



NUOVO OSPEDALE DI CASTELLAMMARE DI STABIA

Affidamento dei servizi di progettazione di Fattibilità Tecnico Economica – P.F.T.E., rilievo, indagini, analisi e sondaggi, per la realizzazione del polo ospedaliero “Nuovo Ospedale di Castellammare di Stabia”

CUP: B85F23000350001

E.A.02

DISCIPLINARE TECNICO PER L'ESECUZIONE DELLE INDAGINI GEOLOGICHE, GEOTECNICHE E AMBIENTALI

**Il gruppo di supporto
Ing. Rocco Salvati**

**Il Responsabile Unico del Progetto
Geol. Marco Ferraro**

Sommario

OGGETTO	4
1. AMMONTARE DEL SERVIZIO E CONTABILIZZAZIONE.....	4
2. DESIGNAZIONE SOMMARIA DELLE INDAGINI.....	4
3. ONERI, OBBLIGHI E RESPONSABILITÀ DELL’AFFIDATARIO.....	4
4. PIANO DELLE INDAGINI.....	6
Introduzione.....	6
Principi	7
Esecuzione	7
5. PROGRAMMA SPECIFICO DELLE INDAGINI	10
6. PROVE CON ASSESTIMETRO ELETTROMAGNETICO (VERTICALI ASSESTIMETRICHE)	11
Principi	11
Esecuzione	11
Installazione - Controlli ed operazioni preliminari.....	12
Esecuzione delle prove	12
Misure	13
Manutenzione.....	13
7. PROVE DI LABORATORIO	15
Principi	15
Esecuzione	15
Apparecchiatura.....	15
8. ANALISI DI LABORATORIO.....	17
Analisi ambientali.....	18
9. PROSPEZIONI GEOFISICHE	20
9.1 INDAGINI DOWN HOLE (DH)	20
Principi	20
Esecuzione.....	21
Documentazione da presentare:	23
9.2 INDAGINI DI SISMICA PASSIVA (MICROTREMORI).....	23
Principi	23
Esecuzione.....	24
9.3 PROSPEZIONI GEOELETTRICHE MULTIELETTRODO.....	26
Principi	27
Esecuzione.....	27
Documentazione da presentare:	29

10. PROVE DI COMPRESSIONE SU CAROTE DI CALCESTRUZZO.....	30
Principi	30
Esecuzione.....	30
Avvertenze/Raccomandazioni	31
11. PROVE DI TRAZIONE SU BARRE DI ARMATURA D’ACCIAIO ESTRATTE DALLA STRUTTURA.....	32
Principi	32
Esecuzione.....	32
Avvertenze/Raccomandazioni	32
12. PROVE PACOMETRICHE	33
Principi	33
13. INDAGINI PER LA VERIFICA PREVENTIVA DI INTERESSE ARCHEOLOGICO.....	33
14. DOCUMENTAZIONE DA PRODURRE	34

OGGETTO

Il presente Allegato tecnico disciplina l'esecuzione delle indagini geognostiche, geotecniche, ambientali e di verifica preventiva dell'interesse archeologico, propedeutiche al servizio di progettazione di Fattibilità Tecnico-economica per la realizzazione ...

Fermo restando quanto previsto in materia di subappalto dagli atti che compongono la presente procedura di gara, il soggetto individuato per l'esecuzione delle attività di indagine dovrà essere in possesso di attestazione SOA per la categoria di riferimento OS20B - INDAGINI GEOGNOSTICHE - riguardante "l'esecuzione di indagini geognostiche ed esplorazioni del sottosuolo con mezzi speciali, anche ai fini ambientali, compreso il prelievo di campioni di terreno o di roccia e l'esecuzione di prove in situ".

1. AMMONTARE DEL SERVIZIO E CONTABILIZZAZIONE

Il corrispettivo delle indagini, analisi e sondaggi oggetto del presente Capitolato è pari a €. **385.593,49 più € 15.239,21 per costi della sicurezza non soggetti a ribasso (I.V.A. esclusa)**

così differenziato: Indagini Geognostiche e Geotecniche....€ 129.470,55

Indagini ambientali.....€ 94.910,54

Indagini Strutturali.....€ 161.212,49

Tale corrispettivo è stato determinato utilizzando, ove disponibili, le voci di tariffa da Prezzario Regione Campania 2023 (approvato con Delibera della Giunta Regionale n. 50 del 08.02.2023), tariffario unico ARPA Campania 2003, nonché applicando per i Nuovi Prezzi costi parametrati a prestazioni analoghe già appaltate dalla Regione Campania, come dettagliato nell'allegato Computo Metrico Estimativo.

Le prestazioni verranno contabilizzate a misura, attraverso la registrazione delle misure rilevate, ed il corrispettivo sarà determinato moltiplicando le quantità rilevate per le corrispondenti voci dell'Elenco prezzi unitari, definiti considerando il ribasso offerto in sede di gara.

I corrispettivi contrattuali sono e devono intendersi comprensivi, oltre che della fornitura del Servizio, anche dell'erogazione delle prestazioni aggiuntive, se offerte, e, comunque, di ogni attività necessaria per l'esatto e completo adempimento delle modalità e delle prescrizioni contrattuali a perfetta regola d'arte.

2. DESIGNAZIONE SOMMARIA DELLE INDAGINI

Le indagini che formano oggetto del presente appalto possono riassumersi, in via esemplificativa, come appresso:

INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOTECNICHE ED AMBIENTALI

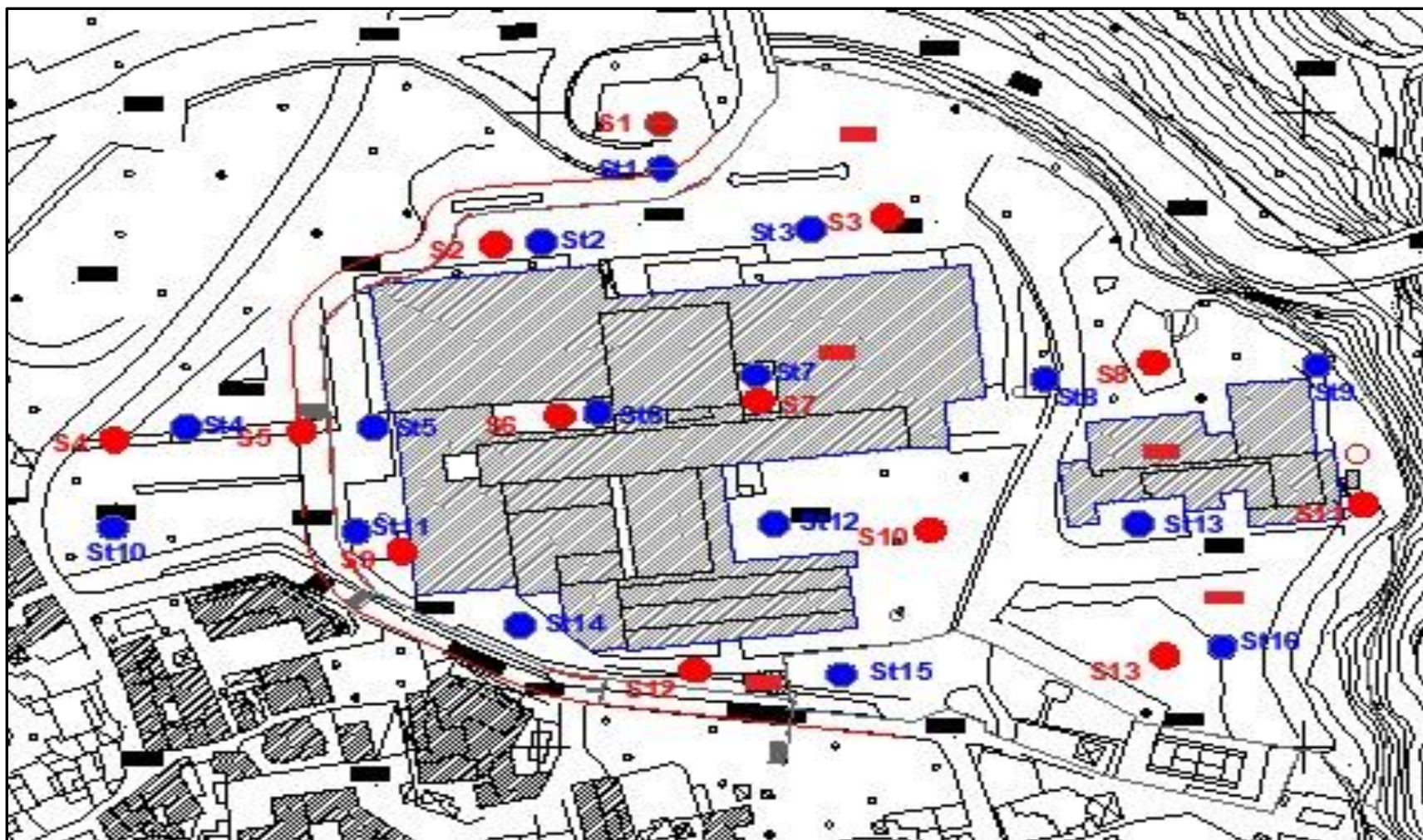
1. Sondaggi Geognostici;
2. Prelievo di campioni indisturbati per la caratterizzazione geotecnica del sottosuolo;
3. Prelievo di campioni disturbati per la caratterizzazione ambientale del sito;
4. Analisi di laboratorio chimico-fisiche sui campioni di terreno rimaneggiati ;
5. Analisi geotecniche di laboratorio sui campioni indisturbati prelevati;
6. Condizionamento di una parte dei fori di sondaggio per la successiva esecuzione di prospezioni geofisiche in foro (tipo down-hole) e per il monitoraggio piezometrico della falda idrica sotterranea;
7. Prospezioni sismiche passive a stazione singola (HVSr) per la determinazione della frequenza di risonanza di sito;
8. Prospezioni geoelettriche multielettrodo con metodo tomografico.

