

COMUNE DI DIANO MARINA
- PROVINCIA DI IMPERIA -

LAVORI DI REALIZZAZIONE DELLA CICLOVIA TIRRENICA

Intervento Viale Torino / Via Sant'Elmo

**PROGRAMMA E DISCIPLINARE
DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE**

COMMITTENTE:

Comune di Diano Marina
Piazza Martiri della Libertà, n.3
18013 – Diano Marina (IM)

1. PREMESSE

Il Comune di Diano Marina intende realizzare collegamento ciclo/pedonale che permetta di superare il dislivello esistente tra Viale Torino e via Sant'Elmo lungo la tratta della Ciclovia Tirrenica che collegherà Diano Marina a Imperia.

In corrispondenza dell'ingresso della Galleria dell'ex tratta ferroviaria Genova-Ventimiglia, infatti, il sedime ferroviario che ospiterà la pista ciclopedonale che attraversa Diano Marina è situato 10,50 m più in basso rispetto a via Sant'Elmo, naturale prosecuzione della stessa infrastruttura verso Imperia.

Per superare i diversi elementi vincolati presenti, la soluzione individuata propone la separazione del flusso pedonale da quello ciclabile: la ciclabile viene tralata lato mare e prosegue su Viale Torino, la via pedonale è organizzata a monte dell'attuale sedime ferroviario: una scalinata copre il dislivello esistente tra i due tracciati

E' stato pertanto predisposto un progetto d'indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche, al fine di incaricare imprese specializzate per l'acquisizione dei dati di dettaglio relativi al sottosuolo dell'area destinata ad ospitare le opere in progetto.



Foto aerea area di indagine

2. PIANO D'INDAGINE

E' prevista l'esecuzione di n°2 sondaggi verticali e n°1 sondaggio orizzontale, realizzati a rotazione con prelievo continuo di campione.

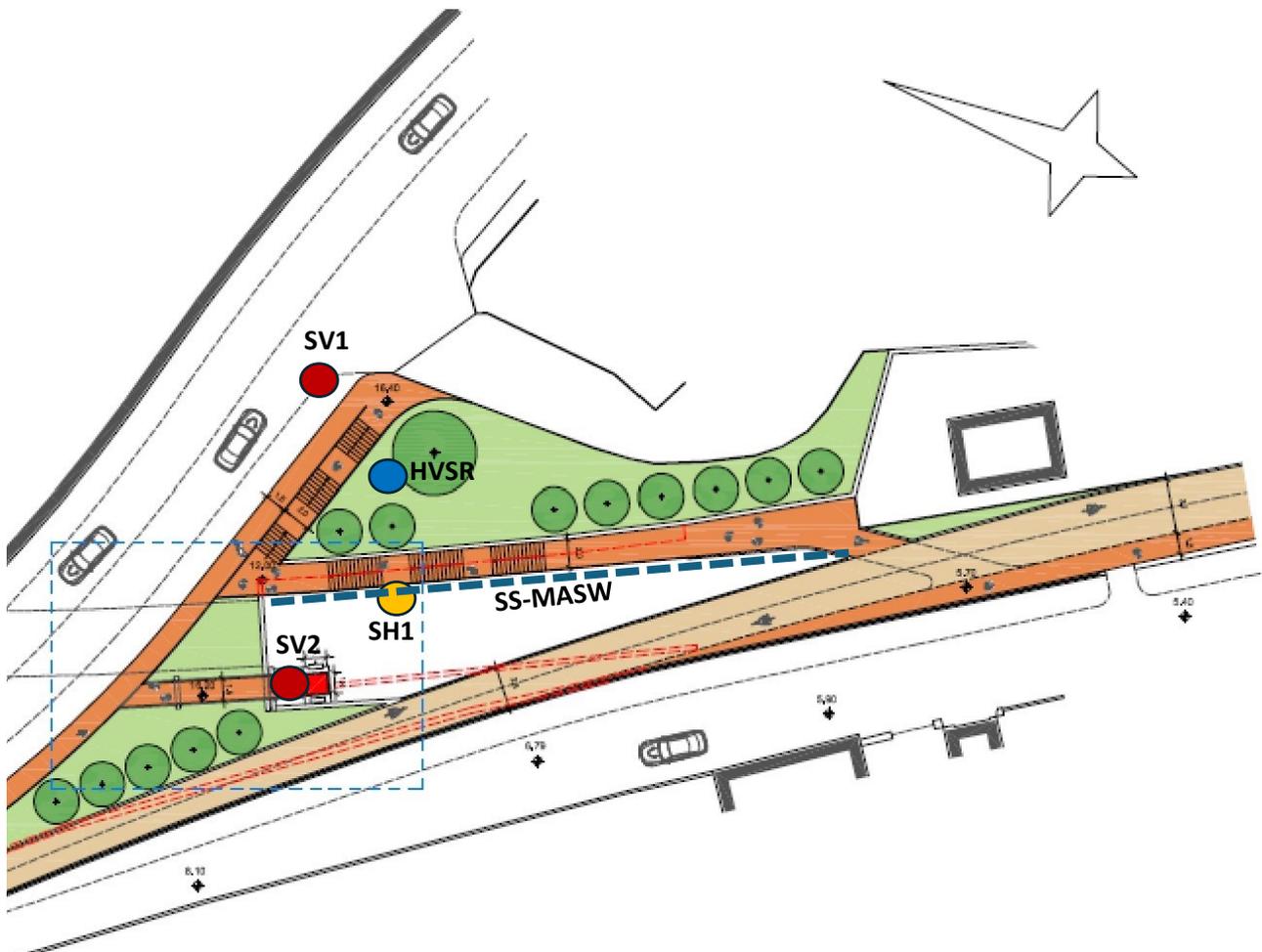
Il sondaggio SV1, verticale, di sviluppo pari a 15 ml, sarà realizzato sulla Via Sant'Elmo in corrispondenza dell'area di deposito rifiuti è ubicato sull'asse della torre eolica, in corrispondenza del terreno di fondazione del rotore.

