

# COMUNE DI LIVIGNO

PROVINCIA DI SONDRIO

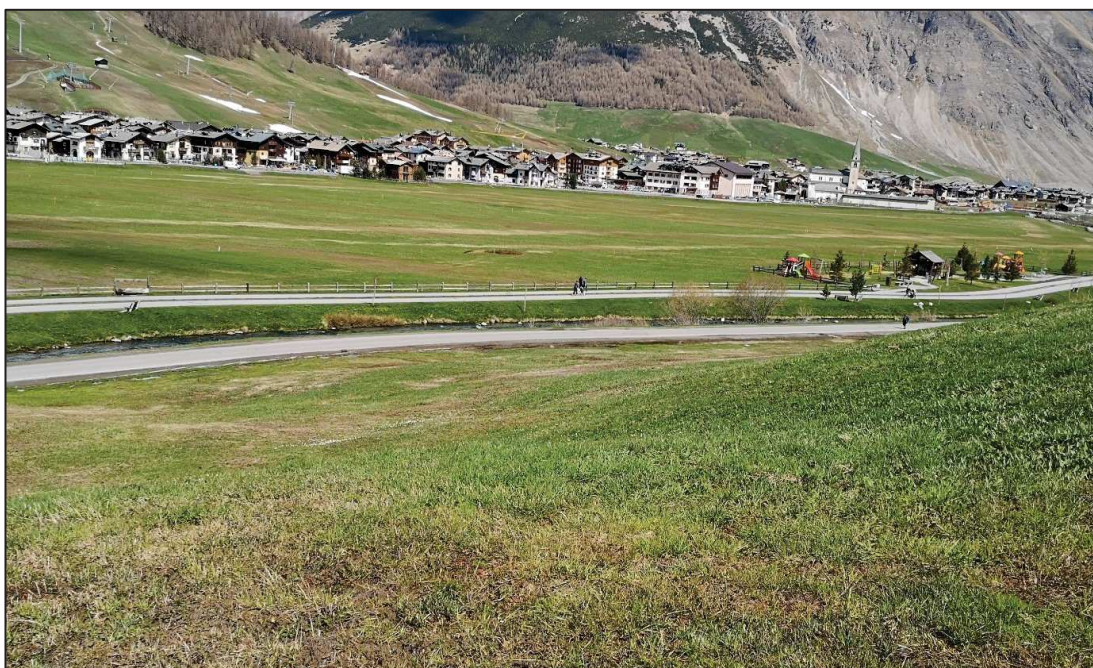


COMMITTENTE : **COMUNE DI LIVIGNO**

Plaza dal Comun, 93 – 23041 – Livigno (So)

C.F. / P.Iva 83000850145

PROGETTO : REALIZZAZIONE PARCHEGGIO INTERRATO MOTTOLINO, PISTA OLIPIONICA ED ADEGUAMENTO VIABILITA' ESISTENTE IN COMUNE DI LIVIGNO (So)



OGGETTO : **PIANO DI INDAGINE GEOGNOSTICA E SISMICA**

Giugno 2021

Dr. Fabrizio Bigioli Geologo

*(documento firmato digitalmente ai sensi del D.Lgs. 82/2005)*

**STUDIO DI GEOLOGIA APPLICATA E GESTIONE DEL TERRITORIO**

**Dr. Fabrizio BIGIOLLI Geologo** - via Valeriana, 97 – loc Piussoigno – 23016 CERCINO (SO)

Tel. 0342 680 651      Mobile 339 60 96 386

e-Mail [info@bigioli.it](mailto:info@bigioli.it)      C.F. BGLFRZ76T09F712E      P.Iva 00812460145



## **INDICE**

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. SPECIFICHE OPERATIVE REALIZZAZIONE PARCHEGGIO INTERRATO .....</b>	<b>6</b>
2.1. INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	6
2.2. INDAGINI SISMICHE .....	11
<b>3. SPECIFICHE OPERATIVE ADEGUAMENTO VIABILITA' ESISTENTE.....</b>	<b>14</b>
3.1. INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	14
<b>4. SPECIFICHE OPERATIVE INDAGINI RELATIVA ALLA PISTA OLIMPICA .....</b>	<b>16</b>
4.1. INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	16
4.2. INDAGINI SISMICHE .....	19
<b>5. COMPUTO METRICO.....</b>	<b>22</b>
5.1. COMPUTO METRICO INDAGINI PARCHEGGIO INTERRATO ED ADEGUAMENTO STRADA .....	22
5.2. COMPUTO METRICO INDAGINI PISTA OLIMPICA.....	24



## **1. PREMESSA**

Per conto e su incarico del **COMUNE DI LIVIGNO**, con riferimento al progetto preliminare dello **STUDIO TECNICO Ing. MARCO SCARAMELLINI**, è stato redatto il presente piano di indagine geognostica e sismica.

Finalità del presente piano di indagine la definizione della tipologia e del quantitativo di indagini che determinino la conoscenza dei parametri geologico-geotecnici e sismici locali in ottemperanza delle norme derivanti dal DECRETO MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI 11 MARZO 1988 che prevedono: *“le indagini devono essere dirette ad approfondire la caratterizzazione geotecnica qualitativa e quantitativa del sottosuolo per consentire la scelta della soluzione progettuale, di eseguire i calcoli di verifica e definire i procedi-menti costruttivi”* ed inoltre delle NTC 2008, NTC 2018 e ss. Mm. ii., Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica, Eurocodice 8, ecc. .

Come indicato all' art. 6.2.1. delle NTC 2018 (6.2.1. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO) la caratterizzazione geologica del sito consiste nella ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio.

Inoltre all' art. 6.2.2 della NTC 2018 (6.2.2. INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA) Le indagini geotecniche devono essere programmate in funzione del tipo di opera e/o di intervento, devono riguardare il volume significativo e, in presenza di azioni sismiche, devono essere conformi a quanto prescritto ai §§ 3.2.2 e 7.11.2. Per volume significativo di terreno si intende la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso. Le indagini devono permettere la definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo necessari alla progettazione. Della definizione del piano delle indagini, della caratterizzazione e della modellazione geotecnica è responsabile il progettista. Ai fini dell'analisi quantitativa di uno specifico problema, per modello geotecnico di sottosuolo si intende uno schema rappresentativo del volume significativo di terreno, suddiviso in unità omogenee sotto il profilo fisico-meccanico, che devono essere caratterizzate con riferimento allo specifico problema geotecnico. Nel modello geotecnico di sottosuolo devono essere definiti il regime delle pressioni interstiziali e i valori caratteristici dei parametri geotecnici. Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro per ogni stato limite considerato. I valori caratteristici delle proprietà fisiche e





meccaniche da attribuire ai terreni devono essere dedotti dall'interpretazione dei risultati di specifiche prove di laboratorio su campioni rappresentativi di terreno e di prove e misure in sito. Per gli ammassi rocciosi e per i terreni a struttura complessa, nella valutazione della resistenza caratteristica occorre tener conto della natura e delle caratteristiche geometriche e di resistenza delle discontinuità. Deve inoltre essere specificato se la resistenza caratteristica si riferisce alle discontinuità o all'ammasso roccioso. Per la verifica delle condizioni di sicurezza e delle prestazioni di cui al successivo § 6.2.4, la scelta dei valori caratteristici delle quote piezometriche e delle pressioni interstiziali deve tenere conto della loro variabilità spaziale e temporale. Le prove di laboratorio, sulle terre e sulle rocce, devono essere eseguite e certificate dai laboratori di prova di cui all'art. 59 del DPR 6 giugno 2001, n. 380. I laboratori su indicati fanno parte dell'elenco depositato presso il Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Nel caso di costruzioni o di interventi di modesta rilevanza, che ricadano in zone ben conosciute dal punto di vista geotecnico, la progettazione può essere basata su preesistenti indagini e prove documentate, ferma restando la piena responsabilità del progettista su ipotesi e scelte progettuali.