Tutti i risultati ottenuti dalle prove realizzate sia *in situ* sia in laboratorio dovranno, inoltre, essere accompagnati da una Relazione interpretativa firmata da un geologo iscritto all'Albo professionale.

Al termine dovrà essere redatta una Relazione tecnica finale/Rapporto conclusivo di sintesi contenente la descrizione delle attività svolte, della strumentazione e delle procedure operative utilizzate e dei risultati ottenuti, con la planimetria riportante l'esatta ubicazione delle prove eseguite.

L'ubicazione preliminare dei punti di indagine e di campionamento è indicativamente definita per la loro localizzazione per un numero pari a 16 per i sondaggi geognostici e n. 13 per le indagini ambientali nella Tavola

1.



Tavola



Sondaggi geognostici a Carotaggio Continuo



Sondaggi prelievo campioni analisi ambientali

Nel corso di esecuzione del contratto l'Amministrazione avrà facoltà di modificare tale piano in funzione dei risultati via via acquisiti.

L'Aggiudicatario dovrà presentare alla Stazione Appaltante, come primo documento, il Piano delle Indagini (facendo proprio quello predisposto, ovvero proponendone motivatamente una sua modifica tecnica migliorativa), il PSS e/o in aggiunta il POS e un Piano della Qualità ai sensi della norma UNI EN ISO 9001. Tali documenti, una volta approvati dal RUP, costituiranno i documenti tecnici di riferimento sulla base dei quali potrà essere definito l'esatta tipologia e posizionamento dei punti di indagine.

Per ciascun punto di indagine e prove, l'Affidatario dovrà fornirne l'esatta ubicazione attraverso il rilievo topografico dei punti di indagine comprensivo di georeferenziazione degli stessi con metodologia GPS.

I risultati derivanti dalle indagini oggetto del presente affidamento dovranno essere forniti in doppia copia, in formato sia cartaceo sia digitale. Per ogni punto di campionamento dovrà essere redatta una Scheda riassuntiva che sarà parte del Piano della Qualità, in cui saranno riportate almeno le seguenti informazioni:

- le coordinate geografiche di campionamento;
- la data e l'ora del campionamento;
- la documentazione fotografica;
- il codice del campione;
- la descrizione del campione.

Per ciascuno dei campioni oggetto di analisi il/i laboratorio/i deve/devono fornire un Rapporto di Prova, datato e firmato dal responsabile del laboratorio, che riporti:

- la data di ricevimento del campione;
- la data di inizio delle attività di analisi;
- identificazione univoca del campione analizzato;
- elenco dei parametri determinati, con relativo risultato analitico ottenuto;
- incertezza di misura espressa nella stessa unità di misura del risultato;
- metodo di riferimento usato;
- limite di quantificazione.

Per quanto concerne, infine, LE INDAGINI STRUTTURALI, per la valutazione della sicurezza statica e sismica

dell'immobile, risultano necessarie indagini finalizzate alla determinazione della geometria degli elementi strutturali, dei dettagli costruttivi e delle proprietà dei materiali strutturali utilizzati per la realizzazione dell'immobile.

Il piano di indagini strutturali dovrà essere basato sulle operazioni di rilievo condotte dagli stessi progettisti e sulla documentazione, se disponibile, fornita dalla Stazione Contraente e visionabile da parte dei progettisti incaricati.

Si prevede di raggiungere il massimo livello di conoscenza possibile (LC3 secondo NTC 2018 e Circolare n° 7 del 2019) in modo da sfruttare a pieno le capacità dei materiali esistenti.

Secondo il paragrafo C.8.5.4.2 della Circolare n° 7 del 2019, le indagini minime da effettuare per il raggiungimento di un LC3, nel caso si riscontrassero caratteristiche uguali o superiori a quelle dichiarate dai certificati sui materiali dell'epoca, sono:

- **Rilievo geometrico della parte strutturale e non strutturale**

Un rilievo geometrico della parte strutturale si renderà necessario per verificare la corrispondenza dell'organismo strutturale realizzato con quello presente su elaborati di progetto se disponibili. Pertanto, in questa fase si dovrà effettuare un rilievo delle geometrie (sviluppo longitudinale e sezione) dei singoli elementi strutturali, e determinarne la posizione nello spazio. Inoltre, risulterà necessario determinare anche la tipologia e gli spessori degli elementi non strutturali che rappresentano il carico permanente non strutturale, quali: tipo e spessore dei tumpagni, spessore del pacchetto di finitura dei solai, etc..

Per le strutture in acciaio risulterà, invece, necessario il rilievo tipologico e geometrico dei profilati utilizzati e dei collegamenti tra essi.

- **Indagini sulle armature**

Le indagini sulle armature dovranno puntare alla determinazione del diametro delle barre, del loro numero e della loro disposizione. Pertanto, si deve prevedere di indagare tali aspetti attraverso le seguenti attività: (1) spicconatura del copriferro con rilievo geometrico delle armature esposte; (2) rilievo pacometrico.

- **Indagini sui materiali**

Le indagini sui materiali, infine, dovranno prevedere: (1) prelievo di provini in cls.; (2) prelievo di provini di armature per c.a.: (3) prelievo di provini di acciaio da carpenterie metalliche.

3. ONERI, OBBLIGHI E RESPONSABILITÀ DELL’AFFIDATARIO

Prima dell’inizio delle attività, e comunque entro dieci giorni dalla consegna delle medesime, la Società è tenuta (art. 43 comma 10 Reg. D.P.R. 207/2010) a presentare un programma esecutivo nel quale sarà dettagliato il programma di attuazione delle indagini previste, in modo che sia possibile presenziare alle attività anche al fine di concordare eventuali modifiche al programma di indagini.

La Società dovrà assicurare la presenza in cantiere durante tutte le operazioni di campionamento, preparazione e consegna del campione per l’analisi, di un laureato in discipline tecnico scientifiche con preparazione ed esperienza professionale nel campo della caratterizzazione e bonifica dei siti inquinati.

Dovrà essere, altresì, nominato un responsabile delle attività di laboratorio che sarà referente per il Committente. Egli sarà responsabile della corretta esecuzione delle analisi, dello stato d’avanzamento, della raccolta dei dati e della loro trasmissione al Committente, nonché della fornitura di eventuali informazioni e/o documenti integrativi che potranno servire alla definizione particolareggiata delle modalità esecutive e di eventuali commenti riguardanti i risultati analitici.

Nella esecuzione delle attività di cui al presente disciplinare, la Società dovrà tener conto dei seguenti oneri ed adempimenti, compresi e compensati nei prezzi di elenco:

- a) la guardiania e custodia delle attrezzature di rilevazione installate e dei campioni prelevati al fine di garantirne la validità ed attendibilità per tutto il periodo di rilevazione previsto;
- b) il trasporto a rifiuto di tutti i materiali di risulta comunque connessi con le attività di indagine;
- c) l’installazione e l’esercizio delle attrezzature necessarie, ove ciò sia richiesto, per il controllo ed il contenimento delle acque di falda;
- d) la ricerca e l’individuazione di sottoservizi di ogni genere, di ordigni bellici, di beni di interesse archeologico e comunque di qualsiasi altro oggetto che potrebbe arrecare danni alla Società e/o a terzi, per i quali danni la medesima Società sarà unica responsabile, rimanendone invece sollevata in tutti i casi la Stazione Appaltante;
- e) i danni e/o i vandalismi effettuati sulle attrezzature, sui materiali utilizzati per l’esecuzione delle indagini, sulle carote incustodite estratte dalle perforazioni e sui campioni.

La Società dovrà, inoltre:

- 1) essere dotata di tutte le strumentazioni ed il personale specializzato (geologo,) necessari per l’esecuzione delle indagini senza nessuna eccezione;

-
- 2) provvedere a proprie spese alla cura e sorveglianza delle strumentazioni e macchinari messi in atto per le indagini;
 - 3) assicurarsi che siano poste in atto le disposizioni di legge relative alla sicurezza sui luoghi di lavoro;
 - 4) provvedere all'opportuna recinzione e segnalazione di tutte le superfici interessate dalle indagini e prove, cui, per il pericolo di mezzi meccanici in movimento o per la presenza di scavi, potrebbe costituire pericolo l'avvicinarsi;
 - 5) accertare l'eventuale presenza nel sottosuolo interessato dalle indagini di impianti idrici, elettrici tecnologici e sottoservizi in genere.

La Società è tenuta all'osservanza delle misure generali di tutela previste dall'art. 15 capo III del d.lgs. n. 81/2008 e sue successive modificazioni ed integrazioni e dovrà valutare, sulla base delle conoscenze disponibili, la scelta delle attrezzature di lavoro nonché l'idonea sistemazione del sito di lavoro atto a garantire la sicurezza e la salute dei propri lavoratori. L'impresa, nella valutazione del rischio di cui all'art. 17 del d.lgs. n. 81/08, dovrà tenere conto anche dei pericoli per la salute umana derivante da possibili esposizioni a sostanze tossico-nocive.

