrattori con la sismica a rifrazione tradizionale, che la realizzazione di dettagliati modelli di velocità del sottosuolo con le più evolute tecniche tomografiche, soprattutto nel caso di strutture profonde.

Lo schema di interpretazione utilizzato nel presente lavoro è basato sulla creazione di un modello iniziale ottenuto mediante interpretazione con una tecnica sofisticata di processo dei tempi di primo arrivo basata sui metodi dei "Fronti d'onda" (Brückl 1987; Jones and Jovanovich 1985) e del Plus-minus (Hagedoorn 1959), fondata su una regressione del campo dei tempi di primo arrivo (Brückl 1987). Tale metodo può essere considerato un'ottimizzazione dell'algoritmo del GRM, capace di risolvere l'immagine dei rifrattori con andamenti topografici molto accidentati. A partire dal modello sopraccitato è stato quindi utilizzato il codice di calcolo per la modellazione tomografica che utilizza, nell'algoritmo d'inversione, un "raytracing" con raggi curvilinei e metodi di calcolo ai minimi quadrati attraverso il metodo Delta t-v (Gebrande and Miller 1985), al fine di migliorare il riconoscimento e la localizzazione di strutture di forma anomala, stabilizzando la soluzione dell'algoritmo d'iterazione.

In generale, il tempo di percorrenza di un'onda sismica lungo un percorso S attraverso un mezzo bidimensionale (2D) può essere scritto come

$$t = \int_S u[\mathbf{r}(x, y)] \quad (1)$$

dove $u(\mathbf{r})$ è il campo delle lentezze (l'inverso delle velocità) e \mathbf{r} è il vettore posizione. Discretizzando il campo di lentezze $u(\mathbf{r})$ con m celle equidimensionali ognuna caratterizzata da una lentezza costante u_k ($k=1, 2, \dots, m$) la dromocrona i -esima delle n disponibili può essere scritta come

$$t_i = \sum_{k=1}^m l_{ik} \cdot u_k \quad (2)$$

dove l_{ik} rappresenta la porzione dell' i -esima dromocrona nella cella k -esima. Considerando tutte le dromocrone disponibili si ottiene il seguente sistema

$$\mathbf{t} = \mathbf{M} \cdot \mathbf{u} \quad (3)$$

dove \mathbf{t} è il vettore dei dati sperimentali (tempi di primo arrivo letti sui sismogrammi), \mathbf{M} è la matrice rettangolare contenente le porzioni dei percorsi nelle varie celle, \mathbf{u} è il vettore delle lentezze (incognite del problema).

Il problema inverso da risolvere è pertanto

$$\mathbf{u} = \tilde{\mathbf{M}}^{-1} \cdot \mathbf{t} \quad (4)$$

dove $\tilde{\mathbf{M}}^{-1}$ è la matrice inversa generalizzata. Poiché i percorsi sismici dipendono dalle lentezze, la matrice \mathbf{M} dipende anche dalle lentezze e quindi il problema inverso è un problema non-lineare che deve essere risolto iterativamente partendo da una soluzione iniziale (modello di partenza). L'equazione da considerare è pertanto la seguente

$$\mathbf{J} \cdot \Delta \mathbf{u} = \Delta \mathbf{t} \quad (5)$$

dove $\Delta \mathbf{t} = \mathbf{t} - \mathbf{t}(\mathbf{u}_0)$ è la differenza tra i tempi sperimentali e i tempi calcolati per il modello di lentezze iniziale \mathbf{u}_0 ; $\Delta \mathbf{u}$ è la perturbazione del modello iniziale; e \mathbf{J} è la matrice jacobiana contenente le derivate parziali delle dromocrone rispetto alle lentezze nelle celle $\frac{\partial t_i}{\partial u_k}$.

Poiché il problema è parzialmente sovradeterminato (per alcune celle si hanno molti percorsi) e parzialmente sottodeterminato (per alcune celle non è disponibile nessun percorso) esso è stato risolto con la tecnica dei minimi quadrati smorzati, cioè è stata minimizzata con la seguente funzione errore

$$\varphi = \|\mathbf{J} \cdot \Delta \mathbf{u} - \Delta \mathbf{t}\|^2 + \lambda \|\mathbf{L}_2 \mathbf{u}\|^2 \quad (6)$$

dove λ è il fattore di smorzamento e la matrice \mathbf{L}_2 è una matrice derivata seconda (operatore laplaciano) che forza la soluzione verso la soluzione più regolare possibile (smoothest solution).

INFRASTRUCTURE

L'affinamento della soluzione supportata con il metodo Delta t-v è stato ottenuto attraverso un ulteriore processo finale tomografico.

4.2. PROSPEZIONE SISMICA DOWN HOLE

4.2.1. PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO E CENNI SUL METODO

Lo scopo della prova è quello di valutare la velocità delle onde sismiche primarie V_p e secondarie V_s , da p.c. sino a fondo foro. Le prove sismiche Down-Hole vengono eseguite con lo scopo di misurare la velocità delle onde dirette che si propagano dalla superficie nel terreno in profondità. In situazioni stratigrafiche caratterizzate dall'esistenza di forti contrasti di rigidità tra gli strati occorre porre particolare attenzione a potenziali problemi d'interpretazione delle misure legati ad effetti di rifrazione. Il terreno viene energizzato in superficie, in prossimità di testa-foro e la registrazione avviene, in foro, grazie ad un geofono triassiale ancorato a profondità crescenti. Tale geofono registra gli spostamenti (tradotti sotto forma di impulsi elettrici) lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x , y , z). Le onde sismiche vengono generate energizzando il terreno in direzione verticale e in direzione trasversale (parallelamente al suolo). Nel primo caso verranno generate prevalentemente onde compressive (onde P) che si propagano in profondità e vengono registrate dal geofono verticale (asse z). Nel secondo caso verranno generate prevalentemente onde di taglio (onde S) visibili principalmente sui geofoni con l'asse posto orizzontalmente (assi x e y). Le onde di taglio hanno velocità inferiori rispetto a quelle compressive, solitamente intorno al 60-70%, quindi raggiungono il geofono quando il primo fronte d'onda compressiva è già transitato. Questo passaggio, purtroppo, costituisce un disturbo per la misura delle onde trasversali in quanto i geofoni orizzontali si trovano ancora in movimento all'arrivo dell'onda S. Per migliorare il rapporto fra l'energia dell'onda compressiva P e l'energia dell'onda trasversale S a favore di quest'ultima, si realizza una doppia energizzazione orizzontale con verso opposto. La sottrazione delle forme d'onda relative a queste due acquisizioni, riduce sensibilmente la componente compressiva presente nel segnale. Tali prove forniscono una dettagliata stratigrafia di velocità delle onde compressive (V_p) e delle onde di taglio (V_s).

4.2.2. ACQUISIZIONE

Una volta raggiunta la profondità di prova (fondo foro), i ricevitori vengono assicurati alla parete del tubo di rivestimento mediante dei pistoni azionati da un compressore; la sorgente viene colpita in senso verticale per generare onde di compressione P e lateralmente per generare onde di taglio Sh (Fig. 12) facendo partire, per mezzo del trigger, la registrazione del segnale acquisita secondo i seguenti parametri:

Sampling interval (ms)	0.125
Record length (s)	0.5
Spacing (m)	1

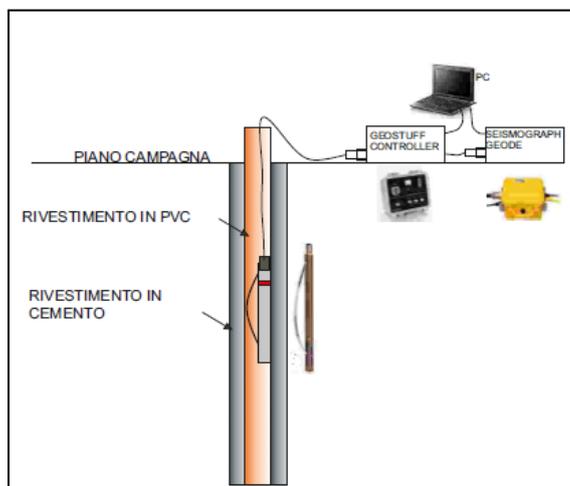


Figura 12 - Schema acquisizione DH

4.2.3. ATTREZZATURA

L'apparecchiatura utilizzata per questo tipo di prove si compone delle seguenti parti:

- sistema energizzante;
- sistema di ricezione;
- trigger;
- sistema di acquisizione dati.

Nel dettaglio:

sistema energizzante: tale sistema deve essere in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali. È stata utilizzata una massa battente da 5kg.

sistema di ricezione: per l'indagine è stato utilizzato il geofono da foro triassiale "BHGC" della GEOSTUFF.



Figura 13: Geofono da foro triassiale "BHGC".

Il trigger e il sistema di acquisizione sono gli stessi utilizzati per le indagini già descritte.

4.2.4. PROCESSING INDAGINE DOWN HOLE

La misura dei tempi dei primi arrivi delle onde sismiche deve essere realizzata con precisione e con un dettaglio pari a circa un decimo di millisecondo. La prima fase dell'elaborazione consiste nella determinazione dei primi arrivi sia delle onde P che delle onde S. Il *picking* dei tempi delle onde P è una operazione relativamente semplice, mentre per la corretta individuazione dei tempi di arrivo delle onde S è necessario evidenziare l'inversione di fase dell'onda di taglio: per tale scopo si effettua la sovrapposizione dei sismogrammi ricavati per la stessa profondità dai due punti di battuta; sovrapponendo le tracce si avrà la corretta localizzazione delle onde S quando si noterà il movimento uguale ed opposto della fase d'onda.

La prima operazione da fare è la correzione sulla verticale dei tempi di tragitto (t) misurati lungo i percorsi sorgente-ricevitore per tenere conto della distanza tra la sorgente e il bocca-foro. Con i tempi corretti si realizza il grafico (T_{corr}, z), sia per le onde P che per le onde S. Le velocità dei terreni investigati vengono finalmente ottenute in maniera indiretta con il metodo intervallo; i tempi di tragitto dell'onda sismica si misurano fra due posizioni consecutive del ricevitore posti a differente profondità, consentendo così di migliorare la qualità delle misure (velocità d'intervallo). La seconda fase consiste nel calcolo delle dromocrone; la velocità media delle onde sismiche in strati omogenei di terreno rappresentata dall'inclinazione dei segmenti di retta lungo i quali si allineano i dati sperimentali. Successivamente alla costruzione delle dromocrone ed alla determinazione della velocità di propagazione del segnale sismico nei

INFRASTRUCTURE

diversi strati di terreno, avendo l'indicazione della densità dei litotipi incontrati durante la perforazione si potranno calcolare i moduli elastici caratteristici.

Il **modulo di Young E** (o modulo di elasticità longitudinale) è definito a partire dalla legge di Hooke:

$$E = \sigma/\epsilon \quad (5.1)$$

Con

σ : sforzo, viene misurato in Pascal.

ϵ : deformazione, è una grandezza adimensionale, spesso la si esprime in percentuale.

Il modulo di Young viene determinato dal diagramma sforzo-deformazione mediante la formula appena vista, nel tratto in cui il materiale subisce una deformazione elastica (ovvero rimuovendo lo sforzo il materiale deve essere in grado di ritornare alle dimensioni iniziali).

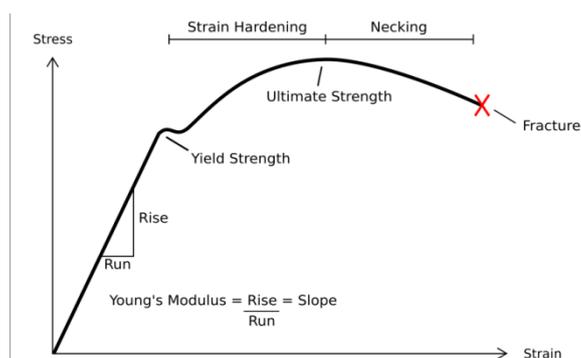


Figura 14: Diagramma sforzo - deformazione di un materiale duttile

Il **modulo di taglio μ** , detto anche modulo di scorrimento, di rigidità o di elasticità tangenziale, è una costante di Lamè che esprime il rapporto sforzo-deformazione tangenziali.

Data una piastra di lunghezza indefinita di spessore h , perpendicolare all'asse x , sulle cui facce agisce una coppia di tensioni tangenziali (o di taglio) di verso opposto T_1 e $-T_1$, si produrrà uno spostamento $\delta l / 2$ nel senso delle z positive e $\delta l / 2$ nel senso opposto. In pratica è come se una faccia rimanesse ferma e si producesse uno spostamento di δl .

Lo spostamento totale δl sarà in relazione allo sforzo di taglio T_1 e allo spessore h secondo la relazione:

$$dl = \frac{1}{\mu} h T_1 \quad (5.2)$$

dove μ è il modulo di taglio.

INFRASTRUCTURE

Considerando lo spostamento angolare α , ponendo l'angolo uguale alla sua tangente, la relazione diventerà semplicemente:

$$\alpha = \frac{T_1}{\mu} \quad (5.3)$$

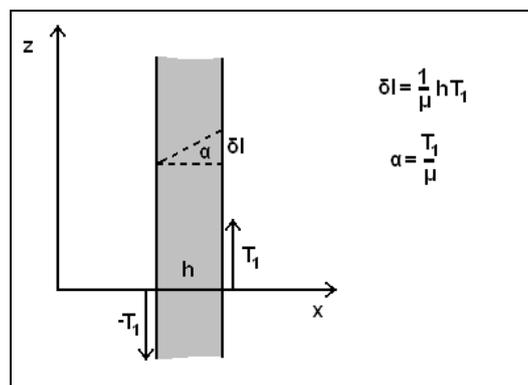


Figura 15: Esempio di resistenza al taglio

Il modulo bulk k (o modulo di compressibilità) di una materiale definisce la capacità della stessa di resistere ad una forza di compressione uniforme. È definito come l'incremento di pressione necessario a causare un relativo decremento di volume secondo la relazione:

$$K = -V \frac{\partial p}{\partial V} \quad (5.4)$$

dove K è appunto il modulo di compressibilità, p la pressione e V il volume.

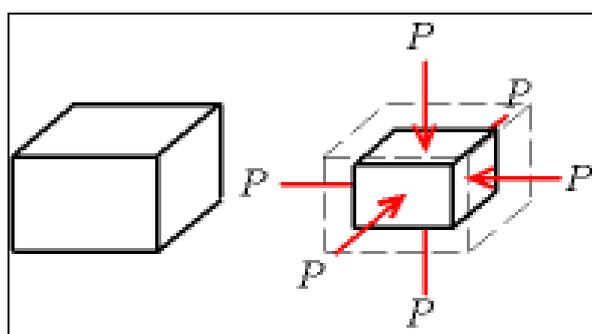


Figura 16: Esempio di compressione uniforme

Si precisa inoltre che i moduli presentati nelle sezioni cui afferisce questa nota tecnica sono moduli DINAMICI cioè ottenuti calcolando i valori a piccolissime deformazioni rappresentate dal tratto iniziale *reversibile* della curva sforzi deformazioni. Per tanto, essi risulteranno essere molto maggiori rispetto a quelli calcolati con prove in situ e/o di laboratorio, in cui il terreno viene portato a rottura.

In particolare, nel presente lavoro è stato utilizzato il “Metodo della velocità di intervallo”.

INFRASTRUCTURE

Per interpretare i dati ottenuti dalla down-hole, è necessario correggere il i tempi di arrivo (t) misurati lungo i percorsi sorgente-ricevitore per tener conto dell'inclinazione del percorso delle onde. Se d è la distanza dall'asse sorgente del foro (Fig. 12), r la distanza tra la sorgente e i geofoni, z la profondità, è possibile ottenere il tempo corretto (t_{cor}) usando la seguente formula di conversione: $t_{cor} = \frac{z}{r} t$.

In particolare, nel metodo della velocità di intervallo, i tempi di percorrenza sono misurati tra due ricevitori ubicati sulla stessa verticale (Figura 17) ma a diverse profondità, consentendo quindi misurazioni di qualità migliore (velocità intervalli).

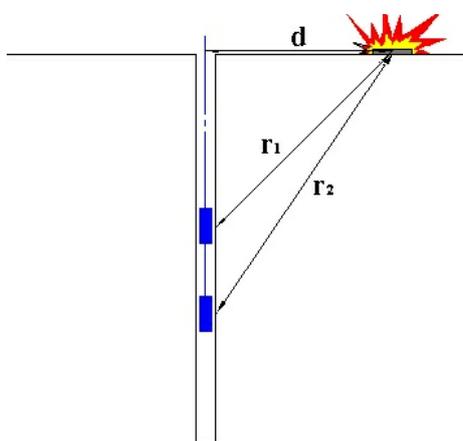


Figura 17 - Diagramma di una down-hole utilizzando il metodo d'intervallo.

Attraverso le misurazioni ottenute, è possibile calcolare il range di velocità delle onde P e S (Fig. 18), con la seguente formula:

$$v_{p,s} = \frac{z_2 - z_1}{t_{2cor} - t_{1cor}}$$

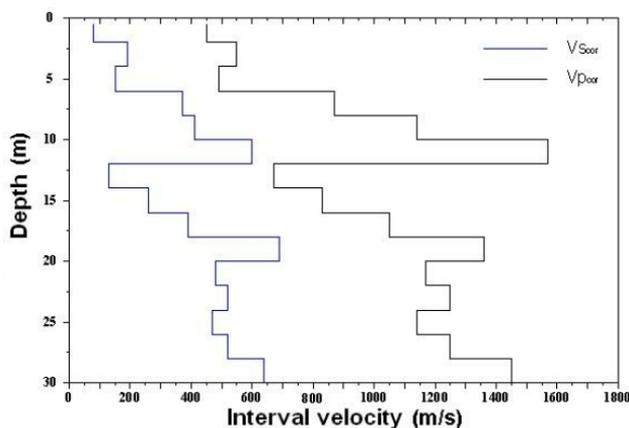


Figura 18 - Profilo di velocità sismica col metodo d'intervallo.

4.3. METODO HVSR

4.3.1. PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO E CENNI SUL METODO

La tecnica di sismica passiva a stazione sismica o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è una tecnica totalmente non invasiva. Si può applicare ovunque senza nessun tipo di perforazione e non ha bisogno di energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. Le registrazioni di microtremore ambientale, nelle sue tre componenti spaziali, rappresentano uno strumento per una microzonazione speditiva. Il microtremore ambientale (noise sismico) è un movimento minimo (nell'ordine di 10^{-2} - 10^{-6} mm) del terreno presente in qualsiasi punto della superficie terrestre e consiste per lo più nelle onde di superficie (Rayleigh e Love) prodotte dall'interferenza costruttiva delle onde P e S negli strati superficiali. Viene prodotto anche dal vento e dalle onde del mare e a frequenze alte da sorgenti di carattere antropico (industrie e traffico veicolare; Cessaro, 1994; Gutenberg, 1958). I risultati che si possono ottenere sono:

- la frequenza caratteristica di risonanza del sito, parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici così da evitare l'effetto della "doppia risonanza";
- la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio qualora la misura viene effettuata all'interno dello stesso;
 - stimare la velocità delle onde di taglio V_s a patto che si dispone di informazioni aggiuntive sul modello geologico del sottosuolo o si hanno informazioni di letteratura sul sito in esame (per es. profondità del bedrock sismico, stratigrafie da sondaggi a carotaggio continuo o profili V_s da prove MASW o di sismica a rifrazione).

Il metodo si basa sul rapporto spettrale tra la componente orizzontale (H) e quella verticale (V) (eseguito nel dominio delle frequenze). Esso fu introdotto come strumento speditivo per stimare l'incidenza delle condizioni locali sull'amplificazione dello scuotimento dovuto ad un sisma. Il principio si basa sul fatto che, misurando il rapporto H/V determinabile da microtremori, si stimano le frequenze che possono essere amplificate in caso di sisma.

4.3.2. FREQUENZA FONDAMENTALE DEL SITO

La prova sismica passiva a stazione singola mette in luce le frequenze alle quali il moto del terreno viene amplificato per risonanza stratigrafica (si ha risonanza stratigrafica quando si è in



SOCOTEC

INFRASTRUCTURE

presenza di terreni di copertura con spessore superiore a tre metri su di un substrato rigido), in quanto il rumore sismico agisce come sorgente di eccitazione. Un suolo vibra con maggiore ampiezza a specifiche frequenze non solo quando è eccitato da un terremoto ma anche quando è eccitato da un tremore di qualsiasi origine. Questo fa sì che la misura delle frequenze di risonanza dei terreni sia possibile ovunque ed in modo semplice, anche in assenza di terremoti. Le frequenze a cui si manifesta la risonanza sono descritte dalla relazione: $f=Vs/4h$ (formula semplificata) dove Vs è la velocità delle onde di taglio nello strato che risuona e h è lo spessore di detto strato. Dal grafico del rapporto tra le componenti spettrali orizzontale e verticale (Esempio in Fig.19a) viene evidenziata la frequenza (o più frequenze se si è in presenza di un profilo stratigrafico multistrato con contrasti di impedenza significativi) attraverso un "picco" della curva (in genere dovuto ad un minimo della componente verticale, riscontrabile negli spettri delle singole componenti; Fig.19b). La frequenza fondamentale del sito è da intendersi quella più significativa a bassa frequenza. Eventuali altre frequenze evidenziate (picchi secondari) se vicine alle frequenze di interesse ingegneristico (struttura) possono essere comunque significative.

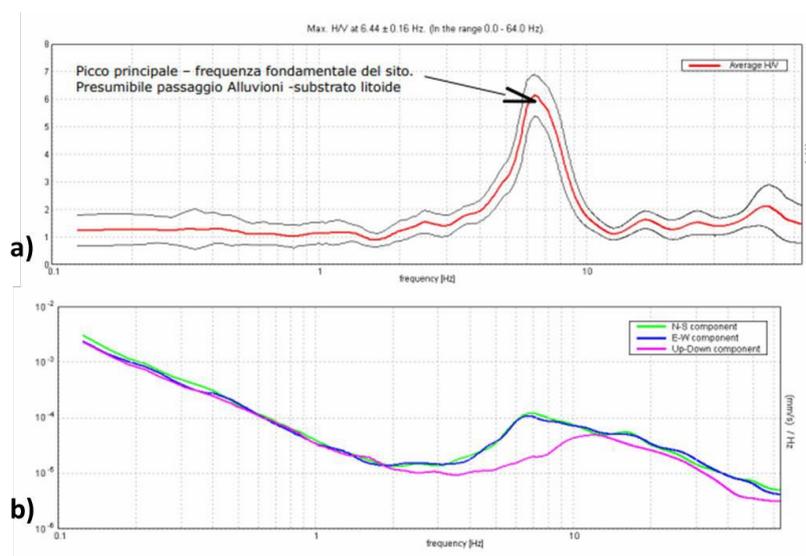


Figura 19 - a) Rapporto spettrale H/V; b) Esempio di spettri a singole componenti

Le frequenze di risonanza del sottosuolo costituiscono un parametro fondamentale per i progettisti, i quali devono evitare, o se non è possibile quanto meno tenere in debita considerazione nel dimensionamento delle strutture, i fenomeni di "doppia risonanza" che costituiscono la vera causa delle distruzioni generate da un terremoto.

4.3.3. PROFILI SISMICO-STRATIGRAFICI E PARAMETRO VSEQ

La legislazione antisismica (NTC 2018) adotta come parametro fondamentale per la stima degli effetti di sito la velocità media delle onde di taglio nei metri di sottosuolo fino all'intercettazione del bedrock, parametro comunemente chiamato Vseq. Stime di Vseq sono perciò necessarie quasi ovunque per la microzonazione sia a grande scala che alla scala dei singoli edifici. La curva sperimentale HVSR viene "fittata" con una curva teorica usando come vincolo lo spessore dello strato più superficiale (o altro orizzonte il cui picco H/V è individuabile sulla curva sperimentale) di sottosuolo (generalmente noto dalle indagini geotecniche necessarie per legge per ogni progettazione edilizia, come ad esempio prove penetrometriche; Fig.20), basandosi sulla nota equazione che lega la frequenza di risonanza (f) allo spessore (h) dello strato e alla velocità delle onde di taglio (Vs): $f=Vs/4h$ (da cui $h=Vs/4f$).

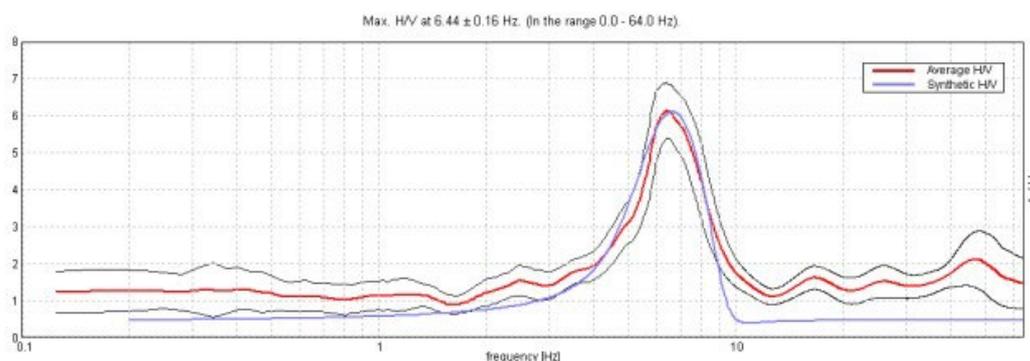


Figura 20 - esempio di fittaggio del modello teorico

4.3.4. ACQUISIZIONE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Esistono delle note linee guida (progetto SESAME) per acquisire dati utili alle analisi HVSR (Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations Measurements, Processing and Interpretation, http://sesame-fp5.obs.uifgrenoble.fr/Delivrables/Del-_D23_HV_User_Guidelines.pdf). I dati vengono acquisiti attraverso il Tromino della Micromed.


Figura 21 - Tromino della Micromed

In Tabella 6 sono elencate le caratteristiche dello strumento.