L'area oggetto di studio è posta alla quota media di circa **1.820 m s.l.m.** in destra idrografica rispetto al Fiume Spöl in Comune di Livigno. Per l'ubicazione geografica si rimanda alla corografia a seguire.



Corografia con ubicazione area in esame (C.T.R. Sez. D1a3 – D1a4)

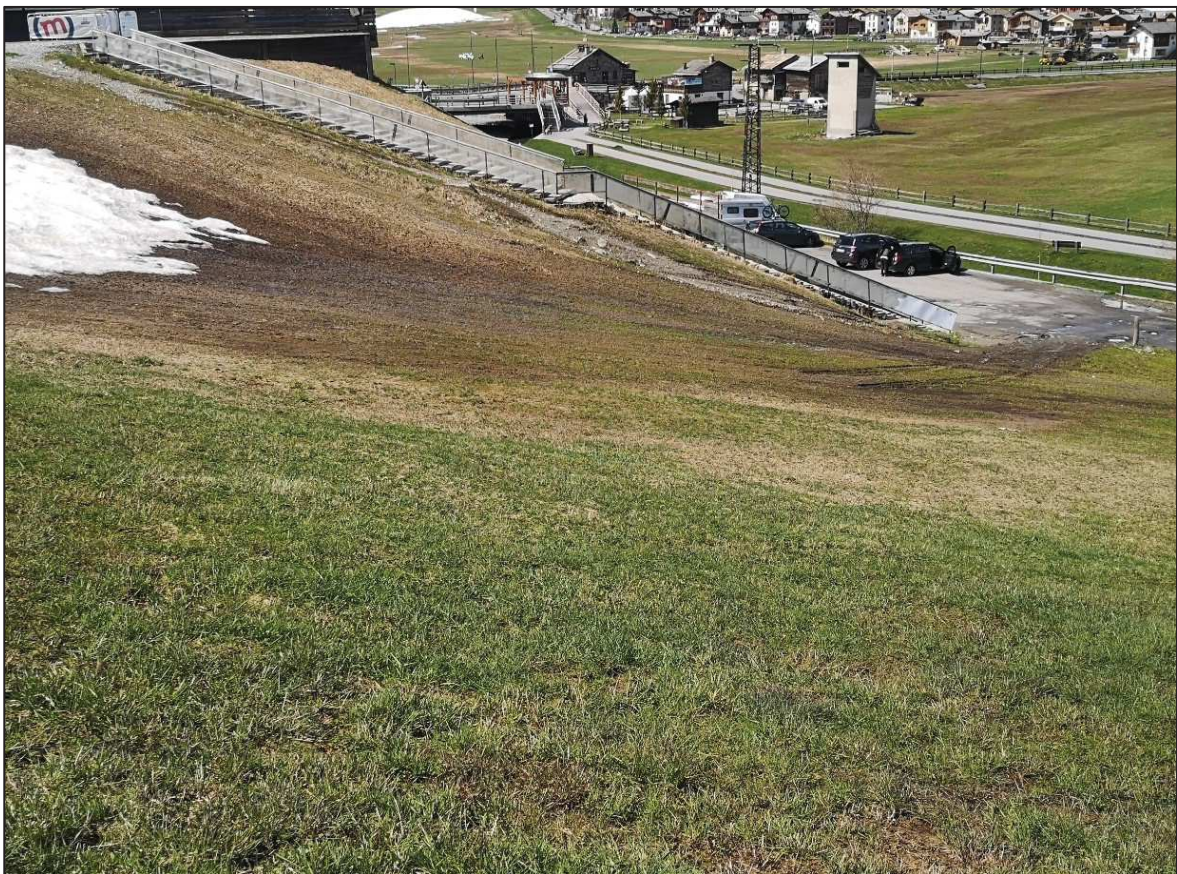
## PIANO DI INDAGINE GEONOSTICA E SISMICA





Sulla base delle direttive vigenti, sulla base della tipologia e delle dimensioni delle opere previste e sulla situazione geomorfologica rincontrata nonché dei dati già esistenti si individua la necessità di eseguire le seguenti indagini al fine della caratterizzazione geotecnica e sismica dei terreni oggetto di intervento:

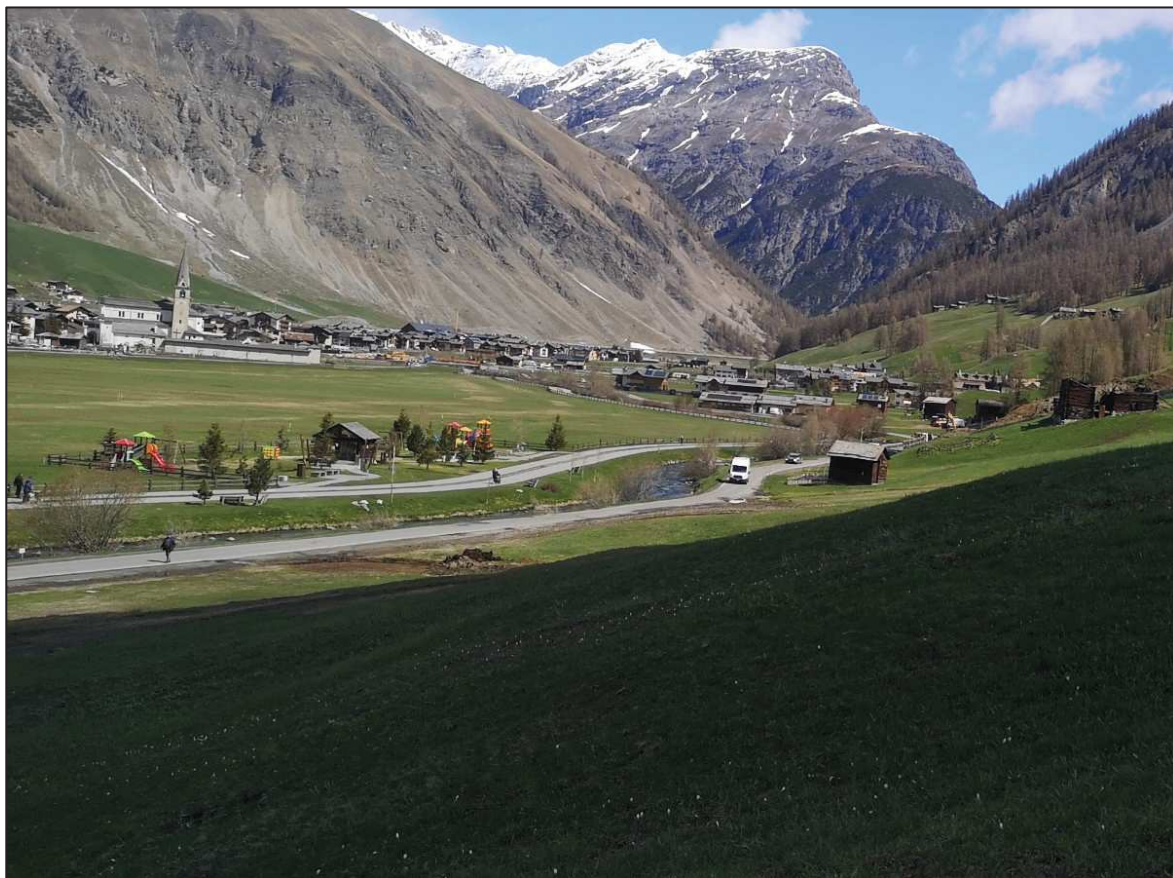
- n°8 sondaggi a carotaggio continuo con prove SPT in foro;
- n°2 piezometri con n°1 prova di pompaggio a gradini;
- n°16 campioni di terre da sottoporre ad analisi granulometriche;
- n°16 analisi chimiche TRS (Terre e Rocce da Scavo);
- n°1 indagine sismica con la tecnica MASW;
- n°2 prova di sismica passiva HVSR;
- n°10 stese sismiche a rifrazione con interpretazione tomografica;
- n° 10 indagini geoelettriche;
- n°10 prove penetrometriche DPSH (*Dynamic Probing Super Heavy*).