All'atto dell'aggiudicazione, e comunque prima della consegna delle attività, la Società è tenuta alla redazione e alla consegna alla Stazione appaltante di un Piano di sicurezza sostitutivo (PSS) del piano di sicurezza e di coordinamento quando quest'ultimo non sia previsto ai sensi del decreto legislativo n. 81/08 e ss.mm.ii., ovvero un piano operativo di sicurezza (POS) per quanto attiene alle proprie scelte autonome e relative responsabilità nell'organizzazione del cantiere e nell'esecuzione delle attività, da considerare come piano complementare di dettaglio del piano di sicurezza e di coordinamento quando quest'ultimo sia previsto ai sensi del decreto legislativo n. 81/08 e ss.mm.ii., con i contenuti di cui all'allegato XV del d.lgs. n. 81/08.

Nell'impianto del cantiere, per qualsivoglia tipologia di indagini, dovranno essere adottate tutte le misure e le precauzioni necessarie a garantire la sicurezza dei luoghi interessati dalle lavorazioni.

Nel corso delle operazioni di indagine dovrà essere curata la manutenzione e la pulizia delle macchine e delle attrezzature impiegate al fine di non arrecare danni all'ambiente circostante.

Tutte le operazioni di cantiere dovranno avvenire senza dispersione incontrollata sul suolo, nel sottosuolo e nei corpi idrici superficiali. Le acque e i fanghi andranno gestite in vasche in terra impermeabilizzate e/o in altro idoneo contenitore fuori terra, di volumetria adeguata, opportunamente raccordato alla bocca foro.

Al termine delle lavorazioni dovrà essere garantito lo smaltimento delle acque di perforazione e dell'eventuale fango prodotto. Qualora necessario i reflui dovranno essere conferiti direttamente a ditte autorizzate per il trasporto e lo smaltimento presso centri autorizzati; l'impresa esecutrice delle indagini

dovrà provvedere alla compilazione del registro di carico/scarico e alla archiviazione della copia del formulario di identificazione.

Particolare cura dovrà essere posta nel ripristino del sito al termine delle operazioni di sondaggio, eventualmente asportando il terreno che fosse stato contaminato, da smaltire come rifiuto.

Nella esecuzione delle attività, la Società dovrà altresì tener conto dei seguenti ulteriori oneri:

- a) tutte le spese contrattuali relative alla stipulazione del contratto, di bollo, registro, copie del contratto e documenti; ogni spesa per imposte sui materiali esistenti all'atto dell'appalto o successivamente stabilite, sotto qualsiasi forma applicata, anche se per legge sia attribuita all'Amministrazione, intendendosi trasferire sempre all'Appaltatore l'onere e la cura della relativa denuncia ed ammettendo comunque la rivalsa dell'Amministrazione verso l'Appaltatore, ad eccezione delle spese di pubblicazione del bando che restano a carico dell'Amministrazione; lo studio, l'impianto, il montaggio e lo smontaggio dei cantieri e delle relative macchine ed attrezzature;
- b) l'approvvigionamento di energia elettrica con eventuale allaccio alla rete ENEL di alimentazione e, in caso di mancato allaccio o di mancanza di tensione in detta rete, con adatti gruppi elettrogeni ad inserzione automatica; dovrà essere disponibile tutta l'energia occorrente per l'alimentazione di tutte le macchine del cantiere e degli altri impianti sussidiari, comunque dislocati, restando l'Appaltatore responsabile della piena e continua efficienza dell'alimentazione;
- c) tutte le spese di provvista d'acqua per le attività e ogni altra necessità dell'Appaltatore, nonché la fornitura, il noleggio e il rimborso spese degli apparecchi di peso e misura dei materiali e la provvista degli stacci e vagli per granulometria degli inerti;
- d) la costruzione e la manutenzione, quali parti integranti del cantiere, di adatti baraccamenti per le maestranze con corredo di locali e servizi accessori; l'approntamento di servizi igienici sanitari in relazione alle caratteristiche del lavoro.

4. PIANO DELLE INDAGINI

Introduzione

Il presente paragrafo costituisce il programma relativo alle specifiche indagini geognostiche (geologiche, geotecniche, idrogeologiche), geofisiche e ambientali propedeutiche allo sviluppo delle diverse fasi progettuali. Il programma di indagini in sito e di laboratorio prende spunto dal Documento di Indirizzo alla Progettazione relativo all'intervento da realizzare, rappresentante il quadro conoscitivo di base di indirizzo

della progettazione.

Finalità delle indagini

Lo scopo delle indagini in oggetto è quello di definire correttamente il contesto e le caratteristiche geologiche, geotecniche, idrogeologiche e ambientali in cui l'intervento da realizzare si inserisce.

Tali indagini permetteranno di valutare le interferenze della nuova opera nell'ambito del volume significativo, con particolare riferimento agli aspetti idrogeologici, e di fornire una caratterizzazione ambientale del sito, anche in riferimento ai rifiuti eventualmente presenti sull'area di intervento e ai terreni interessati da attività di scavo, ai fini del loro eventuale, successivo riutilizzo.

Infine, laddove necessario, dovranno essere eseguiti scavi e verifiche di superficie mirate alla verifica preventiva del rischio archeologico nelle aree di realizzazione dell'intervento.

Principi

I sondaggi geognostici dovranno essere eseguiti a carotaggio continuo, ovvero a distruzione di nucleo solo per installazione di strumentazione o per raggiungere le quote di prelievo di campioni; con i sondaggi si devono perseguire i seguenti fini: - ricostruzione della stratigrafia del sottosuolo mediante l'esame del carotaggio continuo prodotto - prelievo di campioni disturbati ed indisturbati per la sperimentazione geotecnica e chimica di laboratorio - installazione di piezometri - esecuzione di prove in foro di tipo tradizionale (ad es. SPT) e di tipo geofisico (ad es. down hole, geoelettriche).

Esecuzione

- **Attrezzature**

Le attrezzature di perforazione a rotazione dovranno essere del tipo a testa idraulica, dovranno avere i requisiti di velocità di rotazione, coppia, corsa, spinta e tiro tali da consentire il raggiungimento delle profondità previste dal programma di indagini, con i diametri di perforazione e di rivestimento adeguati. Le pompe che si utilizzeranno dovranno essere in grado di raggiungere pressioni effettive di 70 bar e dovranno essere provviste di un circuito supplementare dalla pompa per il rabbocco del fluido a testa foro. Per il carotaggio integrale dovranno essere impiegati carotieri semplici o doppi con diametro minimo di 101 mm, dotati di corone di Widia o diamantate (in funzione del litotipo). Al fine di garantire la stabilità del foro, dovranno essere usati, se necessari, ovvero se espressamente richiesti dalla DL, rivestimenti provvisori costituiti da tubazione metallica i cui diametri risulteranno variabili, in funzione delle caratteristiche esecutive del foro. Per i fori nei quali è previsto il condizionamento (down-hole o

piezometri), le stesse attività di condizionamento devono essere precedute da un idoneo alesaggio in grado di assicurare un perfetto condizionamento (cementazione per le down-hole e filtro drenante per i piezometri). Per i soli fori nei quali non è prevista l'installazione di alcuna strumentazione, al termine delle operazioni di perforazione dovrà essere previsto un riempimento mediante materiale di risulta o miscela cementizia di densità opportuna.

- Sondaggi a carotaggio continuo

I carotaggi dovranno essere eseguiti con carotiere semplice del diametro di 101 mm. Laddove le condizioni fisiche del litotipo non garantiscano il recupero di campione per una percentuale almeno superiore al 50% dovranno essere adottati carotieri doppi. Tali carotieri dovranno essere utilizzati comunque per garantire il campionamento completo degli orizzonti litoidi e per consentire la valutazione dell'indice RQD. Laddove la natura del litotipo richieda l'uso del rivestimento se ne adotterà uno di diametro tale da consentire il prosieguo delle operazioni di perforazione.

- Cassette catalogatrici

Le carote recuperate verranno riposte in opportune cassette catalogatrici sulle quali verranno apposte tutte le indicazioni relative a: committente, cantiere, data, sigla e numero del sondaggio, profondità della perforazione. Dovranno essere apposti, inoltre, idonei separatori al fine di indicare l'inizio e la fine di ogni manovra ed il prelievo di eventuali campioni. Le singole cassette verranno fotografate a colori entro la stessa giornata del loro completamento, con risoluzione adeguata ad una visione chiara delle carote contenute ed in modo che siano chiaramente leggibili tutte le indicazioni apposte sulla cassetta. La documentazione fotografica deve far parte del rapporto delle indagini.

- Profili stratigrafici

Le stratigrafie (redatte da un geologo regolarmente iscritto all'Albo professionale) dovranno essere presentate sotto forma di certificati e saranno compilate per i sondaggi eseguiti a carotaggio continuo. I profili stratigrafici conterranno le informazioni generali sul sondaggio (norme AGI - ASTM) e, precisamente: - quota assoluta del boccaforo (da apposito rilievo topografico) - data di inizio e fine della perforazione - dati tecnici della sonda e delle strumentazioni utilizzate (es. penetrometri) - diametro del foro ed uso di eventuali carotieri doppi - descrizione dei tipi di terreno attraversati (conformemente a quanto riportato nelle raccomandazioni AGI, 1977) - consistenza e grado di plasticità dei terreni a grana fina - stato di addensamento dei terreni a grana grossa - % di carotaggio, % RQD dei livelli lapidei - struttura del terreno - profondità del livello dell'acqua all'interno del foro di sondaggio al termine delle

operazioni di perforazione ed eventuali letture di piezometri, se installati - quote e dati delle prove SPT eseguite in foro - nominativi dell'operatore e del supervisore – nominativo del geologo responsabile di sito - eventuali note sulle modalità operative adottate.