Tromino	
Numero dei canali velocimetrici	3 canali velocimetrici per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale e 3 per la registrazione di vibrazioni forti.
Numero dei canali accelerometrici	3 canali per il monitoraggio di vibrazioni.
Numero dei canali analogici	1 (es. trigger esterno).
GPS	ricevitore GPS integrato, antenna interna e/o esterna per localizzazione e/o sincronizzazione tra diverse unità.
Intervallo di frequenza	0.1 – 1024 Hz con conversione A/D > 24 bit equivalenti a 128 Hz.
cavo esterno	Nessuno

Tabella 11 - Specifiche tecniche del Tromino

Per tutte le misure l'intervallo di registrazione utilizzato è di 40 minuti con una frequenza di campionamento pari a 128 Hz. Per una migliore valutazione della direzionalità del segnale, lo strumento è stato messo in bolla ed orientato con il nord strumentale rispetto al nord magnetico. Importante è la messa in bolla dello strumento al fine di minimizzare gli errori come, ad esempio, il cosiddetto "effetto del tilting" che può essere provocato da un cambiamento della livellazione mentre si effettua la misura producendo una perturbazione della forma della curva H/V risultante soprattutto nella sua parte in bassa frequenza. Importante è anche orientare il N sul sensore secondo il nord geografico, per convenzione; in questo caso il terzo canale, (connessione al geofono orizzontale N-S) è quello maggiormente eccitato. Le registrazioni sono state suddivise in intervalli temporali di durata di 20 secondi; è stata eseguita, quindi, un'analisi spettrale delle tre componenti e calcolato il rapporto spettrale per ognuno dei segmenti temporali ottenuti. Durante tale operazione è stata eseguita una "lisciatura" dello spettro, con una finestra temporale pari al 10 % della frequenza centrale. La curva H/V finale è stata ottenuta come media dei rapporti spettrali su tutti i segmenti. In alcuni casi è stato

INFRASTRUCTURE

necessario eliminare alcuni dei segmenti temporali in cui erano presenti i cosiddetti "transienti", cioè rumore sismico elevato e occasionale (in genere di origine antropica). I risultati finali dell'elaborazione consistono in modelli modimensionali che riportano una stima delle velocità delle onde di taglio in relazione alla profondità.

I dati acquisiti attraverso le misure a stazione singola HVSR sono stati elaborati mediante il software Grilla V.6.1 (Micromed). Nello specifico, Grilla è il software creato per archiviare, gestire, visualizzare ed analizzare le registrazioni del Tromino. I diversi moduli del software permettono di effettuare:

- Analisi spettrale completa delle tracce, calcolo delle curve H/V per la determinazione delle frequenze di risonanza del sottosuolo;
- Procedure di pulizia dei tracciati nel dominio del tempo e della frequenza, test sulla significatività dei picchi secondo le linee guida europee;
- determinazione delle frequenze dei modi di vibrare delle strutture con rimozione dell'effetto di sottosuolo;
- analisi direzionale, confronto tra analisi e registrazioni diverse, numerosi altri strumenti matematici di analisi;
- Referto automatico con tabelle e illustrazioni.

4.4. RISULTATI INDAGINI GEOFISICA

Le indagini geofisiche hanno consentito di ricostruire l'assetto lito-stratigrafico dell'area di indagine. In particolare, al fine di vincolare meglio i dati acquisiti in campagna, sono stati consultati i sondaggi geognostici effettuati.

Le indagini MASW e DH hanno restituito una categoria di suolo pressoché simile; in particolare, i terreni investigati vanno a collocarsi nella categoria di suolo di tipo B con valori di velocità equivalente di circa 460 m/s suggerendo la presenza di litologie compatte. I sondaggi geognostici, infatti, suggeriscono la presenza di sabbie molto addensate caratterizzate da un elevato numero di colpi SPT. Le indagini MASW e DH, tuttavia, non intercettano il basamento sismico, così come la tomografia di sismica a

INFRASTRUCTURE

rifrazione SRT1. La tomografia, sia in onda P che in onda Sh, evidenzia un graduale aumento delle velocità con la profondità; inoltre, nel settore iniziale dello stendimento si evidenzia un'area caratterizzata da valori maggiori di V_p e V_s i quali suggeriscono la presenza di una lente di materiale sabbioso mediamente più addensato.

L'HVSR1, adiacente alla DH_S04, ha restituito valori di V_s in accordo con quelli restituiti dalla DH; inoltre, identifica il basamento sismico a circa 60 m/s.

5. PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

I campioni indisturbati e rimaneggiati sono stati trasportati presso il laboratorio della SOCOTEC Italia srl sito in Montefredane (AV), alla via Campo di Fiume, 13 e sottoposti a prove di laboratorio così come concordato con la committenza.

Nel fascicolo 7 degli allegati, vengono riportati tutti i certificati ufficiali ed originali delle singole prove.

6. RILIEVO TOPOGRAFICO DEI PUNTI DI INDAGINE

6.1. STRUMENTAZIONE

A fine campagna sono stati battuti tramite GPS modello SANDING T3 VENUS, con le seguenti caratteristiche tecniche (fig.17)



Figura 22: strumentazione utilizzata

INFRASTRUCTURE**6.2. ACQUISIZIONE**

L'operazione di acquisizione consiste nel piazzamento della stadia in posizione verticale (mediante l'ausilio di livello sferica) su ciascun punto da rilevare.

Assicurata la presenza di copertura di segnale sufficiente per operare in collegamento con le stazioni delle Reti Dinamiche Nazionali si è proceduto nell'esecuzione dei rilievi con GPS in modalità NRTK, quindi acquisizione dei dati di campagna già georiferiti nel sistema internazionale di riferimento (WGS84).



Figura 23: acquisizione posizione GPS

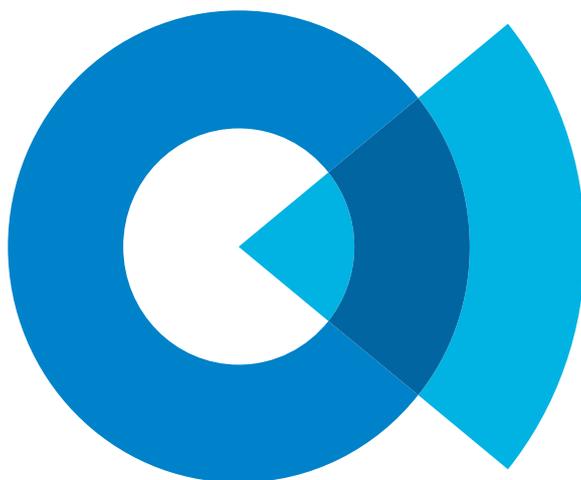
6.3. ELABORAZIONE E RESTITUZIONE

I punti rilevati con il GPS sono stati elaborati con il software dedicato ANDROID SOFTWARE SMARTRTK e restituiti in coordinate WGS84 (EPSG4326) e coordinate piane Gauss-Boaga (EPSG3003). Le coordinate dei punti di indagine sono riportate nella tabella di seguito.

PUNTO	Coord Gauss Boaga (EPSG3004)		Coord WGS84 (EPSG4326)		Quota Ellissoidica	Quota slm
					m	m
SI01pz	4256429,038	2600081,762	38°27'09,19787"N	15°55'03,83467"E	65,892	23,553
SI02pz	4256214,102	2600333,205	38°27'02,14438"N	15°55'14,11866"E	68,945	26,626
SI03dh	4256131,714	2600443,330	38°26'59,43618"N	15°55'18,62745"E	71,821	29,510
SI04dh	4256026,353	2600507,498	38°26'55,99760"N	15°55'21,23088"E	76,172	33,868
DPSH4	4255958,158	2600569,063	38°26'53,46121"N	15°55'23,59178"E	78,193	35,889
DPSH5	4256174,325	2600397,521	38°27'00,83324"N	15°55'16,75534"E	70,967	28,652
ADC 1 PA 01	4256296,558	2599914,368	38°27'04,95441"N	15°54'56,87506"E	48,003	5,661
ADC 1 PA 02	4256382,199	2599970,420	38°27'07,71443"N	15°54'59,22235"E	48,132	5,789
ADC 1 PA 03	4256319,740	2599954,282	38°27'05,69353"N	15°54'58,53108"E	48,395	6,054
ADC 1 PA 04	4256680,923	2600121,978	38°27'17,35567"N	15°55'05,59711"E	47,787	5,441
ADC 2 PA 05	4255885,918	2600330,255	38°26'51,49951"N	15°55'13,86185"E	71,521	29,214
ADC 2 PA 06	4255893,888	2600367,760	38°26'51,74595"N	15°55'15,41221"E	72,212	29,906
ADC 2 PA 07	4255963,202	2600354,458	38°26'53,99870"N	15°55'14,89201"E	71,002	28,693
ADC 2 PA 13	4255906,011	2600304,553	38°26'52,15962"N	15°55'12,80993"E	70,634	28,325
ADC 2 PA 14	4256103,386	2600572,750	38°26'58,47525"N	15°55'23,95434"E	76,100	33,797
PZ10	4255908,844	2600432,529	38°26'52,21011"N	15°55'18,08999"E	74,800	32,497
PZ11	4256456,218	2600024,454	38°27'10,09807"N	15°55'01,48176"E	48,097	5,754
PZ ARC01	4255919,088	2600376,507	38°26'52,56057"N	15°55'15,78336"E	72,579	30,273
PZ ARC02	4256378,868	2600191,791	38°27'07,53493"N	15°55'08,35293"E	65,599	23,267
PZ ARC03	4256461,929	2600100,127	38°27'10,25890"N	15°55'04,60575"E	65,349	23,009
HVSR1	4256045,572	2600512,501	38°26'56.31523"N	15°55'21.29475"E	76,326	34.022
MASW1	4256499,885	2600014,569	38°27'11.21425"N	15°55'00.94125"E	47,841	5,499
MASW2	4256259,233	2600346,336	38°27'3.30023 "N	15°55'14.52841"E	68,445	26,126
SRT1A	4256430,321	2600157,777	38°27'08.91125"N	15°55'06.82035"E	71,703	29,451
SRT1B	4256276,941	2600360,261	38°27'3.87012"	15°55'15.11014"E	72,264	30,012

7. INDAGINI AMBIENTALI

Per le indagini ambientali sono descritte in dettaglio nel fascicolo 10



SOCOTEC

Committente:  **anas**

CONTRATTO APPLICATIVO n. 17: Servizi indagini geognostiche, geofisiche, di laboratorio e di monitoraggio geotecnico-geomorfologico, a supporto della progettazione definitiva dell'intervento "UC167 - Autostrada A2 "Mediterranea" – viabilità complementare – Porto di Gioia Tauro – Lavori di potenziamento funzionale raccordo stradale sud alla rete TEN-T – Collegamento Porto di Gioia Tauro gate sud – A2 (Il Lotto: dallo svincolo con la SS18 allo svincolo con l'A2 compreso)

COD: UC167

CLASS. AMM.VA: UC1803L8C17

CODICE PPM: CLNOUC00242

CIG: 91171416C2

REV	DATA	Descrizione	Preparato	Verificato	Approvato
00	30/05/202	Prima emissione	Piero De Cenzo	Merola Lorenzo	Massimo De Iasi

RAPPORTO TECNICO CONCLUSIVO INDAGINI

Sommario

1. PREMESSA	4
2. INDAGINI DIRETTE	5
2.1. SONDAGGI GEOGNOSTICI	5
2.1.1. PRELIEVO CAMPIONI GEOTECNICI	7
2.1.2. PROVE SPT	7
2.1.3. INSTALLAZIONI IN FORO	9
2.1.4. PROVE DI PERMEABILITÀ TIPO LEFRANC	10
2.1.5. PROVE PRESSIOMETRICHE MENARD	12
2.2. PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE	15
2.2.1. STRUMENTAZIONE	15
2.2.2. METODOLOGIA DELLA PROVA	16
2.3. POZZETTI ESPLORATIVI GEOTECNICI, ARCHEOLOGICI ED AMBIENTALI	17
2.3.1. PROVE DI CARICO SU PIASTRA	18
2.3.2. ATTREZZATURA	18
3. INDAGINE MAGNETOMETRICA PER LA VERIFICA MASSE METALLICHE	21
4. INDAGINI GEOFISICHE	22
4.1. SISMICA A RIFRAZIONE	22
4.1.1. PRINCIPI BASE DEL METODO	22
4.1.2. FATTORI DI INFLUENZA DELLE VELOCITÀ SISMICHE	24
4.1.3. STRUMENTAZIONE IMPIEGATA	26
4.1.4. SCHEMA DI ACQUISIZIONE	28
4.1.5. PROCESSING	28
4.2. PROSPEZIONE SISMICA DOWN HOLE	30
4.2.1. PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO E CENNI SUL METODO	30
4.2.2. ACQUISIZIONE	30
4.2.3. ATTREZZATURA	31
4.2.4. PROCESSING INDAGINE DOWN HOLE	32
4.3. METODO HVSR	36
4.3.1. PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO E CENNI SUL METODO	36
4.3.2. FREQUENZA FONDAMENTALE DEL SITO	36
4.3.3. PROFILI SISMICO-STRATIGRAFICI E PARAMETRO V_{SEQ}	37
4.3.4. ACQUISIZIONE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	38
4.4. RISULTATI INDAGINI GEOFISICA	40
5. PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO	40



SOCOTEC

INFRASTRUCTURE

6. RILIEVO TOPOGRAFICO DEI PUNTI DI INDAGINE	40
6.1. STRUMENTAZIONE	40
6.2. ACQUISIZIONE	41
6.3. ELABORAZIONE E RESTITUZIONE	42
7. INDAGINI AMBIENTALI	42

ALLEGATI:

- FASCICOLO 1 - STRATIGRAFIE SONDAGGI;
- FASCICOLO 2 - PROVE IN FORO;
- FASCICOLO 3 - STRATIGRAFIE POZZETTI ESPLORATIVI;
- FASCICOLO 4 - PROVE DI CARICO SU PIASTRA;
- FASCICOLO 5 - SCHEDE MONOGRAFICHE PUNTI DI INDAGINE;
- FASCICOLO 6 - INDAGINE MAGNETOMETRICA;
- FASCICOLO 7 - PROVE LABORATORIO;
- FASCICOLO 8 - GEOFISICA;
- FASCICOLO 9 - PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE
- FASCICOLO 10 - ANALISI CHIMICHE

AVELLINO DEPARTMENT

Via Campo di Fiume, 13 – 83030 Montefredane (AV)
Tel.: +39 0825 24353 - Fax.: +39 0825 248705

SOCOTEC ITALIA Srl – P.Iva 01872430648 - Capitale sociale 7.144.000,00 euro
Sede Legale: Via Bariola, 101-103 - 20020 Lainate (MI)
Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099

www.socotec.it

INFRASTRUCTURE

Di seguito si riporta foto aerea con ubicazioni delle indagini (fig. 1)

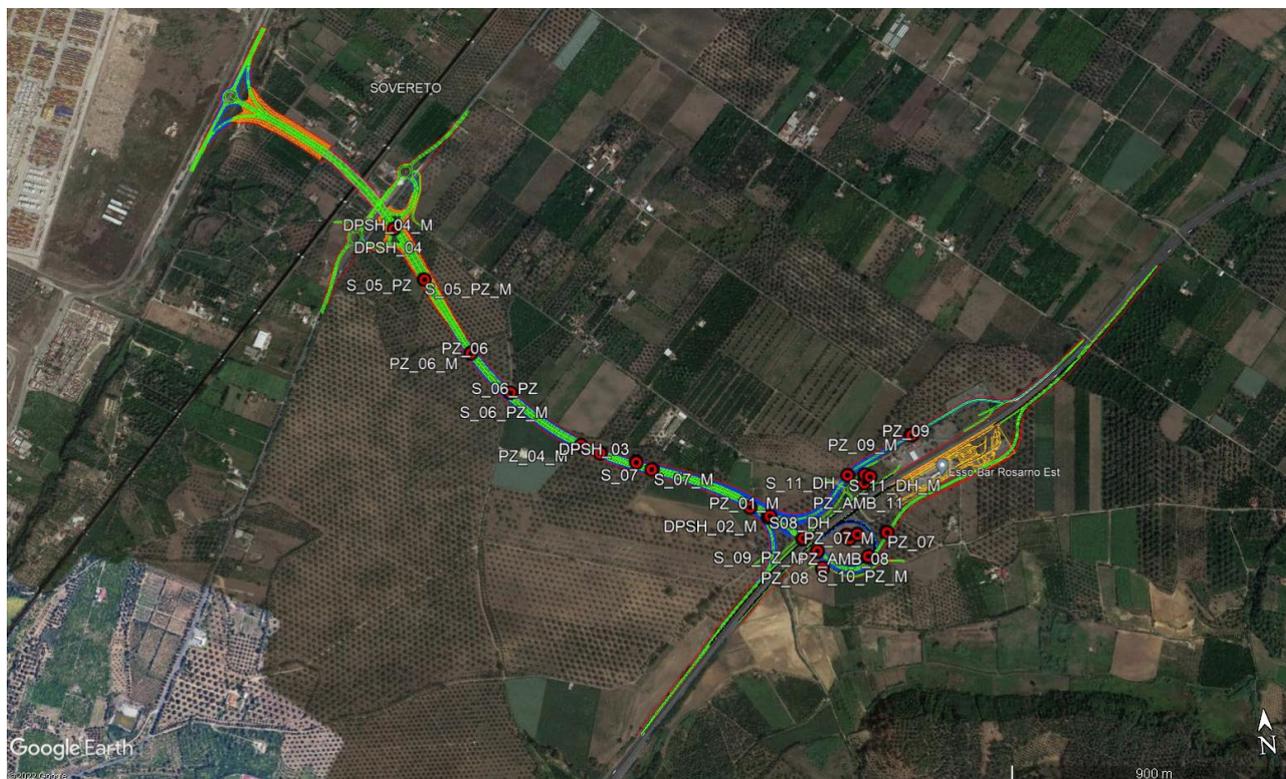


Figura 1: Ubicazioni indagini.

2. INDAGINI DIRETTE

2.1. SONDAGGI GEOGNOSTICI

I sondaggi geognostici a carotaggio continuo sono stati eseguiti rispettando le specifiche allegato al contratto, le Raccomandazioni AGI (1984) e le Modalità Tecniche ANISG (1977).

Sono stati eseguiti complessivamente n°7 sondaggi eseguiti a carotaggio continuo per la definizione stratigrafica, prove S.P.T, prove di permeabilità e prelievo campioni sia indisturbati che rimaneggiati. Di seguito lo schema dei sondaggi effettuati con indicazione della profondità, del tipo di condizionamento del foro, delle prove in sito e prelievo di campioni sia geotecnici che ambientali.

Sond.	Lungh. [m]	Campioni	S.P.T.	Piez.	D.H.
S05 PZ	20,00	4	5	X	-
S06 PZ	20,00	3	4	X	-
S07 PZ	10,00	6	3	-	-
S08 DH	30,00	-	-	-	X
S09 PZ	30,00	9	7	X	-
S10 PZ	20,00	4	5	X	-
S11 DH	20,00	8	5	-	X

Tabella 1: Schema indagini eseguite.

INFRASTRUCTURE

Le caratteristiche tecniche delle sonde di trivellazione utilizzate per la realizzazione dei sondaggi sono riassunte nella seguente tabella:

VELOCITA' DI ROTAZIONE (giri/min)	500
COPPIA MASSIMA (daNm)	900
CORSA MASSIMA (cm)	350
SPINTA (daN)	6300
ARGANO A FUNE	SI
DAC TEST	-

Tabella 2: Caratteristiche tecniche delle Sonde di perforazione.

Le operazioni sono state eseguite da personale specializzato in perforazioni. La squadra operativa è stata composta da n°1 sondatore, n° 2 aiuto sondatore e dal geologo, il quale ha provveduto al rilievo stratigrafico dei terreni attraversati e alla conservazione delle carote estratte in apposite cassette catalogatrici, alla realizzazione dei report giornalieri e agli elaborati stratigrafici, al prelievo dei campioni ambientali di terreno e di acque sotterranee.

I sondaggi a carotaggio continuo, sono stati eseguiti a rotazione con il metodo classico con sistema ad aste e carotiere.

Tale perforazione avviene tramite aste di collegamento che vengono tirate su dopo ogni manovra (tratto perforato) per estrarre dal carotiere, posto alla base della colonna di aste, la carota di sedimento. Il raggiungimento di profondità maggiori avviene aggiungendo in superficie aste alla batteria. Le aste impiegate hanno diametro tra 76.1 mm.

Gli utensili di perforazione prevalentemente usati sono stati: carotiere semplice T1 con corone al widia, valvole di testa, valvole a farfalla e cestelli per il prelievo di materiale a bassa consistenza. Gli stessi carotieri sono stati utilizzati per la pulizia del foro.

Per il rivestimento dei fori sono stati usati Tubi metallici filettati del diametro esterno nominale da 127 mm e 152mm in funzione della strumentazione da installare in foro.

Le carote estratte nel corso della perforazione sono state sistemate in apposite cassette catalogatrici munite di scomparti divisorii e coperchio apribile di dimensioni 5m X 1m.

Su ogni cassetta è stato indicato l'oggetto, il cantiere, la profondità, ed il codice del sondaggio e fotografate.



Figura 2: Cassetta catalogatrici.

La stratigrafia dei terreni attraversati del singolo sondaggio è riportata nel fascicolo I degli allegati.

2.1.1. PRELIEVO CAMPIONI GEOTECNICI

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono stati prelevati campioni geotecnici con campionatori Shelby e campioni rimaneggiati. I campioni sono stati successivamente sottoposti ad analisi di laboratorio.

2.1.2. PROVE SPT

Le prove SPT vengono eseguite seguendo la normativa vigente (AGI, 1977) nonché dalle norme presente sul capitolato speciale d'appalto.

La prova consente di determinare la resistenza di un terreno alla penetrazione dinamica di un campionatore infisso a partire dal fondo di un foro di sondaggio.

La strumentazione impiegata consiste in:

- Tubo campionario apribile longitudinalmente: \varnothing est= 50.8 mm; \varnothing int= 35 mm L minima (escluso tagliente principale)>457 mm; L utile = 630 mm;
- La scarpa tagliente terminale (con rastremazione negli ultimi 19 mm) = 76 mm; il campionario sarà munito di valvola a sfera alla sommità e aperture di scarico e sfiato;
- Massa battente di peso 63,5 kg che cada da 75 cm di altezza;
- Aste collegate al campionario aventi peso per metro lineare 6.5 kg (± 0.5 kg/ml). Le aste saranno diritte, ben avvitate in corrispondenza dei giunti e con flessione totale della batteria pronta per la prova $< 1^\circ$. La caduta del maglio deve essere libera; pertanto deve essere adottato un dispositivo di sgancia.

Di seguito si riporta tabella con le risultanze delle prove SPT eseguite

**SOCOTEC****INFRASTRUCTURE**

SONDAGGIO	Tipologia prova SPT	Profondità prova	N1	N2	N3
S05 PZ	Punta chiusa	3,00-3,45	13	16	23
	Punta chiusa	6,40-6,85	15	20	32
	Punta chiusa	9,20-9,65	18	31	46
	Punta chiusa	12,00-12,23	38	R	-
S06 PZ	Punta chiusa	3,00-3,45	9	15	30
	Punta chiusa	6,00-6,20	37	R	-
	Punta chiusa	10,00-10,17	43	R	-
	Punta chiusa	17,50-17,70	42	R	-
S07 PZ	Punta chiusa	3,00-3,45	11	17	35
	Punta chiusa	6,00-6,45	15	25	35
	Punta chiusa	9,00-9,45	18	23	30
S08 DH	Punta chiusa	3,50-3,68	45	R	-
	Punta chiusa	7,00-7,45	19	27	30
	Punta chiusa	10,00-10,45	19	31	43
	Punta chiusa	14,00-14,45	21	30	40
	Punta chiusa	17,50-17,95	25	32	46
	Punta chiusa	21,00-21,17	43	R	-
	Punta chiusa	22,50-22,95	35	42	50
S09 PZ	Punta chiusa	3,00-3,45	13	22	30
	Punta chiusa	6,00-6,45	18	25	27
	Punta chiusa	9,00-9,45	20	28	32
	Punta chiusa	12,00-12,45	19	26	37
	Punta chiusa	15,00-15,45	25	32	33
	Punta chiusa	19,00-19,45	22	26	26
	Punta chiusa	24,20-20,42	34	R	-
S10 PZ	Punta chiusa	3,20-3,65	11	16	16
	Punta chiusa	6,00-6,45	20	22	24
	Punta chiusa	9,50-9,95	24	39	46
	Punta chiusa	12,50-12,95	28	41	42
	Punta chiusa	16,40-16,75	30	48	R
	Punta chiusa	19,00-19,22	45	R	-
S11 DH	Punta chiusa	3,40-3,85	1	2	2
	Punta chiusa	6,00-6,45	9	13	21
	Punta chiusa	9,50-9,95	16	23	25
	Punta chiusa	12,00-12,40	25	35	40
	Punta chiusa	15,00-15,21	38	R	-

Tabella 3: Tabella SPT

AVELLINO DEPARTMENT
Via Campo di Fiume, 13 – 83030 Montefredane (AV)
Tel.: +39 0825 24353 - Fax.: +39 0825 248705

SOCOTEC ITALIA Srl – P.Iva 01872430648 - Capitale sociale 7.144.000,00 euro
Sede Legale: Via Bariola, 101-103 - 20020 Lainate (MI)
Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099
www.socotec.it

2.1.3. INSTALLAZIONI IN FORO

Tubi per la down hole

I tubi per la Down hole sono stati installati nel sondaggio S08 E S11.

Si tratta di tubi in PVC da 80 mm di diametro interno e dello spessore di 4 mm, in spezzoni da 3 m assemblati tramite filettatura e nastro autovulcanizzante. All'estremità della prima colonna di tubi viene aggiunto un tubicino per l'iniezione della miscela cementante che avverrà a bassa pressione dal basso verso l'alto.