Il sondaggio SV2, verticale, di sviluppo pari a 8 ml, sarà realizzato sulla in corrispondenza della sede della ex linea ferroviaria, in adiacenza al paramento della galleria lato mare.

Il sondaggio SH1, orizzontale, di sviluppo pari a 15 ml sarà realizzato in corrispondenza del muro lato monte della ex sede ferroviaria.

Nel corso della perforazione dei sondaggi verticali, all'interno dei livelli terrosi, è prevista l'esecuzione di prove SPT ogni 1,5 m di avanzamento, mentre al termine della perforazione dalle cassette saranno prelevati campioni di roccia da sottoporre a prove di laboratorio.

Le indagini verranno completate con alcune prove geofisiche: uno stendimento sismico a rifrazione in onde P in modalità tomografica, da realizzare al piede del muro lato monte sulla ex sede ferroviaria, una prova MASW sul medesimo allineamento e da una prova HVSR, da effettuare sul terrazzamento di monte in prossimità del pino marittimo.



- **SV1** Sondaggio geognostico verticale
- **SH1** Sondaggio geognostico orizzontale
- — **SS-MASW** Stendimento sismico onde P e MASW
- Prova sismica HVSR

3. SPECIFICHE DELLE LAVORAZIONI PREVISTE

3.1. PERFORAZIONI DI SONDAGGIO

Le perforazioni di sondaggio vengono programmate ed eseguite per raggiungere uno o più dei seguenti scopi:

- riconoscimento stratigrafico delle formazioni attraversate;
- prelievo di testimoni da sottoporre a prove ed analisi;
- esecuzione diretta di prove e misure a varie profondità;
- installazione di strumenti.

3.1.1. Tipologia

La perforazione dovrà essere rotazione, a carotaggio continuo. Dal punto di vista esecutivo l'avanzamento della perforazione ed anche i campionamenti e qualche prova in sito possono essere eseguiti mediante batteria di aste.

3.1.2. Attrezzature

Dovranno essere usate attrezzature "a testa idraulica", di caratteristiche adeguate al terreno da attraversare e alle profondità da raggiungere ed aventi, comunque, i seguenti requisiti minimi:

- a) Velocità di rotazione variabile fra 0 e 300 giri/min.
- b) Coppia massima > 400 kgm.
- c) Corsa continua non inferiore a 150 cm.
- d) Spinta e tiro non inferiori di 3000 kg.
- e) Morsa idraulica per rivestimenti e/o aste.
- f) Pompa in grado di raggiungere pressioni effettive di almeno 70 bar.
- g) Circuito supplementare dalla pompa per il rabbocco del fluido a testa foro.

Gli utensili di perforazione permetteranno il carotaggio integrale del terreno attraversato senza procurare frantumazioni o dilavamento. Sono richiesti quindi carotieri semplici o doppi, corone metalliche o diamantate, in relazione al terreno da perforare.

Le manovre di pulizia del fondo foro verranno eseguite con attrezzi idonei: carotieri molto corti, carotieri sgorbia, eiettore con fori radiali.

Se necessario il foro verrà man mano rivestito con tubazione metallica provvisoria di diametro adeguato e della cosiddetta "serie pesante", avente cioè spessore non inferiore a 7-8 mm e di acciaio di buone caratteristiche meccaniche. Di norma il diametro "finale" del rivestimento è 127-107 mm; il diametro nominale del carotiere è 100 mm sia in roccia che nei terreni sciolti.