- Sondaggi a distruzione di nucleo

Tale perforazione potrà essere eseguita per l'attraversamento di formazioni di cui non interessi una esatta conoscenza stratigrafica o per il raggiungimento della quota necessaria prevista per l'esecuzione di prove in sito o per installazione di strumentazioni. Durante la perforazione potranno essere prelevati campioni di detrito uscente dal foro (cutting) mediante il quale potrà essere ricostruita una descrizione molto approssimata dei terreni attraversati. La perforazione sarà condotta mediante utensili del tipo triconi o scalpelli di vario tipo, e le pareti del foro saranno sostenute, a seconda delle esigenze, da normali fluidi di perforazione o da rivestimenti metallici.

Avvertenze/raccomandazioni

L'impianto di perforazione deve essere di potenza adeguata ed attrezzato per raggiungere le profondità che si renderanno necessarie, in funzione dei risultati delle indagini fino a quel momento svolte. Qualora l'attrezzatura installata nel cantiere di perforazione non fosse ritenuta idonea allo scopo, il DEC ha facoltà di richiederne l'immediata sostituzione, sospendendo i lavori sino a sostituzione avvenuta, senza che la Ditta esecutrice possa vantare alcun sovrapprezzo o compenso. Le perforazioni dovranno essere eseguite nei punti preventivamente concordati con l'Amministrazione, in base al programma di indagine. L'ubicazione dei punti di perforazione sarà fissata dalla DL e rimarrà comunque facoltà della stessa variarla in funzione delle maggiori conoscenze che si avranno durante la fase esecutiva delle indagini, senza che la Ditta esecutrice possa vantare alcun sovrapprezzo o compenso. I fori di sondaggio destinati ad essere utilizzati per prospezioni sismiche in foro con il metodo down-hole devono essere condizionati mediante tubo in PVC, necessario a garantire perfette condizioni di geometria al foro e a contenere la strumentazione per la rilevazione delle onde sismiche. I tubi in PVC, dello spessore compreso tra 3 e 8 mm e del diametro interno pari almeno a 80 mm, dovranno essere di ottima qualità e approvati dall'Amministrazione prima dell'inizio della loro posa in opera. I tubi saranno giuntati per elementi di 3 o 6 metri mediante innesti maschio/femmina oppure avvitati. La tenuta idraulica della colonna di tubi sarà garantita dalla sigillatura mediante resina siliconica e nastro plastico. Il primo elemento immesso nel foro deve essere chiuso al fondo mediante un tappo semplice o dalla valvola di fondo, a seconda della modalità di riempimento dell'intercapedine. I tubi andranno installati in fori opportunamente rivestiti in cui sarà stata immessa acqua pulita per il lavaggio. L'eventuale spinta idrostatica dell'acqua sul tubo dovrà essere compensata con

l'immissione di acqua al suo interno al fine di ridurre il rischio di deformazioni/rottura dello stesso. Congiuntamente alla colonna di tubi potranno essere immessi nel foro fino a quattro tubicini (due a fondo foro e due alla metà della colonna di tubi) necessari all'iniezione dal basso e dalla metà della miscela di cementazione. In ogni caso, la suddetta miscela dovrà riempire integralmente l'intercapedine tra tubazione e parete del foro di sondaggio e garantire la continuità elastica tra terreno e tubazione. La rilevazione di eventuali discontinuità nel corso delle successive prospezioni geofisiche potrà essere motivo di Ordine di servizio per la riesecuzione del foro e il suo relativo condizionamento mediante nuova tubazione in PVC senza alcun onere aggiuntivo da corrispondere alla Ditta esecutrice. Le proporzioni della miscela di cementazione dovranno essere tali da garantire alla stessa una consistenza fluida e, dopo essiccazione, una resistenza finale non superiore a 300 kPa. La miscela andrà iniettata lentamente ed a bassa pressione grazie ai tubicini disposti lungo la colonna. La composizione della miscela andrà indicata nella relazione di indagine. Gli eventuali tubi di rivestimento dovranno essere recuperati senza alcun movimento di rotazione, al fine di evitare il danneggiamento della colonna. I tubi in PVC andranno protetti a mezzo di pozzetto dotato di lucchetto con opportuna protezione.

5. PROGRAMMA SPECIFICO DELLE INDAGINI

Di seguito si forniscono le specifiche relative all'esecuzione delle indagini contenute nei documenti di gara e propedeutiche alla progettazione dell'intervento.

I sondaggi andranno effettuati secondo le seguenti tipologie e modalità: profondità di investigazione variabile da 20 a 30 m dal p.c.; condizionamento di parte dei fori di sondaggio con n. quattro (4) celle piezometriche Casagrande e doppio tubo; attività di monitoraggio della tubazione piezometrica per l'intero arco temporale dell'attività progettuale.

Durante la perforazione si prevede il prelievo di campioni disturbati (per la caratterizzazione ambientale) ed indisturbati (per la caratterizzazione geotecnica) per mezzo di campionatore a pareti sottili e fustelle in acciaio inox (o altro idoneo campionatore in funzione della natura dei terreni attraversati). Qualora, a causa della tipologia litologica, non fosse possibile il prelievo di campioni di tipo indisturbato, dovrà essere valutata la possibilità di prelievo di campioni di tipo rimaneggiato. Le profondità a cui verrà prelevato il campione verranno definite durante lo svolgimento della terebrazione in base alle litologie estratte e alle profondità di interesse geotecnico.

La totalità dei campioni prelevati verrà sottoposta a specifiche analisi fisiche, di resistenza meccanica e di

deformabilità afferenti alla Meccanica delle Terre, secondo il seguente programma (indicativo e non esaustivo): determinazione del contenuto naturale d'acqua, peso di volume naturale e della frazione solida, analisi granulometrica completa per vagliatura e sedimentazione, limiti di Atterberg, prova di compressione monoassiale ad espansione laterale libera, prova di taglio diretto consolidata-drenata, prova di taglio anulare, prova di compressione triassiale CD, CIU o UU, prova di compressione edometrica, prova dinamica triassiale ciclica.

La tipologia delle singole prove a cui verrà sottoposto ogni singolo campione da analizzare dovrà essere compiutamente definita a seguito della natura della composizione litologica del materiale prelevato e degli interessi progettuali di carattere geotecnico e/o strutturale.

Durante l'avanzamento della perforazione si prevede la realizzazione di prove S.P.T. (preferibilmente a punta aperta, ovvero a punta chiusa nel caso di terreni ghiaioso-ciottolosi) mediamente ogni 5 m di avanzamento. Si prevede inoltre l'esecuzione di prove di permeabilità di tipo Slug test in numero di quattro (4), una per ogni piezometro per la determinazione della trasmissività dell'acquifero, e di misure assestometriche in verticali appositamente predisposte.

6. PROVE CON ASSESTIMETRO ELETTROMAGNETICO (VERTICALI ASSESTIMETRICHE)

Principi

L'assestometro elettromagnetico è installato all'interno di un foro di sondaggio ed è in grado di determinare a varie quote l'entità delle deformazioni (verticali) dei terreni in profondità manifestantesi nel tempo.

Il principio di funzionamento si basa sull'effetto magnetico creato dagli anelli che vengono localizzati tramite una sonda di misura dotata di avvisatore acustico. La posizione esatta degli anelli si individua grazie al cavo millimetrato della sonda di misura. La risoluzione di misura è di ± 1 mm. Le misure con la sonda vengono riferite alla sommità della tubazione: per ottenere quindi il cedimento assoluto (in m s.l.m.) di ogni anello, è necessario battere topograficamente la sommità di riferimento della tubazione. Il numero degli anelli e la loro posizione lungo il sistema strumentale è funzione del numero di punti da controllare e del tipo di terreno rilevato.

Esecuzione

Strumentazione

La strumentazione è generalmente costituita da:

-
- un tubo parete in PVC deformabile corrugato lungo la sua lunghezza (ϕ est = 50 ÷ 85 mm, spessore ≥ 1 mm), filettato all'estremità e fornito generalmente in spezzoni o in continuo con una punta da avvitare nell'estremità inferiore;
 - anelli magnetizzati installati coassialmente ed esternamente al tubo parete e resi solidali al terreno circostante grazie ad alette o molle in grado di garantirne un sicuro ammorsamento;
 - un tubo guida in duralluminio (ϕ est = 25 ÷ 33 mm) in spezzoni di 1,5 ÷ 3,0 m filettati alle estremità, fissato solo superiormente (onde garantirne verticalità e rettilineità) tramite un anello di sospensione ad un tubo di testa a sua volta fissato al terreno tramite apposita gabbia di ancoraggio.

Installazione - Controlli ed operazioni preliminari

Prima dell'inizio della posa in opera:

- verificare che i tubi e gli anelli magnetizzati non presentino lesioni o schiacciamenti, in particolare nelle parti terminali;
- verificare che le estremità dei tubi e degli anelli non presentino sbavature tali da compromettere il buon accoppiamento di tubi e lo scorrimento della sonda di misura;
- verificare l'efficienza del tubo per l'iniezione della miscela di cementazione dalla valvola di fondo;
- verificare il corretto montaggio della valvola di fondo;
- controllo e preparazione dei componenti per la realizzazione della miscela di cementazione;
- controllo degli utensili e degli accessori per l'installazione;
- verificare la quota di fondo foro.