Una volta inserita la colonna di tubi in PVC all'interno del foro di sondaggio ultimato e protetto da rivestimenti metallici, si è provveduto alla cementazione tramite una miscela cementizia composta da acqua, cemento e bentonite in rapporto di peso 100:30:5 rispettivamente. La cementazione è avvenuta dal basso verso l'alto. Alla fine si è provveduto ad eseguire dei rabbocchi progressivi di cemento e si è posato in opera il chiusino metallico protettivo.

Piezometri a tubo aperto

I piezometri sono costituiti da batterie di tubi da 3m del diametro pari a 3" e giuntati tra loro mediante filetti.

Lo schema geometrico di installazione è stato concordato con la DD.LL. secondo le specifiche tecniche consegnate dalla committenza.

L'installazione dei piezometri è avvenuta sempre all'interno del foro di sondaggio protetto da rivestimenti metallici. Prima di introdurre la tubazione piezometrica nella colonna dei tubi di rivestimento si è provveduto a lavato il foro con acqua pulita.

Terminata le attività di installazione dei piezometri si è provveduto allo sviluppo/spurgo dello stesso.



Figura 3: Installazione piezometro, spurgo e prelievo campione acqua.

2.1.4. PROVE DI PERMEABILITÀ TIPO LEFRANC

Come previsto dal piano indagine fornitoci da L. D.D.L.L., sono state eseguite prove di permeabilità tipo Lefranc a carico variabile data la natura dei terreni prevalentemente a grana fine-media. La prova è destinata a misurare la conducibilità idrica del terreno; a seconda della geometria realizzata in corrispondenza del tratto di foro prescelto e quindi della direzione del flusso che si instaura durante la prova, la permeabilità misurata sarà quella orizzontale (K_h), quella verticale (K_v) o una media tra le due ($K_h \cdot K_v$).

La prova va eseguita in fase di avanzamento della perforazione in terreni non rocciosi, sotto falda o fuori falda, in quest'ultimo caso dopo avere saturato con acqua il terreno.

Nel caso di terreni a conducibilità non elevata si esegue a carico idraulico variabile; a carico idraulico costante nel caso di elevata conducibilità.

Per l'esecuzione della prova è necessario che le pareti del foro siano rivestite con tubo di rivestimento per tutto il tratto non interessato alla prova.

Le prove a carico variabile al di sotto del livello della falda possono essere eseguite abbassando il livello dell'acqua nel foro di un'altezza nota e misurando la velocità di risalita del livello (prove di risalita), oppure

INFRASTRUCTURE

riempiendo il foro d'acqua per un'altezza nota e misurando la velocità di abbassamento del livello (prova di abbassamento).

Il coefficiente di permeabilità K (m/s) può essere determinato utilizzando la seguente formula:

$$K = A / (F \cdot T)$$

dove:

- A = area della sezione trasversale del foro al livello dell'acqua, cioè la sezione del rivestimento (m²)
- F = fattore di forma che dipende dalla geometria della prova (m);
- T = tempo di riequilibrio (basic time-lag) (s)

Il calcolo del fattore di forma F viene eseguito con la soluzione analitica indicata da Hvorslev (1951), scelta in base alla geometria della prova.

Per la determinazione di T si devono diagrammare i valori del rapporto h/h_0 , in scala logaritmica, con i corrispondenti valori di tempo t in scala decimale ($t = 0$ all'inizio della prova quando $h/h_0 = 1$, essendo h l'altezza misurata e h_0 l'altezza iniziale).

Si traccia poi la retta che meglio collega i punti sperimentali diagrammati.

In qualche caso, i punti sperimentali per valori di h/h_0 vicini ad 1 possono seguire una curva; ciò deve essere trascurato e la linea retta va tracciata attraverso i restanti punti.

Si disegna quindi una retta parallela a quella precedente, ma che passa per l'origine degli assi ($h/h_0 = 1$; $t = 0$).

Il valore del tempo t letto in corrispondenza del rapporto $h/h_0 = 0.37$ è il valore richiesto del tempo di riequilibrio T . Le prove di permeabilità eseguite sono raccolte nel fascicolo II "**prove di permeabilità Lefranc**". La tabella 4 riporta una ricapitolazione dei valori ottenuti dalle prove di permeabilità Lefranc all'interno dei sondaggi geognostici.

SONDAGGIO	Profondità Prova (m)	K (m/s)
S05 PZ (prova 1)	6,00	2,21E ⁻⁰⁶
S05 PZ (prova 2)	15,50	8,91E ⁻⁰⁷
S06 PZ (prova 1)	10,00	1,16E ⁻⁰⁶
S06 PZ (prova 2)	16,50	3,76E ⁻⁰⁷
S07 PZ (prova 1)	7,50	9,68E ⁻⁰⁷
S08 DH (prova 1)	4,50	4,26E ⁻⁰⁶
S08 DH (prova 2)	13,00	1,48E ⁻⁰⁶
S09 PZ (prova 1)	10,00	1,72E ⁻⁰⁶
S09 PZ (prova 2)	16,50	7,78E ⁻⁰⁷
S10 PZ (prova 1)	6,00	1,52E ⁻⁰⁶
S10 PZ (prova 2)	14,50	6,77E ⁻⁰⁷
S11 DH (prova 1)	5,00	2,21E ⁻⁰⁶
S11 DH (prova 2)	10,50	9,78E ⁻⁰⁷

Tabella 4: Risultati prove Lefranc.

2.1.5. PROVE PRESSIOMETRICHE MENARD

Come previsto dal piano indagine fornitoci dalla D.D.L.L., sono state eseguite prove pressiometriche tipo Menard. Per le suddette prove è stata utilizzata un sonda pressiometrica tricellulare del tipo Ménard-Apageo (Fig. 3).



Figura 4: Caratteristiche Pressiometro Menard.

Le prove sono state eseguite secondo le specifiche di Ménard del 1965 e, per quanto non compreso, secondo le seguenti normative e raccomandazioni:

- Norme ASTM D.4719-87 Standard Test Methods for Pressuremeter Testing in Soils (1994).
- Le Pressiomètre Ménard. Notice general D.60 (edition 07/77) - Centre d'Etudes Géotechniques Louis Ménard.
- Méthode d'essai LPC n.15-10 (1988). Essai pressiométrique normal. Norme Française NF 94-110 "Essai pressiométrique Ménard".

La prova pressiometrica MPM consiste nella misurazione delle dilatazioni indotte in una cella facente parte di una sonda tricellulare, calata in foro di sondaggio appositamente realizzato con un carotiere da 62 mm.

La sonda pressiometrica si compone di una sonda cilindrica ad espansione idraulica costituita da una cella centrale o cella di misurazione e da due celle di guardia laterali; le misurazioni vengono effettuate sulla

INFRASTRUCTURE

cella centrale che, posta in pressione dalla massa d'acqua iniettata all'interno, si espande radialmente. Le celle di guardia, dilatate dal gas, mantengono costante la geometria del sistema, impedendo che la cella centrale abbia deformazioni diverse da quelle radiali.

La prova viene eseguita imponendo incrementi di carico mantenuti costanti per 60" e con letture intermedie a 30", misurando le dilatazioni della cella centrale e, quindi, le corrispondenti deformazioni volumetriche del terreno.

Le pressioni vengono lette in superficie da manometri di precisione dotati di scale differenziate, mentre le deformazioni vengono rilevate da un sistema volumetrico. Le pressioni lette al manometro vengono depurate della pressione d'inerzia della sonda.

La taratura di pressione della sonda è effettuata prima delle prove, facendo espandere liberamente la cella pressiometrica e registrando i volumi di equilibrio a 60" per ogni incremento di pressione, fino alla capacità massima tollerata della guaina. Viene eseguita anche una taratura dell'insieme sonda - cavi - centralina sulle variazioni di volume (taratura di volume); le dilatazioni misurate, anche se di entità trascurabile, sono dovute all'elasticità dei tubi ed alla compressibilità del fluido. La membrana viene dilatata all'interno di un tubo metallico indeformabile aumentando la pressione fino al valore massimo di prova.

Essendo le pressioni di circuito lette in superficie in corrispondenza del manometro, ad un'altezza di circa 0.75 m dal p.c., le pressioni al livello della cella differiscono da quelle misurate di una quantità pari all'altezza della colonna d'acqua nei tubi. Alla pressione letta è stata così sommata la pressione dovuta alla colonna d'acqua (correzione idrostatica).

I dati registrati durante la prova sono:

- pressione letta al manometro;
- volume iniettato a 30";
- volume iniettato a 60".

Da questi volumi si risale alla variazione del volume fra la lettura a 30" e la lettura a 60" ($V_{60} - V_{30}$), a pressione costante (volume di fluage) e la variazione di volume fra le letture a 60" di due gradini di pressione successivi. Queste due variazioni di volume permettono di controllare lo sviluppo della prova e stimare la pressione di fine prova.

Il grafico pressione - volume è messo in parallelo con il grafico del volume di fluage. La forma della curva di fluage, infatti, è indicativa per l'individuazione sia della pressione di ricompressione P_0 (e quindi del volume V_0) di inizio del tratto pseudo-elastico della curva (lineare) sia della pressione finale del tratto rettilineo P_f

INFRASTRUCTURE

(e quindi del volume V_f). Individuato il tratto rettilineo della curva, si può stimare il modulo pressiométrico normalizzato di Ménard E_p attraverso la relazione:

$$E_p = 2 \cdot (1 + \nu) \cdot V_m \cdot \Delta P / \Delta V$$

V_m = volume medio della cella nel tratto pseudo-elastico; ΔP = variazione di pressione nel tratto pseudo-elastico; ΔV = variazione di volume nel tratto pseudo-elastico.

Il volume medio della cella può essere stimato dalla relazione:

$$V_m = V_i + (V_f + V_o) / 2$$

dove V_i = volume iniziale teorico della cella (535 cm³ nel caso del pressiométrico utilizzato).

La pressione limite che corrisponde convenzionalmente alla pressione a cui si raggiunge il volume $V_l = V_i + 2V_o$, non è praticamente raggiungibile in fase di prova poiché comporterebbe una rottura totale del terreno con conseguente espansione infinita della sonda.

Essa può essere però stimata a partire dal grafico bilogarithmico pressione-variazione relativa di volume ($\Delta v/v$), sul quale in prossimità della pressione limite la curva assume un andamento rettilineo e tende al valore $\Delta v/v = 1$ in corrispondenza della pressione limite P_l . Tale procedura per stimare P_l sembra essere la più conservativa.

Per ricavare il valore della "Cu", in accordo con gli studi più accreditati, si sono utilizzate le seguenti relazioni (Amar e Jezequel 1972):

$$C_u = P_l / 5,5 \text{ per } P_l < 0,3 \text{ Mpa}$$

$$C_u = P_l / 10 + 0,025 \text{ per } P_l > 0,3 \text{ MPa}$$

La tabella 5 riporta la profondità della prova eseguita.

	Profondità prova (m)	Volume limite (cm ³)	Pressione limite netta [P _l] (kPa)	Modulo pressiométrico [E _p] (kPa)	Modulo di Young [E] (kPa)
S05 PZ	10,00	1093	7247	30073	91130
S06 PZ	8,00	1095	7247	26598	80600
S08 DH (prova 1)	9,00	1091	7247	26152	79248
S08 DH (prova 2)	16,00	953	7247	30012	90945
S09 PZ (prova 1)	8,00	1025	7247	14153	42888
S09 PZ (prova 2)	21,00	717	7247	41665	126258
S10 PZ (prova 1)	7,00	1065	7247	24933	75555
S10 PZ (prova 2)	16,00	937	7247	39357	119264
S11 DH (prova 1)	7,00	1133	7247	25717	77930
S11 DH (prova 2)	13,00	915	7247	32764	99285

Tabella 5: Sintesi valori dei moduli pressiométrici ottenuti da prove pressiométriche Ménard

INFRASTRUCTURE
2.2. PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

Le indagini hanno previsto la realizzazione di 3. prove DPSH spinte fino al rifiuto strumentale, nello specifico sono state eseguite:

	Prof (m)	Coord Gauss Boaga (EPSG3004)		Coord WGS84 (EPSG4326))		Quota Ellissoidica	Quota slm
DPSH01	5,00	4254804,361	2601840,022	38°26'15,92215"N	15°56'15,68459"E	91,328	49,140
DPSH02	4,20	4254881,732	2601737,041	38°26'18,46589"N	15°56'11,46972"E	88,270	46,073
DPSH03	4,60	4255132,160	2601201,001	38°26'26,76535"N	15°55'49,46561"E	86,366	44,131

La prova consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica infissa nel terreno per battitura. La prova fornisce informazioni di tipo continuo poiché le misure della resistenza alla penetrazione vengono eseguite durante tutta l'infissione.

2.2.1. STRUMENTAZIONE

Nella presente indagine è stato impiegato un penetrometro DPSH (Superpesante) tipo "Emilia" le cui caratteristiche sono riportate qui di seguito:

- Peso Massa Battente (M) = 63.50 Kg
- Altezza Caduta Libera (H) = 0.75 m
- Peso Sistema Battuta (M') = 2.0 Kg
- Diametro Punta Conica = 52.0 mm
- Area Base Punta Conica (A) = 21.24 cm²
- Angolo Apertura Punta = 60 °
- Lunghezza delle Aste = 1.50 m
- Peso Aste (M') = 8.3 Kg
- Avanzamento Punta = 0.30 m
- Numero Di Colpi N = N(30) di 30 cm
- Penetrazione per Colpo (e) = 1/N(30)
- Rivestimento / Fanghi = No



Figura 5: Penetrometro dinamico (DPSH1, DPSH2, DPSH3).

2.2.2. METODOLOGIA DELLA PROVA

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno una punta conica metallica posta all'estremità di un'asta d'acciaio, prolungabile con l'aggiunta di successive aste. L'infissione avviene per battitura, facendo cadere da un'altezza costante un maglio di un peso standardizzato.

Durante l'esecuzione della prova vengono contati i colpi necessari ad infiggere di una determinata lunghezza, un tratto di asta. La resistenza del terreno è funzione diretta del numero di colpi necessari ad effettuare l'infissione.

Esistono attrezzature penetrometriche con diverse altezze di caduta, pesi della massa battente, diametri di asta e angoli di apertura della punta.

Nella presente indagine è stato impiegato un penetrometro DPM30

L'energia cinetica propria di ciascun colpo è il prodotto della massa del maglio per l'accelerazione di gravità e per l'altezza di caduta ($M \times g \times H$). I risultati di diversi tipi di prove dinamiche possono essere presentati (e/o paragonati) come valori di resistenza r_d o q_d , dove:

$$rd = MgH/Ae = MPa$$

$$qd = M/(M+M') * MgH/Ae = MPa$$

I valori di rd e qd non sono correlabili con le resistenze del terreno e, specie in presenza di elevate resistenze, i grafici rd o qd devono essere analizzati con precauzioni.

I risultati delle prove eseguite sono riportati nel fascicolo 9 allegato

2.3. POZZETTI ESPLORATIVI GEOTECNICI, ARCHEOLOGICI ED AMBIENTALI

Le indagini hanno previsto la realizzazione di 14 pozzetti su terreno naturale, spinti fino ad una profondità massima di circa 2,00 m dal p.c., allo scopo di:

- verificare in dettaglio la stratigrafia degli strati più superficiali;
- eseguire prove di carico su piastra circolare al di sotto dello spessore di terreno di scotico di 0.30 metri;
- prelievo di campioni geotecnici rimaneggiati sui quali eseguire prove di laboratorio geotecnico (analisi granulometrica e limiti di Atterberg) atte a definire il gruppo di appartenenza dei terreni nell'ambito della classificazione di una terra ad uso stradale
- prelievo di campioni da sottoporre ad analisi chimiche per caratterizzazione ambientale.
- Saggi archeologici con sorveglianza di un archeologo incaricato dalla committenza

Di seguito Si riporta dettaglio delle attività eseguite in ogni singolo pozzetto con le note relative ad eventuali variazioni rispetto al piano di indagine originario.

Pozzetto esplorativo	Prelievo campioni ambientali	Prelievo campioni geotecnici	Prova di carico su piastra	Note
PZ 01	-	2	1	
PZ 03	-	2	1	
PZ04	3	2	1	
PZ06	3	2	1	
PZ07	3	2	1	
PZ08	-	2	1	
PZ09	3	2	1	
PZ AMB 08	1	-	-	
PZ AMB 09	1	-	-	
PZ AMB 10	1	-	-	
PZ AMB 11	1	-	-	
PZ AMB 12	1	-	-	
PZ AMB 16	1	-	-	

Tabella 6: attività pozzetti esplorativi

2.3.1. PROVE DI CARICO SU PIASTRA

Sono state realizzate n.7 prove di carico a doppio ciclo con piastra circolare per la determinazione del modulo di deformazione M_d (CNR 146, a), ad una profondità di 0.30 metri all'interno dei pozzetti esplorativi.

Il modulo di deformazione M_d è una misura convenzionale della capacità portante dei terreni di sottofondo, degli strati di rilevato nonché degli strati legati di fondazione e di base delle pavimentazioni stradali.

Esso è determinato mediante prova di carico con piastra circolare ed è definito dalla relazione:

$$M_d = \frac{\Delta p}{\Delta s} \cdot D \text{ in N/mm}^2$$

in cui:

- Δp = incremento della pressione trasmessa da una piastra circolare rigida di diametro $D = 300\text{mm}$, espresso in N/mm^2 ;
- Δs = corrispondente incremento di cedimento della superficie caricata, espresso in mm.

o il modulo $M_d = \frac{\Delta p}{\Delta s}$ convenzionalmente indicativo della portanza (tale modulo, salvo le variazioni dell'unità di misura, è identico a quello determinabile con riferimento alla precedente norma C.N.R. B.U. n. 9 del 1967, essendo rimasta invariata la procedura di esecuzione della prova)

2.3.2. ATTREZZATURA

L'attrezzatura per l'esecuzione della prova è la seguente:

- Piastra circolare in acciaio di spessore non minore di 20mm e del diametro di $300 \pm 1\text{mm}$. Tale piastra deve essere irrigidita mediante apposite nervature oppure mediante altra piastra in acciaio, di spessore non minore di 20mm e del diametro di 160mm, sovrapposta coassialmente ad essa.
- Scatola cilindrica metallica, all'interno della quale, in corrispondenza del centro della cerniera sferica descritta in seguito, è ricavata una superficie piana su cui appoggiare la punta del comparatore posto al centro della piastra (procedura di prova a). Tale scatola può essere omessa nel caso in cui si adotti la procedura di prova tipo b.
- Cerniera sferica per il centramento del carico (bloccabile durante le operazioni di insediamento dell'attrezzatura), da disporre immediatamente al di sopra della piastra di carico



SOCOTEC

INFRASTRUCTURE

- Martinetto idraulico o meccanico della portata di circa 50KN, avente una sensibilità di 0,5 KN.
- Prolunga costituita da più aste cilindriche avvitate tra loro, in modo da consentire diverse lunghezze.
- Comparatori centesimali avente capacità di misura di 10mm, sensibilità di 1/100 di mm, ovvero n°3 comparatori dello stesso tipo nel caso di procedura di prova di tipo b.
- Braccio metallico snodabile portacomparatori, munito di dispositivo a vite micrometrica per l'azzeramento del comparatore (procedura a), ovvero n°3 bracci per procedura di prova di tipo b.
- Sostegno dei bracci portacomparatori costituito da una trave sufficientemente rigida, della lunghezza di circa 2,50m, munita all'estremità di due supporti per l'appoggio al terreno oppure, in alternativa, un sostegno costituito da due travi di uguale lunghezza di almeno 1,20m ciascuna, incernierati tra loro in modo da disporsi su tre supporti.
- Un contasecondi.

C.N.R. - Bollettino Ufficiale - (Norme tecniche) - Anno XXVI - N. 146

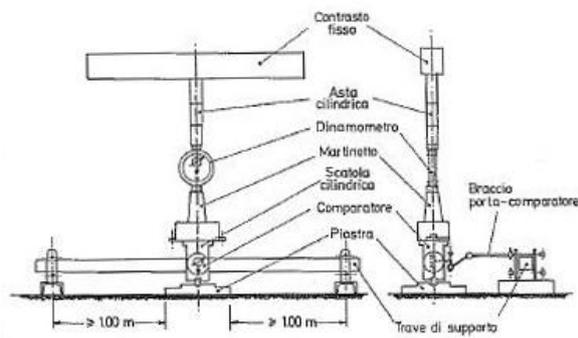


Fig. 1.

C.N.R. - Bollettino Ufficiale - (Norme tecniche) - Anno XXVI - N. 146

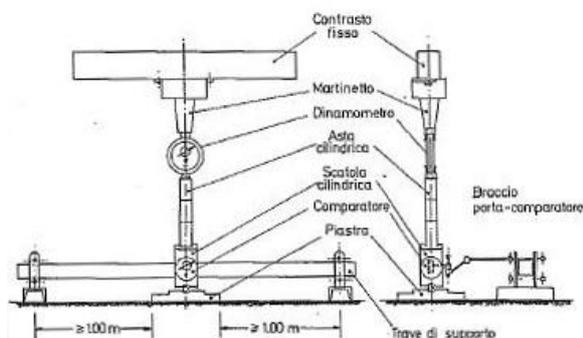


Fig. 2.

AVELLINO DEPARTMENT
Via Campo di Fiume, 13 – 83030 Montefredane (AV)
Tel.: +39 0825 24353 - Fax.: +39 0825 248705

SOCOTEC ITALIA Srl – P.Iva 01872430648 - Capitale sociale 7.144.000,00 euro
Sede Legale: Via Bariola, 101-103 - 20020 Lainate (MI)
Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099
www.socotec.it

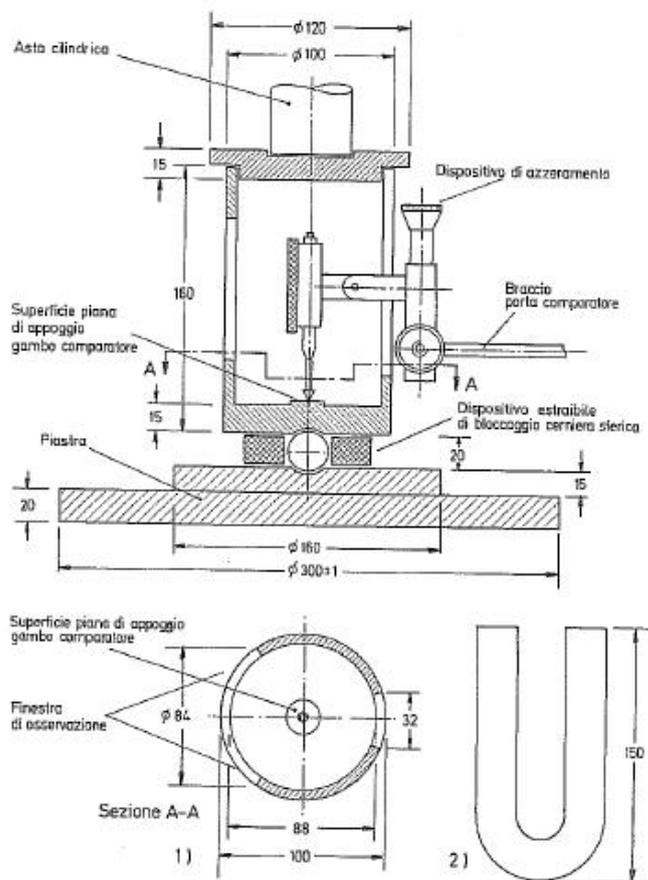


Fig. 3 - Scatola cilindrica
1, sezione A-A; dettaglio dispositivo estraibile bloccaggio cerniera sferica.

Per l'esecuzione di ciascuna prova, all'interno di ogni pozzetto, ad una profondità di 0.30 metri, il terreno è stato caricato progressivamente con step da 50 kPa fino alla pressione di 200 kPa; si è eseguito poi un ciclo di scarico fino a 50 kPa ed in fine un ciclo di ricarica fino a 200kPa.

È stato ricavato il modulo di deformazione Md ed Md' nell' intervallo di carico 50-150 kPa

Di seguito si riporta tabella riepilogativa dei risultati delle prove di carico su piastra e delle densità in sito

Pozzetto	Prof. prova (m)	Md (0,05 e 0,15 N/mm ²) (MPa)	Md' (0,05 e 0,15 N/mm ²) (MPa)	Grado di costipamento
PZ01	0,30	9	28	0,31
PZ03	0,30	5	67	0,08
PZ04	0,30	6	48	0,13
PZ06	0,30	6	26	0,24
PZ07	0,30	4	35	0,12
PZ08	0,30	5	44	0,11
PZ09	0,30	7	29	0,26

Tabella 7: Modulo Md ed Md'

INFRASTRUCTURE

3. INDAGINE MAGNETOMETRICA PER LA VERIFICA MASSE METALLICHE

Preliminarmente all'esecuzione di ogni sondaggio geognostico e dei pozzetti esplorativi, sono state eseguiti rilievi superficiali mediante Magnetometro tipo MAGNEX 120 LW della VOLTA (fig. 5) capace di rilevare variazioni del campo magnetico indotto dalla presenza di minerali ferromagnetici anche inferiori a 0,5 Nt.



Figura 6: Magnetometro tipo MAGNEX 120 LW della VOLTA

Le linee degli stendimenti elettro-magnetometrici sono state ubicate su base topografica fornita dalla committenza ed un opportuno rilievo speditivo di campagna.

I profili sono stati eseguiti facendo scorrere il magnetometro sul terreno, lungo strisciate tali da ricoprire una superficie di indagini di circa 100m² (fig.6). il centro dell'area investigata è stato individuato tramite rilievo GPS. In allegato si riportano i risultati delle indagini.



Figura 7: Area di indagine.

4. INDAGINI GEOFISICHE

Sono state realizzate n°1 indagini HVSR, n°2 MASW e n°4 prove sismiche a rifrazione. Le suddette indagini hanno l'obiettivo di definire l'assetto sismostratigrafico dell'area in esame.