Documentazione fotografica terreno di edificazione parcheggio interrato

## **PIANO DI INDAGINE GEOGNOSTICA E SISMICA**





Documentazione fotografica tratto di strada oggetto di adeguamento

## **2. SPECIFICHE OPERATIVE REALIZZAZIONE PARCHEGGIO INTERRATO**

### 2.1. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la realizzazione del parcheggio interrato al fine della caratterizzazione geotecnica sono previste le seguenti indagini geognostiche:

- n°4 sondaggi a carotaggio continuo con prove SPT in foro;
- n°8 campioni di terre da sottoporre ad analisi granulometriche;
- n°8 analisi chimiche TRS (Terre e Rocce da Scavo);
- n°2 piezometri.

In dettaglio sono previsti n. 2 sondaggi a carotaggio continuo con prove SPT in foro ogni 3,00 m o in corrispondenza di cambi litologici significativi fino alla profondità di 30,00 m sul lato di monte del sedime di costruzione del parcheggio interrato e n. 2 sondaggio a carotaggio continuo con prove

### **PIANO DI INDAGINE GEOGNOSTICA E SISMICA**



SPT in foro ogni 3,00 m o in corrispondenza di cambi litologici significativi sul lato di valle del sedime di costruzione del parcheggio interrato fino alla profondità di 15,00 m a lato Sud e fino alla profondità di 30,00 m a lato Nord.

Nel caso del raggiungimento del substrato roccioso si dovranno carotare almeno 5,00 m in roccia. L'ubicazione, in prima analisi è come indicata nella figura successiva, mentre la posizione esatta dovrà essere verificata in situ alla presenza della DL.



Stralcio tavola "Planimetria generale" con ubicazione sondaggi a carotaggio continuo e tubi piezometrici

Le modalità di perforazione dei **sondaggi a carotaggio continuo** ed il diametro dei fori saranno tali da rendere minimo il disturbo dei terreni attraversati e da consentire, compatibilmente con la natura dei terreni, il prelievo di campioni rappresentativi di terreno rimaneggiato e indisturbato.

Le pareti del foro saranno sostenute, a seconda delle esigenze, da normali fluidi di circolazione o rivestimenti provvisori e le perforazioni saranno eseguite mediante l'uso di carotieri semplici o doppi provvisti di corone al Widia ed eventuale uso di corone al diamante.

Le carote prelevate durante il corso della perforazione verranno conservate in apposite cassette catalogatrici, sulle quali verranno riportati il numero del sondaggio e le profondità di prelievo.

## PIANO DI INDAGINE GEOGNOSTICA E SISMICA



Nel corso del sondaggio sarà rilevata la stratigrafia del terreno attraversato; in essa dovranno comparire tutti gli elementi relativi ai campionamenti rimaneggiati ed indisturbati ed una descrizione geotecnica visiva dei singoli strati attraversati, oltre alle eventuali note dell'operatore relative a perdite di circolazione, a rifluimenti in colonna, ecc. . Nel corso del sondaggio, all'inizio e alla fine di ogni turno di lavoro, verrà misurato il livello dell'acqua nell'interno del foro avendo cura che il foro sia libero da eventuali materiali che impediscono alla falda di raggiungere, durante la notte, il livello statico.

Nei sondaggi, in materiale sciolto sono previste **prove SPT** ogni 3,00 metri o in livelli individuati in fase di sondaggio particolarmente significativi.

Sul fondo foro opportunamente pulito, dovrà essere infisso a percussione un campionatore di forma e dimensioni standard (tipo Raymond), attraverso il quale, in base al numero dei colpi (N) necessari alla penetrazione di 45 cm, misurati separatamente in tre tratti di 15 cm ciascuno, sia possibile valutare orientativamente lo stato di consistenza dei terreni, in genere sabbiosi o limo-argillosi.

La percussione dovrà essere effettuata secondo le modalità contenute nella norma ASTM n° D 1586/67 salvo quanto specificato di seguito.

Deroghe alla norma ASTM n° D 1586/67:

1. Se la prova interesserà terreni molto compatti o ghiaiosi, su parere del geologo di cantiere, l'Impresa potrà impiegare, al posto della scarpa del campionatore sopra descritto, una punta conica del diametro di 51 mm e di 60° di apertura angolare;
2. Le tre fasi di penetrazione di 15 cm ciascuna andranno comunque eseguite;
3. Per ciascuna fase, in caso di rifiuto, andrà indicata la penetrazione raggiunta in cm.

Per la prova dovrà essere usato un campionatore Raymond di lunghezza 711 mm, diametro esterno di 50.8 mm, diametro interno 34.9 mm ed un dispositivo di guida e di sgancio automatico del maglio, di peso 63.5 kg, che assicuri una corsa a caduta libera di 0.76 mm.

Le aste di perforazione non dovranno superare il peso di 10 kg/ml.

L'Impresa è tenuta a conservare il campione estratto dal campionatore trasferendolo dal tubo di campionamento in contenitori di plastica, contrassegnati con etichetta. L'impresa è tenuta altresì ad indicare le caratteristiche del sistema di battitura ed a fornire la documentazione.

Per ogni sondaggio è stimato il prelievo di n°2 campioni di terre da sottoporre a prove geotecniche di laboratorio per un totale di n°8. Nello specifico le prove consistono in **analisi granulometriche**

---

## **PIANO DI INDAGINE GEOGNOSTICA E SISMICA**





di terre, inerti e/o aggregati mediante vagliatura in quantità inferiori a Kg 5, con massimo di n. 8 setacci eseguita in conformità con CNR BU 23, Uni EN 933-1.

Lo scopo dell'analisi granulometrica è quello di:

- raggruppare in diverse classi di grandezza le particelle costitutive del terreno;
- determinare le percentuali in peso di ciascuna classe granulometrica.

La rappresentazione della curva granulometrica di un terreno è la classificazione più consueta che può essere eseguita su qualsiasi tipo di terreno. Essa consente di individuare in che percentuale sono presenti argilla, limo, sabbia, ghiaia e ciottoli e quindi di descrivere un terreno sulla base delle dimensioni dei grani che lo costituiscono e della loro quantità.

L'analisi granulometrica consente di effettuare valutazioni quantitative del campione analizzato in termini di dimensioni granulometriche.

Per ogni sondaggio è stimato il prelievo di n°2 campioni di terre da sottoporre ad **analisi chimiche TRS** (Terre e Rocce da Scavo) per un totale di n°8.

Lo scopo principale dell'attività è la verifica dello stato di qualità dei terreni nelle aree destinate alla realizzazione degli interventi, mediante indagini dirette comprendenti il prelievo e l'analisi chimica di campioni di suolo e il confronto dei dati analitici con i limiti previsti dal D.Lgs. 152/2006 e DPR 120-2017

Per le analisi chimiche, si prenderà in considerazione un set di composti inorganici e organici tale da consentire di accertare in modo adeguato lo stato di qualità dei suoli. Le analisi chimiche saranno eseguite adottando metodiche analitiche ufficialmente riconosciute.