Esecuzione delle prove

La posa in opera della strumentazione deve essere eseguita con le seguenti modalità:

- accoppiamento degli spezzoni tramite la filettatura;
- avvitamento della punta terminale all'estremità inferiore del tubo parete corrugato;
- inserimento di questo nel foro di sondaggio rivestito;
- inserimento del tubo guida all'interno del tubo parete e suo fissaggio superiore;
- graduale sollevamento del rivestimento del sondaggio con progressivo riempimento del foro con ghiaietto;
- posa in opera di uno strato di sabbia e sollevamento del rivestimento poco al di sopra (circa 30 cm) della quota prevista per il primo anello magnetico;

-
- controllo profondità foro;
 - inserimento tramite apposito strumento guida del primo anello magnetico (le molle devono aderire al terreno al di sotto dell'estremità inferiore dei tubi di rivestimento);
 - riempimento dell'intercapedine con miscela acqua-cemento-bentonite con caratteristiche tali da riprodurre quelle dei terreni circostanti;
 - sollevamento del rivestimento fino alla successiva posizione con riempimento del foro mediante sabbia;
 - ripetizione successiva delle operazioni per tutti gli anelli previsti;
 - realizzazione del blocco di ancoraggio al terreno e fissaggi definitivi, controllo preliminare della strumentazione.

Misure

La misurazione avviene tramite sondina manuale con un cavo metrato alla cui estremità è posizionato un puntale che emette un segnale acustico e/o luminoso a contatto con il campo magnetico prodotto da ciascun anello.

Le letture vengono eseguite con le seguenti modalità:

- calaggio della sondina nel tubo guida svolgendo lentamente il cavo;
- nel momento dell'emissione del segnale acustico, rialzare leggermente il cavo e riabbassarlo nuovamente annotando la quota relativa sul cavo;
- ripetere la misurazione per almeno 4 volte e mediare il risultato ottenuto (o comunque fino al raggiungimento di una precisione di ± 2 mm).

La quota assoluta della testa dell'assestometro dovrà essere rilevata mediante livellazione di precisione con frequenza di rilievo da definire con l'Amministrazione. Il rilievo assestometrico, comunque, dovrà essere eseguito ogniqualvolta si effettuano operazioni di variazione di quota della testa tubo di riferimento.

Manutenzione

Periodicamente (almeno ogni 6 mesi) - o qualora durante l'esecuzione delle misure se ne riscontrasse la necessità - si deve procedere ad un lavaggio dei tubi per rimuovere eventuali incrostazioni o depositi di materiale sul fondo. Il lavaggio deve essere effettuato con un tubo idoneo ad un getto di acqua a bassa pressione.

Inoltre, si deve porre attenzione alla manutenzione della testa dei tubi, perché non subisca danneggiamenti per urti o schiacciamenti che precludano l'accesso della sonda o possano invalidare l'eventuale riferimento topografico realizzato a testa tubo.

Verranno inoltre eseguite le seguenti indagini geofisiche, finalizzate sia alla conoscenza dei parametri geofisici dei terreni interessati dall'intervento che all'individuazione di sottoservizi e/o di eventuali masse ferrose: – prospezioni sismiche attive in foro tipo down-hole per la valutazione del parametro VS_{eq}, oltre che per la ricostruzione stratigrafica del sottosuolo; prospezioni sismiche passive a stazione singola (hvsr) per la determinazione della frequenza di risonanza sito specifica; prospezioni geoelettriche per la determinazione della resistività elettrica (ρ_a) del sottosuolo.

Per quanto concerne le valutazioni relative alla circolazione idrica sotterranea ante-operam e sulle perturbazioni indotte sull'assetto della falda dalla realizzazione dell'intervento, dovrà essere sviluppato uno studio di carattere idrogeologico, mediante specifica modellazione con codici di calcolo.

In presenza di specifiche indicazioni della Soprintendenza Archeologica di effettuare una valutazione sul rischio archeologico dell'area è prevista la realizzazione di due tipologie di intervento tra loro integrative che prevedono indagini archeologiche per trincee o saggi e indagini archeologiche tramite ricognizione di superficie. In particolare, gli scavi delle trincee verranno eseguiti in corrispondenza delle aree destinate a cantierizzazione e ad attività di scavo e saranno finalizzate alla caratterizzazione/valutazione dei terreni tramite indagine a campione. Le trincee, che interesseranno circa il 5% della superficie interessata dall'intervento, verranno eseguite con mezzo meccanico e sotto il costante controllo degli archeologi; esse si spingeranno fino all'individuazione di indizi archeologici o fino ad una profondità ritenuta priva di interesse archeologico, indicativamente stimata in 3.0 m dal p.c.. Si prevedono eventuali scavi e puliture a mano qualora vi fossero necessità al fine di definire la natura e le caratteristiche del deposito. La ricognizione di superficie da eseguirsi a piedi interesserà l'intera area di intervento e sarà finalizzata alla verifica e all'esame dell'eventuale presenza a terra di indicatori utili a definire la presenza di depositi archeologici sepolti.

Da un punto di vista ambientale, è necessario procedere alla caratterizzazione ambientale del sito oggetto di intervento in riferimento alle seguenti matrici: suolo, sottosuolo.

Al fine di poter procedere alla valutazione, ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i., delle caratteristiche chimico-fisiche dei terreni di scavo in corrispondenza dei settori interessati dalla realizzazione dell'opera in progetto e quindi alla valutazione dell'idoneità e della compatibilità ambientale per il riutilizzo/smaltimento degli stessi (ai sensi del D.M. 161/2012), si prevede di procedere al prelievo di campioni di terreno nel corso della perforazione dei sondaggi o da specifici pozzetti esplorativi realizzati con escavatore meccanico da sottoporre ad analisi di tipo chimico-ambientale ai fini della caratterizzazione e della valutazione della possibilità di successivo riutilizzo in operazioni quali "ripristini ambientali" (o di smaltimento). Pertanto, i campioni prelevati verranno sottoposti a specifiche analisi di caratterizzazione ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e

s.m.i. secondo un protocollo standard, che fa riferimento a quanto definito dall'Allegato 4 al D.M. 161/2012, e successivamente, in considerazione degli esiti analitici emersi e della eventualità di dover smaltire come rifiuto il terreno proveniente dagli scavi, ad una serie di analisi per la caratterizzazione del rifiuto, ai sensi del D.M. 27/09/2010, che contiene la normativa relativa a criteri e procedure di ammissibilità dei rifiuti nelle discariche.

7. PROVE DI LABORATORIO

Principi

La realizzazione di prove geotecniche di laboratorio risponde a precisi adempimenti legislativi, come disciplinati dal DM 17.01.2018.

Esecuzione

- Esame preliminare dei campioni. La certificazione di laboratorio verrà preceduta da un foglio descrittivo del campione che conterrà: committente – cantiere – data - località di provenienza del campione - sondaggio e profondità di prelievo - numero del campione - caratteristiche delle attrezzature di perforazione e campionamento - lunghezza e diametro del campione - descrizione visiva del campione secondo la norma ASTM - consistenza e omogeneità del campione eventualmente mediante scissometro o pocket penetrometer - elenco delle prove previste - eventuale fotografia.
- Determinazione della resistenza a compressione monoassiale dei materiali rocciosi. Sarà effettuata secondo le raccomandazioni ISRM (International Society for Rock Mechanics) per la determinazione della resistenza a compressione monoassiale e della deformabilità delle rocce. Questo metodo di prova è rivolto alla misura della resistenza a compressione monoassiale di un saggio di roccia costituito da campioni dalla geometria regolare.

La prova è rivolta soprattutto alla classificazione della resistenza e alla caratterizzazione della roccia integra.

Apparecchiatura

Per applicare e misurare il carico assiale sul campione si impiegherà una macchina adeguata. Sarà di portata sufficiente ed atta ad applicare il carico ad una velocità in accordo ai requisiti indicati. Sarà verificata ad adeguati intervalli di tempo e dovrà soddisfare le normative nazionali in vigore, ad es. come prescritto in «ASTM Methods». E4: Verification of Testirrg Machines» o in «British Standards 1610, Grade A» oppure in

«Deutsche Normen DIN 51220, DIN 51223, Klasse 1, DIN 51 300».