4.1. SISMICA A RIFRAZIONE

4.1.1. PRINCIPI BASE DEL METODO

Le indagini indirette, ed in particolare la metodologia a rifrazione, permettono la ricostruzione areale delle geometrie e degli spessori dei depositi di copertura, la profondità del substrato (entro i limiti di penetrazione del metodo), la verifica di eventuali discontinuità laterali, nonché di determinare le caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali attraverso la determinazione dei moduli elastici dinamici. Il metodo di sismica a rifrazione si basa sul concetto della bi-rifrazione delle onde elastiche a seguito del fronte d'onda conico. Data una sorgente di onde elastiche e uno stendimento di geofoni lungo un profilo, giungeranno in superficie ai geofoni onde dirette, onde riflesse ed onde coniche o birifratte (*head wave*): le onde analizzate sono quelle birifratte ossia quelle che giungono sulla superficie di separazione con un angolo d'incidenza critico (secondo la legge di Snell) e che quindi vengono rifratte con un angolo di 90° propagandosi parallelamente alla superficie rifrangente e venendo nuovamente rifratte verso la superficie con lo stesso angolo di incidenza. I contrasti di proprietà possono essere legati a cause stratigrafiche, strutturali, idrogeologiche. L'indagine viene eseguita disponendo una serie di i trasduttori del moto del suolo (velocimetri o accelerometri) lungo la superficie libera del suolo e generando onde elastiche da una sorgente puntiforme che può essere una massa battente, un fucile sismico o una carica esplosiva. I trasduttori situati più vicino alla sorgente rilevano prima l'onda diretta che arriva con velocità legata alle caratteristiche meccaniche dello strato di terreno più superficiale, mentre quelli più lontani rilevano le onde birifratte che viaggiano a velocità più elevata. Quando l'onda birifratta avrà percorso sufficiente distanza alla velocità V_2 , essa arriverà prima della diretta (Fig. 8).

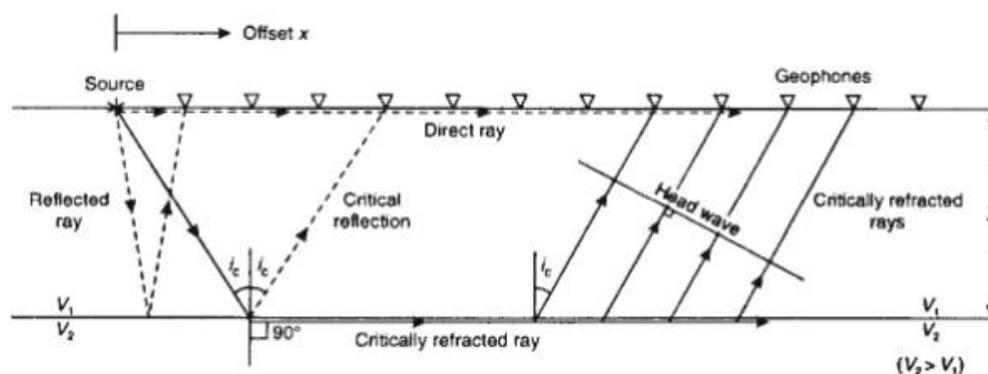


Figura 8 - Schema illustrativo delle onde sismiche

INFRASTRUCTURE

Se si riporta in un semplice grafico x-y, per ogni distanza di ciascun ricevitore, il tempo di arrivo del primo impulso letto sui sismogrammi, i punti si dispongono in una serie di allineamenti di cui il primo passante per l'origine: ciascuna linea è detta "dromocrona" ed è rappresentativa della velocità di propagazione delle onde elastiche nel mezzo posto al di sopra di un rifrattore (una superficie di separazione più o meno netta tra due materiali a comportamento elastico diverso). Il coefficiente angolare della dromocrona passante per l'origine rappresenta l'inverso della velocità di propagazione delle onde elastiche nel primo strato (V_0), i coefficienti angolari delle altre dromocrone rappresentano l'inverso delle velocità degli strati sottostanti (dal più superficiale al più profondo). L'intersezione tra due dromocrone è detto "punto di ginocchio" e rappresenta il punto in cui arrivano contemporaneamente le onde rifratte da due rifrattori adiacenti o, se consideriamo le prime due dromocrone, le onde dirette e le onde rifratte dal primo rifrattore. In un'indagine di sismica a rifrazione sarà possibile individuare un numero di punti di ginocchio pari al numero di rifrattori investigati (Fig. 9).

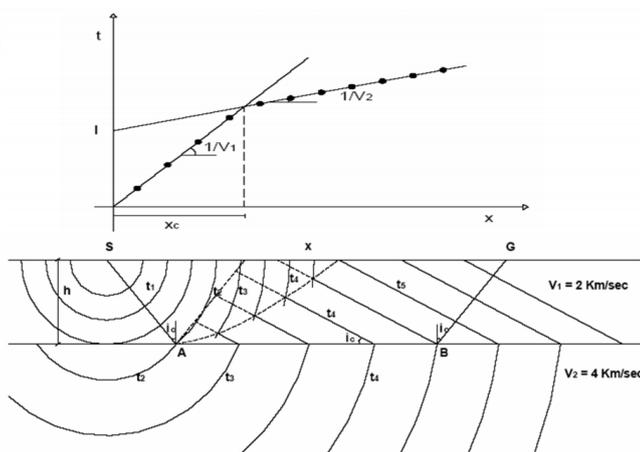


Figura 9 - Schema esemplificativo delle dromocrone in un sottosuolo a 2 strati.

Pertanto, più è profondo il rifrattore più il rispettivo punto di ginocchio sarà distante dalla sorgente: da ciò si deduce che gli impulsi rifratti possono essere ricevuti solo a partire da una certa distanza proporzionale alla profondità del rifrattore e che quindi la profondità totale di indagine è legata alla lunghezza dello stendimento dei ricevitori. Tramite semplici relazioni trigonometriche è possibile, note le velocità di propagazione delle onde elastiche nei diversi strati omogenei del sottosuolo, conoscere gli spessori di ciascuno di essi. Se gli strati sono poco spessi e caratterizzati da velocità crescente con la profondità (come normalmente avviene nei terreni non consolidati), i percorsi delle onde saranno curvi, con concavità rivolta verso l'alto, ed anche la corrispondente dromocrona sarà una curva. Nei casi reali, si assume che l'effetto delle onde dirette, in termini di ampiezza delle vibrazioni, sia predominante rispetto a quello delle onde



indirette, tanto da potere trascurare queste ultime e considerare il mezzo, limitatamente all'area comprendente la sorgente e il ricevitore, come mezzo omogeneo, isotropo e non confinato.

4.1.2. FATTORI DI INFLUENZA DELLE VELOCITÀ SISMICHE

Sebbene la velocità dell'onda P sia un buon indicatore del tipo di terreno o di roccia, non è un indicatore univoco. Ogni tipo di sedimento o roccia ha una vasta gamma di velocità sismiche e molti di questi range si sovrappongono tra loro. Ci sono molte variabili che influenzano il modulo elastico e quindi la velocità delle onde di compressione delle rocce e dei terreni. Nelle tabelle 8 e 9, si riportano le velocità da bibliografia di alcune delle principali litologie.

VELOCITA' ONDE DI COMPRESSIONE		
LITOLOGIA	VELOCITA' [m/sec]	
Suoli superficiali	300	700
Limi ed argille sature	1100	2500
Arenarie sature e porose	2000	3500
Acqua	1450	1500
Sabbie asciutte	400	1200
Sabbie sature	1500	2000
Arenarie	2100	4400
Argilliti	2000	6000
Calcari	2000	7000
Dolomie	2500	6500
Marne	2000	3000

Tabella 8 - Velocità delle onde di compressione di alcuni terreni.

VELOCITA' ONDE DI TAGLIO		
LITOLOGIA	VELOCITA' [m/sec]	
Suoli superficiali	50	300
Limi ed argille sature	200	800
Arenarie sature e porose	800	1800
Acqua	-	-
Sabbie asciutte	100	500
Sabbie sature	400	600
Arenarie	900	3100
Argilliti	500	2100
Calcari	1000	3500
Dolomie	1200	3800
Marne	750	1500

Tabella 9 - Velocità delle onde di taglio di alcuni terreni.

INFRASTRUCTURE

I primi esperimenti sulla variazione delle proprietà elastiche delle rocce sono iniziate tra il 1950 e il 1960. A quel tempo molti ricercatori (Wyllie et al., 1956; 1962; 1963; 1985) hanno studiato i cambiamenti della velocità di elasticità onde in funzione di saturazione, porosità e contenuto in argilla, fratturazione. In particolare:

- **Saturazione:** in condizioni di saturazione totale, la velocità delle onde P è controllata dal mezzo liquido (che è incompressibile) se superiore a quello dello scheletro solido: questo perché la velocità delle onde S non risulta influenzata da tale parametro (l'acqua non può sostenere sforzi di taglio). Per saturazioni parziali, invece, la velocità delle onde P è inferiore a quella ottenibile alla massima saturazione ma, nel contempo, è inferiore anche a quella che si ottiene per gli stati secchi.
- **Porosità e contenuto in argilla:** la diminuzione della velocità associata ad un aumento del contenuto di argilla può essere confrontata con la diminuzione della velocità associata ad un aumento della porosità. Infatti, le particelle di argilla creano una microporosità composta da piccoli pori di 1 μm riducendo notevolmente la dimensione dei pori. Da vari studi effettuati in merito, si evince che una gran parte della variazione della velocità dovuta al cambiamento di contenuto di argilla, è attribuibile alla significativa quantità di microporosità presente all'interno di minerali di argilla. Si riscontra, infatti, un brusco cambiamento delle proprietà della matrice rocciosa con l'aggiunta di una piccola quantità d'argilla.
- **Fratturazione:** il grado di fratturazione di una formazione rocciosa è legato alle proprietà idrogeologiche delle rocce, come la porosità e la permeabilità (capacità delle rocce di farsi attraversare dalle acque). L'importanza dell'impiego del metodo sismico per la valutazione del grado di fratturazione di una formazione rocciosa, è basata sulle evidenze sperimentali che indicano una diminuzione della velocità delle onde di compressione (VP) e di taglio (VS) e un aumento del coefficiente di attenuazione α al crescere della densità di frattura. In sintesi, le indagini suggeriscono che le velocità delle onde P e S decrescono con l'aumentare dei parametri di frattura, mentre il rapporto V_p/V_s aumenta con il decrescere dei parametri di frattura.

Le velocità sismiche che si andranno a misurare su rocce o terreni, pertanto, saranno spesso influenzate dall'effetto contemporaneo di tutti i fattori citati (oltre che ad altri meno importanti nel nostro contesto).

ampiamente noto in letteratura, la velocità delle onde P è fortemente influenzata dal grado di saturazione S_r . In particolare, in condizioni di saturazione totale, la velocità delle onde P è controllata dal mezzo liquido (che è incompressibile) se superiore a quello dello scheletro solido. Per $99\% < S_r < 100\%$ la velocità delle onde P varia sensibilmente con S_r , mentre per $S_r < 99\%$ V_p è controllata dalla rigidità dello scheletro solido

INFRASTRUCTURE

nella stessa maniera delle onde SH. Infatti la velocità delle onde S non risulta influenzata da tale parametro (l'acqua non può sostenere sforzi di taglio).

4.1.3. STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

L'apparecchiatura utilizzata per questo tipo di prove si compone delle seguenti parti:

- sistema energizzante;
- sistema di ricezione;
- trigger;
- sistema di acquisizione dati.

Nel dettaglio:

sistema energizzante: tale sistema deve essere in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali. Per generare le onde di compressione P è stata utilizzata una massa battente da 5kg.

sistema di ricezione: per l'indagine sono stati utilizzati 24 geofoni del tipo elettromagnetico a bobina mobile (oscillazione verticale), con frequenza caratteristica di 4.5 Hz e 24 geofoni del tipo elettromagnetico a bobina mobile (oscillazione orizzontale), con frequenza caratteristica di 8 Hz (Fig. 10).



Figura 10 – Geofoni per onda P ed Sh; a) schema di funzionamento del geofono per onda P; b) geofono per onda P con frequenza caratteristica di 4.5 Hz; c) geofono per onda S con frequenza caratteristica di 8 Hz (utilizzato esclusivamente per la sismica a rifrazione).

trigger: la metodologia utilizzata, in quanto attiva, prevede che l'inizio della registrazione sia individuato mediante un *trigger*: consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui la massa battente colpisce la piastra o la trave (nel nostro caso si è usato un geofono starter) e l'impulso generato, inviato al

INFRASTRUCTURE

sistema di acquisizione, consente di fissare il tempo zero di riferimento per il calcolo dei tempi di percorso delle onde generate.

sistema di acquisizione dati: sismografo costituito da un sistema multicanale a conversione digitale. Il modello è denominato *GEODE* (prodotto dalla *GEOMETRICS*, Fig. 11; Tab. 10) ed è caratterizzato da una risoluzione di acquisizione pari a 24 bit (Tecnologia Delta Sigma). Tale sistema è in grado di registrare, su ciascun canale in forma digitale, le forme d'onda e di conservarle su memoria di massa dinamica minima a 24 bit. Esso è collegato a ciascuno dei geofoni ed al sensore del trigger, consentendo quindi di registrare in forma numerica e visualizzare sotto forma di tracce, su un apposito monitor, le vibrazioni a partire dall'impulso inviato dal trigger.



Figura 11 - Sismografo GEODE (Geometrics).

A/D Conversion:	24 bit (Crystal Semiconductor sigma-delta converters)
DynamicRange:	144 dB (system), 110 dB (instantaneous, measured) at 2ms, 24dB.
Distortion:	0.0005% @ 2 ms, 1.75 to 208 Hz.
Bandwidth:	1.75 Hz to 20 kHz
Common Mode Rejection:	> -100 dB at <=100 Hz, 36 dB.
Crosstalk:	-125 dB at 23.5 Hz, 24 dB, 2 ms.
Noise Floor:	0.2uV, RFI at 2 ms, 36 dB, 1.75 to 208 Hz.
Stacking Trigger Accuracy:	1/32 of sample interval.
Maximum Input Signal:	2.8 VPP.
Input Impedance:	20 kOhm, 0.02 uf.
Preamplifier Gains: dB, or 0dB.	24 or 36 dB
Anti-alias Filters:	-3 dB at 83% of Nyquist frequency, down 90 dB.
Pre-trigger Data:	Up to 4,096 Samples.
Sample Interval:	0.02, 0.03125, 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 16.0 ms.
Record Length:	16,000 samples standard
Delay:	0 to 9999 ms in 1 ms steps.
Data Transmission:	Ethernet connections

Tabella 10 - Specifiche tecniche Sismografo GEODE.

4.1.4. SCHEMA DI ACQUISIZIONE

Per quanto riguarda gli stendimenti sismici sono stati realizzati con un passo intergeofonico massimo di 5m;

Tutti gli stendimenti sono caratterizzati da:

- tempo di acquisizione: 1 s;

intervallo di campionamento 0.125 μ s

4.1.5. PROCESSING

Il processing dei dataset di sismica a rifrazione è stato condotto mediante il Software RAYFRACT (Intelligent Resources Inc., Canada), studiato per l'elaborazione di dati relativi ad indagini sismiche eseguite in superficie, realizzate sia con onde P che S, per scopi geotecnico-ingegneristici, ambientali, nonché per l'esplorazione nel campo delle georisorse. Rayfract consente sia la ricostruzione della geometria dei rifrattori con la sismica a rifrazione tradizionale, che la realizzazione di dettagliati modelli di velocità del sottosuolo con le più evolute tecniche tomografiche, soprattutto nel caso di strutture profonde.

Lo schema di interpretazione utilizzato nel presente lavoro è basato sulla creazione di un modello iniziale ottenuto mediante interpretazione con una tecnica sofisticata di processo dei tempi di primo arrivo basata sui metodi dei "Fronti d'onda" (Brückl 1987; Jones and Jovanovich 1985) e del Plus-minus (Hagedoorn 1959), fondata su una regressione del campo dei tempi di primo arrivo (Brückl 1987). Tale metodo può essere considerato un'ottimizzazione dell'algoritmo del GRM, capace di risolvere l'immagine dei rifrattori con andamenti topografici molto accidentati. A partire dal modello sopraccitato è stato quindi utilizzato il codice di calcolo per la modellazione tomografica che utilizza, nell'algoritmo d'inversione, un "raytracing" con raggi curvilinei e metodi di calcolo ai minimi quadrati attraverso il metodo Delta t-v (Gebrande and Miller 1985), al fine di migliorare il riconoscimento e la localizzazione di strutture di forma anomala, stabilizzando la soluzione dell'algoritmo d'iterazione.

In generale, il tempo di percorrenza di un'onda sismica lungo un percorso S attraverso un mezzo bidimensionale (2D) può essere scritto come

$$t = \int_S u[\mathbf{r}(x, y)] \quad (1)$$

INFRASTRUCTURE

dove $u(r)$ è il campo delle lentezze (l'inverso delle velocità) e r è il vettore posizione. Discretizzando il campo di lentezze $u(r)$ con m celle equidimensionali ognuna caratterizzata da una lentezza costante u_k ($k=1, 2, \dots, m$) la dromocrona i -esima delle n disponibili può essere scritta come

$$t_i = \sum_{k=1}^m l_{ik} \cdot u_k \quad (2)$$

dove l_{ik} rappresenta la porzione dell' i -esima dromocrona nella cella k -esima. Considerando tutte le dromocrone disponibili si ottiene il seguente sistema

$$\mathbf{t} = \mathbf{M} \cdot \mathbf{u} \quad (3)$$

dove \mathbf{t} è il vettore dei dati sperimentali (tempi di primo arrivo letti sui sismogrammi), \mathbf{M} è la matrice rettangolare contenente le porzioni dei percorsi nelle varie celle, \mathbf{u} è il vettore delle lentezze (incognite del problema).

Il problema inverso da risolvere è pertanto

$$\mathbf{u} = \tilde{\mathbf{M}}^{-1} \cdot \mathbf{t} \quad (4)$$

dove $\tilde{\mathbf{M}}^{-1}$ è la matrice inversa generalizzata. Poiché i percorsi sismici dipendono dalle lentezze, la matrice \mathbf{M} dipende anche dalle lentezze e quindi il problema inverso è un problema non-lineare che deve essere risolto iterativamente partendo da una soluzione iniziale (modello di partenza). L'equazione da considerare è pertanto la seguente

$$\mathbf{J} \cdot \Delta \mathbf{u} = \Delta \mathbf{t} \quad (5)$$

dove $\Delta \mathbf{t} = \mathbf{t} - \mathbf{t}(\mathbf{u}_0)$ è la differenza tra i tempi sperimentali e i tempi calcolati per il modello di lentezze iniziale \mathbf{u}_0 ; $\Delta \mathbf{u}$ è la perturbazione del modello iniziale; e \mathbf{J} è la matrice jacobiana contenente le derivate parziali delle dromocrone rispetto alle lentezze nelle celle $\frac{\partial t_i}{\partial u_k}$.

Poiché il problema è parzialmente sovradeterminato (per alcune celle si hanno molti percorsi) e parzialmente sottodeterminato (per alcune celle non è disponibile nessun percorso) esso è stato risolto con la tecnica dei minimi quadrati smorzati, cioè è stata minimizzata con la seguente funzione errore

$$\varphi = \|\mathbf{J} \cdot \Delta \mathbf{u} - \Delta \mathbf{t}\|^2 + \lambda \|\mathbf{L}_2 \mathbf{u}\|^2 \quad (6)$$

dove λ è il fattore di smorzamento e la matrice \mathbf{L}_2 è una matrice derivata seconda (operatore laplaciano) che forza la soluzione verso la soluzione più regolare possibile (smoothest solution).

L'affinamento della soluzione supportata con il metodo Delta t-v è stato ottenuto attraverso un ulteriore processo finale tomografico.

4.2. PROSPEZIONE SISMICA DOWN HOLE

4.2.1. PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO E CENNI SUL METODO

Lo scopo della prova è quello di valutare la velocità delle onde sismiche primarie V_p e secondarie V_s , da p.c. sino a fondo foro. Le prove sismiche Down-Hole vengono eseguite con lo scopo di misurare la velocità delle onde dirette che si propagano dalla superficie nel terreno in profondità. In situazioni stratigrafiche caratterizzate dall'esistenza di forti contrasti di rigidità tra gli strati occorre porre particolare attenzione a potenziali problemi d'interpretazione delle misure legati ad effetti di rifrazione. Il terreno viene energizzato in superficie, in prossimità di testa-foro e la registrazione avviene, in foro, grazie ad un geofono triassiale ancorato a profondità crescenti. Tale geofono registra gli spostamenti (tradotti sotto forma di impulsi elettrici) lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x , y , z). Le onde sismiche vengono generate energizzando il terreno in direzione verticale e in direzione trasversale (parallelamente al suolo). Nel primo caso verranno generate prevalentemente onde compressive (onde P) che si propagano in profondità e vengono registrate dal geofono verticale (asse z). Nel secondo caso verranno generate prevalentemente onde di taglio (onde S) visibili principalmente sui geofoni con l'asse posto orizzontalmente (assi x e y). Le onde di taglio hanno velocità inferiori rispetto a quelle compressive, solitamente intorno al 60-70%, quindi raggiungono il geofono quando il primo fronte d'onda compressiva è già transitato. Questo passaggio, purtroppo, costituisce un disturbo per la misura delle onde trasversali in quanto i geofoni orizzontali si trovano ancora in movimento all'arrivo dell'onda S. Per migliorare il rapporto fra l'energia dell'onda compressiva P e l'energia dell'onda trasversale S a favore di quest'ultima, si realizza una doppia energizzazione orizzontale con verso opposto. La sottrazione delle forme d'onda relative a queste due acquisizioni, riduce sensibilmente la componente compressiva presente nel segnale. Tali prove forniscono una dettagliata stratigrafia di velocità delle onde compressive (V_p) e delle onde di taglio (V_s).

4.2.2. ACQUISIZIONE

Una volta raggiunta la profondità di prova (fondo foro), i ricevitori vengono assicurati alla parete del tubo di rivestimento mediante dei pistoni azionati da un compressore; la sorgente viene colpita in senso verticale per generare onde di compressione P e lateralmente per generare onde di taglio Sh (Fig. 12) facendo partire, per mezzo del trigger, la registrazione del segnale acquisita secondo i seguenti parametri:

Sampling interval (ms)	0.125
Record length (s)	0.5
Spacing (m)	1

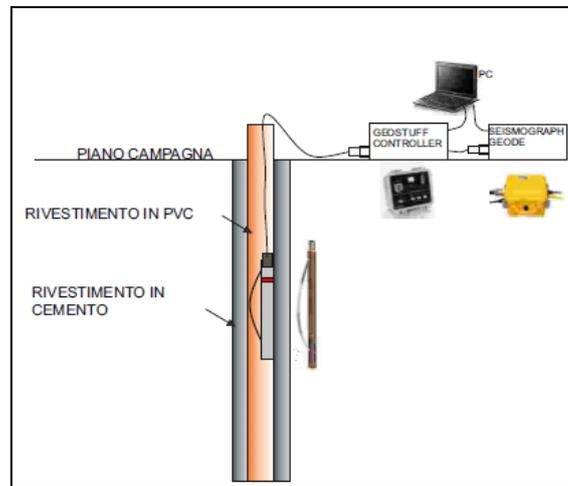


Figura 12 - Schema acquisizione DH

4.2.3. ATTREZZATURA

L'apparecchiatura utilizzata per questo tipo di prove si compone delle seguenti parti:

- sistema energizzante;
- sistema di ricezione;
- trigger;
- sistema di acquisizione dati.

Nel dettaglio:

sistema energizzante: tale sistema deve essere in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali. È stata utilizzata una massa battente da 5kg.

sistema di ricezione: per l'indagine è stato utilizzato il geofono da foro triassiale "BHGC" della GEOSTUFF.



Figura 13: Geofono da foro triassiale "BHGC".

Il trigger e il sistema di acquisizione sono gli stessi utilizzati per le indagini già descritte.

4.2.4. PROCESSING INDAGINE DOWN HOLE

La misura dei tempi dei primi arrivi delle onde sismiche deve essere realizzata con precisione e con un dettaglio pari a circa un decimo di millisecondo. La prima fase dell'elaborazione consiste nella determinazione dei primi arrivi sia delle onde P che delle onde S. Il *picking* dei tempi delle onde P è una operazione relativamente semplice, mentre per la corretta individuazione dei tempi di arrivo delle onde S è necessario evidenziare l'inversione di fase dell'onda di taglio: per tale scopo si effettua la sovrapposizione dei sismogrammi ricavati per la stessa profondità dai due punti di battuta; sovrapponendo le tracce si avrà la corretta localizzazione delle onde S quando si noterà il movimento uguale ed opposto della fase d'onda.

La prima operazione da fare è la correzione sulla verticale dei tempi di tragitto (t) misurati lungo i percorsi sorgente-ricevitore per tenere conto della distanza tra la sorgente e il bocca-foro. Con i tempi corretti si realizza il grafico (T_{corr}, z), sia per le onde P che per le onde S. Le velocità dei terreni investigati vengono finalmente ottenute in maniera indiretta con il metodo intervallo; i tempi di tragitto dell'onda sismica si misurano fra due posizioni consecutive del ricevitore posti a differente profondità, consentendo così di migliorare la qualità delle misure (velocità d'intervallo). La seconda fase consiste nel calcolo delle dromocrone; la velocità media delle onde sismiche in strati omogenei di terreno rappresentata dall'inclinazione dei segmenti di retta lungo i quali si allineano i dati sperimentali. Successivamente alla costruzione delle dromocrone ed alla determinazione della velocità di propagazione del segnale sismico nei

INFRASTRUCTURE

diversi strati di terreno, avendo l'indicazione della densità dei litotipi incontrati durante la perforazione si potranno calcolare i moduli elastici caratteristici.