In dettaglio il set di analisi dovrà verificare al presenza e la concentrazione dei seguenti elementi:

- Cadmio;
- Cromo totale;
- Cromo VI;
- Nichel;
- Piombo;
- Rame;
- Zinco;
- Cobalto;
- Arsenico;
- Mercurio;
- Idrocarburi pesanti C>12;



- Amianto.

Si aggiunge che in corrispondenze dei punti di realizzazione dei sondaggi a carotaggio continuo n. 2 e n. 3 saranno installati dei **tubi piezometrici** con lo scopo di monitorare il livello della falda.

Nella realizzazione dei piezometri saranno rispettati i seguenti criteri.

I sondaggi da completare a pozzi di monitoraggio della falda saranno alesati con un diametro minimo di 6" (152 mm). il foro sarà completato con una tubazione in HDPE o PVC pesante del diametro nominale di almeno 4" (101 mm) e aperture (slots) definite in funzione della granulometria effettiva dell'acquifero da filtrare. La parte terminale della tubazione sarà chiusa mediante fondello cieco impermeabile.

Nell'allestimento si procederà in modo che la giunzione dei tubi di assemblaggio del piezometro sia realizzata evitando di forzare l'avvitamento dei manicotti filettati e di piegare le estremità dei tubi, per garantire il passaggio degli strumenti di campionamento delle acque e degli strumenti di lettura dei livelli piezometrici.

A seguito dell'installazione, sarà verificata l'assenza di ostruzioni o comunque di impedimenti al passaggio degli strumenti, inserendo per tutta la lunghezza del piezometro gli strumenti stessi o strumenti testimone di dimensioni comparabili.

L'intercapedine perforo-tubazione in corrispondenza dei tratti filtrati sarà riempita con un dreno costituito da ghiaietto siliceo uniforme; il diametro del dreno sarà stabilito in corso d'opera sulla base della granulometria effettiva dell'acquifero da filtrare. Il tratto superiore sarà completato con sabbia per uno spessore di 0,2 m , un tappo impermeabile di bentonite per lo spessore di 0,5 m e quindi con una miscela di cemento e bentonite fino alla superficie.

Il completamento della testa pozzo sarà realizzato con una delle seguenti opzioni:

- nel caso di teste pozzo interrate in aree soggette a transito veicolare si provvederà all'installazione di una cameretta di cemento con chiusino carrabile in ghisa;
- nel caso in cui l'area pavimentata sia soggetta al solo transito pedonale si potrà optare per camere e chiusini in plastica dura;
- nel caso di teste pozzo fuori terra (per es. in aree a verde) Sarà installato intorno alle medesime un chiusino metallico costituito da un cilindro cavo, preferibilmente in acciaio, dotato di coperchio con lucchetto.

La bocca-pozzo sarà chiusa da un tappo con guarnizione in gomma ad espansione con lucchetto. Sul coperchio del chiusino sarà apposta una targhetta riportante la quota della testa del tubo piezometrico espressa in m s.l.m. con precisione centimetrica. Si procederà inoltre a marcare in modo indelebile sulle tubazioni, sul pozzetto e su un segnale fissato in vicinanza il numero



identificativo del piezometro e la quota della testa tubo espressa in m s.l.m. con precisione centimetrica.

## 2.2. INDAGINI SISMICHE

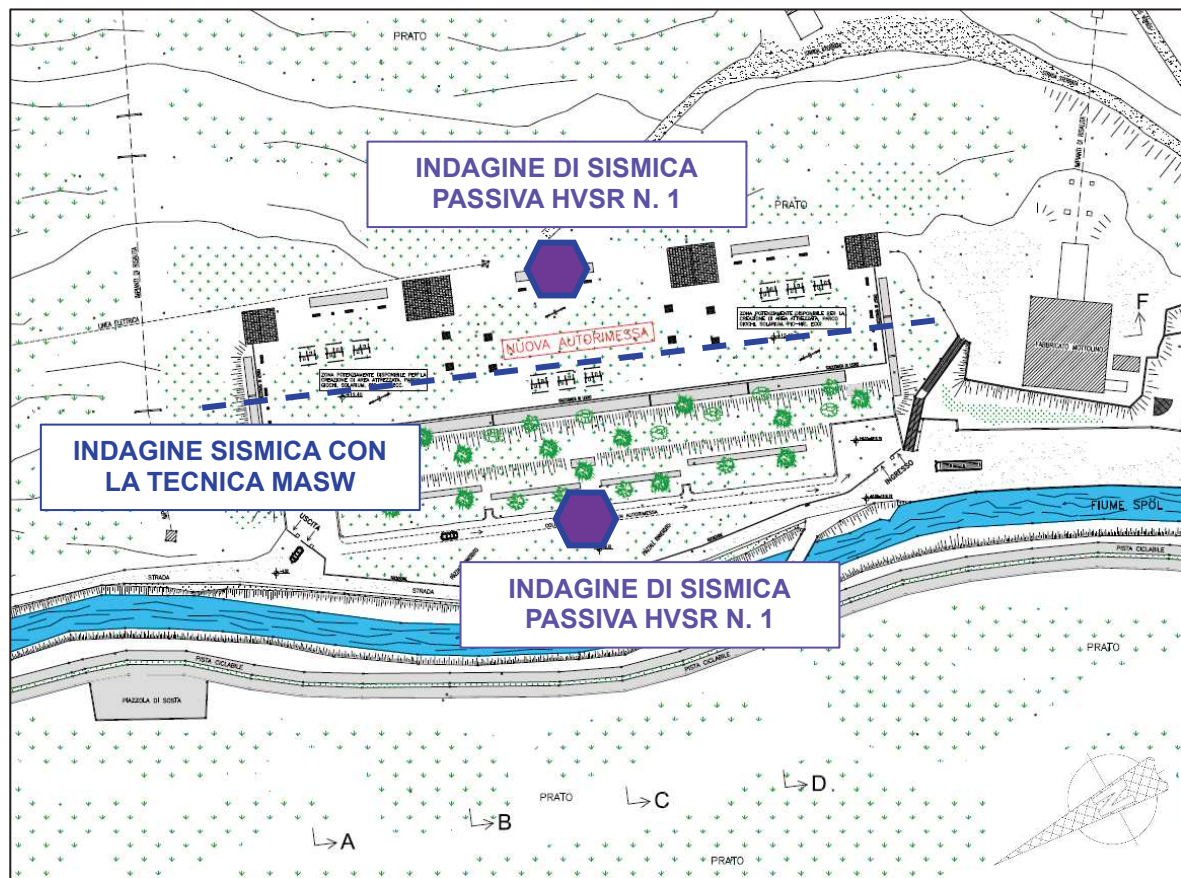
Per la realizzazione del parcheggio interrato al fine della caratterizzazione sismica sono previste le seguenti indagini sismiche:

- n°1 indagine sismica con la tecnica MASW;
- n°2 prova di sismica passiva HVSR.

In dettaglio sono previsti n. 1 stendimento di sismica con la tecnica MASW da realizzarsi in posizione mediale rispetto alla zona di costruzione del parcheggio interrato (direzione Nord – Sud), n. 1 prova di sismica passiva HVSR da realizzarsi a monte della zona di costruzione del parcheggio interrato e n. 1 prova di sismica passiva HVSR da realizzarsi a valle della zona di costruzione del parcheggio interrato.

L'ubicazione, in prima analisi è come indicata nella figura successiva, mentre la posizione esatta dovrà essere verificata in situ alla presenza della DL.