3.1.3. Perforazione con carotaggio

Modalità esecutive

La perforazione e l'infissione del rivestimento provvisorio devono essere condotti in modo da minimizzare le variazioni di stato dei terreni attraversati ed al fondo del foro. Velocità e pressione del fluido, quando usato, devono pertanto essere controllabili e controllati. Effetti "pistone" e/o "pompa" dovuti a bruschi movimenti assiali della batteria devono essere evitati. In terreni non rocciosi la perforazione sarà eseguita limitando la circolazione di fluido, costituito da acqua. Per migliorare la qualità del carotaggio, nella perforazione in roccia l'acqua verrà addizionata con polimeri biodegradabili.

La stabilità del fondo foro sarà assicurata mediante i seguenti accorgimenti:

- le manovre di estrazione (attrezzo di perforazione, campionatore) devono essere eseguite con velocità molto bassa nel tratto iniziale per minimizzare l'"effetto pistone";

- il battente di fluido in colonna deve essere mantenuto sempre il più alto possibile, anche facendo sporgere fino a 1 m dal piano di lavoro l'estremità superiore del rivestimento da mantenersi pieno di fluido. La pulizia del fondo foro dovrà essere verificata, con l'apposito scandaglio, prima di ogni singola manovra di campionamento o prova in sito; differenze rispetto la quota teorica di riferimento superiori a 6 / 8 cm corrispondono ad una pulizia non sufficiente.

3.1.4 Rilievo stratigrafico

Nel corso della perforazione sarà rilevata la stratigrafia del terreno attraversato; nella scheda compariranno, oltre agli elementi relativi ai campionamenti e alle prove in sito, le caratteristiche di seguito elencate:

- Data di perforazione.
- Metodo di perforazione.
- Attrezzatura impiegata.
- Eventuale strumentazione posta in opera nel foro di sondaggio.
- Diametro di perforazione.
- Diametro degli eventuali rivestimenti.
- Descrizione dei singoli strati attraversati, comprendente:
 - a) Terreni coesivi e granulari:
 - I) colore/i prevalente/i della formazione;
 - II) composizione granulometrica approssimata, nei termini correnti (trovanti, ciottoli, ghiaia, sabbia, limo, argilla), indicando il \varnothing max della ghiaia, elencando per prima la frazione prevalente e di seguito le eventuali altre frazioni in ordine di importanza percentuale;
 - III) caratteristiche di consistenza (terreni coesivi) nei termini (tenero, plastico, compatto, molto compatto) correnti e valori di "pocket penetrometer" e "vane", misurati sulla carota appena estratta, previa scortecciatura;
 - IV) caratteristiche di addensamento (terreni non coesivi) nei terreni usuali (sciolto, mediamente compatto, compatto)
 - V) presenza di sostanze organiche o torbe, fossili, legno, calcinacci, ecc..
 - VI) grado di arrotondamento e/o di appiattimento e natura di ghiaie e ciottoli;
 - VII) grado di uniformità dei materiali non coesivi (ben gradato, uniforme).
 - b) Materiali lapidei:
 - composizione mineralogica, struttura/tessitura, classificazione petrografica;
 - consistenza o durezza;
 - grado di alterazione, fratturazione, divisibilità;
 - inclinazione della fratturazione o scistosità;
 - presenza e composizione dei materiali di riempimento delle fratture o cavità; colore; lunghezza dei singoli spessori di carota (cm); indice R Q.D.

Per ogni tratto caratteristico del sondaggio, inoltre, dovrà essere valutata la percentuale di carotaggio.

Il valore di RQD dovrà essere determinato per tratti di carota di lunghezza non superiore a quella delle singole manovre, e comunque in modo tale da permettere una accurata definizione della sua variabilità e una adeguata localizzazione delle zone con valore di RQD basso o nullo.

Registrazioni particolari in corso di perforazione

Oltre alla registrazione della stratigrafia, il responsabile di cantiere annoterà sinteticamente, nella documentazione provvisoria del lavoro, ogni notizia utile o interessante:

- velocità di avanzamento;
- perdite di fluido di circolazione;
- rifluimenti in colonna;
- perdite di carota;
- vuoti.

3.1.5 Rilievo della falda

Nel corso della perforazione verrà rilevato in forma sistematica il livello della falda nel foro.

Le misure verranno eseguite in particolare prima e dopo ogni interruzione del lavoro (sera, mattina, altre pause), con annotazione di quanto segue:

- livello acqua nel foro rispetto al p.c.;
- quota del fondo foro;
- quota della scarpa del rivestimento;
- data e ora della misura.