Il **modulo di Young E** (o modulo di elasticità longitudinale) è definito a partire dalla legge di Hooke:

$$E = \sigma/\varepsilon \quad (5.1)$$

Con

σ : sforzo, viene misurato in Pascal.

ε : deformazione, è una grandezza adimensionale, spesso la si esprime in percentuale.

Il modulo di Young viene determinato dal diagramma sforzo-deformazione mediante la formula appena vista, nel tratto in cui il materiale subisce una deformazione elastica (ovvero rimuovendo lo sforzo il materiale deve essere in grado di ritornare alle dimensioni iniziali).

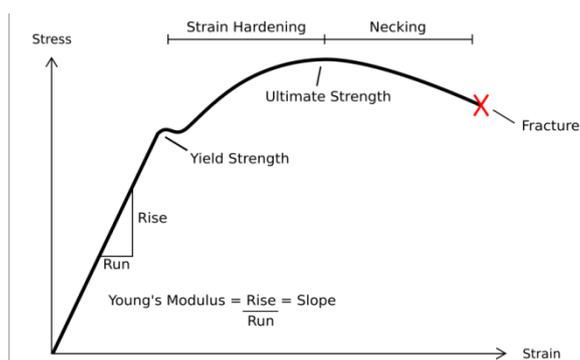


Figura 14: Diagramma sforzo - deformazione di un materiale duttile

Il **modulo di taglio μ** , detto anche modulo di scorrimento, di rigidità o di elasticità tangenziale, è una costante di Lamè che esprime il rapporto sforzo-deformazione tangenziali.

Data una piastra di lunghezza indefinita di spessore h , perpendicolare all'asse x , sulle cui facce agisce una coppia di tensioni tangenziali (o di taglio) di verso opposto T_1 e $-T_1$, si produrrà uno spostamento $\delta l / 2$ nel senso delle z positive e $\delta l / 2$ nel senso opposto. In pratica è come se una faccia rimanesse ferma e si producesse uno spostamento di δl .

Lo spostamento totale δl sarà in relazione allo sforzo di taglio T_1 e allo spessore h secondo la relazione:

$$dl = \frac{1}{\mu} h T_1 \quad (5.2)$$

dove μ è il modulo di taglio.

INFRASTRUCTURE

Considerando lo spostamento angolare α , ponendo l'angolo uguale alla sua tangente, la relazione diventerà semplicemente:

$$\alpha = \frac{T_1}{\mu} \quad (5.3)$$

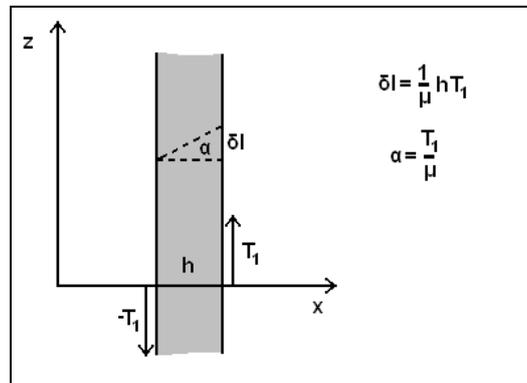


Figura 15: Esempio di resistenza al taglio

Il modulo bulk k (o modulo di compressibilità) di una materiale definisce la capacità della stessa di resistere ad una forza di compressione uniforme. È definito come l'incremento di pressione necessario a causare un relativo decremento di volume secondo la relazione:

$$K = -V \frac{\partial p}{\partial V} \quad (5.4)$$

dove K è appunto il modulo di compressibilità, p la pressione e V il volume.

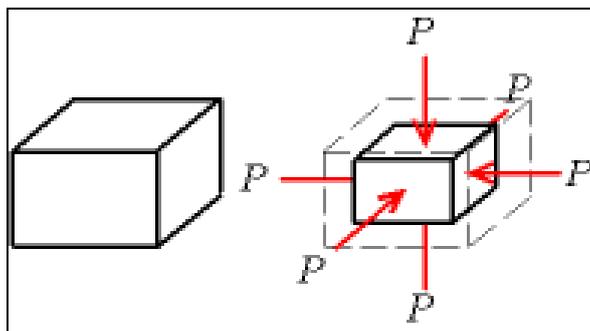


Figura 16: Esempio di compressione uniforme

Si precisa inoltre che i moduli presentati nelle sezioni cui afferisce questa nota tecnica sono moduli DINAMICI cioè ottenuti calcolando i valori a piccolissime deformazioni rappresentate dal tratto iniziale *reversibile* della curva sforzi deformazioni. Per tanto, essi risulteranno essere molto maggiori rispetto a quelli calcolati con prove in situ e/o di laboratorio, in cui il terreno viene portato a rottura.

In particolare, nel presente lavoro è stato utilizzato il “Metodo della velocità di intervallo”.

INFRASTRUCTURE

Per interpretare i dati ottenuti dalla down-hole, è necessario correggere il i tempi di arrivo (t) misurati lungo i percorsi sorgente-ricevitore per tener conto dell'inclinazione del percorso delle onde. Se d è la distanza dall'asse sorgente del foro (Fig. 12), r la distanza tra la sorgente e i geofoni, z la profondità, è possibile ottenere il tempo corretto (t_{cor}) usando la seguente formula di conversione: $t_{cor} = \frac{z}{v} t$.

In particolare, nel metodo della velocità di intervallo, i tempi di percorrenza sono misurati tra due ricevitori ubicati sulla stessa verticale (Figura 17) ma a diverse profondità, consentendo quindi misurazioni di qualità migliore (velocità intervalli).

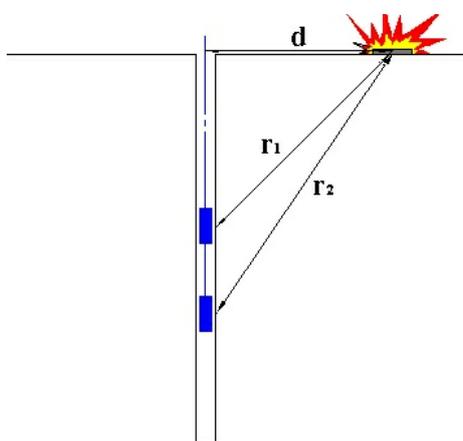


Figura 17 - Diagramma di una down-hole utilizzando il metodo d'intervallo.

Attraverso le misurazioni ottenute, è possibile calcolare il range di velocità delle onde P e S (Fig. 18), con la seguente formula:

$$v_{p,s} = \frac{z_2 - z_1}{t_{2cor} - t_{1cor}}$$

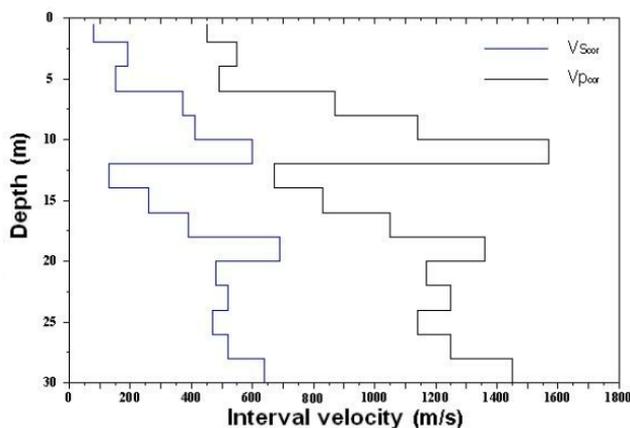


Figura 18 - Profilo di velocità sismica col metodo d'intervallo.

4.3. METODO HVSR

4.3.1. PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO E CENNI SUL METODO

La tecnica di sismica passiva a stazione sismica o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è una tecnica totalmente non invasiva. Si può applicare ovunque senza nessun tipo di perforazione e non ha bisogno di energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. Le registrazioni di microtremore ambientale, nelle sue tre componenti spaziali, rappresentano uno strumento per una microzonazione speditiva. Il microtremore ambientale (noise sismico) è un movimento minimo (nell'ordine di 10^{-2} - 10^{-6} mm) del terreno presente in qualsiasi punto della superficie terrestre e consiste per lo più nelle onde di superficie (Rayleigh e Love) prodotte dall'interferenza costruttiva delle onde P e S negli strati superficiali. Viene prodotto anche dal vento e dalle onde del mare e a frequenze alte da sorgenti di carattere antropico (industrie e traffico veicolare; Cessaro, 1994; Gutenberg, 1958). I risultati che si possono ottenere sono:

- la frequenza caratteristica di risonanza del sito, parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici così da evitare l'effetto della "doppia risonanza";

la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio qualora la misura viene effettuata all'interno dello stesso;

- stimare la velocità delle onde di taglio V_s a patto che si dispone di informazioni aggiuntive sul modello geologico del sottosuolo o si hanno informazioni di letteratura sul sito in esame (per es. profondità del bedrock sismico, stratigrafie da sondaggi a carotaggio continuo o profili V_s da prove MASW o di sismica a rifrazione).

Il metodo si basa sul rapporto spettrale tra la componente orizzontale (H) e quella verticale (V) (eseguito nel dominio delle frequenze). Esso fu introdotto come strumento speditivo per stimare l'incidenza delle condizioni locali sull'amplificazione dello scuotimento dovuto ad un sisma. Il principio si basa sul fatto che, misurando il rapporto H/V determinabile da microtremori, si stimano le frequenze che possono essere amplificate in caso di sisma.

4.3.2. FREQUENZA FONDAMENTALE DEL SITO

La prova sismica passiva a stazione singola mette in luce le frequenze alle quali il moto del terreno viene amplificato per risonanza stratigrafica (si ha risonanza stratigrafica quando si è in presenza di terreni di copertura con spessore superiore a tre metri su di un substrato rigido), in quanto il rumore sismico agisce come sorgente di eccitazione. Un suolo vibra con maggiore ampiezza a specifiche frequenze

INFRASTRUCTURE

non solo quando è eccitato da un terremoto ma anche quando è eccitato da un tremore di qualsiasi origine. Questo fa sì che la misura delle frequenze di risonanza dei terreni sia possibile ovunque ed in modo semplice, anche in assenza di terremoti. Le frequenze a cui si manifesta la risonanza sono descritte dalla relazione: $f=V_s/4h$ (formula semplificata) dove V_s è la velocità delle onde di taglio nello strato che risuona e h è lo spessore di detto strato. Dal grafico del rapporto tra le componenti spettrali orizzontale e verticale (Esempio in Fig.19a) viene evidenziata la frequenza (o più frequenze se si è in presenza di un profilo stratigrafico multistrato con contrasti di impedenza significativi) attraverso un "picco" della curva (in genere dovuto ad un minimo della componente verticale, riscontrabile negli spettri delle singole componenti; Fig.19b). La frequenza fondamentale del sito è da intendersi quella più significativa a bassa frequenza. Eventuali altre frequenze evidenziate (picchi secondari) se vicine alle frequenze di interesse ingegneristico (struttura) possono essere comunque significative.

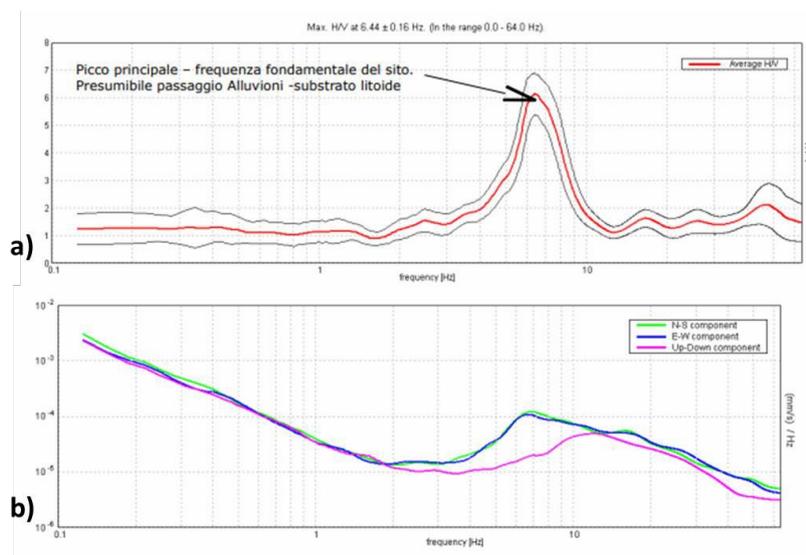


Figura 19 - a) Rapporto spettrale H/V; b) Esempio di spettri a singole componenti

Le frequenze di risonanza del sottosuolo costituiscono un parametro fondamentale per i progettisti, i quali devono evitare, o se non è possibile quanto meno tenere in debita considerazione nel dimensionamento delle strutture, i fenomeni di "doppia risonanza" che costituiscono la vera causa delle distruzioni generate da un terremoto.

4.3.3. PROFILI SISMICO-STRATIGRAFICI E PARAMETRO V_{sEQ}

La legislazione antisismica (NTC 2018) adotta come parametro fondamentale per la stima degli effetti di sito la velocità media delle onde di taglio nei metri di sottosuolo fino all'intercettazione del bedrock, parametro

INFRASTRUCTURE

comunemente chiamato V_{seq} . Stime di V_{seq} sono perciò necessarie quasi ovunque per la microzonazione sia a grande scala che alla scala dei singoli edifici. La curva sperimentale HVSR viene "fittata" con una curva teorica usando come vincolo lo spessore dello strato più superficiale (o altro orizzonte il cui picco H/V è individuabile sulla curva sperimentale) di sottosuolo (generalmente noto dalle indagini geotecniche necessarie per legge per ogni progettazione edilizia, come ad esempio prove penetrometriche; Fig.20), basandosi sulla nota equazione che lega la frequenza di risonanza (f) allo spessore (h) dello strato e alla velocità delle onde di taglio (V_s): $f=V_s/4h$ (da cui $h=V_s/4f$).

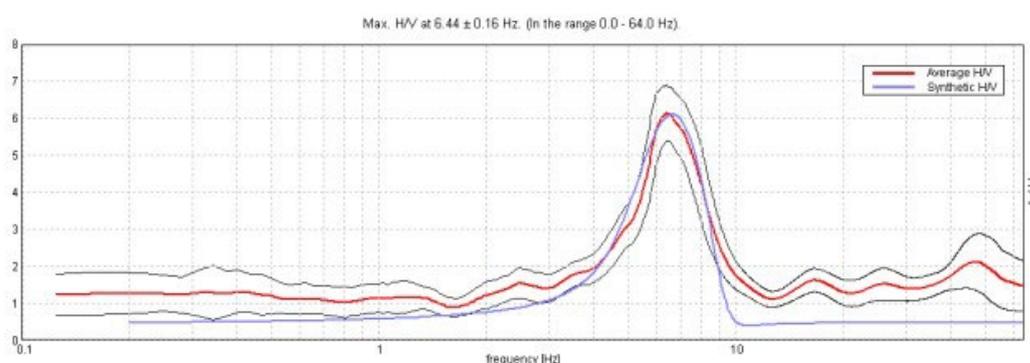


Figura 20 - esempio di fittaggio del modello teorico

4.3.4. ACQUISIZIONE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Esistono delle note linee guida (progetto SESAME) per acquisire dati utili alle analisi HVSR (Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations Measurements, Processing and Interpretation, http://sesame-fp5.obs.ujfgrenoble.fr/Delivrables/Del-D23_HV_User_Guidelines.pdf). I dati vengono acquisiti attraverso il Tromino della Micromed.



Figura 21 - Tromino della Micromed

In Tabella 6 sono elencate le caratteristiche dello strumento.



Tromino	
Numero dei canali velocimetrici	3 canali velocimetrici per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale e 3 per la registrazione di vibrazioni forti.
Numero dei canali accelerometrici	3 canali per il monitoraggio di vibrazioni.
Numero dei canali analogici	1 (es. trigger esterno).
GPS	ricevitore GPS integrato, antenna interna e/o esterna per localizzazione e/o sincronizzazione tra diverse unità.
Intervallo di frequenza	0.1 – 1024 Hz con conversione A/D > 24 bit equivalenti a 128 Hz.
cavo esterno	Nessuno

Tabella 11 - Specifiche tecniche del Tromino

Per tutte le misure l'intervallo di registrazione utilizzato è di 40 minuti con una frequenza di campionamento pari a 128 Hz. Per una migliore valutazione della direzionalità del segnale, lo strumento è stato messo in bolla ed orientato con il nord strumentale rispetto al nord magnetico. Importante è la messa in bolla dello strumento al fine di minimizzare gli errori come, ad esempio, il cosiddetto "effetto del tilting" che può essere provocato da un cambiamento della livellazione mentre si effettua la misura producendo una perturbazione della forma della curva H/V risultante soprattutto nella sua parte in bassa frequenza. Importante è anche orientare il N sul sensore secondo il nord geografico, per convenzione; in questo caso il terzo canale, (connessione al geofono orizzontale N-S) è quello maggiormente eccitato. Le registrazioni sono state suddivise in intervalli temporali di durata di 20 secondi; è stata eseguita, quindi, un'analisi spettrale delle tre componenti e calcolato il rapporto spettrale per ognuno dei segmenti temporali ottenuti. Durante tale operazione è stata eseguita una "lisciatura" dello spettro, con una finestra temporale pari al 10 % della frequenza centrale. La curva H/V finale è stata ottenuta come media dei rapporti spettrali su tutti i segmenti. In alcuni casi è stato necessario eliminare alcuni dei segmenti temporali in cui erano presenti i cosiddetti "transienti", cioè rumore sismico elevato e occasionale (in genere di origine antropica). I risultati finali dell'elaborazione consistono in modelli modimensionali che riportano una stima delle velocità delle onde di taglio in relazione alla profondità.

I dati acquisiti attraverso le misure a stazione singola HVSR sono stati elaborati mediante il software Grilla V.6.1 (Micromed). Nello specifico, Grilla è il software creato per archiviare, gestire, visualizzare ed analizzare le registrazioni del Tromino. I diversi moduli del software permettono di effettuare:

- Analisi spettrale completa delle tracce, calcolo delle curve H/V per la determinazione delle frequenze di risonanza del sottosuolo;
- Procedure di pulizia dei tracciati nel dominio del tempo e della frequenza, test sulla significatività

INFRASTRUCTURE

- dei picchi secondo le linee guida europee;
- determinazione delle frequenze dei modi di vibrare delle strutture con rimozione dell'effetto di sottosuolo;
- analisi direzionale, confronto tra analisi e registrazioni diverse, numerosi altri strumenti matematici di analisi;
- Referto automatico con tabelle e illustrazioni.

4.4. RISULTATI INDAGINI GEOFISICA

5. PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

I campioni indisturbati e rimaneggiati sono stati trasportati presso il laboratorio della SOCOTEC Italia srl sito in Montefredane (AV), alla via Campo di Fiume, 13 e sottoposti a prove di laboratorio così come concordato con la committenza.

Nel fascicolo 7 degli allegati, vengono riportati tutti i certificati ufficiali ed originali delle singole prove.

6. RILIEVO TOPOGRAFICO DEI PUNTI DI INDAGINE

6.1. STRUMENTAZIONE

A fine campagna sono stati battuti tramite GPS modello SANDING T3 VENUS, con le seguenti caratteristiche tecniche (fig.22).



Figura 22: strumentazione utilizzata

INFRASTRUCTURE**6.2. ACQUISIZIONE**

L'operazione di acquisizione consiste nel piazzamento della stadia in posizione verticale (mediante l'ausilio di livello sferica) su ciascun punto da rilevare.

Assicurata la presenza di copertura di segnale sufficiente per operare in collegamento con le stazioni delle Reti Dinamiche Nazionali si è proceduto nell'esecuzione dei rilievi con GPS in modalità NRTK, quindi acquisizione dei dati di campagna già georiferiti nel sistema internazionale di riferimento (WGS84).



Figura 23: acquisizione posizione GPS

AVELLINO DEPARTMENT
Via Campo di Fiume, 13 – 83030 Montefredane (AV)
Tel.: +39 0825 24353 - Fax.: +39 0825 248705

SOCOTEC ITALIA Srl – P.Iva 01872430648 - Capitale sociale 7.144.000,00 euro
Sede Legale: Via Bariola, 101-103 - 20020 Lainate (MI)
Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099
www.socotec.it

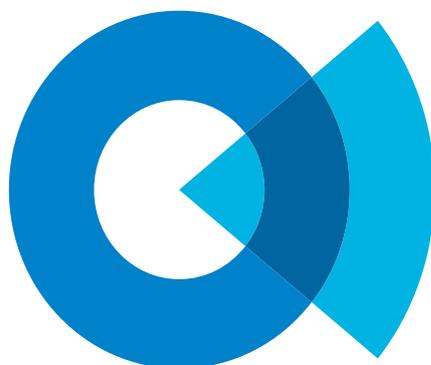
**SOCOTEC****INFRASTRUCTURE****6.3. ELABORAZIONE E RESTITUZIONE**

I punti rilevati con il GPS sono stati elaborati con il software dedicato ANDROID SOFTWARE SMARTRTK e restituiti in coordinate WGS84 (EPSG4326) e coordinate piane Gauss-Boaga (EPSG3003). Le coordinate dei punti di indagine sono riportate nella tabella di seguito.

PUNTO	Coord Gauss Boaga (EPSG3004)		Coord WGS84 (EPSG4326)		Quota s.l.m	Quota ellissoidica
	E	N	Lat.	Long	m	m
Pz01	4254919,467	2601676,540	38°26'19,70988"N	15°56'08,99021"E	44,503	86,704
Pz03	4255092,426	2601317,640	38°26'25,43825"N	15°55'54,25986"E	41,554	83,781
Pz04	4255164,782	2601140,692	38°26'27,84328"N	15°55'46,99171"E	44,472	86,711
Pz06	4255501,909	2600796,405	38°26'38,89150"N	15°55'32,93106"E	42,212	84,481
Pz07	4254805,046	2602108,207	38°26'15,85583"N	15°56'26,74566"E	53,826	96,000
Pz08	4254705,416	2601891,579	38°26'12,69557"N	15°56'17,76944"E	51,148	93,328
Pz09	4255112,255	2602226,560	38°26'25,78203"N	15°56'31,75633"E	51,792	93,972
PZAMB 08	4254791,486	2601987,542	38°26'15,45585"N	15°56'21,76336"E	52,333	94,513
PZAMB 09	4254803,128	2602013,984	38°26'15,82476"N	15°56'22,85881"E	52,494	94,673
PZAMB 10	4254995,194	2602060,405	38°26'22,03974"N	15°56'24,85408"E	50,552	92,736
PZAMB 11	4254967,384	2602055,170	38°26'21,13936"N	15°56'24,62649"E	51,016	93,199
PZAMB 12	4254987,027	2602076,364	38°26'21,76955"N	15°56'25,50890"E	51,060	93,242
PZAMB 16	4254803,876	2601978,215	38°26'15,86083"N	15°56'21,38392"E	52,218	94,399
S05 PZ	4255762,798	2600655,253	38°26'47,40028"N	15°55'27,21682"E	37,580	79,866
S06 PZ	4255356,160	2600920,483	38°26'34,12320"N	15°55'37,98848"E	43,976	86,234
S07 PZ	4255066,133	2601365,562	38°26'24,56963"N	15°55'56,22542"E	41,106	83,330
S08 DH	4254760,422	2601880,653	38°26'18,43932"N	15°56'11,21687"E	51,297	88,109
S09 PZ	4254727,389	2602041,115	38°26'14,48343"N	15°56'17,34189"E	53,901	93,480
S10 PZ	4254997,099	2602005,435	38°26'13,35893"N	15°56'23,94596"E	53,211	96,075
S11 DH	4254880,851	2601730,920	38°26'22,11972"N	15°56'22,58773"E	45,912	95,398
DPSH 01	4254804,361	2601840,022	38°26'15,92215"N	15°56'15,68459"E	49,140	91,328
DPSH 02	4254881,732	2601737,041	38°26'18,46589"N	15°56'11,46972"E	46,073	88,270
DPSH 03	4255132,160	2601201,001	38°26'26,76535"N	15°55'49,46561"E	44,131	86,366

7. INDAGINI AMBIENTALI

Per le indagini ambientali sono descritte in dettaglio nel fascicolo 10



SOCOTEC

Committente: ANAS S.p.A

Contratto Applicativo n. 16: Servizi indagini geognostiche, geofisiche, di laboratorio e di monitoraggio geotecnico-geomorfologico, a supporto della progettazione definitiva dell'intervento "UC165 - Autostrada A2 "Mediterranea" – viabilità complementare – Porto di Gioia Tauro – Lavori di potenziamento funzionale raccordo stradale sud alla rete TEN-T – Collegamento Porto di Gioia Tauro gate sud – A2 (I Lotto: dal gate sud allo svincolo con la SS18)

VALUTAZIONE DEI DATI ANALITICI

Lainate, 28/04/2022

REV	DATA	Descrizione	Preparato	Verificato	Approvato
00	28/04/2022	Prima emissione	Dott.sa Ilaria Nizzetto	Dott.sa Ilaria Nizzetto	Dott. Francesco Berti



MILANO DEPARTMENT
Via Bariola, 101-103 - 20045 Lainate (MI)
Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099

SOCOTEC ITALIA Srl – P.Iva 01872430648 - Capitale sociale 7.144.000,00 euro
Sede Legale: Via Bariola, 101-103 - 20045 Lainate (MI)
Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099
www.socotec.it

Sommario

1. PREMESSA	3
2. NORMATIVA APPLICATA	3
3. PRELIEVO CAMPIONI	4
3.1. CAMPIONI DI TERRENO	4
4. ANALISI CHIMICHE	7
4.1. ANALISI CHIMICO-FISICHE DEI TERRENI	7
4.2. OMOLOGA PER TERRE E ROCCE DA SCAVO DA GESTIRE COME RIFIUTO	8
5. RISULTATI	10
5.1. ANALISI SUI TERRENI	10
5.2. OMOLOGA PER TERRE E ROCCE DA SCAVO DA GESTIRE COME RIFIUTO	13
6. CONCLUSIONI	17

MILANO DEPARTMENT

Via Bariola, 101-103 - 20045 Lainate (MI)
Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099

SOCOTEC ITALIA Srl – P.Iva 01872430648 - Capitale sociale 7.144.000,00 euro
Sede Legale: Via Bariola, 101-103 - 20045 Lainate (MI)

Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099

www.socotec.it

1. PREMESSA

In riferimento al Contratto Applicativo n. 16: Servizi indagini geognostiche, geofisiche, di laboratorio e di monitoraggio geotecnico-geomorfologico, a supporto della progettazione definitiva dell'intervento "UC165 - Autostrada A2 "Mediterranea" – viabilità complementare – Porto di Gioia Tauro – Lavori di potenziamento funzionale raccordo stradale sud alla rete TEN-T – Collegamento Porto di Gioia Tauro gate sud – A2 (I Lotto: dal gate sud allo svincolo con la SS18)", la presente relazione tecnica riferisce sui risultati delle indagini ambientali e di laboratorio eseguite.