Stralcio tavola "Planimetria generale" con ubicazione indagini sismiche

**La tecnica MASW** (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) si propone come obiettivo l'individuazione dei profili di variazione con la profondità delle velocità delle onde di volume ( $V_p$  e  $V_s$ ). Il metodo è basato sui legami noti tra queste velocità e la dispersione delle onde di superficie (o di *Rayleigh*) che si osserva nella propagazione della perturbazione attraverso un mezzo elastico stratificato. L'analisi può essere basata su segnali prodotti con una energizzazione in loco da parte dell'esecutore della acquisizione (es. con una massa battente), oppure sulla registrazione di vibrazioni prodotte da sorgenti lontane ed eterogenee (oceano, vento, fiumi, microsismi, attività antropiche, ecc.).

Nel primo caso si parla di MASW attiva, con cui è possibile indagare alcune decine di metri di sottosuolo, e nel secondo di MASW passiva, che consente di arrivare a profondità maggiori, laddove ci siano particolari condizioni.

Si realizza disponendo una catena geofonica a bassa frequenza di risonanza in linea o in "array" bidimensionale (geometrie circolari e irregolari) e misurando il rumore generato dalla sorgente o quello ambientale (MASW passiva). Dall'analisi *F-K* (frequenza-spazio) dei treni d'onda è possibile

## PIANO DI INDAGINE GEOGNOSTICA E SISMICA



ricavare una curva di dispersione delle onde superficiali che conduce al calcolo del profilo di velocità delle onde di taglio e stimare lo spessore di una copertura rispetto al semispazio.

Allo scopo di ridurre il rumore di fondo e migliorare la qualità complessiva del segnale si possono eseguire più energizzazioni in ogni stazione e, ove ritenuto utile, essi possono essere sommati (*stacking*).

**La tecnica HVSR** permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo  $V_{s30}$  attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro ( $x, y, z$ ) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.

Si esegue un'operazione detta di *windowing*, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta *Long Period*, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce. Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di *Fourier*. Quest'ultimo viene sottoposto a *tapering* e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione  $X$ , ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione  $Y$ , vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale  $Z$ , ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette



quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di *windowing*.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di *Rayleigh*, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo Vs30.

### **3. SPECIFICHE OPERATIVE ADEGUAMENTO VIABILITA' ESISTENTE**

#### **3.1. INDAGINI GEOGNOSTICHE**

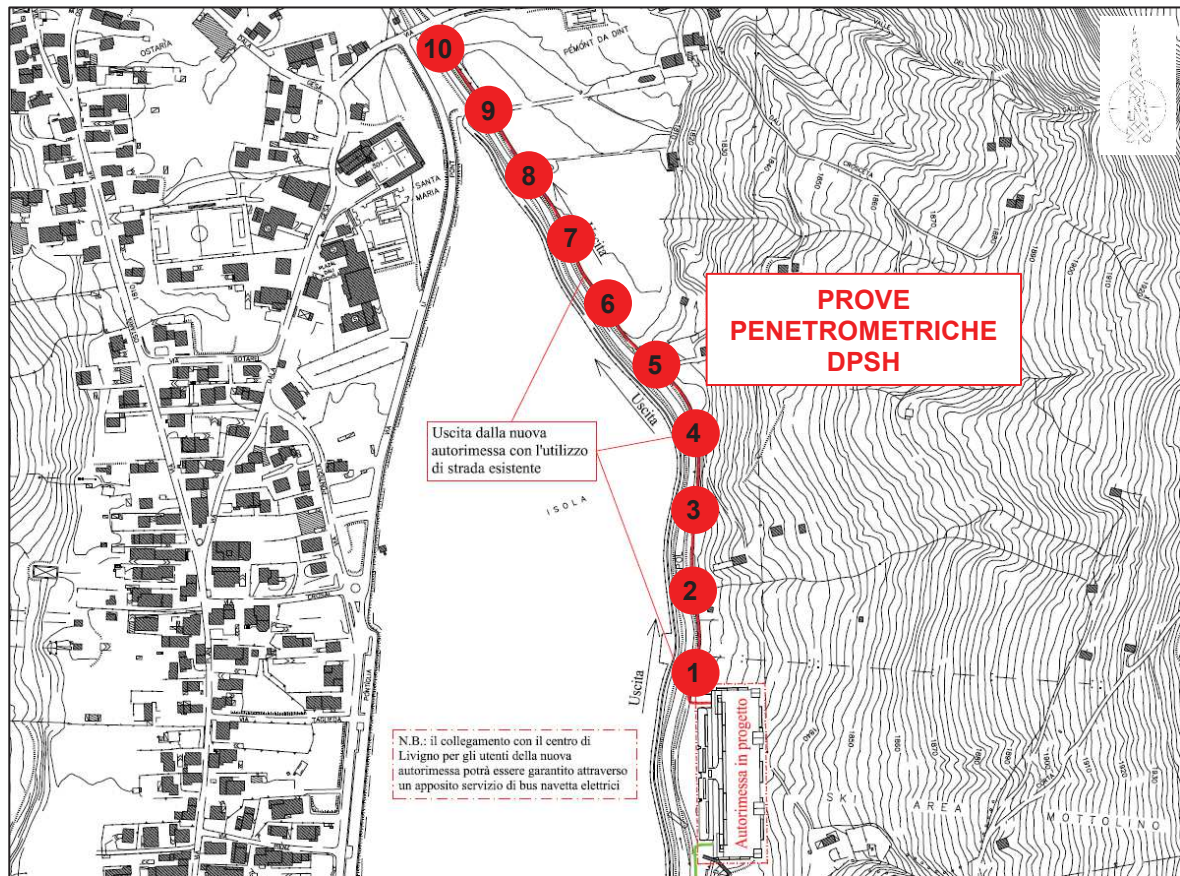
Per gli interventi di adeguamento della viabilità esistente sono previste le seguenti indagini geognostiche che consentiranno di caratterizzare dal punto di vista geotecnico i depositi interessati dalla posa del cassonetto stradale:

- n°10 prove penetrometriche DPSH (*Dynamic Probing Super Heavy*).

Le prove saranno realizzate lungo il tratto di strada esistente oggetto di intervento (lunghezza di circa 850,00 m) con una distanza tra un'indagine e la seguente compresa tra 50 – 100 m a seconda del contesto locale.

L'ubicazione, in prima analisi è come indicata nella figura successiva, mentre la posizione esatta dovrà essere verificata in situ alla presenza della DL.





Stralcio tavola "Planimetria generale" con ubicazione prove penetrometriche DPSH

**Le prove penetrometriche dinamiche continue DPSH** sono previste per determinare lo stato di addensamento, valutare i relativi parametri geotecnici ed interpretare la stratigrafia dei terreni in oggetto a completamento dei dati ricavati dai sondaggi geognostici.

Le prove penetrometriche dovranno essere eseguite con penetrometro dinamico standard le cui caratteristiche devono essere rigorosamente conformi alla normativa geotecnica vigente in materia.

Se ne riassumono di seguito i dati tecnici salienti:

- Rif. Norme DIN 4094
- Peso Massa battente 63,5 Kg
- Altezza di caduta libera 0,75 m
- Peso sistema di battuta 0,63 Kg
- Diametro punta conica 51,00 mm
- Area di base punta 20,43 cm<sup>2</sup>
- Lunghezza delle aste 1 m

## PIANO DI INDAGINE GEOGNOSTICA E SISMICA



- Peso aste a metro 6,31 Kg/m
- Profondità giunzione prima asta 0,40 m
- Avanzamento punta 0,20 m
- Numero colpi per punta N(20)
- Coeff. Correlazione 1,47
- Rivestimento/fanghi No
- Angolo di apertura punta 90°

Si procederà contando il numero di colpi (N) necessario per ottenere l'infissione della punta conica per tratti di 20 cm ciascuno.