Tali annotazioni devono comparire anche nella documentazione definitiva di lavoro.

3.1.6 Cassette catalogatrici

Le carote estratte nel corso della perforazione verranno sistemate in apposite cassette catalogatrici (in legno, metallo o plastica), munite di scomparti divisori e coperchio apribile a cerniera).

Sul fondo di ogni scomparto sarà posto un foglio di plastica trasparente di dimensioni tali da poter essere rivoltato a proteggere la carota, una volta sistemata.

Le carote coesive verranno scortecciate, le lapidee lavate. Dei setti separatori suddivideranno i recuperi delle singole manovre, recando indicate le quote rispetto al p.c. Negli scomparti saranno inseriti blocchetti di legno o simili a testimoniare gli spezzoni di carota prelevati e asportati per il laboratorio (campioni rimaneggiati, indisturbati, S.P.T., ecc.), con le quote di inizio e fine di tali prelievi.

3.1.7 Fotografie a colori

Le singole cassette verranno fotografate a colori entro 24 ore dal loro completamento e restituite in formato digitale. Si richiede la completa leggibilità di tutte le indicazioni esistenti sulla cassetta ed una visione chiara delle carote contenute; si consiglia quindi una foto presa dall'alto e scattata da una distanza non superiore a 2 m. Al bordo della cassetta verrà posta la carta dei colori di riferimento (p.e. Kodak - color separation guides). Si richiedono 3 copie delle fotografie allegate alla documentazione di lavoro in aggiunta del file delle stesse in formato *jpeg*.

3.2 PRELIEVO CAMPIONI

Nel corso delle perforazioni di sondaggio sarà necessario prelevare campioni rappresentativi delle (o di alcune) formazioni attraversate, per sottoporli successivamente ad analisi e/o prova di laboratorio.

In base al disturbo, si distinguono:

- Frammenti di carota: rappresentativi solo della litologia;
- Spezzoni di carota: nei quali l'azione disgregatrice dell'utensile di prelievo (carotiere) consente il recupero di pezzi cilindrici integri di almeno 15 - 20 cm di lunghezza.

Sigillatura di carote di roccia.

Le carote della roccia selezionate per l'invio al laboratorio, devono essere inserite in un cilindro in PVC semirigido, di adeguato diametro e lunghezza. L'intercapedine fra rocce e parete interna del cilindro nonché le tue estremità della carota devono essere sigillate.

Indicazioni sul campione.

I campioni devono essere contraddistinti da cartellini inalterabili, che indichino:

- cantiere;
- numero del sondaggio;
- numero del campione;
- profondità di prelievo;
- tipo di campionatore impiegato;
- data di prelievo;

- parte alta (per campioni semidisturbati ed indisturbati).

3.3. PROVE DINAMICHE S.P.T. IN FORO DI SONDAGGIO

È una prova molto nota; standardizzata sia dalla ASTM (D.1586), dal sottocomitato ISSMFE (Associazione Geotecnica Internazionale) per le prove penetrometriche in Europa, nonché dalle "Raccomandazioni" A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana) per l'esecuzione delle indagini geotecniche 1977.

È una prova non continua, cioè puntuale, che si esegue nel corso di una perforazione, al fondo del foro. Ciascuna prova richiede l'inserimento di una batteria e la sua estrazione.

3.3.1 Descrizione della prova.

La prova consiste nel misurare il numero di colpi necessari per far penetrare di 30 cm nel terreno vergine (al fondo di un foro), dopo una penetrazione preliminare di 15 cm, un tubo campionatore di date dimensioni (diametro esterno 51 mm), collegato alla superficie mediante batteria di aste in testa alle quali agisce un maglio del peso di 63,5 kg che cade liberamente da un'altezza di 0,76 m.

3.3.2 Requisiti dell'attrezzatura.

Il maglio, durante la caduta libera, deve essere guidato in modo da mantenere la verticalità.

Le dimensioni del campionatore devono essere quelle delle norme e raccomandazioni sopracitate. Il campionatore deve essere apribile in 2 metà longitudinalmente (libro).

La scarpetta sagomata a tagliente deve essere sempre in buone condizioni, limandola o sostituendola quando ammaccata, sbeccata, ecc.

Il dispositivo di sganciamento deve essere privo di fermo di fine corsa ed avere dimensioni tali per cui in caso di mancato sganciamento del maglio non viene applicata alcuna forza di trazione alla batteria SPT.

Fra testa di battuta in sommità delle aste ed il piano di campagna deve essere installato almeno 1 centratore di guida e di irrigidimento delle aste stesse.

Il diametro delle aste non deve essere inferiore a 42 mm.