In particolare, secondo quanto previsto dalla scheda di affidamento e dalle indicazioni ricevute in campo, sono stati eseguiti prelievi di n.17 campioni di terreno da n.12 punti di prelievo, al fine di procedere ad una caratterizzazione ambientale del sito e dei materiali di scavo.

E' stata eseguita inoltre la prova su n.1 campione selezionato dalla committenza per determinare il grado di aggressività dei terreni confronti del calcestruzzo.

Sono infine stati raccolti n.2 campioni di materiale terrigeno da caratterizzare come rifiuto, con relativa valutazione per eventuale conferimento a impianto di recupero e/o discarica.

Le attività di prelievo hanno avuto inizio il 28/02/2022 e sono terminate il 07/04/2022.

2. NORMATIVA APPLICATA

I campionamenti ambientali e le valutazioni relative agli esiti analitici sono stati eseguiti in conformità ai disposti di:

- D.Lgs. 152/06 e smi, Parte IV
- DPR 120/17 e smi
- Norme comunitarie relative alla classificazione rifiuti, quali il Reg. 1357/2014/Ue e smi, Reg. (UE) 2017/997 e smi, Dec. 2014/955/UE e smi
- Decreto direttoriale n. 47 del 9 agosto 2021 «Approvazione delle Linee guida sulla classificazione dei rifiuti di cui alla delibera del Consiglio SNPA del 18 maggio 2021, n. 105»
- DM 05/02/1998 e smi, All.3

- D.Lgs. 36/2003 e smi
- Linee guida SNPA n.54_19
- Linee guida SNPA n.24_20.

3. PRELIEVO CAMPIONI

3.1. CAMPIONI DI TERRENO

Per quanto attiene il dettaglio delle modalità di esecuzione delle indagini geognostiche e dei pozzetti esplorativi, le posizioni dei sondaggi e le schede dei punti di campionamento si rimanda alla relazione tecnica relativa al monitoraggio geotecnico-geomorfologico.

Per i campionamenti ambientali sono stati realizzati pozzetti esplorativi e sondaggi così identificati:

Sigla	Tipologia
PZ AMB 01	Pozzetto
PZ AMB 02	Pozzetto
PZ AMB 03	Pozzetto
PZ AMB 04	Pozzetto
PZ AMB 05	Pozzetto
PZ AMB 06	Pozzetto
PZ AMB 07	Pozzetto
PZ AMB 13	Pozzetto
PZ AMB 14	Pozzetto
POZZ 10	Pozzetto
S04DH	Sondaggio
S01PZ	Sondaggio

I campioni di terreno destinati alla caratterizzazione chimica, sono stati prelevati con le seguenti modalità:

- il campione è formato da più incrementi prelevati dal materiale estratto dai pozzetti e dalle carote. Il campione composito ottenuto viene setacciato in campo con setaccio a maglia 2 cm; il sopravaglio viene scartato mentre il sottovaglio viene miscelato, quartato e raccolto in contenitore in vetro con tappo a bocca larga.

- Le aliquote destinate all'analisi di composti volatili sono invece prelevate in singolo incremento dalle pareti del pozzetto o dal cuore della carota, cercando di limitare al minimo la manipolazione del materiale; il terreno viene raccolto in vasetti o vials in vetro, riempiti fino all'orlo e opportunamente sigillati.
- I campioni di riporto da sottoporre a test di cessione, i campioni destinati alle analisi di caratterizzazione del rifiuto e/o alla determinazione dell'aggressività al calcestruzzo sono prelevati tal quali e raccolti in contenitore in vetro a bocca larga.

I campioni così formati sono stati etichettati e posti in frigo-box; per ciascuna giornata di campionamento sono state compilate apposite catene di custodia, su format della Committenza, con annotazione dell'identificativo dei campioni e delle aliquote prelevate.

Al termine di ogni operazione di prelievo e prima del successivo, tutte le attrezzature (sessole, setacci, palette, secchi, ecc) impiegate sono state decontaminate per evitare fenomeni di "cross contamination" ed i teli impiegati per la quartatura sostituiti.

Dopo la formazione del campione lo stesso è stato immediatamente trasferito all'interno di frigo box termici mantenuto a circa 4°C con panetti refrigeranti e trasferiti nel minor tempo possibile al laboratorio SOCOTEC ITALIA Srl di Lainate.

Le attività di campionamento sono state condotte dal Geologo responsabile del cantiere e da personale opportunamente formato sulle modalità di campionamento secondo DPR 120/17, UNI 10802 e DM 13/09/1999.

Di seguito si riporta elenco completo di tutti i campioni di terreno prelevati e relativo numero di Rapporto di Prova:

Punto di indagine	Numero RdP	Denominazione campione
PZ AMB 01	22LA03242	CA1 (0.00 - 1.00)m
PZ AMB 02	22LA03243	CA1 (0.00 - 1.00)m
PZ AMB 03	22LA03244	CA1 (0.00 - 1.00)m
PZ AMB 04	22LA03245	CA1 (0.00 - 1.00)m
PZ AMB 05	22LA03246	CA1 (0.00 - 1.00)m
PZ AMB 06	22LA03247	CA1 (0.00 - 1.00)m

Punto di indagine	Numero RdP	Denominazione campione
PZ AMB 07	22LA03248	CA1 (0.00 - 1.00)m
PZ AMB 13	22LA03249	CA1 (0.00 - 1.00)m
PZ AMB 14	22LA03250	CA1 (0.00 - 1.00)m
POZZ 10	22LA03251	CA1 (0.00 - 1.00)m
	22LA03252	CA2 (1.00 - 2.00)m
S04DH	22LA05046	CA1 (0.00 - 1.00)m
	22LA05047	CA2 (5.00 - 6.00)m
	22LA05048	CA3 (6.00 - 7.00)m
S01PZ	22LA03916	CA1 (0.00 - 1.00)m
	22LA03917	CA2 (4.00 - 5.00)m
	22LA03918	CA3 (9.00 - 10.00)m

Sono stati inoltre realizzati due campioni composti rappresentativi dei materiali estratti dai sondaggi, per la caratterizzazione come rifiuto: le diverse aliquote sono state miscelate ottenendo i seguenti campioni:

Punto di indagine	Numero RdP	Denominazione campione
S01PZ	22LA03919	CA4/CA5 (0.00 - 1.00; 4.00 - 5.00; 9.00 - 10.00)m
	22LA03920	
	22LA03921	
S04DH	22LA05049	CA4 (0.00 - 1.00 - 5.00-6.00 - 6.00-7.00)m
	22LA05050	
	22LA05051	

Una aliquota del campione medio S01PZ è stata inoltre sottoposta a verifica per la valutazione dell'aggressività del terreno su calcestruzzo:

Punto di indagine	Numero RdP	Denominazione campione
S01PZ	22LA04459	CA5 (0.00 - 1.00; 4.00 - 5.00; 9.00 - 10.00)m

4. ANALISI CHIMICHE

4.1. ANALISI CHIMICO-FISICHE DEI TERRENI

Le analisi chimico fisiche sui campioni di terreno sono state eseguite secondo Piano del Committente ed hanno previsto la ricerca dei seguenti gruppi di analiti, indicati dal DPR 120/17, tab 4.1:

- Metalli
- Idrocarburi pesanti (C>12)
- Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)
- Composti organici aromatici (BTEX)
- Amianto

Solo per alcuni campioni si è proceduto alla ricerca di BTEX e IPA, in quanto posizionati in prossimità di assi viari.

Le determinazioni analitiche in laboratorio sono state condotte sull'aliquota di granulometria inferiore a 2 mm. La concentrazione del campione è determinata riferendosi alla totalità dei materiali secchi, comprensiva anche dello scheletro campionato (frazione compresa tra 2 cm e 2 mm).

Il laboratorio ha applicato metodiche di preparazione e tecniche analitiche conformi ai protocolli nazionali e/o internazionali ufficialmente riconosciuti e metodi interni accreditati secondo UNI EN ISO /IEC 17025:

PARAMETRI	METODO	ACCREDITATO
Frazione < 2mm	DM 13/09/1999 SO n° 185 GU n°248 21/10/1999 Met II.1	Si
Residuo secco a 105°C	CNR IRSA 2 Q 64 Vol 2 1984	Si
Arsenico, Cadmio, Cobalto, Cromo totale, Mercurio, Nichel , Piombo, Rame, Zinco	EPA 3051A:2007 + EPA 6010D:2014	No
Cromo VI	CNR IRSA 16 Q 64 Vol 3 1986	Si
Composti organici aromatici (BTEX): Benzene Etilbenzene Stirene Toluene Xilene Sommatoria Organici Aromatici	LABO 10 Ed.09	Si

PARAMETRI	METODO	ACCREDITATO
IPA: pirene, benzo(a)antracene, crisene, benzo(b)fluorantene, benzo(k)fluorantene, benzo(a)pirene, indeno(1,2,3- cd)pirene, dibenzo(a,h)antracene, benzo(g,h,i)perilene, dibenzo(a,l)pirene, dibenzo(a,e)pirene, dibenzo(a,h)pirene, dibenzo(a,i)pirene Sommatoria Idrocarburi Policiclici Aromatici	LABO 03 Ed.14	Si
Idrocarburi pesanti C>12	UNI EN ISO 16703:2011 e LABO11 Ed.09	No
Amianto	D.M 06/09/1994 All. 1 Met. B GU n. 288 10/12/94 (SEM)	No

Gli esiti delle attività analitiche sono stati dunque confrontati con le "concentrazioni soglia di contaminazione (CSC)" di cui alla Tabella 1, Colonna A e B dell'Allegato 5 al Titolo V della Parte Quarta del D.Lgs. 152/06.

Per la valutazione dell'aggressività su calcestruzzo sono invece stati indagati i seguenti parametri:

PARAMETRI	METODO	ACCREDITATO
Solfati	EN 196-2:2013	No
Acidità	UNI EN 16502 : 2014	No

4.2. OMOLOGA PER TERRE E ROCCE DA SCAVO DA GESTIRE COME RIFIUTO

I campioni di terreno prelevati tal quali sono stati sottoposti ad analisi chimico-fisiche finalizzate alla loro caratterizzazione ad alla valutazione in merito alla possibile conferibilità in impianto di recupero e/o di discarica.

Sono state pertanto eseguite le seguenti determinazioni:

- Campione tal quale

PARAMETRI	METODO	ACCREDITATO
Stato fisico	-	No
Odore Colore	ASTM D4979 - 19	No
Residuo secco a 105°C Residuo secco a 600°C	CNR IRSA 2 Q 64 Vol 2 1984	No

PARAMETRI	METODO	ACCREDITATO
Arsenico, Cadmio, Cobalto, Cromo totale, Mercurio, Nichel , Piombo, Rame, Zinco	EPA 3051A:2007 + EPA 6020B:2014	No
Cromo VI	CNR IRSA 16 Q 64 Vol 3 1986	Si
Composti organici aromatici (BTEX):		
Benzene		
Etilbenzene		
Stirene	LABO 10 Ed.09	Si
Toluene		
Xilene		
Sommatoria Organici Aromatici		
IPA: pirene, benzo(a)antracene,crisene, benzo(b)fluorantene, benzo(k)fluorantene, benzo(a)pirene,indeno(1,2,3-cd)pirene, dibenzo(a,h)antracene,benzo(g,h,i)perilene, dibenzo(a,l)pirene, dibenzo(a,e)pirene,dibenzo(a,h)pirene, dibenzo(a,i)pirene	UNI EN ISO 15527:2008	Si
Sommatoria Idrocarburi Policiclici Aromatici		
Idrocarburi pesanti C10-C40	UNI EN ISO 14039:2005	No
Olio minerale		
Idrocarburi leggeri C5-C10	LABO 10 Ed.09	Si
	NIOSH 9002 e	
Amianto	DM 06.09.1994 All.1 (FTIR)+LABO36	No

- Eluato recupero/discarica

PARAMETRI	METODO	ACCREDITATO
pH	APAT CNR IRSA 2060 Man 29 2003	Si
Cianuri	LCK315	No
Indice di fenolo	LCK345	No
TDS	APAT CNR IRSA 2090A Man 29 2003	No
COD	ISO 15705:2002	No
DOC	UNI EN 1484:1999	No
Cloruri, Fluoruri, Nitrati, Solfati	APAT CNR IRSA 4020 Man 29 2003	Si
Antimonio, Arsenico, Bario, Berillio, Cadmio, Cobalto, Cromo totale, Molibdeno, Nichel , Piombo, Rame, Selenio, Vanadio, Zinco	APHA Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ed 23nd 2017 3125B	Si
Amianto	Unione Europea Prog. LIFE03 ENV/IT/323 (2005)	No

I dati relativi al campione tal quale sono stati valutati in relazione alle norme relative alla classificazione dei rifiuti e, in particolare, secondo D.Lgs. 152/06 e smi, Parte IV, Reg. 1357/2014/Ue, Reg. (UE) 2017/997 e Dec. 2014/955/UE al fine di verificarne la pericolosità.

Ulteriormente, grazie all'esecuzione dei test di cessione, sono stati verificati i limiti previsti da All.3 al DM 05/02/1998 e smi per l'avvio a recupero e dal D.Lgs. 36/2003 e smi per il conferimento in discarica.

5. RISULTATI

Di seguito vengono presentati i risultati relativi alle indagini ambientali condotte.

5.1. ANALISI SUI TERRENI

Nelle tabelle di seguito riportate sono riepilogati i risultati della caratterizzazione chimica sui campioni di terreno prelevati, rapportati alle "Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC)" dei siti ad uso verde pubblico privato e residenziale (colonna A) e di quelli ad uso commerciale ed industriale (colonna B) come da Allegato 5 al Titolo V della Parte Quarta del D.Lgs. 152/2006 e smi.

Codice	22LA03242 22LA03243 22LA03244 22LA03245 22LA03246 22LA03247 22LA03248 22LA03249 22LA03250 22LA03251 22LA03252 22LA03916 22LA03917 22LA03918 22LA05046 22LA05047 22LA05048																		
Attività			Terreno	Terreno	Terreno	Terreno	Terreno	Terreno	Terreno	Terreno	Terreno	Terreno							
Data prelievo	Tab.1, Allegato 5 al Titolo V della Parte Quarta D.Lgs. 152/06 e smi		28/02/2022	28/02/2022	28/02/2022	28/02/2022	28/02/2022	28/02/2022	28/02/2022	28/02/2022	28/02/2022	02/03/2022	02/03/2022	18/03/2022	18/03/2022	18/03/2022	07/04/2022	07/04/2022	07/04/2022
Descrizione del campione	COLA	COL B	PZ.AMB 01 CA 1 (0.00 - 1.00)m	PZ.AMB 02 CA 1 (0.00 - 1.00)m	PZ.AMB 03 CA 1 (0.00 - 1.00)m	PZ.AMB 04 CA 1 (0.00 - 1.00)m	PZ.AMB 05 CA 1 (0.00 - 1.00)m	PZ.AMB 06 CA 1 (0.00 - 1.00)m	PZ.AMB 07 CA 1 (0.00 - 1.00)m	PZ.AMB 013 CA 1 (0.00 - 1.00)m	PZ.AMB 014 CA 1 (0.00 - 1.00)m	POZZ 10 CA1 (0.00 - 1.00)m	POZZ 10 CA2 (1.00 - 2.00)m	S 01 PZ CA1 (0.00 - 1.00)m	S 01 PZ CA2 (4.00 - 5.00)m	S 01 PZ CA3 (9.00 - 10.00)m	S 04 DH CA1 (0.00 - 1.00)m	S 04 DH CA2 (5.00 - 6.00)m	S 04 DH CA3 (6.00 - 7.00)m
Residuo a 105°C (%)	-	-	91,8	93,2	92,3	92,7	88,6	88,5	86,4	88,4	93,5	90,4	92,5	87,8	97,7	91,9	85,8	96,9	95,1
Frazione inferiore a 2 mm (%)	-	-	84,3	83,6	86,1	77,8	94,1	91,3	77,4	93,6	82,3	94,9	98,4	99,2	64	81,1	97,4	84,8	90,4
Arsenico (mg/kgss)	20	50	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5
Cadmio (mg/kgss)	2	15	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Cobalto (mg/kgss)	20	250	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5
Cromo (mg/kgss)	150	800	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	2,7	2,7	2,5	3,9	2,8	2,6	<2.5	2,7	<2.5	<2.5	4,4	<2.5	<2.5
Cromo VI (mg/kgss)	2	15	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6
Mercurio (mg/kgss)	1	5	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25
Nichel (mg/kgss)	120	500	2,8	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	4,5	<2.5	<2.5
Piombo (mg/kgss)	100	1000	11,4	4,5	7	3,4	11,8	10,8	9,2	11,4	5,6	5,6	4,2	5,8	<2.5	<2.5	4	<2.5	<2.5
Rame (mg/kgss)	120	600	5,1	2,9	4,8	<2.5	12,5	12,6	14,4	18,8	7,3	10	8,2	8,9	<2.5	<2.5	9,9	6,2	4
Zinco (mg/kgss)	150	1500	6,5	7,7	5,7	4,1	8,7	8,6	8,4	12,3	15,5	8,1	3,7	6,9	<2.5	3,6	8,5	6,2	7,7
Idrocarburi pesanti C>12 (mg/kgss)	50	750	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	140
Benzene (mg/kgss)	0,1	2	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Etilbenzene (mg/kgss)	0,5	50	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Stirene (mg/kgss)	0,5	50	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Toluene (mg/kgss)	0,5	50	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Xilene (o,m,p) (mg/kgss)	0,5	50	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Sommatoria organici aromatici (mg/kgss)	1	100	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Benzo (a) Antracene (mg/kgss)	0,5	10	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Benzo (a) Pirene (mg/kgss)	0,1	10	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Benzo (b) Fluorantene (mg/kgss)	0,5	10	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Benzo (k) Fluorantene (mg/kgss)	0,5	10	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Benzo (g,h,i) Perilene (mg/kgss)	0,1	10	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Crisene (mg/kgss)	5	50	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Dibenzo (a,e) Pirene (mg/kgss)	0,1	10	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Dibenzo (a,l) Pirene (mg/kgss)	0,1	10	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Dibenzo (a,i) Pirene (mg/kgss)	0,1	10	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Dibenzo (a,h) Pirene (mg/kgss)	0,1	10	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Sommatoria policiclici aromatici (mg/kgss)	10	100	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Dibenzo (a,h) Antracene (mg/kgss)	0,1	10	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Indeno (1,2,3,cd) Pirene (mg/kgss)	0,1	0,5	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Pirene (mg/kgss)	50	50	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Anfiboli (amosite,crocidolite) (R/NR)	-	-	Non rilevato	Non rilevato	Non rilevato	Non rilevato	Non rilevato	Non rilevato	Non rilevato	Non rilevato	Non rilevato	Non rilevato							
Crisotilo (R/NR)	-	-	Non rilevato	Non rilevato	Non rilevato	Non rilevato	Non rilevato	Non rilevato	Non rilevato	Non rilevato	Non rilevato	Non rilevato							
Amianto in SEM (mg/kgss)	1000	1000	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100
Amosite (mg/kgss)	-	-	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100
Crisotilo (mg/kgss)	-	-	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100
Crocidolite (mg/kgss)	-	-	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100

Si rileva che tutti i campioni rispettano le CSC previste dal D.Lgs. 152/2006 parte IV Allegato V tabella 1, Colonna B, per i siti ad uso commerciale e industriale, mentre si osserva un lieve superamento puntuale per quanto attiene i limiti di Colonna A nel campione S04DH CA3(6.00-7.00)m per il parametro Idrocarburi pesanti C>12.

Per la valutazione dell'aggressività su calcestruzzo sono invece stati ottenuti i seguenti risultati:

Codice	22LA04459
Matrice	Terreno
Data prelievo	18/03/2022
Descrizione del campione	S01 PZ CA5 (0.00 - 1.00; 4.00 - 5.00; 9.00 - 10.00)m
Solfati (%)	< 0.01
Acidità (ml/kg)	<2

Se poniamo i risultati a confronto con i limiti previsti da Prospetto 2 della UNI EN 206:2016, non rileviamo presupposti per attacco chimico da parte del terreno

prospetto 2 Valori limite per le classi di esposizione per l'attacco chimico nel terreno naturale e nell'acqua del terreno				
Caratteristica chimica	Metodo di prova di riferimento	XA1	XA2	XA3
Acqua nel terreno				
SO ₄ ²⁻ mg/l	EN 196-2	≥200 e ≤600	>600 e ≤3 000	>3 000 e ≤6 000
pH	ISO 4316	≤6,5 e ≥5,5	<5,5 e ≥4,5	<4,5 e ≥4,0
CO ₂ mg/l aggressiva	EN 13577	≥15 e ≤40	>40 e ≤100	>100 fino a saturazione
NH ₄ ⁺ mg/l	ISO 7150-1	≥15 e ≤30	>30 e ≤60	>60 e ≤100
Mg ²⁺ mg/l	EN ISO 7980	≥300 e ≤1 000	>1 000 e ≤3 000	>3 000 fino a saturazione
Terreno				
SO ₄ ²⁻ mg/kg ^{a)} totale	EN 196-2 ^{b)}	≥2 000 e ≤3 000 ^{c)}	>3 000 ^{c)} e ≤12 000	>12 000 e ≤24 000
Acidità secondo Baumann Gully ml/kg	prEN 16502	>200	Non incontrato nella pratica	
a) I terreni argillosi con una permeabilità minore di 10 ⁻⁵ m/s possono essere classificati in una classe inferiore. b) Il metodo di prova prescrive l'estrazione di SO ₄ ²⁻ mediante acido cloridrico; in alternativa si può utilizzare l'estrazione con acqua, se nel luogo d'impiego del calcestruzzo vi è questa pratica. c) Il limite di 3 000 mg/kg deve essere ridotto a 2 000 mg/kg, nel caso in cui esiste il rischio di accumulo di ioni solfato nel calcestruzzo causato da cicli di essiccamento/bagnatura o suzione capillare.				