Le prove dovranno essere realizzate fino ad una profondità di -10,00 m dal piano campagna attuale o fino al rifiuto all'avanzamento delle aste

#### **4. SPECIFICHE OPERATIVE INDAGINI RELATIVA ALLA PISTA OLIMPICA**

##### 4.1. INDAGINI GEOGNOSTICHE

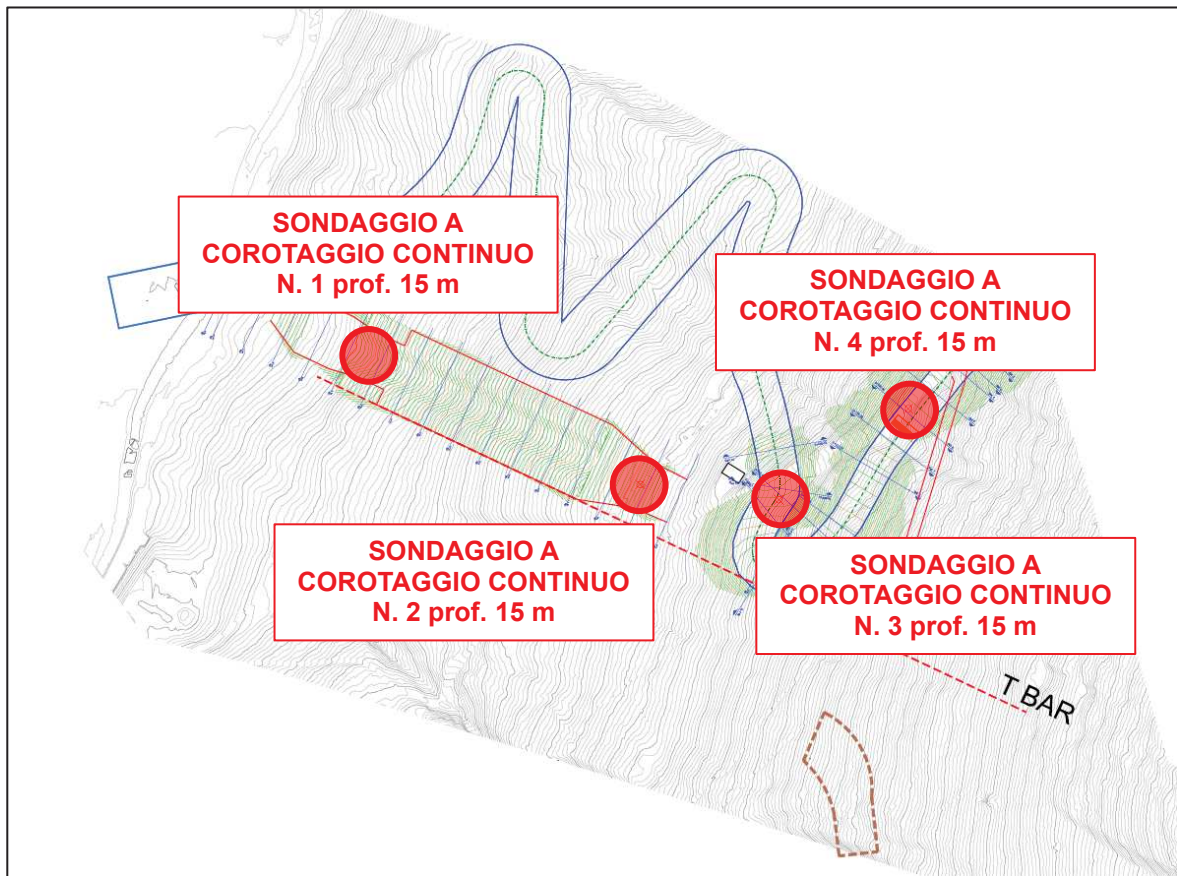
Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni relativi alla pista olimpica sono previste le seguenti indagini geognostiche:

- n°4 sondaggi a carotaggio continuo con prove SPT in foro;
- n°8 campioni di terre da sottoporre ad analisi granulometriche;
- n°8 analisi chimiche TRS (Terre e Rocce da Scavo).

In dettaglio sono previsti n. 4 sondaggi a carotaggio continuo con prove SPT in foro ogni 3,00 m o in corrispondenza di cambi litologici significativi fino alla profondità di 15,00 m.

Nel caso del raggiungimento del substrato roccioso si dovranno carotare almeno 5,00 m in roccia.

L'ubicazione, in prima analisi è come indicata nella figura successiva, mentre la posizione esatta dovrà essere verificata in situ alla presenza della DL.



Stralcio tavola "Planimetria generale" con ubicazione sondaggi a carotaggio continuo

Le modalità di perforazione dei **sondaggi a carotaggio continuo** ed il diametro dei fori saranno tali da rendere minimo il disturbo dei terreni attraversati e da consentire, compatibilmente con la natura dei terreni, il prelievo di campioni rappresentativi di terreno rimaneggiato e indisturbato.

Le pareti del foro saranno sostenute, a seconda delle esigenze, da normali fluidi di circolazione o rivestimenti provvisori e le perforazioni saranno eseguite mediante l'uso di carotieri semplici o doppi provvisti di corone al Widia ed eventuale uso di corone al diamante.

Le carote prelevate durante il corso della perforazione verranno conservate in apposite cassette catalogatrici, sulle quali verranno riportati il numero del sondaggio e le profondità di prelievo.

Nel corso del sondaggio sarà rilevata la stratigrafia del terreno attraversato; in essa dovranno comparire tutti gli elementi relativi ai campionamenti rimaneggiati ed indisturbati ed una descrizione geotecnica visiva dei singoli strati attraversati, oltre alle eventuali note dell'operatore relative a perdite di circolazione, a rifluimenti in colonna, ecc. . Nel corso del sondaggio, all'inizio e alla fine di ogni turno di lavoro, verrà misurato il livello dell'acqua nell'interno del foro avendo cura che il foro sia libero da eventuali materiali che impediscono alla falda di raggiungere, durante la notte, il livello statico.

## PIANO DI INDAGINE GEOGNOSTICA E SISMICA





Nei sondaggi, in materiale sciolto sono previste **prove SPT** ogni 3,00 metri o in livelli individuati in fase di sondaggio particolarmente significativi.

Sul fondo foro opportunamente pulito, dovrà essere infisso a percussione un campionatore di forma e dimensioni standard (tipo Raymond), attraverso il quale, in base al numero dei colpi (N) necessari alla penetrazione di 45 cm, misurati separatamente in tre tratti di 15 cm ciascuno, sia possibile valutare orientativamente lo stato di consistenza dei terreni, in genere sabbiosi o limo-argillosi.

La percussione dovrà essere effettuata secondo le modalità contenute nella norma ASTM n° D 1586/67 salvo quanto specificato di seguito.

Deroghe alla norma ASTM n° D 1586/67:

4. Se la prova interesserà terreni molto compatti o ghiaiosi, su parere del geologo di cantiere, l'Impresa potrà impiegare, al posto della scarpa del campionatore sopra descritto, una punta conica del diametro di 51 mm e di 60° di apertura angolare;
5. Le tre fasi di penetrazione di 15 cm ciascuna andranno comunque eseguite;
6. Per ciascuna fase, in caso di rifiuto, andrà indicata la penetrazione raggiunta in cm.