Il diametro del foro di sondaggio (diametro attrezzo di perforazione) non deve essere maggiore di 170 mm.

3.3.3 Metodologia di prova.

Durante l'infissione dei 15 + 30 = 45 cm verrà rilevato il numero di colpi (N) necessario per la penetrazione di ciascun tratto di 15 cm. Il valore di N_{SPT} è la somma dei colpi misurati per il 2° ed il 3° tratto.

La prova viene sospesa quando il numero di colpi N, per un tratto di 15 cm supera 50. In tal caso si annota la penetrazione (in cm) ottenuta con i 50 colpi.

Prima di eseguire la prova è necessario controllare con adeguato scandaglio la quota del fondo foro, confrontandola con quella raggiunta con la manovra di perforazione o di pulizia precedentemente eseguita. Può risultare dal controllo che la quota attuale sia più alta, per effetto di rifluimenti del fondo del foro o per decantazione dei detriti in sospensione nel fluido. Se tale differenza supera 7 cm, la prova non può essere eseguita; per cui si deve pertanto procedere ad un'ulteriore manovra di pulizia.

La quota di inizio della prova S.P.T. deve corrispondere a quella misurata mediante il controllo di cui sopra che, come detto, può coincidere con quella di perforazione o pulizia ma può essere anche (fino a 7 cm) superiore; l'eventuale affondamento del campionatore, per peso proprio e delle aste, deve essere annotato ma è già parte integrante dei 45 cm complessivi di infissione.

Ad estrazione avvenuta il campione prelevato viene misurato, descritto, trascurando l'eventuale parte alta costituita da detriti, sigillato in adatto contenitore ed inviato al laboratorio.

In presenza di materiali molto compatti, si adoterà il campionatore chiuso, a punta conica, previa autorizzazione della Committente.

3.3.4 Documentazione

La documentazione preliminare e quella definitiva devono comprendere per ciascuna prova eseguita:

- quota della tubazione provvisoria di rivestimento del foro;
- quota raggiunta con la manovra di perforazione o pulizia;
- quota del fondo foro controllata prima di iniziare la prova (= quota inizio prova);
- penetrazione, per peso proprio e delle aste, del campionatore;
- N per infissione di ciascuno dei 3 tratti di 15 cm;
- peso per metro lineare delle aste impiegate; diametro delle aste;
- peso del complesso testa di battuta - dispositivo di sganciamento - maglio;
- lunghezza e descrizione geotecnica del campione estratto;
- punta conica quando impiegata.

3.4 ESECUZIONE DI PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

Gli spezzoni di carota prelevati dalle cassette catalogatrici su indicazione del Geologo Direttore dei Lavori verranno consegnati ad un laboratorio geotecnico per l'esecuzione di prove ed analisi di tipo geomeccanico.

Il laboratorio dovrà essere autorizzato dal Ministero Infrastrutture e Trasporti (DPR n° 380/2001); per quanto riguarda l'esecuzione delle prove geotecniche di laboratorio si farà riferimento alle normative, procedure e raccomandazioni ASTM, ISRM, AGI, UNI.

In particolare sui campioni di roccia dovranno essere eseguite le seguenti prove e determinazioni:

- n°5 determinazione del peso di volume naturale;
- n°3 determinazione della velocità delle onde ultrasoniche di compressione e di taglio;
- n°5 prove di compressione monoassiale con rilievo delle deformazioni assiali e diametrali e determinazione del modulo di Young e del coefficiente di Poisson
- n°2 prove di trazione indiretta di tipo "brasiliana".

3.5 INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE AD ONDE DI COMPRESSIONE (ONDE P)

3.5.1 Generalità

L'indagine sismica a rifrazione ad onde di compressione consiste nella energizzazione del sottosuolo e nella registrazione degli arrivi delle onde P rifratte in corrispondenza di geofoni verticali disposti secondo un allineamento con interassi tra i geofoni e lunghezza totale dello stendimento tali da permettere una adeguata profondità di indagine.

La misura dei tempi di arrivo delle onde P ai diversi geofoni permette di ricostruire l'andamento e la profondità del rifratore e permette anche di calcolare le caratteristiche elastiche dinamiche dei terreni e degli ammassi rocciosi investigati.

3.5.2 Normative e specifiche di riferimento

– ASTM D 5777 - Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation

L'Impresa dovrà in ogni caso attenersi a quanto di seguito specificato

3.5.3 Caratteristiche delle attrezzature

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

- sismografo a 24 canali, con possibilità di stack degli impulsi sismici, filtri analogici e digitali programmabili (filtri attivi tipo high pass, band pass e band reject), guadagno verticale del segnale (in ampiezza) e sensibilità tra 6 e 92 decibel, registrazione dei dati in digitale per elaborazioni successive con formato in uscita minimo a 16 bit; in funzione dell'obiettivo dell'indagine potranno essere utilizzati più moduli sismografici in serie;
- 24 geofoni verticali a frequenza propria variabile tra 8 e 14 Hz; in funzione del numero di canali utilizzati dovrà essere utilizzato un numero congruo di geofoni;
- sistema di energizzazione adeguato alla profondità di indagine.