5.2. OMOLOGA PER TERRE E ROCCE DA SCAVO DA GESTIRE COME RIFIUTO

Con riferimento alle analisi eseguite sulle matrici terrose come rifiuto, non si evidenzia la presenza di sostanze pericolose in concentrazioni tali da attribuire caratteristiche di pericolo HP ai rifiuti; i campioni pertanto possono essere identificati da Codice EER 17 05 04 che comprende “Terra e rocce da scavo, diverse da quelle di cui alla voce 17 05 03*”

Codice	22LA03919	22LA05049
Attività	Rifiuto solido	Rifiuto solido
Codice CER	17 05 04	17 05 04
Data prelievo	18/03/2022	07/04/2022
Descrizione del campione	S01 PZ CA4 (0.00 - 1.00; 4.00 - 5.00; 9.00 - 10.00)m	S 04 DH CA4 (0.00 - 1.00 - 5.00-6.00 - 6.00-7.00)m
Stato fisico ()	SOLIDO NON POLVERULENTO	SOLIDO NON POLVERULENTO
Odore ()	terroso	terroso
Frazione superiore a 2 mm (%)	8,9	2,3
Residuo a 105°C (sostanza secca) (%)	91,2	94,2
Residuo a 600°C (%)	90,8	14,1
Colore ()	marrone	marrone
pH (unità di pH)	7,1	7,8
Arsenico (mg/kg)	< 2.5	< 2.5
Cadmio (mg/kg)	< 0.5	< 0.5
Cobalto (mg/kg)	< 2.5	< 2.5
Cromo (mg/kg)	< 2.5	< 2.5
Cromo VI (mg/kg)	< 5	< 5
Mercurio (mg/kg)	< 5	< 5
Nichel (mg/kg)	< 2.5	< 2.5
Piombo (mg/kg)	< 2.5	< 2.5
Rame (mg/kg)	3,9	4,9
Zinco (mg/kg)	4,7	9,2
Idrocarburi pesanti C10-C40 (mg/kg)	< 200	335
Idrocarburi leggeri C5-C10 (mg/kg)	< 10	< 10
Benzene (mg/kg)	< 1	< 1
Etilbenzene (mg/kg)	< 1	< 1

Codice	22LA03919	22LA05049
Stirene (mg/kg)	< 1	< 1
Toluene (mg/kg)	< 1	< 1
(o-m-p) Xilene (mg/kg)	< 1	< 1
Sommatoria organici aromatici (mg/kg)	< 1	< 1
Acenaftene (mg/kg)	< 1	< 1
Acenaftilene (mg/kg)	< 1	< 1
Antracene (mg/kg)	< 1	< 1
Benzo(a)antracene (mg/kg)	< 1	< 1
Benzo(a)pirene (mg/kg)	< 1	< 1
Benzo(b+j)fluorantene (mg/kg)	< 1	< 1
Benzo(e)pirene (mg/kg)	< 1	< 1
Benzo(g,h,i)perilene (mg/kg)	< 1	< 1
Benzo(k)fluorantene (mg/kg)	< 1	< 1
Crisene (mg/kg)	< 1	< 1
Dibenzo(a,e)pirene (mg/kg)	< 1	< 1
Dibenzo(a,h)pirene (mg/kg)	< 1	< 1
Dibenzo(a,i)pirene (mg/kg)	< 1	< 1
Dibenzo(a,l)pirene (mg/kg)	< 1	< 1
Dibenzo(a,h)antracene (mg/kg)	< 1	< 1
Fenantrene (mg/kg)	< 1	< 1
Fluorantene (mg/kg)	< 1	< 1
Fluorene (mg/kg)	< 1	< 1
Indeno (1,2,3,cd) Pirene (mg/kg)	< 1	< 1
Naftalene (mg/kg)	< 1	< 1
Perilene (mg/kg)	< 1	< 1
Pirene (mg/kg)	< 1	< 1
Amianto in microscopia ottica (R/NR)	Non rilevato	Non rilevato
Amianto in FTIR (mg/kg)	< 1000	< 1000
Amosite (mg/kg)	< 1000	< 1000
Crisotilo (mg/kg)	< 1000	< 1000
Crocidolite (mg/kg)	< 1000	< 1000

MILANO DEPARTMENT

Via Bariola, 101-103 - 20045 Lainate (MI)

Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099

SOCOTEC ITALIA Srl – P.Iva 01872430648 - Capitale sociale 7.144.000,00 euro

Sede Legale: Via Bariola, 101-103 - 20045 Lainate (MI)

Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099

www.socotec.it

Con riferimento ai parametri e limiti previsti dal DM 05/02/1998 e smi «Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero, ai sensi degli articoli 31 e 33 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22», allegato 3, di seguito presentiamo gli esiti:

Codice		22LA03921	22LA05051
Attività		Eluato per Recupero	Eluato per Recupero
Codice CER		17 05 04	17 05 04
Data prelievo		18/03/2022	07/04/2022
	DM 05/02/1998 e smi, allegato 3	S01 PZ CA5 (0.00 - 1.00; 4.00 - 5.00; 9.00 - 10.00)m	S 04 DH CA4 (0.00 - 1.00 - 5.00-6.00 - 6.00-7.00)m
Descrizione del campione			
Conduttività elettrica a 20°C (µs/cm)	-	190	211
pH (unità di pH)	5.5-12.0	7,1	7,8
Cloruri (mg/L)	50	1,7	3,3
Fluoruri (mg/L)	30	0,44	1,1
Solfati (mg/L)	100	1,4	3,9
Bario (mg/L)	1.5	0,01	0,08
Rame (mg/L)	50	< 0.01	< 0.01
Zinco (mg/L)	250	< 0.01	< 0.01
Cianuri (µg/L)	50	< 10	< 10
COD (mg/L)	1	< 20	< 20
Nitrati (mg/L)	10	1	7,8
Arsenico (µg/L)	5	0,2	4
Berillio (µg/L)	250	< 1	< 1
Cadmio (µg/L)	50	< 0.1	< 0.1
Cobalto (µg/L)	1	< 10	< 10
Cromo totale (µg/L)	10	< 1	29
Mercurio (µg/L)	50	< 0.1	< 0.1
Nichel (µg/L)	0.05	1	< 1
Piombo (µg/L)	10	< 1	< 1
Selenio (µg/L)	250	< 0.1	0,6
Vanadio (µg/L)	3	< 1	10
Amianto (mg/L)	30	< 10	< 10

Entrambi gli eluati sono conformi ai limiti previsti dall'All.3 al DM 05/02/1998 e smi.

Con riferimento ai limiti previsti dal D.Lgs. 13 gennaio 2003 n.36, così come modificato dal D.Lgs. 3 settembre 2020 n.121 e s.m.i., di seguito presentiamo gli esiti:

Codice	22LA03920			22LA05050	
Attività				Ammissibilità in discarica	Ammissibilità in discarica
Codice CER				17 05 04	17 05 04
Data prelievo	D.Lgs. 36/2003 e smi			18/03/2022	07/04/2022
Descrizione del campione	Inerti	Non pericolosi	Pericolosi	S01 PZ CA5 (0.00 - 1.00; 4.00 - 5.00; 9.00 - 10.00)m	S 04 DH CA4 (0.00 - 1.00 - 5.00-6.00 - 6.00-7.00)m
BTEX (mg/kg)	25		25	< 1	< 1
Olio Minerale (C10-C40) (mg/kg)	6			< 200	355
Carbonio organico totale (mg/kg)	500			1933	4432
pH (unità di pH)	30000		60000	7,1	7,8
DOC (mg/L)	50	100	100	7,2	3,4
Indice di fenolo (mg/L)	0.1			<0.05	<0.05
Cloruri (mg/L)	80	2500	2500	1,7	3,3
Fluoruri (mg/L)	1	15	50	0,44	1,1
Solfati (mg/L)	100	5000	5000	1,4	3,9
Solidi disciolti totali (mg/L)	400	10000	10000	95	105,5
Antimonio (mg/L)	0.006	0.07	0.5	0,0002	0,001
Arsenico (mg/L)	0.05	0.2	2.5	0,0002	0,004
Bario (mg/L)	2	10	30	0,01	0,08
Cadmio (mg/L)	0.004	0.1	0.5	0,0001	<0.0001
Cromo totale (mg/L)	0.05	1	7	<0.001	0,03
Mercurio (mg/L)	0.001	0.02	0.2	<0.0001	<0.0001
Molibdeno (mg/L)	0.05	1	3	<0.01	<0.01
Nichel (mg/L)	0.04	1	4	<0.001	<0.001
Piombo (mg/L)	0.05	1	5	<0.001	<0.001
Rame (mg/L)	0.2	5	10	<0.01	<0.01
Selenio (mg/L)	0.01	0.05	0.7	<0.0001	0,0006
Zinco (mg/L)	0.4	5	20	<0.01	<0.01

Come evidenziato, limitatamente ai parametri indagati, tutti il campione S01 PZ CA5 risulta conforme ai limiti più restrittivi dell'Allegato 4, tab. 2 e tab.4, Art. 7-quater - Impianti di discarica per rifiuti inerti; il campione S04DHCA4, può ritenersi conforme ai limiti previsti per le discariche di rifiuti non pericolosi secondo dell'Allegato 4, tab. 2 e tab.5, Art. 7-quinquies. In caso di necessità di

avvio a discarica, si suggerisce il ricontrollo dell'eluato del campione S04DHCA4 o una valutazione di conformità che consideri il dato di incertezza.

6. CONCLUSIONI

Le indagini ambientali condotte in questa sede sui campioni di terreno e acqua di falda nell'ambito dell'intervento "UC165 - Autostrada A2 "Mediterranea" – viabilità complementare – Porto di Gioia Tauro – Lavori di potenziamento funzionale raccordo stradale sud alla rete TEN-T – Collegamento Porto di Gioia Tauro gate sud – A2 (I Lotto: dal gate sud allo svincolo con la SS18)" hanno permesso di verificare quanto segue.

Tutti i terreni analizzati rispettano le CSC previste dal D.Lgs. 152/2006 parte IV Allegato V tabella 1, Colonna B, per i siti ad uso commerciale e industriale, mentre si osserva un lieve superamento limitato al campione S04DH CA3(6.00-7.00)m, parametro Idrocarburi pesanti C>12, per quanto attiene le CSC di Colonna A.

Dalle determinazioni analitiche effettuate ai fini della classificazione dei materiali come rifiuti, i campioni di terre e rocce da scavo analizzati, limitatamente ai parametri indagati, sono risultati non pericolosi e pertanto ascrivibili al Codice EER 17 05 04 «Terra e rocce da scavo, diverse da quelle di cui alla voce 17 05 03*»; in relazione ai parametri indagati, risulta inoltre che gli stessi possono essere conferiti in impianto di recupero ai sensi del DM 05/02/1998 e smi, All.3. Un campione risulta pienamente conforme al conferimento in discarica per rifiuti inerti (D.Lgs 36/2003 e smi), mentre per l'altro, visto il lieve superamento del limite, si suggerisce, in caso di necessità, un approfondimento.

Infine, nel campione medio testato, non si rileva sussistenza di attacco chimico del terreno su calcestruzzo.



Committente: ANAS S.p.A

Contratto Applicativo n. 16: Servizi indagini geognostiche, geofisiche, di laboratorio e di monitoraggio geotecnico-geomorfologico, a supporto della progettazione definitiva dell'intervento "UC167 - Autostrada A2 "Mediterranea" – viabilità complementare – Porto di Gioia Tauro – Lavori di potenziamento funzionale raccordo stradale sud alla rete TEN-T – Collegamento Porto di Gioia Tauro gate sud – A2 (Il Lotto: dallo svincolo con la SS18 escluso allo svincolo con la A2 compreso)

VALUTAZIONE DEI DATI ANALITICI

Lainate, 14/06/2022

REV	DATA	Descrizione	Preparato	Verificato	Approvato
00	14/06/2022	Prima emissione	Dott.sa Ilaria Nizzetto	Dott.sa Ilaria Nizzetto	Dott. Francesco Berti

MILANO DEPARTMENT
Via Bariola, 101-103 - 20045 Lainate (MI)
Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099

SOCOTEC ITALIA Srl – P.Iva 01872430648 - Capitale sociale 7.144.000,00 euro
Sede Legale: Via Bariola, 101-103 - 20045 Lainate (MI)
Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099
www.socotec.it



Sommario

1. PREMESSA	3
2. NORMATIVA APPLICATA.....	3
3. PRELIEVO CAMPIONI	4
3.1. CAMPIONI DI TERRENO	4
4. ANALISI CHIMICHE	7
4.1. ANALISI CHIMICO-FISICHE DEI TERRENI	7
4.2. OMOLOGA PER TERRE E ROCCE DA SCAVO DA GESTIRE COME RIFIUTO	9
5. RISULTATI	10
5.1. ANALISI SUI TERRENI.....	10
5.2. OMOLOGA PER TERRE E ROCCE DA SCAVO DA GESTIRE COME RIFIUTO	14
6. CONCLUSIONI.....	19

1. PREMESSA

In riferimento al Contratto Applicativo n. 16: Servizi indagini geognostiche, geofisiche, di laboratorio e di monitoraggio geotecnico-geomorfologico, a supporto della progettazione definitiva dell'intervento "UC167 - Autostrada A2 "Mediterranea" – viabilità complementare – Porto di Gioia Tauro – Lavori di potenziamento funzionale raccordo stradale sud alla rete TEN-T – Collegamento Porto di Gioia Tauro gate sud – A2 (II Lotto: dallo svincolo con la SS18 escluso allo svincolo con la A2 compreso)", la presente relazione tecnica riferisce sui risultati delle indagini ambientali e di laboratorio eseguite.

In particolare, secondo quanto previsto dalla scheda di affidamento e dalle indicazioni ricevute in campo, sono stati eseguiti prelievi di n.22 campioni di terreno da n.13 punti di prelievo, al fine di procedere ad una caratterizzazione ambientale del sito e dei materiali di scavo.

E' stata eseguita inoltre la prova su n.2 campioni selezionati dalla committenza per determinare il grado di aggressività dei terreni confronti del calcestruzzo.

Sono infine stati raccolti n.6 campioni di materiale terrigeno da caratterizzare come rifiuto, con relativa valutazione per eventuale conferimento a impianto di recupero e/o discarica.

Le attività di prelievo hanno avuto inizio il 13/04/2022 e sono terminate il 13/05/2022.

2. NORMATIVA APPLICATA

I campionamenti ambientali e le valutazioni relative agli esiti analitici sono stati eseguiti in conformità ai disposti di:

- D.Lgs. 152/06 e smi, Parte IV
- DPR 120/17 e smi
- Norme comunitarie relative alla classificazione rifiuti, quali il Reg. 1357/2014/Ue e smi, Reg. (UE) 2017/997 e smi, Dec. 2014/955/UE e smi
- Decreto direttoriale n. 47 del 9 agosto 2021 «Approvazione delle Linee guida sulla classificazione dei rifiuti di cui alla delibera del Consiglio SNPA del 18 maggio 2021, n. 105»
- DM 05/02/1998 e smi, All.3

- D.Lgs. 36/2003 e smi
- Linee guida SNPA n.54_19
- Linee guida SNPA n.24_20.

3. PRELIEVO CAMPIONI

3.1. CAMPIONI DI TERRENO

Per quanto attiene il dettaglio delle modalità di esecuzione delle indagini geognostiche e dei pozzetti esplorativi, le posizioni dei sondaggi e le schede dei punti di campionamento si rimanda alla relazione tecnica relativa al monitoraggio geotecnico-geomorfologico.

Per i campionamenti ambientali sono stati realizzati pozzetti esplorativi e sondaggi così identificati:

Sigla	Tipologia
PZ AMB 08	Pozzetto
PZ AMB 09	Pozzetto
PZ AMB 10	Pozzetto
PZ AMB 11	Pozzetto
PZ AMB 12	Pozzetto
PZ AMB 16	Pozzetto
PZ 04	Pozzetto
PZ 06	Pozzetto
PZ 07	Pozzetto
PZ 09	Pozzetto
S 07 PZ	Sondaggio
S 09 PZ	Sondaggio
S 11 DH	Sondaggio

I campioni di terreno destinati alla caratterizzazione chimica, sono stati prelevati con le seguenti modalità:

- il campione è formato da più incrementi prelevati dal materiale estratto dai pozzetti e dalle carote. Il campione composito ottenuto viene setacciato in campo con setaccio a maglia 2 cm;

il sopravaglio viene scartato mentre il sottovaglio viene miscelato, quartato e raccolto in contenitore in vetro con tappo a bocca larga.

- Le aliquote destinate all'analisi di composti volatili sono invece prelevate in singolo incremento dalle pareti del pozzetto o dal cuore della carota, cercando di limitare al minimo la manipolazione del materiale; il terreno viene raccolto in vasetti o vials in vetro, riempiti fino all'orlo e opportunamente sigillati.
- I campioni di riporto da sottoporre a test di cessione, i campioni destinati alle analisi di caratterizzazione del rifiuto e/o alla determinazione dell'aggressività al calcestruzzo sono prelevati tal quali e raccolti in contenitore in vetro a bocca larga.

I campioni così formati sono stati etichettati e posti in frigo-box; per ciascuna giornata di campionamento sono state compilate apposite catene di custodia, su format della Committenza, con annotazione dell'identificativo dei campioni e delle aliquote prelevate.

Al termine di ogni operazione di prelievo e prima del successivo, tutte le attrezzature (sessole, setacci, palette, secchi, ecc) impiegate sono state decontaminate per evitare fenomeni di "cross contamination" ed i teli impiegati per la quartatura sostituiti.

Dopo la formazione del campione lo stesso è stato immediatamente trasferito all'interno di frigo box termici mantenuto a circa 4°C con panetti refrigeranti e trasferiti nel minor tempo possibile al laboratorio SOCOTEC ITALIA Srl di Lainate.

Le attività di campionamento sono state condotte dal Geologo responsabile del cantiere e da personale opportunamente formato sulle modalità di campionamento secondo DPR 120/17, UNI 10802 e DM 13/09/1999.

Di seguito si riporta elenco completo di tutti i campioni di terreno prelevati e relativo numero di Rapporto di Prova:

Punto di indagine	Numero RdP	Denominazione campione
PZ AMB 08	22LA05875	CA1 (0.00 - 1.00)m
PZ AMB 09	22LA05876	CA1 (0.00 - 1.00)m
PZ AMB 10	22LA05877	CA1 (0.00 - 1.00)m

Punto di indagine	Numero RdP	Denominazione campione
PZ AMB 11	22LA05878	CA1 (0.00 - 1.00)m
PZ AMB 12	22LA05879	CA1 (0.00 - 1.00)m
PZ 04	22LA06331	CA1 (0.00 - 1.00)m
	22LA06332	CA2 (1.00 - 2.00)m
PZ 06	22LA06329	CA1 (0.00 - 1.00)m
	22LA06330	CA2 (1.00 - 2.00)m
PZ 07	22LA06327	CA1 (0.00 - 1.00)m
	22LA06328	CA2 (1.00 - 2.00)m
PZ 09	22LA06325	CA1 (0.00 - 1.00)m
	22LA06326	CA2 (1.00 - 2.00)m
S 07 PZ	22LA07262	CA1 (0.00 - 1.00)m
	22LA07263	CA2 (1.00 - 2.00)m
S 09 PZ	22LA07267	CA1 (0.00 - 1.00)m
	22LA07268	CA2 (1.00 - 2.00)m
	22LA07269	CA3 (2.00 - 3.00)m
S 11 DH	22LA05881	CA1 (0.00 - 1.00)m
	22LA05882	CA2 (4.00 - 5.00)m
	22LA05883	CA3 (9.00 - 10.00)m

Sono stati inoltre realizzati sei campioni compositi rappresentativi del materiale estratto dai sondaggi, per la caratterizzazione come rifiuto: le diverse aliquote sono state miscelate ottenendo i seguenti campioni:

Punto di indagine	Numero RdP	Denominazione campione
PZ 04	22LA06342	CA3 (0.00 - 2.00)m
	22LA06343	
	22LA06344	
PZ 06	22LA06339	CA3 (0.00 - 2.00)m
	22LA06340	
	22LA06341	
PZ 07	22LA06336	CA3 (0.00 - 2.00)m
	22LA06337	
	22LA06338	
PZ 09	22LA06333	CA3 (0.00 - 2.00)m
	22LA06334	
	22LA06335	

Punto di indagine	Numero RdP	Denominazione campione
S 09 PZ	22LA07880	CA4 (0.00 - 11.00)m
	22LA07270	
	22LA07271	
S 07 PZ	22LA07902	CA3 (0.00 - 2.00)m
	22LA07264	
	22LA07265	

Una aliquota dei campioni medi prelevati presso i punti S 07 PZ e S 09 PZ è stata inoltre sottoposta a verifica per la valutazione dell'aggressività del terreno su calcestruzzo:

Punto di indagine	Numero RdP	Denominazione campione
S 07 PZ	22LA07266	CA4 (0.00 - 2.00)m
S 09 PZ	22LA07272	CA5 (0.00 - 11.00)m

4. ANALISI CHIMICHE

4.1. ANALISI CHIMICO-FISICHE DEI TERRENI

Le analisi chimico fisiche sui campioni di terreno sono state eseguite secondo Piano del Committente ed hanno previsto la ricerca dei seguenti gruppi di analiti, indicati dal DPR 120/17, tab 4.1:

- Metalli
- Idrocarburi pesanti (C>12)
- Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)
- Composti organici aromatici (BTEX)
- Amianto

Solo per alcuni campioni si è proceduto alla ricerca di BTEX e IPA, in quanto posizionati in prossimità di assi viari.

Le determinazioni analitiche in laboratorio sono state condotte sull'aliquota di granulometria inferiore a 2 mm. La concentrazione del campione è determinata riferendosi alla totalità dei materiali secchi, comprensiva anche dello scheletro campionato (frazione compresa tra 2 cm e 2 mm).

Il laboratorio ha applicato metodiche di preparazione e tecniche analitiche conformi ai protocolli nazionali e/o internazionali ufficialmente riconosciuti e metodi interni accreditati secondo UNI EN ISO /IEC 17025:

PARAMETRI	METODO	ACCREDITATO
Frazione < 2mm	DM 13/09/1999 SO n° 185 GU n°248 21/10/1999 Met II.1	Si
Residuo secco a 105°C	CNR IRSA 2 Q 64 Vol 2 1984	Si
Arsenico, Cadmio, Cobalto, Cromo totale, Mercurio, Nichel , Piombo, Rame, Zinco	EPA 3051A:2007 + EPA 6010D:2014	No
Cromo VI	CNR IRSA 16 Q 64 Vol 3 1986	Si
Composti organici aromatici (BTEX): Benzene Etilbenzene Stirene Toluene Xilene Sommatoria Organici Aromatici	LABO 10 Ed.09	Si
IPA: benzo(a)antracene, benzo(a)pirene, benzo(b)fluorantene, benzo(k)fluorantene, benzo(g,h,i)perilene, crisene, dibenzo(a,e)pirene, dibenzo(a,l)pirene, dibenzo(a,i)pirene, dibenzo(a,h)pirene, Sommatoria Idrocarburi Policiclici Aromatici, dibenzo (a,h) antracene, indeno(1,2,3-cd)pirene, pirene	LABO 03 Ed.14	Si
Idrocarburi pesanti C>12	UNI EN ISO 16703:2011 e LABO11 Ed.09	No
Amianto	D.M 06/09/1994 All. 1 Met. B GU n. 288 10/12/94 (SEM)	No

Gli esiti delle attività analitiche sono stati dunque confrontati con le "concentrazioni soglia di contaminazione (CSC)" di cui alla Tabella 1, Colonna A e B dell'Allegato 5 al Titolo V della Parte Quarta del D.Lgs. 152/06.

Per la valutazione dell'aggressività su calcestruzzo sono invece stati indagati i seguenti parametri:

PARAMETRI	METODO	ACCREDITATO
Solfati	EN 196-2:2013	No
Acidità	UNI EN 16502 : 2014	No

4.2. OMOLOGA PER TERRE E ROCCE DA SCAVO DA GESTIRE COME RIFIUTO

I campioni di terreno prelevati tal quali sono stati sottoposti ad analisi chimico-fisiche finalizzate alla loro caratterizzazione ad alla valutazione in merito alla possibile conferibilità in impianto di recupero e/o di discarica.

Sono state pertanto eseguite le seguenti determinazioni:

- Campione tal quale

PARAMETRI	METODO	ACCREDITATO
Stato fisico	-	No
Odore		
Colore	ASTM D4979 - 19	No
Residuo secco a 105°C		
Residuo secco a 600°C	CNR IRSA 2 Q 64 Vol 2 1984	No
Arsenico, Cadmio, Cobalto, Cromo totale, Mercurio, Nichel , Piombo, Rame, Zinco	EPA 3051A:2007 + EPA 6010D:2014	No
Cromo VI	CNR IRSA 16 Q 64 Vol 3 1986	Si
Composti organici aromatici (BTEX):		
Benzene		
Etilbenzene		
Stirene	LABO 10 Ed.09	Si
Toluene		
Xilene		
Sommatoria Organici Aromatici		
IPA:		
pirene, benzo(a)antracene, crisene, benzo(b)fluorantene, benzo(k)fluorantene, benzo(a)pirene, indeno(1,2,3-cd)pirene, dibenzo(a,h)antracene, benzo(g,h,i)perilene, dibenzo(a,l)pirene, dibenzo(a,e)pirene, dibenzo(a,h)pirene, dibenzo(a,i)pirene	LABO 03 Ed.14	Si
Sommatoria Idrocarburi Policiclici Aromatici		
Idrocarburi pesanti C10-C40		
Olio minerale	UNI EN ISO 14039:2005	No
Idrocarburi leggeri C5-C10	LABO 10 Ed.09	Si
Amianto	D.M 06/09/1994 All. 1 Met. B GU n. 288 10/12/94 (SEM)	No

- Eluato recupero/discarica

PARAMETRI	METODO	ACCREDITATO
pH	APAT CNR IRSA 2060 Man 29 2003	Si
Cianuri	LCK315	No
Indice di fenolo	LCK345	No

PARAMETRI	METODO	ACCREDITATO
TDS	APAT CNR IRSA 2090A Man 29 2003	No
COD	ISO 15705:2002	No
DOC	UNI EN 1484:1999	No
Cloruri, Fluoruri, Nitrati, Solfati	APAT CNR IRSA 4020 Man 29 2003	Si
Antimonio, Arsenico, Bario, Berillio, Cadmio, Cobalto, Cromo totale, Molibdeno, Nichel , Piombo, Rame, Selenio, Vanadio, Zinco	APHA Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ed 23nd 2017 3125B	Si
Amianto	Unione Europea Prog. LIFE03 ENV/IT/323 (2005)	No

I dati relativi al campione tal quale sono stati valutati in relazione alle norme relative alla classificazione dei rifiuti e, in particolare, secondo D.Lgs. 152/06 e smi, Parte IV, Reg. 1357/2014/Ue, Reg. (UE) 2017/997 e Dec. 2014/955/UE al fine di verificarne la pericolosità.

Ulteriormente, grazie all'esecuzione dei test di cessione, sono stati verificati i limiti previsti da All.3 al DM 05/02/1998 e smi per l'avvio a recupero e dal D.Lgs. 36/2003 e smi per il conferimento in discarica.

5. RISULTATI

Di seguito vengono presentati i risultati relativi alle indagini ambientali condotte.

5.1. ANALISI SUI TERRENI

Nelle tabelle di seguito riportate sono riepilogati i risultati della caratterizzazione chimica sui campioni di terreno prelevati, rapportati alle "Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC)" dei siti ad uso verde pubblico privato e residenziale (colonna A) e di quelli ad uso commerciale ed industriale (colonna B) come da Allegato 5 al Titolo V della Parte Quarta del D.Lgs. 152/2006 e smi.