Procedimento

- (a) I provini saranno cilindri circolari retti aventi un rapporto fra l'altezza ed il diametro di 2.5-3.0 ed un diametro preferibilmente non inferiore alla dimensione della carota, approssimativamente 54 mm. Il diametro del campione dovrebbe essere correlato alla dimensione del più grande dei grani presenti nella roccia da un rapporto almeno 10:1.
- (b) Le facce del campione saranno piane con uno scostamento inferiore a 0.02 mm e non si discosteranno dalla perpendicolarità rispetto all'asse del campione per più di 0.001 rad (circa 3.5') ovvero 0.05 mm su 50 mm.
- (c) La superficie laterale del campione sarà liscia e priva di brusche irregolarità e con profilo rettilineo con uno scostamento non superiore a 0.3 mm sull'intera lunghezza del campione.
- (d) Non è consentita l'interposizione di materiali per la trasmissione del carico alle teste o di trattamenti della superficie delle teste diversi da lavorazioni meccaniche.
- (e) Il diametro dei provini sarà misurato con l'approssimazione di 0.1 mm calcolando la media delle misure di due diametri fra loro ortogonali effettuate nella parte superiore, a mezza altezza e nella parte inferiore del campione. Il diametro medio sarà usato per calcolare l'area della sezione trasversale. L'altezza del campione sarà determinata con l'approssimazione di 1.0 mm.
- (f) I campioni saranno conservati, per non più di 30 giorni, in modo da mantenere il contenuto d'acqua naturale, per quanto possibile, e sottoposti a prova in quella condizione. Questa condizione di umidità sarà riportata in accordo con le «Raccomandazioni per la determinazione del contenuto d'acqua di un campione di roccia», Comitato della Società Internazionale per la Meccanica delle Rocce sulle prove di laboratorio, Documento n. 2, Primo aggiornamento, dicembre 1977.
- (g) Il carico sul campione sarà applicato in modo continuo con una velocità di applicazione della tensione costante tale per cui la rottura avvenga entro 5-10 min di carico; in alternativa, la velocità di applicazione della tensione sarà compresa nei limiti di 0.5-1.0 MPa/s.
- (h) Il massimo carico sul campione sarà registrato in newton (in kilonewton o meganewton, secondo il caso) con l'accuratezza di 1%.
- (i) Il numero di campioni da sottoporre a prova dovrebbe essere determinato in base a considerazioni pratiche, ma si suggerisce l'impiego di almeno 5 provini.

Calcoli

- (a) La resistenza a compressione monoassiale del campione sarà calcolata dividendo il massimo carico da questo sostenuto durante la prova per l'area iniziale della sezione trasversale.

Relazione sui risultati

- (a) Descrizione litologica della roccia.
 - (b) Orientamento dell'asse di carico rispetto all'anisotropia del campione, ad es. piani di stratificazione, scistosità, ecc.
 - (c) Origine del saggio, comprendendo: posizione geografica, profondità ed orientamento, date e metodi di campionamento, procedimento e ambiente di conservazione.
 - (d) Numero di campioni sottoposti a prova.
 - (e) Diametro e altezza del campione.
 - (f) Contenuto d'acqua e grado di saturazione alla data della prova.
 - (g) Durata della prova e velocità di applicazione della tensione.
 - (h) Data della prova e tipo di macchina di prova.
 - (i) Modo di rottura, ad es. per taglio, fessurazione verticale, ecc.
 - (j) Qualsiasi altra osservazione e dati fisici disponibili, come il peso specifico, la porosità e la permeabilità, con citazione dei metodi di determinazione.
- (1) Resistenza a compressione monoassiale per ogni campione del saggio, espressa con tre cifre significative insieme con il valore medio per il saggio. Come unità di misura della tensione e della resistenza sarà impiegato il pascal (Pa) o suoi multipli. Qualora si rendesse necessario in qualche caso sottoporre a prova campioni che non soddisfacessero le prescrizioni sopra menzionate, si riporteranno queste condizioni nella relazione di prova.

Avvertenze/raccomandazioni

Nel caso i terreni sottoposti a prova presentino caratteristiche tali da far ritenere possibili influenze delle tecniche di preparazione sui risultati delle analisi, tali eventuali influenze dovranno essere accertate su un numero minimo di 3 campioni. L'Amministrazione, nei limiti di quelli che sono gli standard delle apparecchiature previste per l'esecuzione delle usuali prove di taglio diretto, può indicare eventuali modifiche alle procedure di esecuzione delle prove.

8. ANALISI DI LABORATORIO

Analisi ambientali

L'indagine ambientale è funzionale all'accertamento che nel materiale TRS non vengano superati i valori delle concentrazioni soglia di contaminazione di cui alle colonne A e B della tabella 1 dell'allegato 5 alla parte IV del decreto legislativo n. 152 del 2006, con riferimento alle caratteristiche delle matrici ambientali e alla destinazione d'uso urbanistica del sito di destinazione, identificabile con l'insieme delle attività che permettono di ricostruire gli eventuali fenomeni di contaminazione a carico delle diverse matrici ambientali, È necessaria, quindi, una specifica caratterizzazione dei terreni da scavo, tramite indagini, preventivamente all'inizio dei lavori ai sensi del DPR 13 giugno 2017, n. 120 "Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo

Come da indicazioni dell'Allegato 2 Tab. 2.1 del DPR 13 giugno 2017, n. 120, per l'esecuzione delle indagini ambientali si prevede la realizzazione di n° 16 sondaggi per il prelievo di campioni rimaneggiati di terreno spinti ad una profondità di 10 mt dal p.c.,

I campioni di terreno prelevati verranno sottoposti ad analisi chimico-fisiche ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. per la determinazione di un set di 12 analiti, come specificati dettagliatamente a seguire (Tabella 4.1 Allegato 4 DPR 120/17), cui va aggiunto un 10% di controcampioni, per un totale di 53 analisi sui campioni di terreno, come indicato nell'allegato Computo Metrico Estimativo

L'Allegato 4 del DPR 120/2017 prevede che il set analitico minimale, indicato in Tabella 4.1, debba essere modificato ed esteso in rapporto alle attività antropiche svolte sul sito o nelle sue vicinanze, ad eventuali pregresse contaminazioni o a conosciute o potenziali anomalie del fondo naturale in contesti di contaminazione diffusa.

Dal momento che non si riscontrano evidenze di inquinamento diffuso e che il sito non rientra nell'elenco dei Siti da Bonificare, si ritiene possa essere sufficiente l'analisi del set analitico minimale.

Tabella 4.1 - Set analitico minimale

Arsenico
Cadmio
Cobalto
Nichel
Piombo
Rame
Zinco
Mercurio
Idrocarburi C>12
Cromo totale
Cromo VI
Amianto
BTEX (*)
IPA (*)
(*) Da eseguire nel caso in cui l'area da scavo si collochi a 20 m di distanza da infrastrutture viarie di grande comunicazione e ad insediamenti che possono aver influenzato le caratteristiche del sito mediante ricaduta delle emissioni in atmosfera. Gli analiti da ricercare sono quelli elencati alle colonne A e B, Tabella 1, Allegato 5, Parte Quarta, Titolo V, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152.

Si richiede inoltre Test di cessione da rifiuti/terre e rocce da scavo/riporto: eluato e determinazioni analitiche, qualunque profilo escluso amianto, compresa eventuale riduzione granulometrica

9. PROSPEZIONI GEOFISICHE

9.1 INDAGINI DOWN HOLE (DH)

Principi

Il metodo down hole (DH) serve a determinare la velocità di propagazione di onde sismiche ed a ricavare i relativi parametri di rigidità del terreno a bassi livelli di deformazione. Nella prova DH, mediante una sorgente direzionale posta in superficie, si generano onde di volume, ed in particolare di compressione P (*Primae*, ovvero più veloci) e di taglio S (*Secundae*, ovvero che arrivano dopo), che si propagano in profondità con ampiezza proporzionale alla energia dell'impulso. Quindi si leggono i tempi di arrivo delle onde alle diverse quote in profondità, mediante opportuni ricevitori (geofoni) posti all'interno di un foro di sondaggio, ubicato in pianta a breve distanza dalla sorgente (dell'ordine di pochi metri). Le velocità di propagazione V_P e V_S si determinano come rapporto tra una distanza percorsa ed il tempo impiegato per effettuare tale percorso. La prova DH più efficace prevede il ricorso a due ricevitori posti nello stesso foro ad interasse noto: in questo caso, infatti, è facile misurare il tempo di viaggio che intercorre tra le due profondità, confrontando le registrazioni acquisite ai due geofoni, per cui la misura risulta molto più affidabile (perché di facile interpretazione). In alternativa, utilizzando un unico ricevitore, si misura il tempo di percorrenza tra la sorgente posta in superficie ed il geofono posto all'interno del foro di sondaggio: in tal caso, noto l'istante di partenza, si deve essere in grado di leggere esattamente l'istante di arrivo dell'onda al ricevitore (cosa talora non semplice, per la presenza di "rumore di fondo" nel segnale acquisito); in tal caso quindi la misura è meno affidabile e di più difficile interpretazione. La sorgente DH ed il posizionamento dei ricevitori sono concepiti in modo da generare essenzialmente onde di taglio S e misurare quindi la velocità V_S . In realtà si generano comunque anche onde P, generalmente di ampiezza inferiore, e si può quindi misurare anche la V_P ; è da precisare, però, che la misura della velocità di propagazione delle onde P ha senso solo nel caso di terreni non saturi, altrimenti si misura la velocità di propagazione delle onde di compressione nell'acqua. La prova DH dovrebbe essere spinta fino ad incontrare una formazione rigida di base (caratterizzata da una velocità delle onde di taglio V_S pari ad almeno 800 m/s), da attraversare per uno spessore significativo (per es. 5 metri). È da tenere presente però che all'aumentare della profondità, ed in funzione anche della rigidità dei terreni attraversati, i segnali registrati diminuiscono di ampiezza, per cui riesce più difficile la loro interpretazione. Generalmente l'affidabilità della prova DH con un singolo ricevitore e con le tecniche di

interpretazione convenzionali si riduce fortemente oltre i 40 m di profondità, in quanto l'energia generata dalla sorgente potrebbe non essere sufficiente all'univoca individuazione dei primi arrivi. Il ricorso al doppio ricevitore e l'uso di tecniche di analisi digitale dei segnali possono altresì consentire la fattibilità di indagini fino ed oltre la profondità di 60 m dal piano campagna.