3.5.4 Modalità esecutive

La "copertura" dei tiri sulle basi sismiche dovrà essere tale da consentire una corretta e dettagliata ricostruzione del campo di velocità locale fino alle profondità stabilite dal progetto delle indagini; per una base minima a 24 canali i tiri non dovranno essere in numero inferiore a 5 dei quali 3 interni alla base e 2 esterni.

Nel caso in cui sia prevista una elaborazione tomografica le spaziature geofoniche dovrebbero essere comprese tra 1/10 e 1/20 del target di profondità dell'indagine, mentre gli shot dovranno essere effettuati ogni 4-5 stazioni geofoniche e registrati per una lunghezza di "base" almeno 5 volte la profondità del target stesso.

L'elaborazione dei dati dovrà essere realizzata mediante software in grado di fornire i valori dei parametri di velocità, relativi ai rifrattori individuati, per ogni stazione geofonica (ad esempio software che utilizzi il metodo "GRM" - Generalized Reciprocal Method, Palmer '80).

3.5.5 Elaborazione tomografica dei dati

Se richiesto dal progetto delle indagini, l'elaborazione dovrà essere sviluppata tramite un'analisi con modellazione del sottosuolo su base anisotropica, la quale dovrà fornire, previa elaborazione con metodologie iterative R.T.C. (Ray Tracing Curvilineo) e algoritmi di ricostruzione tomografica (ad esempio con l'impiego di algoritmi ART - Algebraic Reconstruction Technique, SIRT - Simultaneous Iterative Reconstruction Technique o ILST - Iterative Least Square Technique), il campo delle velocità del sottosuolo ad elevata densità di informazioni: le celle unitarie, di forma rettangolare o quadrata, potranno avere dimensioni orizzontali (asse x) e verticali (asse z) pari a, rispettivamente, $1/3 \div 1/5$ e $1/5 \div 1/10$ della spaziatura tra i geofoni.

3.5.6 Documentazione

La documentazione di ciascuna indagine dovrà comprendere:

- informazioni generali
- profili sismostratigrafici in scala adeguata con indicati i valori delle velocità delle onde di compressione (VP) calcolati per intervalli omogenei, con indicata la posizione dei singoli geofoni e dei punti di scoppio (compresi quelli più esterni), di eventuali sondaggi geognostici che risultino proiettabili sul profilo stesso e delle intersezioni eventuali con altre stese eseguite;
- confronto tra le dromocrone sperimentali e quelle teoriche;
- elaborazione a isolinee o a campiture di colore delle velocità delle onde di compressione (VP) in caso di elaborazione tomografica;
- relazione conclusiva, elaborata in base ai risultati delle indagini svolte in cui saranno indicate le strumentazioni utilizzate, le metodologie operative, gli algoritmi di calcolo impiegati, tabelle e tavole ad integrazione e chiarimento delle analisi, procedure applicate, le risultanze finali ed interpretative;
- documentazione fotografica.

3.6 PROSPEZIONE SISMICA DI SUPERFICIE MASW

3.6.1 Generalità

L'analisi spettrale delle onde di superficie, denominata MASW (Multi-Spectral Analysis of Surface Waves) consiste nella energizzazione del terreno dalla superficie e nella registrazione delle onde di superficie (di tipo Rayleigh) in corrispondenza di una serie di geofoni allineati in asse con la sorgente.

Attraverso un procedimento di inversione della curva di dispersione prodotta si giunge alla ricostruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio Vs per la successiva determinazione dei moduli di elasticità tangenziali (G0) a bassissimi livelli di deformazione.

La tecnica MASW si basa sulla registrazione delle onde di superficie in corrispondenza di una serie di geofoni a interasse fisso allineati con la sorgente.