Per la prova dovrà essere usato un campionatore Raymond di lunghezza 711 mm, diametro esterno di 50.8 mm, diametro interno 34.9 mm ed un dispositivo di guida e di sgancio automatico del maglio, di peso 63.5 kg, che assicuri una corsa a caduta libera di 0.76 mm.

Le aste di perforazione non dovranno superare il peso di 10 kg/ml.

L'Impresa è tenuta a conservare il campione estratto dal campionatore trasferendolo dal tubo di campionamento in contenitori di plastica, contrassegnati con etichetta. L'impresa è tenuta altresì ad indicare le caratteristiche del sistema di battitura ed a fornire la documentazione.

Per ogni sondaggio è stimato il prelievo di n°2 campioni di terre da sottoporre ad **analisi chimiche TRS** (Terre e Rocce da Scavo) per un totale di n°8.

Lo scopo principale dell'attività è la verifica dello stato di qualità dei terreni nelle aree destinate alla realizzazione degli interventi, mediante indagini dirette comprendenti il prelievo e l'analisi chimica di campioni di suolo e il confronto dei dati analitici con i limiti previsti dal D.Lgs. 152/2006 e DPR 120-2017

Per le analisi chimiche, si prenderà in considerazione un *set* di composti inorganici e organici tale da consentire di accertare in modo adeguato lo stato di qualità dei suoli. Le analisi chimiche saranno eseguite adottando metodiche analitiche ufficialmente riconosciute.



In dettaglio il set di analisi dovrà verificare al presenza e la concentrazione dei seguenti elementi:

- Cadmio;
- Cromo totale;
- Cromo VI;
- Nichel;
- Piombo;
- Rame;
- Zinco;
- Cobalto;
- Arsenico;
- Mercurio;
- Idrocarburi pesanti C>12;
- Amianto.

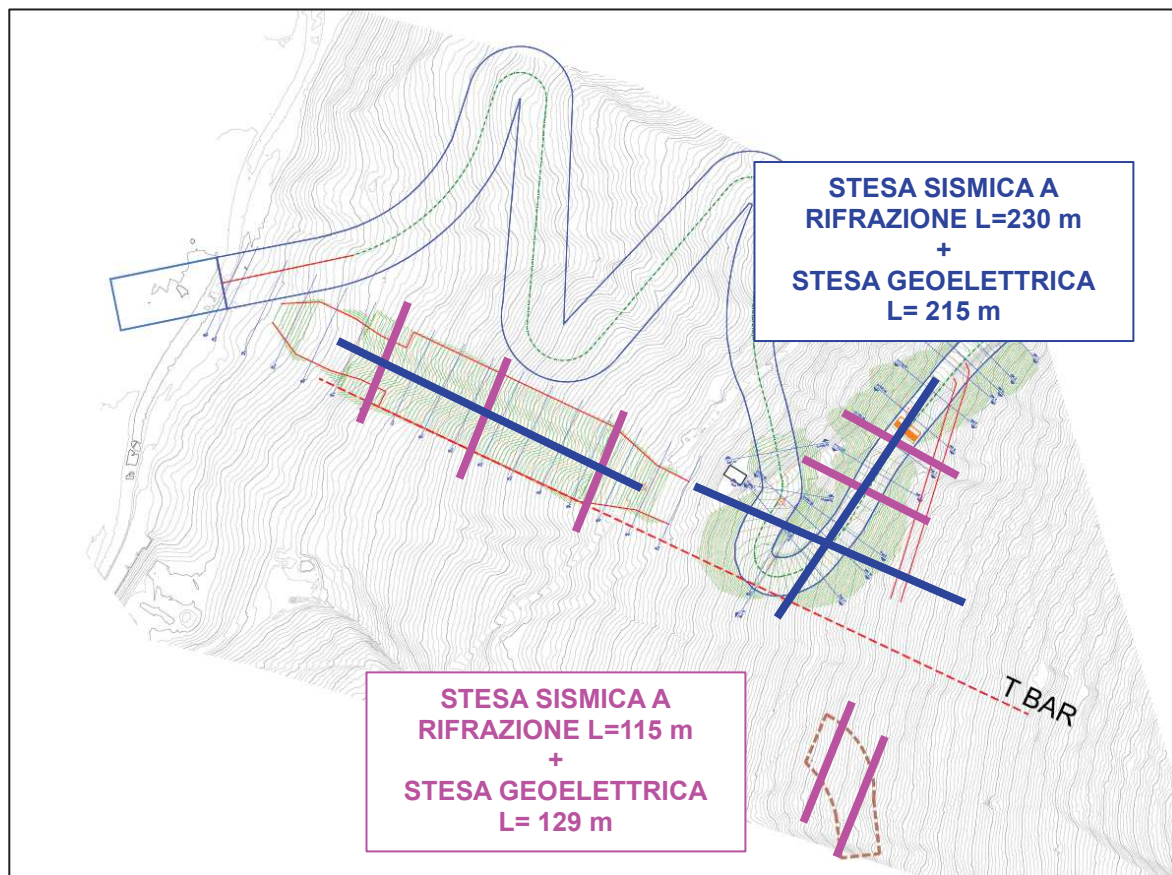
#### 4.2. INDAGINI SISMICHE

Per la caratterizzazione sismica dei terreni relativi alla pista olimpica sono previste le seguenti indagini geognostiche:

- n°10 stese sismiche a rifrazione con interpretazione tomografica;
- n° 10 indagini geoelettriche.

In dettaglio sono previste n°3 stese con la tecnica a rifrazione con lunghezza di 230,00 m che verranno realizzate con n°2 stese di 115,00 m in successione tenendo un passo di 5,00 m; n°7 stese con la tecnica a rifrazione con lunghezza di 115,00 m tenendo un passo di 5,00; n°3 stese geoelettriche con lunghezza di 215,00 m tenendo un passo di 5,00 e n°7 stese geoelettriche con lunghezza di 129,00 m tenendo un passo di 3,00.

L'ubicazione, in prima analisi è come indicata nella figura successiva, mentre la posizione esatta dovrà essere verificata in situ alla presenza della DL.



Stralcio tavola "Planimetria generale" con ubicazione indagini sismiche

Relativamente all'esecuzione delle **stese sismiche a rifrazione** si realizzeranno dei profili sismici a rifrazione tomografico 2D di superficie eseguito con apparecchiatura elettronica multicanale (24C), ad alta precisione e dinamica (DAC 24 bit), a segnale incrementale, acquisizione dati mediante energizzazioni "off-set in line" distribuite lungo la base ed effettuate con massa battente o fucile a cartuccia industriale, analisi ed elaborazione con specifico software, relazione riepilogativa con sezione tomografica 2D a mappa di colori del modello di velocità.

La tecnica di prospezione sismica a rifrazione consiste nella misura dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche generate in un punto in superficie (punto di sparo), in corrispondenza di una molteplicità di punti disposti allineati sulla superficie topografica (geofoni). Lo studio della propagazione delle onde sismiche consente di valutare le proprietà meccaniche e fisiche dei terreni e la compattezza dei materiali da queste attraversati.

Mediante questo tipo di indagine si può risalire alla probabile composizione litologica di massima dei terreni, al loro grado di fratturazione, alla geometria delle prime unità sottostanti la coltre

## PIANO DI INDAGINE GEOGNOSTICA E SISMICA





superficiale, alla profondità in cui si trova la roccia di fondo (“bedrock”), alla sua forma e talora, in terreni alluvionali, alla profondità della falda freatica.

L’elaborazione dei dati sismici, con un completo modello matematico bidimensionale appoggiato da procedure iterative, consente di massimizzare la risoluzione e il dettaglio di ricostruzione del modello di velocità attribuito al terreno in esame.