Esecuzione

Strumentazione

La sorgente degli impulsi sismici deve generare prevalentemente onde SH. Ciò si può ottenere ponendo un asse orizzontale (preferibilmente tavola in legno o alluminio) sul terreno precedentemente livellato, con orientazione ortogonale alla congiungente sorgente-foro, e dando colpi con una massa (ad es. un martello) alle estremità dell'asse, con la stessa orientazione dell'asse. L'asse deve essere poggiato sul terreno nudo, e vincolato ad esso con un adeguato peso. L'asse deve essere strumentato con un sensore (velocimetro), allo scopo di determinare l'istante in cui si produce l'impatto e si generano quindi le onde sismiche. Come ricevitore in profondità si deve utilizzare un geofono almeno tridirezionale con dispositivo di bloccaggio alla tubazione di rivestimento del foro di sondaggio. I sensori (velocimetri) devono avere una risposta piatta almeno per frequenze superiori ai 10 Hz. Si deve utilizzare un'apparecchiatura di registrazione digitale dei segnali (alla sorgente ed ai ricevitori), con frequenza di campionamento di almeno 5 kHz ed amplificazione costante nell'ambito delle frequenze utilizzate e nel tempo (ampiezza reale). È consigliabile che l'apparecchiatura abbia la possibilità di sommare/mediare più registrazioni dopo il controllo del rapporto segnale/rumore, al fine di facilitare l'interpretazione delle misure. La registrazione dovrà essere eseguita su supporto magnetico adeguato a permetterne la successiva elaborazione.

Esecuzione delle prove

La sorgente deve essere posta ad una distanza dal foro generalmente compresa tra 3 e 4 m. Per ogni quota di prova (generalmente con intervallo di 1 metro), dapprima si deve bloccare il geofono nel foro, poi si procede alla generazione degli impulsi in superficie, colpendo di volta in volta la sorgente sulle due estremità dell'asse. A meno di condizioni ottimali di assenza di rumore, è sempre consigliabile sommare/mediare più segnali generati da impulsi agenti nello stesso verso, per facilitare, come già detto, l'interpretazione delle misure. La posizione della sorgente deve essere mantenuta fissa durante tutta la prova. Se il disturbo dovuto ad onde che si propagano direttamente nel tubo e nella zona di cementazione circostante dovesse risultare troppo elevato, ed "oscurare" la lettura delle onde che si propagano nel terreno, si potrebbe fare ricorso ad una seconda sorgente collocata a distanza maggiore dal foro, e confrontare le registrazioni ottenute

utilizzando alternativamente i due punti sorgente. È consigliato utilizzare tecniche o strumentazioni che permettano di riconoscere l'orientazione dei sensori orizzontali rispetto alla posizione della sorgente. Ciò potrà ad esempio essere ottenuto o con geofoni muniti di sensore di orientamento o utilizzando aste rigide per l'orientamento dei geofoni dalla superficie. I dati di indagine devono essere restituiti in formato digitale su supporto informatico (CD); schemi interpretativi, tabelle e grafici illustrativi dei risultati (dromocrone, velocità ecc.) saranno restituiti su carta e in formato pdf. Nella relazione sulle misure DH dovranno essere indicati lo schema, il codice di calcolo dedicato e le modalità di elaborazione dei dati di indagine.

Elaborazione delle misure e loro rappresentazione

Nel caso di prova DH con un unico ricevitore, la determinazione del tempo di arrivo del primo impulso dell'onda S può costituire il punto critico dell'intera prova. Per facilitare la lettura di tale tempo, è necessario filtrare i segnali sismici registrati per eliminare l'eventuale rumore caratterizzato da frequenze esterne a quelle proprie del segnale. L'arrivo dell'onda S può essere individuato sulla base delle seguenti osservazioni: o variazione di frequenza del treno d'onda; o inversione della polarità del segnale (onda S) nelle registrazioni relative ad impulsi generati sui due lati opposti della sorgente. I tempi di primo arrivo dell'onda S rispetto al tempo di generazione del segnale (trigger), dovranno essere ridotti alla verticale (correzione dei tempi) e riportati su un diagramma profondità–tempi, sul quale saranno individuati i tratti a pendenza quasi costante, tenuto conto sia della stratigrafia sia dell'accuratezza delle singole misure dei tempi. I tratti a pendenza costante individueranno gli strati di terreno in cui la velocità delle onde S è costante, ed è ovviamente funzione della pendenza individuata. Per quanto concerne invece le onde P, la lettura del primo arrivo è in generale più difficile, considerando anche la loro ampiezza ridotta. Pertanto, non è sempre possibile determinare la velocità di propagazione delle onde di compressione V_P ; ciò, però, non costituisce un obiettivo primario della prova DH. Qualora invece si ritenesse essenziale la misura delle V_P , si dovrebbero di volta in volta adottare opportune varianti sperimentali. Nel caso di prova DH con doppio ricevitore, la velocità delle onde è determinata, a ciascuna profondità, per lo strato di terreno compreso tra i due geofoni (preferibilmente da porre a distanza relativa di un metro). Il tempo di viaggio delle onde S tra i due geofoni è facilmente individuabile dal confronto fra i segnali nel dominio del tempo, facendo riferimento a punti caratteristici degli stessi (essenzialmente la serie dei picchi, meno affetti dal disturbo eventualmente presente nelle registrazioni). Evidentemente la determinazione dello stesso tempo di viaggio tra i due geofoni può essere ottenuta automaticamente e con assoluta affidabilità dall'analisi digitale delle registrazioni, mediante i noti algoritmi (*cross-correlation*, *cross power spectrum* e *coherence*) normalmente implementati nelle apparecchiature digitali di acquisizione dei segnali. Per quanto concerne le onde P,

nonostante esse siano comunque caratterizzate da ampiezza ridotta; tuttavia, l'analisi digitale dei segnali registrati simultaneamente ai due geofoni consente generalmente una determinazione affidabile della loro velocità di propagazione.

Documentazione da presentare:

Lo scopo dell'indagine è la caratterizzazione dinamica del sottosuolo nei primi 30 metri, con l'individuazione delle principali unità geofisiche e delle relative proprietà meccaniche elastiche, come la velocità delle onde trasversali S e i relativi parametri elastici (E , G , K , ν). In tal modo sarà possibile classificare il suolo secondo quanto disposto dalla vigente normativa (NTC18).

Dovranno essere presentate: una Relazione contenente le modalità di esecuzione delle prove, le eventuali difficoltà incontrate, una scheda tecnica della strumentazione utilizzata, le elaborazioni fatte con esempi, piante schematiche in scala adeguata con l'ubicazione delle sorgenti e dei fori, diagrammi profondità-tempi ridotti alla verticale, per le onde S e per onde P (laddove possibile), tabella delle velocità V_s per i diversi strati di terreno ed eventualmente valori dei moduli di taglio iniziali G_0 , tipo di terreno presente, tabella delle velocità V_p per i diversi strati di terreno (laddove possibile), copia su carta ed in formato elettronico (e.g. SEG-Y, SEG-2 o ASCII) delle registrazioni. Per le densità da inserire nel calcolo dei moduli elastici ci si riferirà a densità ricavate dalle prove geotecniche o, in assenza, a dati di letteratura regionali espressamente dichiarati. Ottenuti graficamente i sismostrati si ottengono la densità media, funzione della velocità e della profondità, e i seguenti parametri: 1) coefficiente di Poisson medio; 2) modulo di deformazione a taglio medio; 3) modulo di compressibilità edometrica medio; 4) modulo di Young medio; 5) modulo di compressibilità volumetrica medio.

9.2 INDAGINI DI SISMICA PASSIVA (MICROTREMORI)

Principi

Tra le metodologie speditive utilizzate negli studi di microzonazione vi è il metodo Nakamura (1989). Questo è basato sul calcolo dei rapporti spettrali tra la componente verticale e quella orizzontale del segnale registrato (rapporto H/V), e consente di determinare la frequenza di risonanza di un sito utilizzando il rumore ambientale (microtremore, ovvero rumore ambientale a corto periodo) nell'ipotesi che lo spettro della componente verticale simuli quello di un rumore bianco. Attraverso un sistema di acquisizione composto da un sensore a tre componenti (verticale, Est-Ovest e Nord-Sud), da un convertitore analogico digitale e da un GPS si registrano finestre di rumore ambientale dalle quali è possibile elaborare i rapporti H/V. Tali rapporti presentano un comportamento differente a seconda del sito considerato, mostrando a seconda dei casi un picco di amplificazione in corrispondenza della frequenza fondamentale del sito. È

importante sottolineare come in contesti geologico-tecnici semplici la tecnica Nakamura fornisca con una buona approssimazione la frequenza fondamentale del sito. Quest'ultima peraltro dipende da diverse caratteristiche del deposito di terreno; tra le più importanti si ricordano lo spessore delle coltri di copertura e le velocità medie di propagazione delle onde di taglio al di sopra del substrato roccioso.