3.6.2 Caratteristiche delle attrezzature

- cordella metrica e strumenti per la pulizia e preparazione della superficie del terreno;
- sistema di energizzazione di tipo impulsivo, costituito normalmente da mazze di massa variabile fino a circa 8-10 kg, in relazione alla lunghezza degli stendimenti. L'eventuale ricorso ad altri tipi di sorgente, non impulsive, di tipo armonico o a frequenza variabile, dovranno essere preventivamente autorizzate dalla Società e concordate con il fornitore;
- un sismografo multicanale; caratterizzato da un numero di canali uguale o superiore alle stazioni geofoniche installate, dotato di memoria di massa e in grado di consentire la registrazione digitale dei segnali. La frequenza di campionamento dovrà essere ad ampio spettro:
 - o 10 - 1000 Hz per la caratterizzazione di terreni naturali, a profondità variabile;
 - o 10 - 10000 Hz per la caratterizzazione delle pavimentazioni e strati superficiali di fondazione.;
- serie di sensori in grado di misurare il campo di moto nella direzione verticale, costituiti da:
 - o geofoni con frequenza pari a 4.5 Hz per la determinazione delle onde in terreni a profondità maggiore di qualche metro dalla superficie;
 - o accelerometri o geofoni con frequenza pari a 60 Hz (o superiore) per la caratterizzazione delle pavimentazioni e degli strati superficiali di sotto-fondazione, fino a qualche metro di profondità;
- software di elaborazione e inversione del segnale.

3.6.3 Modalità esecutive

La prova si eseguirà secondo la procedura descritta di seguito:

- Sulla verticale da investigare si dispone una serie di almeno 24 geofoni in linea, variabile fino a 48 (secondo quanto richiesto dalla società), a frequenza propria di 4.5 Hz, ad una distanza intergeofonica X opportunamente prefissata e calibrata; va ricordato che il campionamento spaziale deve consentire di stimare affidabilmente le lunghezze d'onda di interesse. In particolare la lunghezza dello stendimento di misura non deve essere inferiore alla metà della massima lunghezza d'onda e la distanza intergeofonica (X) deve essere metà della minima lunghezza d'onda.

In via cautelativa si potranno considerare adeguate le seguenti distanze intergeofoniche: X =0.1 m per profondità di indagine prossime a 1 m (pavimentazioni); X =1 m per profondità pari a circa 10 m; X =2 m per profondità pari a circa 30 m; X =5-10 m per profondità pari a circa 100 m;

- si esegue l'energizzazione della sorgente (sorgente DIRECT) posta ad un estremo dell'allineamento (secondo la distanza D con il primo geofono), e la si ripete più volte controllando la qualità dei dati acquisiti; La distanza D tra sorgente e primo geofono sarà scelta e ottimizzata dopo aver eseguito alcune energizzazioni preliminari;

- si sposta la sorgente di energizzazione all'estremo opposto (sorgente INVERSE), sempre secondo una distanza con l'ultimo geofono pari a D, e si ripete nuovamente la serie di energizzazioni.

3.6.4 Elaborazione dei dati

Il segnale ricavato nel dominio del tempo deve essere processato nel seguente modo :

- 1) suddivisione della serie temporale acquisita in finestre di 40 sec;
- 2) ogni serie temporale deve essere corretta mediante una funzione "base - line" al fine di eliminare off - set e trend anomali;
- 3) filtro band - pass tra 0.1 e 20 Hz;
- 4) applicare alle serie temporale funzioni del tipo "hamming" per evitare l'insorgenza di effetti di "bordo";
- 4) il segnale dovrà essere analizzato nel dominio delle frequenze tramite funzione F.F.T. (Fast Fourier Transform), per tutte le finestre temporali campionate ($t=40$ sec);
- 5) applicare funzioni di smoothing;
- 6) media aritmetica e s.d. degli spettri ottenuti per tutte le componenti ;
- 7) rapporto spettrale tra la componente risultante delle due orizzontali (NS – EW) e quella verticale (Z);
- 8) calcolo della s. d. dello spettro finale;
- 9) calcolo della eventuale polarizzazione nell' arco 180° del rapporto H/V.
- 9) confronto tra il dato sperimentale ottenuto e modelli teorici

3.6.5 Documentazione

La documentazione di ciascuna indagine dovrà comprendere:

- informazioni generali;
- caratteristiche prestazionali delle attrezzature impiegate (sismografo, geofoni o accelerometri, software di elaborazione);
- tipo e caratteristiche delle sorgenti di impulso utilizzate;
- configurazione geometrica utilizzata e distanze adottate tra i ricevitori e la sorgente;
- esempi di dati sperimentali grezzi e di elaborazioni intermedie (sismogrammi e spettri f-k o f-v)
- curva di dispersione sperimentale indicante velocità di fase delle onde di superficie - frequenza;
- curva di dispersione teorica;
- indicazione della schematizzazione verticale del terreno utilizzata al termine del processo di inversione (spessori, Poisson, densità);
- rappresentazione grafica e tabulare dei valori delle onde di taglio VS e dei moduli di taglio G0 in funzione della profondità;
- eventuale sezione interpretativa nel caso siano state indagate diverse verticali, con elaborazione a isolinee o a campi di colore;
- documentazione fotografica del sito di indagine strumentato.