Utilizzando quindi le distanze tra il punto di scoppio e quello di ricezione e i tempi di primo arrivo dei segnali sismici, vengono ricavate le dromocrone (curve tempi-distanze), dalle quali si risale, tramite opportuno programma di calcolo, alle velocità reali nei singoli strati, al loro spessore, profondità, forma ed inclinazione.

Questa procedura di tipo “classico” fornisce un modello di velocità iniziale alla procedura d’iterazione tomografica. Per questa prima parte di procedura interpretativa l’algoritmo utilizzato dal programma di calcolo è stato pubblicato nel 1986 da Dereck Palmer in un articolo dal titolo “The Generalized Reciprocal Method of Seismic Refraction Interpretation”. (Society of Exploration Geophysicists)

L’interpretazione GRM viene quindi a fornire il modello iniziale delle velocità del terreno, necessario ad attivare le iterazioni del completo modello matematico bidimensionale (modellizzazione tomografica). Il terreno viene quindi suddiviso in celle di dimensione minima, ciascuna dotata di una diversa velocità sismica e ciascuna pronta a venir modificata dalla procedura di iterazione tomografica allo scopo di ridurre al minimo l’errore fra le dromocrone calcolate in base al modello di terreno e quelle effettivamente misurate durante la prospezione.

Le **sezioni geoelettriche** multipolari (spesso impropriamente dette tomografie elettriche) vengono realizzate misurando i valori del campo elettrico in corrispondenza di un allineamento di elettrodi di misura equispaziati. Il campo elettrico viene generato da un polo di corrente posto all’interno della linea di misura, il quale viene spostato automaticamente all’interno della linea. Le prove geoelettriche forniscono quindi una sezione verticale del terreno mediante una molteplicità di valori di resistività apparente riportabili su una maglia regolare. La resistività apparente è definita come rapporto fra differenza di potenziale al dipolo di misura e corrente immessa al polo di corrente, rapporto che viene moltiplicato per un opportuno fattore geometrico dipendente dalla posizione



reciproca degli elettrodi. I metodi di prospezione geofisica permettono la ricostruzione stratigrafica del sottosuolo utilizzando alcuni parametri fisici che caratterizzano gli strati del terreno.

Nella prospezione geoelettrica si determina il parametro fisico resistività elettrica, relativo alle formazioni che costituiscono il sottosuolo. La resistività è un parametro indipendente dalle caratteristiche geometriche della formazione litologica cui si riferisce ed è definito come la resistenza elettrica per unità di volume. Ogni corpo roccioso presenta un ampio campo di variabilità dei propri valori di resistività; essi dipendono dal grado di omogeneità, dal livello di alterazione e, per rocce e litoidi, dal grado di fratturazione. Nel caso di terreni sciolti, quali i depositi alluvionali recenti, la resistività dipende dalla granulometria, dai fluidi in essi contenuti e dal quantitativo in sali disciolti. A questa regola fanno eccezione le argille che, anche se compatte, hanno sempre valori di resistività estremamente bassi; questo è dovuto principalmente alle caratteristiche del reticolo cristallino dei minerali che le compongono ed al loro grado di saturazione.

## 5. COMPUTO METRICO

### 5.1. COMPUTO METRICO INDAGINI PARCHEGGIO INTERRATO ED ADEGUAMENTO STRADA

DESCRIZIONE	U.M.	QUANTITÀ	COSTO UNITARIO	TOTALE
Trasporto ed approntamento cantiere per esecuzione indagini geognostiche e sismiche	A corpo	1	2.500,00	2.500,00
Esecuzione di sondaggi a carotaggio e recupero continuo con perforazione in depositi detritici superficiali ed eventuali trovanti compresa l'estrazione e la conservazione entro apposite cassette catalogatrici. Diametro minimo 85 mm	ml	$(3 \times 30) + (1 \times 15)$ = 105	83,27	8.743,35
Sovrapprezzo per sondaggio a carotaggio e recupero continuo con perforazione in roccia con carotiere doppio e corona diamantata	ml	---	45,00	

## PIANO DI INDAGINE GEOGNOSTICA E SISMICA



Per ogni postazione di sondaggio	Cad.	4	300,00€	1.200,00€
Esecuzione di prove SPT in foro nel corso di sondaggi a rotazione	Cad.	$(3 \times 10) + (1 \times 5) = 35$	123,83	4.334,05
Analisi chimiche TRS con set sopraccitato	Cad.	8	350,00	2.800,00
Installazione tubo piezometrico in PVC	ml	$2 \times 30 = 60$	52,00 per ogni installazione + 30,00 al ml	1.904,00
Esecuzione di prova di pompaggio a gradini per la determinazione del livello dinamico della falda e della produttività dell'acquifero	Cad.	1	1.500€	1.500€
Esecuzione indagine sismica MASW incluso allestimento e trasporto	Cad.	1	1.000,00	1.000,00
Rilievo di sismica passiva puntuale HVSR	Cad.	2	400,00	800,00
Prove penetrometriche dinamiche continuo con penetrometro massa battente del tipo DPSH	Cad.	10	450,00	4.500,00
Prelievo di campioni di terre semidisturbati ed analisi granulometrica mediante vagliatura eseguita in conformità CNR BU 23 UNI EN 933-1	Cad	8	$(138,80 + 16,07 + 41,47) = 196,34$	1.570,72
			<b>TOTALE</b> <b>(Esente IVA art. 7)</b>	<b><u>30.852,12</u></b>

**PIANO DI INDAGINE GEOGNOSTICA E SISMICA**





## 5.2. COMPUTO METRICO INDAGINI PISTA OLIMPICA

DESCRIZIONE	U.M.	QUANTITÀ	COSTO UNITARIO	TOTALE
Trasporto ed approntamento cantiere per esecuzione indagini geognostiche e sismiche	A corpo	1	2.500,00	2.500,00
Esecuzione di sondaggi a carotaggio e recupero continuo con perforazione in depositi detritici superficiali ed eventuali trovanti compresa l'estrazione e la conservazione entro apposite cassette catalogatrici. Diametro minimo 85 mm	ml	4 x 15 = 60	83,27	4.996,20
Sovrapprezzo per sondaggio a carotaggio e recupero continuo con perforazione in roccia con carotiere doppio e corona diamantata	ml	---	45,00	
Per ogni postazione di sondaggio	Cad.	4	300,00€	1.200,00€
Esecuzione di prove SPT in foro nel corso di sondaggi a rotazione	Cad.	4 x 5 = 20	123,83	2.476,60
Analisi chimiche TRS	Cad.	8	350,00	2.800,00
Indagine sismica a rifrazione con interpretazione tomografica per allestimento e trasporto	Cad	10	300,00 €	3.000,00 €
Esecuzione indagine sismica a rifrazione con interpretazione tomografica	ml	$(115 \times 7) + (230 \times 3) = 1.495$	8,00 €	11.960,00
Indagine geoelettriche per allestimento e trasporto	Cad	10	300,00 €	3.000,00 €

### PIANO DI INDAGINE GEOGNOSTICA E SISMICA



Esecuzione indagini geoelettrica	ml	$(129 \times 7) + (215 \times 3) = 1.548$	8,00 €	12.384,00
Prelievo di campioni di terre semidisturbati ed analisi granulometrica mediante vagliatura eseguita in conformità CNR BU 23 UNI EN 933-1	Cad	8	$(138,80 + 16,07 + 41,47) = 196,34$	1.570,72
			<b><u>TOTALE</u></b> <b><u>(Esente IVA art. 7)</u></b>	<b><u>45.887,52 €</u></b>

**PIANO DI INDAGINE GEOGNOSTICA E SISMICA**