Codice	Tab.1, Allegato 5 al Titolo V della Parte Quarta D.Lgs. 152/06		22LA05875	22LA05876	22LA05877	22LA05878	22LA05879	22LA05880	22LA05881	22LA05882	22LA05883	22LA06325	22LA06326
Attività			Terreno	Terreno	Terreno	Terreno	Terreno	Terreno	Terreno	Terreno	Terreno	Terreno	Terreno
Data prelievo			13/04/2022	13/04/2022	13/04/2022	13/04/2022	13/04/2022	13/04/2022	13/04/2022	13/04/2022	13/04/2022	26/04/2022	26/04/2022
Descrizione del campione	COL A	COL B	PZ. AMB. 08 CA1 (0.00 - 1.00)m	PZ. AMB. 09 CA1 (0.00 - 1.00)m	PZ. AMB. 10 CA1 (0.00 - 1.00)m	PZ. AMB. 11 CA1 (0.00 - 1.00)m	PZ. AMB. 12 CA1 (0.00 - 1.00)m	PZ. AMB. 16 CA1 (0.00 - 1.00)m	S 11 DH CA1 (0.00 - 1.00)m	S 11 DH CA2 (4.00 - 5.00)m	S 11 DH CA3 (9.00 - 10.00)m	PZ 09 CA 1 (0.00 - 1.00)m	PZ 09 CA 2 (1.00 - 2.00)m
Residuo a 105°C (%)	-	-	82,4	88,2	87,1	92,4	87,5	86,8	96,1	84,7	87,7	85,4	96,4
Frazione inferiore a 2 mm (%)	-	-	98	96,9	92,9	98,9	97,8	98,1	77,6	66,9	89,4	94,1	63,9
Arsenico (mg/kgss)	20	50	4,1	2,6	23,7	< 2.5	< 2.5	3	< 2.5	< 2.5	< 2.5	4,2	< 2.5
Cadmio (mg/kgss)	2	15	< 0.5	< 0.5	0,9	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5
Cobalto (mg/kgss)	20	250	4,2	2,7	23,5	< 2.5	< 2.5	2,9	< 2.5	< 2.5	< 2.5	4,2	< 2.5
Cromo (mg/kgss)	150	800	6,1	4,1	34	< 2.5	2,9	4,5	< 2.5	6,1	3,6	7	< 2.5
Cromo VI (mg/kgss)	2	15	< 0.6	< 0.6	< 0.6	< 0.6	< 0.6	< 0.6	< 0.6	< 0.6	< 0.6	< 0.6	< 0.6
Mercurio (mg/kgss)	1	5	< 0.25	< 0.25	< 0.25	< 0.25	< 0.25	< 0.25	< 0.25	< 0.25	< 0.25	< 0.25	< 0.25
Nichel (mg/kgss)	120	500	2,9	< 2.5	17,1	< 2.5	< 2.5	< 2.5	< 2.5	3,2	< 2.5	3,3	< 2.5
Piombo (mg/kgss)	100	1000	15,8	13	98	9,5	9,9	14	7,5	< 2.5	< 2.5	11,1	< 2.5
Rame (mg/kgss)	120	600	32	20,8	179	12,7	17,4	22	6,5	4,7	3	28	4,4
Zinco (mg/kgss)	150	1500	15,4	12,4	98	9,2	10,2	12	24,4	11,6	6,9	13,7	5,6
Idrocarburi pesanti C>12 (mg/kgss)	50	750	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	185	2363	411	< 20	< 20	< 20
Benzene (mg/kgss)	0,1	2	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01				< 0.01	< 0.01
Etilbenzene (mg/kgss)	0,5	50	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01				< 0.01	< 0.01
Stirene (mg/kgss)	0,5	50	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01				< 0.01	< 0.01
Toluene (mg/kgss)	0,5	50	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01				< 0.01	< 0.01
Xilene (o,m,p) (mg/kgss)	0,5	50	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01				< 0.01	< 0.01
Sommatoria organici aromatici (mg/kgss)	1	100	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01				< 0.01	< 0.01
Benzo (a) Antracene (mg/kgss)	0,5	10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01				< 0.01	< 0.01
Benzo (a) Pirene (mg/kgss)	0,1	10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01				< 0.01	< 0.01
Benzo (b) Fluorantene (mg/kgss)	0,5	10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01				< 0.01	< 0.01
Benzo (k) Fluorantene (mg/kgss)	0,5	10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01				< 0.01	< 0.01
Benzo (g,h,i) Perilene (mg/kgss)	0,1	10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01				< 0.01	< 0.01
Crisene (mg/kgss)	5	50	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01				< 0.01	< 0.01
Dibenzo (a,e) Pirene (mg/kgss)	0,1	10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01				< 0.01	< 0.01
Dibenzo (a,l) Pirene (mg/kgss)	0,1	10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01				< 0.01	< 0.01
Dibenzo (a,i) Pirene (mg/kgss)	0,1	10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01				< 0.01	< 0.01
Dibenzo (a,h) Pirene (mg/kgss)	0,1	10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01				< 0.01	< 0.01
Sommatoria policiclici aromatici (mg/kgss)	10	100	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01				< 0.01	< 0.01
Dibenzo (a,h) Antracene (mg/kgss)	0,1	10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01				< 0.01	< 0.01
Indeno (1,2,3,cd) Pirene (mg/kgss)	0,1	0,5	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01				< 0.01	< 0.01
Pirene (mg/kgss)	50	50	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01				< 0.01	< 0.01
Amianto in SEM (mg/kgss)	1000	1000	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100

Codice	Tab.1, All. 5 al Tit.V della Parte Quarta D.Lgs. 152/06		22LA06327	22LA06328	22LA06329	22LA06330	22LA06331	22LA06332	22LA07262	22LA07263	22LA07267	22LA07268	22LA07269
Attività			Terreno	Terreno	Terreno	Terreno	Terreno						
Data prelievo			26/04/2022	26/04/2022	26/04/2022	26/04/2022	26/04/2022	26/04/2022	13/05/2022	13/05/2022	03/05/2022	03/05/2022	03/05/2022
Descrizione del campione	COL A	COL B	PZ 07 CA 1 (0.00 - 1.00)m	PZ 07 CA 2 (1.00 - 2.00)m	PZ 06 CA 1 (0.00 - 1.00)m	PZ 06 CA 2 (1.00 - 2.00)m	PZ 04 CA 1 (0.00 - 1.00)m	PZ 04 CA 2 (1.00 - 2.00)m	S 07 PZ CA 1 (0.00 - 1.00)m	S 07 PZ CA 2 (1.00 - 2.00)m	S 09 PZ DH CA 1 (0.00 - 1.00)m	S 09 PZ DH CA 2 (1.00 - 2.00)m	S 09 PZ DH CA 3 (2.00 - 3.00)m
Residuo a 105°C (%)	-	-	91,6	93	93,6	96,2	94,3	96,8	97	94,1	91,9	91,3	94,2
Frazione inferiore a 2 mm (%)	-	-	99,5	99	94,3	78	99,9	100	51,8	99	98,8	97,7	68,4
Arsenico (mg/kgss)	20	50	< 2.5	< 2.5	< 2.5	< 2.5	< 2.5	7,2	< 2.5	< 2.5	< 2.5	< 2.5	< 2.5
Cadmio (mg/kgss)	2	15	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5
Cobalto (mg/kgss)	20	250	< 2.5	< 2.5	< 2.5	< 2.5	< 2.5	8,9	< 2.5	< 2.5	< 2.5	< 2.5	< 2.5
Cromo (mg/kgss)	150	800	3,9	3,8	3,4	2,7	< 2.5	16,4	< 2.5	< 2.5	< 2.5	< 2.5	3
Cromo VI (mg/kgss)	2	15	< 0.6	< 0.6	< 0.6	< 0.6	< 0.6	< 0.6	< 0.6	< 0.6	< 0.6	< 0.6	< 0.6
Mercurio (mg/kgss)	1	5	< 0.25	< 0.25	< 0.25	< 0.25	< 0.25	< 0.25	< 0.25	< 0.25	< 0.25	< 0.25	< 0.25
Nichel (mg/kgss)	120	500	< 2.5	< 2.5	< 2.5	< 2.5	< 2.5	8,8	< 2.5	< 2.5	< 2.5	< 2.5	< 2.5
Piombo (mg/kgss)	100	1000	6,7	4,2	20,4	3,1	5,3	17,9	< 2.5	< 2.5	< 2.5	5,4	< 2.5
Rame (mg/kgss)	120	600	16,7	10,8	15,3	8,4	9,2	37	2,8	< 2.5	< 2.5	13	5,9
Zinco (mg/kgss)	150	1500	9,3	7,7	9,8	5,5	5,9	46	< 2.5	< 2.5	< 2.5	9,1	5,8
Idrocarburi pesanti C>12 (mg/kgss)	50	750	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Benzene (mg/kgss)	0,1	2	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Etilbenzene (mg/kgss)	0,5	50	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Stirene (mg/kgss)	0,5	50	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Toluene (mg/kgss)	0,5	50	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Xilene (o,m,p) (mg/kgss)	0,5	50	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Sommatoria organici aromatici (mg/kgss)	1	100	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Benzo (a) Antracene (mg/kgss)	0,5	10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Benzo (a) Pirene (mg/kgss)	0,1	10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Benzo (b) Fluorantene (mg/kgss)	0,5	10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Benzo (k) Fluorantene (mg/kgss)	0,5	10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Benzo (g,h,i) Perilene (mg/kgss)	0,1	10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Crisene (mg/kgss)	5	50	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Dibenzo (a,e) Pirene (mg/kgss)	0,1	10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Dibenzo (a,l) Pirene (mg/kgss)	0,1	10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Dibenzo (a,i) Pirene (mg/kgss)	0,1	10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Dibenzo (a,h) Pirene (mg/kgss)	0,1	10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Sommatoria policiclici aromatici (mg/kgss)	10	100	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Dibenzo (a,h) Antracene (mg/kgss)	0,1	10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Indeno (1,2,3,cd) Pirene (mg/kgss)	0,1	0,5	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Pirene (mg/kgss)	50	50	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Amianto in SEM (mg/kgss)	1000	1000	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100

Si rileva che un solo campione, S 11 DH CA1 (0.00 - 1.00)m eccede i limiti previsti dal D.Lgs. 152/2006 parte IV Allegato V tabella 1, Colonna B, per i siti ad uso commerciale e industriale con riferimento al parametro Idrocarburi C>12 (evidenziato in rosso in tabella) mentre si osserva qualche superamento puntuale per quanto attiene i limiti di Colonna A nei campioni PZ. AMB. 10 CA1 (0.00 - 1.00)m, PZ. AMB. 16 CA1 (0.00 - 1.00)m e S 11 DH CA2 (4.00 - 5.00)m (superamenti evidenziati in verde in tabella).

Per la valutazione dell'aggressività su calcestruzzo sono invece stati ottenuti i seguenti risultati:

Codice	22LA07266	22LA07272
Attività	Terreno	Terreno
Data prelievo	13/05/2022	03/05/2022
Descrizione del campione	S 07 PZ CA 4 (0.00 - 2.00)m	S 09 PZ DH CA 5 (0.00 - 11.00)m
Residuo a 105°C (%)	94,7	94,2
Frazione inferiore a 2 mm (%)	99,6	86
Solfati (%)	< 0.01	< 0.01
Acidità (ml/kg)	8	< 2

Se poniamo i risultati a confronto con i limiti previsti da Prospetto 2 "Valori per le classi di esposizione per l'attacco chimico nel terreno naturale e nell'acqua del terreno" della UNI EN 206:2016, non rileviamo presupposti per attacco chimico da parte del terreno

Terreno				
SO ₄ ²⁻ mg/kg ^{a)} totale	EN 196-2 ^{b)}	≥2 000 e ≤3 000 ^{c)}	>3 000 ^{c)} e ≤12 000	>12 000 e ≤24 000
Acidità secondo Baumann Gully ml/kg	prEN 16502	>200	Non incontrato nella pratica	
a)	I terreni argillosi con una permeabilità minore di 10 ⁻⁵ m/s possono essere classificati in una classe inferiore.			
b)	Il metodo di prova prescrive l'estrazione di SO ₄ ²⁻ mediante acido cloridrico; in alternativa si può utilizzare l'estrazione con acqua, se nel luogo d'impiego del calcestruzzo vi è questa pratica.			
c)	Il limite di 3 000 mg/kg deve essere ridotto a 2 000 mg/kg, nel caso in cui esiste il rischio di accumulo di ioni solfato nel calcestruzzo causato da cicli di essiccamento/bagnatura o suzione capillare.			

5.2. OMOLOGA PER TERRE E ROCCE DA SCAVO DA GESTIRE COME RIFIUTO

Con riferimento alle analisi eseguite sulle matrici terrose come rifiuto, non si evidenzia la presenza di sostanze pericolose in concentrazioni tali da attribuire caratteristiche di pericolo HP ai rifiuti; i campioni pertanto possono essere identificati da Codice EER 17 05 04 "Terra e rocce da scavo, diverse da quelle di cui alla voce 17 05 03*"

Codice	22LA06333	22LA06336	22LA06339	22LA06342	22LA07880	22LA07902
Attività	Rifiuto solido	Rifiuto solido				
Codice CER	17 05 04	17 05 04	17 05 04	17 05 04	17 05 04	17 05 04
Data prelievo	26/04/2022	26/04/2022	26/04/2022	26/04/2022	03/05/2022	13/05/2022
Descrizione del campione	PZ 09 CA 3 (0.00 - 2.00)m	PZ 07 CA 3 (0.00 - 2.00)m	PZ 06 CA 3 (0.00 - 2.00)m	PZ 04 CA 3 (0.00 - 2.00)m	S 09 PZ CA 4 (0.00- 11.00)m	S 07 PZ CA 3 (0.00 -2.00)m
Stato fisico ()	SOLIDO NON POLV.	SOLIDO NON POLV.				
Odore ()	terroso	terroso	terroso	terroso	caratteristico	caratteristico
Fraz. superiore a 2 mm (%)	2,8	1,7	3,2	1,9	6,2	0,8
Residuo a 105°C (sostanza secca) (%)	96,3	92,8	94,8	96,5	94,1	94,7
Residuo a 600°C (%)	95,4	91	93,1	95,6	93,1	92,9
Colore ()	marrone	marrone	marrone	marrone	marrone	marrone
pH (unità di pH)	8,2	7,7	7,4	7,2	7,1	7,4
Arsenico (mg/kg)	< 2.5	< 2.5	< 2.5	< 2.5	< 2.5	< 2.5
Cadmio (mg/kg)	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5
Cobalto (mg/kg)	< 2.5	< 2.5	< 2.5	< 2.5	2,9	< 2.5
Cromo (mg/kg)	3,9	3,3	7,9	3,2	5	3,3
Cromo VI (mg/kg)	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Mercurio (mg/kg)	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Nichel (mg/kg)	< 2.5	< 2.5	< 2.5	< 2.5	8,3	< 2.5
Piombo (mg/kg)	2,9	2,8	3,2	2,7	< 2.5	4,2
Rame (mg/kg)	8,2	7,8	10,1	7,1	< 2.5	10,8
Zinco (mg/kg)	10,5	7,5	11,1	9,5	14,1	6,5
Idrocarburi pesanti C10-C40 (mg/kg)	< 200	< 200	< 200	< 200	< 100	< 100
Idrocarburi leggeri C5-C10 (mg/kg)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Benzene (mg/kg)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Etilbenzene (mg/kg)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Stirene (mg/kg)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Toluene (mg/kg)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1

Codice	22LA06333	22LA06336	22LA06339	22LA06342	22LA07880	22LA07902
Attività	Rifiuto solido	Rifiuto solido				
Codice CER	17 05 04	17 05 04	17 05 04	17 05 04	17 05 04	17 05 04
Data prelievo	26/04/2022	26/04/2022	26/04/2022	26/04/2022	03/05/2022	13/05/2022
Descrizione del campione	PZ 09 CA 3 (0.00 - 2.00)m	PZ 07 CA 3 (0.00 - 2.00)m	PZ 06 CA 3 (0.00 - 2.00)m	PZ 04 CA 3 (0.00 - 2.00)m	S 09 PZ CA 4 (0.00- 11.00)m	S 07 PZ CA 3 (0.00 -2.00)m
(o-m-p) Xilene (mg/kg)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Sommatoria organici aromatici (mg/kg)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Benzo (a) Antracene (mg/kg)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Benzo (a) Pirene (mg/kg)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Benzo (b) Fluorantene (mg/kg)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Benzo (e) Pirene (mg/kg)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Benzo (g,h,i) Perilene (mg/kg)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Benzo (j) Fluorantene (mg/kg)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Benzo (k) Fluorantene (mg/kg)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Crisene (mg/kg)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Dibenzo (a,e) Pirene (mg/kg)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Dibenzo (a,h) Antracene (mg/kg)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Dibenzo (a,h) Pirene (mg/kg)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Dibenzo (a,i) Pirene (mg/kg)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Dibenzo (a,l) Pirene (mg/kg)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Indeno (1,2,3,cd) Pirene (mg/kg)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Pirene (mg/kg)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Anfiboli (amosite,crocidolite) (R/NR)	Non rilevato	Non rilevato				
Crisotilo (R/NR)	Non rilevato	Non rilevato				
Amianto in SEM (mg/kg)	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100
Amosite (mg/kg)	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100
Crisotilo (mg/kg)	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100
Crocidolite (mg/kg)	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100

MILANO DEPARTMENT

Via Bariola, 101-103 - 20045 Lainate (MI)
 Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099

SOCOTEC ITALIA Srl – P.Iva 01872430648 - Capitale sociale 7.144.000,00 euro

Sede Legale: Via Bariola, 101-103 - 20045 Lainate (MI)

Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099

www.socotec.it

Con riferimento ai parametri e limiti previsti dal DM 05/02/1998 e smi «Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero, ai sensi degli articoli 31 e 33 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22», allegato 3, rileviamo che tutti gli eluati risultano conformi ai limiti ivi previsti:

Codice		22LA06335	22LA06338	22LA06341	22LA06344	22LA07265	22LA07271
Attività		Eluato per Recupero	Eluato per Recupero				
Codice CER		17 05 04	17 05 04	17 05 04	17 05 04	17 05 04	17 05 04
Data prelievo	DM 05/02/1998 e smi, allegato 3	26/04/2022	26/04/2022	26/04/2022	26/04/2022	13/05/2022	03/05/2022
Descrizione del campione		PZ 09 CA 3 (0.00 - 2.00)m	PZ 07 CA 3 (0.00 - 2.00)m	PZ 06 CA 3 (0.00 - 2.00)m	PZ 04 CA 3 (0.00 - 2.00)m	S 07 PZ CA 3 (0.00 - 2.00)m	S 09 PZ DH CA 4 (0.00 - 11.00)m
Conduttività elettrica a 20°C (µs/cm)	-	502	71	84	37	260	75
pH (unità di pH)	5.5-12.0	8,2	7,7	7,4	7,2	7,4	7,1
Cloruri (mg/L)	50	3	3	3	2,9	3,1	3,3
Fluoruri (mg/L)	30	0,45	0,63	0,44	0,43	0,28	0,36
Solfati (mg/L)	100	3,3	6,8	5	3,8	2,9	8,4
Bario (mg/L)	1.5	< 0.010	0,02	< 0.010	< 0.010	< 0.010	0,03
Rame (mg/L)	50	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Zinco (mg/L)	250	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Cianuri (µg/L)	50	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
COD (mg/L)	1	< 20	< 20	< 20	< 20	27	< 20
Nitrati (mg/L)	10	7,5	8,5	7,7	7,5	8,2	8,1
Arsenico (µg/L)	5	0,1	0,1	0,1	< 0.1	2	1
Berillio (µg/L)	250	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Cadmio (µg/L)	50	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Cobalto (µg/L)	1	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Cromo totale (µg/L)	10	< 1	< 1	< 1	1	< 1	< 1
Mercurio (µg/L)	50	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Nichel (µg/L)	0.05	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Piombo (µg/L)	10	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Selenio (µg/L)	250	< 0.1	< 0.1	0,1	2	< 0.1	< 0.1
Vanadio (µg/L)	3	< 1	< 1	< 1	< 1	1	1
Amianto (mg/L)	30	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10

Con riferimento ai limiti previsti dal D.Lgs. 13 gennaio 2003 n.36, così come modificato dal D.Lgs. 3 settembre 2020 n.121 e s.m.i., di seguito presentiamo gli esiti:

Codice	D.Lgs. 36/2003 e smi			22LA06334	22LA06337	22LA06340
Attività				Ammissibilità in discarica	Ammissibilità in discarica	Ammissibilità in discarica
Codice CER				17 05 04	17 05 04	17 05 04
Data prelievo				26/04/2022	26/04/2022	26/04/2022
Descrizione del campione	Inerti	Non pericolosi	Pericolosi	PZ 09 CA 3 (0.00 - 2.00)m	PZ 07 CA 3 (0.00 - 2.00)m	PZ 06 CA 3 (0.00 - 2.00)m
Residuo a 105°C (sostanza secca) (%)		25	25	96,3	92,8	94,8
BTEX (mg/kg)	6	-	-	< 1	< 1	< 1
Olio Minerale (C10-C40) (mg/kg)	500	-	-	< 200	< 200	< 200
Carbonio organico totale (mg/kg)	30000	-	60000	4037	10045	8802
DOC (mg/L)	50	100	100	4,3	3,2	< 3
Indice di fenolo (mg/L)	0.1			< 0.05	< 0.05	< 0.05
Cloruri (mg/L)	80	2500	2500	3	3	3
Fluoruri (mg/L)	1	15	50	0,45	0,63	0,44
Solfati (mg/L)	100	5000	5000	3,3	6,8	5
Solidi disciolti totali (mg/L)	400	10000	10000	250	35	42
Antimonio (mg/L)	0.006	0.07	0.5	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Arsenico (mg/L)	0.05	0.2	2.5	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Bario (mg/L)	2	10	30	< 0.010	0,02	< 0.010
Cadmio (mg/L)	0.004	0.1	0.5	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Cromo totale (mg/L)	0.05	1	7	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Mercurio (mg/L)	0.001	0.02	0.2	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Molibdeno (mg/L)	0.05	1	3	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Nichel (mg/L)	0.04	1	4	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Piombo (mg/L)	0.05	1	5	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Rame (mg/L)	0.2	5	10	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Selenio (mg/L)	0.01	0.05	0.7	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Zinco (mg/L)	0.4	5	20	< 0.01	< 0.01	< 0.01

Codice	D.Lgs. 36/2003 e smi			22LA06343	22LA07264	22LA07270
Attività				Ammissibilità in discarica	Ammissibilità in discarica	Ammissibilità in discarica
Codice CER				17 05 04	17 05 04	17 05 04
Data prelievo				26/04/2022	13/05/2022	03/05/2022
Descrizione del campione	Inerti	Non pericolosi	Pericolosi	PZ 04 CA 3 (0.00 - 2.00)m	S 07 PZ CA 3 (0.00 - 2.00)m	S 09 PZ DH CA 4 (0.00 - 11.00)m
Residuo a 105°C (sostanza secca) (%)	-	25	25	96,5	92,6	94,4
BTEX (mg/kg)	6	-	-	< 1	< 1	< 1
Olio Minerale (C10-C40) (mg/kg)	500	-	-	< 200	< 200	< 200
Carbonio organico totale (mg/kg)	30000	-	60000	5115	43119	2660
DOC (mg/L)	50	100	100	37	< 3	< 3
Indice di fenolo (mg/L)	0.1			< 0.05	< 0.05	< 0.05
Cloruri (mg/L)	80	2500	2500	2,9	3,1	3,3
Fluoruri (mg/L)	1	15	50	0,43	0,28	0,36
Solfati (mg/L)	100	5000	5000	3,8	2,9	8,4
Solidi disciolti totali (mg/L)	400	10000	10000	20	130	30
Antimonio (mg/L)	0.006	0.07	0.5	0,001	< 0.0001	< 0.0001
Arsenico (mg/L)	0.05	0.2	2.5	< 0.0001	0,002	0,001
Bario (mg/L)	2	10	30	< 0.010	< 0.010	0,03
Cadmio (mg/L)	0.004	0.1	0.5	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Cromo totale (mg/L)	0.05	1	7	0,001	< 0.001	< 0.001
Mercurio (mg/L)	0.001	0.02	0.2	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Molibdeno (mg/L)	0.05	1	3	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Nichel (mg/L)	0.04	1	4	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Piombo (mg/L)	0.05	1	5	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Rame (mg/L)	0.2	5	10	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Selenio (mg/L)	0.01	0.05	0.7	0,002	< 0.0001	< 0.0001
Zinco (mg/L)	0.4	5	20	< 0.01	< 0.01	< 0.01

Come evidenziato, limitatamente ai parametri indagati, tutti i campioni rispettano i limiti più restrittivi dell'Allegato 4, tab. 2 e tab.4, Art. 7-quater "Impianti di discarica per rifiuti inerti", ad eccezione del campione S 07 PZ CA 3 (0.00 - 2.00)m, che può ritenersi conforme ai limiti previsti per le discariche di rifiuti non pericolosi secondo dell'Allegato 4, tab. 2 e tab.5, Art. 7-quinquies.

6. CONCLUSIONI

Le indagini ambientali condotte in questa sede sui campioni di terreno nell'ambito dell'intervento "UC167 - Autostrada A2 "Mediterranea" – viabilità complementare – Porto di Gioia Tauro – Lavori di potenziamento funzionale raccordo stradale sud alla rete TEN-T – Collegamento Porto di Gioia Tauro gate sud – A2 (Il Lotto: dallo svincolo con la SS18 escluso allo svincolo con la A2 compreso)" hanno permesso di verificare quanto segue.

Un solo campione, S 11 DH CA1 (0.00 - 1.00)m eccede i limiti previsti dal D.Lgs. 152/2006 parte IV Allegato V tabella 1, Colonna B, per i siti ad uso commerciale e industriale per il solo parametro Idrocarburi C>12; si osserva inoltre qualche superamento puntuale per quanto attiene i limiti di Colonna A, per siti ad uso verde e residenziale, nei campioni PZ. AMB. 10 CA1 (0.00 - 1.00)m, PZ. AMB. 16 CA1 (0.00 - 1.00)m e S 11 DH CA2 (4.00 - 5.00)m.

Dalle determinazioni analitiche effettuate ai fini della classificazione dei materiali come rifiuti, i campioni di terre e rocce da scavo analizzati, limitatamente ai parametri indagati, sono risultati non pericolosi e pertanto ascrivibili al Codice EER 17 05 04 «Terra e rocce da scavo, diverse da quelle di cui alla voce 17 05 03*»; risulta inoltre che gli stessi possono essere conferiti in impianto di recupero ai sensi del DM 05/02/1998 e smi, All.3.

Tutti i campioni rispettano i limiti previsti per il conferimento in discarica per rifiuti inerti, ad eccezione del campione S 07 PZ CA 3 (0.00 - 2.00)m, che può ritenersi conforme ai limiti previsti per le discariche di rifiuti non pericolosi.

Infine, nei campioni medi testati, non si rileva sussistenza di attacco chimico del terreno su calcestruzzo.