3.7 PROVA SISMICA HVSR

3.7.1 Generalità

La metodologia, chiamata anche tecnica Nakamura (1989), si basa essenzialmente sul rapporto spettrale H/V di rumore ambientale (seismic noise) e permette di valutare gli effetti locali di sito.

La tecnica proposta da Nakamura assume che i microtremori (il cosiddetto rumore di fondo registrabile in qualunque momento posizionando un sensore sismico sul terreno) consistano principalmente di un tipo di onde superficiali, di Rayleigh, che si propagano in un singolo strato sovrastante su semispazio e che la presenza di questo strato sia la causa dell'amplificazione al sito.

La misura prevede la registrazione, senza utilizzo di alcun strumento di energizzazione del terreno, del microtremore sismico ambientale nel dominio del tempo, sulle tre componenti dello spazio attraverso il posizionamento di adeguati strumenti sismometrici costituiti da sensori tridimensionali.

Per gli scopi e finalità dell'indagine le misure HVSR offrono la possibilità di determinare:

- la valutazione dell'omogeneità del sito rispetto alle frequenze di risonanza;
- gli spessori della coltre di copertura.

3.7.2 Caratteristiche delle attrezzature

- trasduttori tricomponenti (N-S, E-W, verticale) a bassa frequenza (< 1-2 Hz);
- amplificatori;
- digitalizzatore;
- frequenza di campionamento: > 50 Hz;
- convertitore A/D (analogico digitale) a 24 bit;
- durata registrazione: >20 minuti;
- collegamento al tempo GPS per la referenziazione temporale.

3.7.3 Modalità esecutive

Durante l'installazione lo strumento di misura dovrà essere orientato secondo le direzioni geografiche (E e W) e dovrà essere dotato di bolla sferica per il posizionamento, mentre l'accoppiamento con la superficie dovrà essere diretto o assicurato con piedini o puntazze in terreni morbidi.

Bisognerà altresì fare attenzione alla presenza di radici, sottoservizi, vicinanza edifici, vento ecc., in quanto creano disturbo nel segnale H/V inducendo una forte perturbazione a bassa frequenza.

3.7.4 Elaborazione dei dati

L'elaborazione dei dati deve avvenire tramite un software in grado di consentire la determinazione delle frequenze di risonanza del sottosuolo mediante la tecnica dei rapporti spettrali secondo le linee guida.

Il processing dei dati verte sul rapporto spettrale tra il segnale del sensore verticale e quelli orizzontali, operando su finestre di selezione del segnale che dovranno essere non meno di 10 per un segnale complessivo utile non inferiore a 200-400 secondi.

I principali passi del processing sono i seguenti:

1. FFT (incluso il tapering);

2. operatore di smoothing (Konno & Ohmachi);
3. merging dei componenti orizzontali;
4. H/V Spectral Ratio per ogni finestra utilizzata (>10);
5. media degli spettri H/V;
6. valutazione della deviazione standard.

Le risultanze dell'elaborazione sono presentate mediante graficazione dei rapporti spettrali H/V delle varie componenti indicando il massimo del rapporto HVSR nel valore di f_0 – Frequenza/e di risonanza, e la sua deviazione standard.

Nella restituzione delle risultanze dovranno essere valutate le condizioni di affidabilità, sia nei riguardi della valutazione complessiva delle curva H/V (superamento delle condizioni richieste in Curve Reliability Criteria), sia per la presenza o meno di picchi chiari e significativi nell'intervallo di interesse ingegneristico (superamento delle condizioni richieste in HVSR peak clarity criteria - Overall criteria fulfillment).

La curva H/V verrà quindi classificata nelle Classi A - B - C e Tipo 1 - 2, in accordo alle indicazioni SESAME (2004).

3.7.5 Documentazione

La documentazione di ciascuna indagine dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2;
- criteri di attendibilità della misura e criteri di validità del picco di f_0 ;
- valori di soglia delle condizioni di stabilità;
- indicazione della frequenza di campionamento, della durata, e degli spettri di risposta dei 3 canali N, E, V
 - rappresentazioni grafiche in scala semilogaritmica del segnale H/V vs Frequenza e della Media dello Spettro del Segnale vs Frequenza, per ognuna delle tre componenti N-S, E-W, e Z.
 - l'analisi dei criteri, in particolare con verifica rispetto alla frequenza del sensore ed alla presenza di rumore di origine industriale;
 - l'interpretazione di f_0 e dello spettro H/V nei termini di caratteristiche del sito.
 - documentazione fotografica del sito di indagine strumentato.

Savona, 12 luglio 2024