Esecuzione

È possibile prevedere la seguente procedura, peraltro già adottata in diversi contesti regionali: 1. Definizione di tutti i siti caratterizzati da diverse situazioni morfologiche o geolitologiche ed esecuzione di una misura di rumore sismico HVSR per ciascun sito. Le misure dovranno essere effettuate su terreno libero, in aree adiacenti agli edifici, ma a distanza da essi preferibilmente pari all'altezza degli stessi (in modo da evitare l'interferenza della struttura sulla misura). 2. Utilizzo di una strumentazione idonea composta da geofoni a 3 componenti (orientati in modo da avere le componenti N-S, E-O e Verticale) di frequenza naturale uguale (o inferiore) a 2 Hz. 3. Registrazione di finestre di rumore di almeno 30 minuti utilizzando un campionamento non inferiore a 125 Hz (passo di campionamento non superiore a 8 ms). 4. Controllo dell'accoppiamento sensore-terreno che deve essere ottimale. Dove possibile è consigliato l'interramento del sensore (in SESAME, 2004 sono indicate diverse analisi mirate alla definizione dell'influenza del luogo e della tipologia di appoggio del sensore). 5. Verifica delle condizioni meteorologiche, ambientali ed antropiche: (ad es. è bene evitare giornate piovose e/o ventose, acquisizioni in occasione di mareggiate, di piene torrentizie, di attività antropiche come scavi, perforazioni). Come indicato anche dalle linee guida fornite nell'ambito del progetto SESAME (2004), il processing dei dati potrà essere effettuato nel seguente modo: 1. suddivisione della finestra di registrazione completa (di almeno 20-30 minuti) in sottofinestre di almeno 120 secondi (la lunghezza della finestra dipende dal valore minimo di frequenza che si è interessati a campionare); 2. eliminazione delle sotto-finestre eventualmente contenenti transienti (la procedura indicata in SESAME, 2004 prevede un'analisi basata sul rapporto Sta/Lta in grado di riconoscere la parte stazionaria del microtremore registrato escludendo le porzioni di segnale contenenti transienti, per esempio, legati a sorgenti specifiche prossime al sensore come passi o passaggio di automobili); 3. utilizzo delle FFT (Fast Fourier Transform) per il computo degli spettri includendo l'operazione di tapering (l'utilizzo della FFT è convenzionalmente consigliato, ma è necessario ricordare che tale metodo in presenza di transienti fornisce degli spettri che possono essere non corretti; per questo motivo, se lo step precedente non è stato effettuato, è sempre necessario analizzare gli spettri calcolati eliminando le sottofinestre che mostrano un andamento anomalo rispetto al comportamento medio; ultimamente si stanno testando delle nuove metodologie basate sull'utilizzo dello spettro di potenza al posto dello spettro di Fourier calcolato tramite

FFT); 4. lisciamento (smoothing) degli spettri utilizzando diverse tecniche. Le più utilizzate sono la Konno-Ohmachi smoothing window, valida soprattutto per analizzare frequenze inferiori a 1 Hz e la Hanning smoothing window, valida per frequenze superiori a 1 Hz; 5. facoltativo: calcolo della componente orizzontale media ottenuta preferibilmente mediando (media geometrica) le due componenti orizzontali E-O e N-S; 6. calcolo del rapporto spettrale H/V (o dei rapporti NS/V, EO/V) per ciascuna sottofinestra selezionata; 7. stima del valore medio della curva H/V e della sua deviazione standard (generalmente si considera il valor medio ± 1 sigma ma è anche possibile considerare 3 sigma in modo da avere una stima più completa dell'errore associato a ciascuna frequenza).

I risultati forniti devono essere comprensivi sia dei rapporti spettrali H/V sia degli spettri iniziali non soggetti a processing in modo da valutare anche a posteriori l'effettiva qualità di un rapporto spettrale (per esempio la presenza di rumori industriali monocromatici caratterizzati da picchi stretti visibili negli spettri originali possono creare anomalie all'interno della curva H/V).

Calcolati per ciascun punto di misura i relativi rapporti spettrali H/V, è necessario passare all'interpretazione dei risultati:

- riconoscimento e definizione dei picchi significativi: le linee guida del Progetto SESAME (2004) forniscono una serie di criteri che permettono di definire il livello di affidabilità della misura e di identificare il picco significativo (uso di test statistici opportuni);
- interpretazione dei risultati: un'analisi di rapporti spettrali basata sul metodo Nakamura non può essere utilizzata per definire la risposta sismica locale; limitatamente alla stima della frequenza di risonanza, è necessario validare i risultati attraverso altre tecniche come i metodi H/V basati su fasi S sismiche o i metodi RST (metodi con stazione di riferimento) o le analisi di risposta sismica locale con modelli 1D basati su dati desunti da indagini geofisico-geotecniche di esplorazione geologica del sottosuolo.

Annotazioni/Raccomandazioni

La tecnica proposta da Nakamura (1989) può essere usata per valutazioni speditive dei fenomeni di amplificazione locale. In particolare, il rapporto H/V può essere utilizzato per la stima della frequenza fondamentale di vibrazione del terreno. Tuttavia, è sempre necessario considerare che queste informazioni non possono essere utilizzate in modo diretto per la valutazione quantitativa dei fenomeni di amplificazione locale e quindi delle azioni sismiche di progetto. Nel seguito sono elencati alcuni importanti aspetti legati all'applicabilità del metodo: - l'ampiezza del picco H/V non è direttamente relazionabile alla effettiva amplificazione (può essere talora assunta come inferiore); - la presenza di effetti bidimensionali può

invalidare totalmente i risultati di una analisi H/V. In particolare, la generazione di onde diffratte può portare ad una amplificazione della componente verticale; - la tecnica di Nakamura non consente l'individuazione di eventuali fenomeni di amplificazione topografica; - i rapporti H/V possono essere influenzati dalla natura del *noise* (da cui la necessità di ripetere le misure effettuate per esempio in condizioni meteorologiche particolari). I metodi HVSR presentano delle limitazioni in presenza di stratificazioni caratterizzate dai seguenti aspetti: - profondità del substrato sismico: profondità superiori a 100 m comportano delle frequenze caratteristiche dell'ordine di 1 Hz o inferiori con conseguente necessità di uso di sensori a bassissima frequenza; - i contrasti di velocità (impedenze acustiche) debbono essere piuttosto significativi: tanto questi sono minori ed a forte stratificazione tanto più la determinazione della frequenza caratteristica del sito risulta di difficile identificazione; - mezzi con alternanze sottili di strati a diversa rigidità spesso sfuggono all'indagine. Le caratteristiche del *noise* possono in alcuni casi portare all'inapplicabilità del metodo HVSR, come la presenza di sorgenti molto coerenti derivanti da macchine vibranti (pompe) con frequenze monocromatiche o presenza di *noise* variabile significativamente nel tempo con presenza di alternanze di *spikes* con *noise*. In base alle suddette considerazioni, l'utilizzo di misure di rumore sismico può essere destinato alla ricostruzione speditiva della distribuzione delle frequenze caratteristiche nei vari punti di misura, ma soltanto a seguito della taratura fornita da una dettagliata ricostruzione dell'assetto geologico-geomorfologico a scala di dettaglio sia tramite rilievo di superficie, sia per mezzo di metodologie multidisciplinari di esplorazione del sottosuolo. È inoltre consigliato un confronto dei risultati ottenuti tramite rumore ambientale con le funzioni di trasferimento derivate attraverso l'applicazione di tecniche a stazione singola (H/V) o a stazione di riferimento (H/Href) basate sull'analisi di terremoti. Da tale confronto è possibile valutare l'effettiva affidabilità ed accuratezza dei parametri legati all'effetto di sito determinati attraverso il metodo Nakamura. La buona correlabilità, in termini spettrali, anche nei confronti delle analisi dinamiche della risposta sismica locale 1D e 2D, svolte sulla base della caratterizzazione geologico-geotecnica-geofisica condotta, dimostra la buona applicabilità del metodo per l'individuazione delle frequenze di risonanza. L'utilizzo, invece, delle suddette misure per la ricostruzione sismostratigrafica del sottosuolo appare, allo stato attuale, confinato in un ambito sperimentale, senza fornire le garanzie scientifiche necessarie per un utilizzo applicativo dei dati acquisiti, soprattutto in un contesto regionale in cui sono state frequentemente riscontrate le suddette limitazioni geologico-tecniche per l'applicazione del metodo.

9.3 PROSPEZIONI GEOELETTRICHE MULTIELETTRODO

Principi

La prospezione geoelettrica è un'indagine indiretta, finalizzata alla definizione della resistività elettrica nel sottosuolo. È una tecnica attiva che consiste nell'immettere una corrente continua nel terreno per mezzo di due elettrodi in acciaio, detti "elettrodi di corrente", e nel misurare la differenza di potenziale mediante altri due elettrodi detti "elettrodi di tensione". In superficie si determina la resistività apparente ρ_a , che è calcolata dalle misure di intensità di corrente I immessa nel terreno e dalla differenza di potenziale ΔV misurata attraverso gli elettrodi di potenziale.

Prospezione geofisica con il metodo elettrico, con metodologia tomografica (E.R.T.)

La prospezione geofisica consiste nel progressivo spostamento lungo una linea definita (o secondo una maglia) di un quadripolo AMNB, misurando di volta in volta la resistività dei terreni attraversati. La prova dovrà essere adatta a determinare contrasti lineari (verticali) o laterali (orizzontali) di resistività, corrispondenti a variazioni di materiali o di altre caratteristiche fisiche (densità, zone d'acqua, ecc..). La metodologia tomografica consiste nell'assegnare una determinata posizione ad uno dei due poli e nell'allontanare l'altro progressivamente, lungo il profilo, per quantità lineari fisse.

Il risultato sarà la misura della resistività apparente dei punti di intersezione delle linee a 45° originate dai centri dei due dipoli (dispositivo dipolo-dipolo). L'elaborazione tomografica consisterà nel tracciamento di isolinee di resistività con fasce cromatiche differenziate (pseudosezioni di resistività), elaborando con appositi programmi di calcolo la sezione di resistività reale del sottosuolo a partire dalla distribuzione di resistività apparente.

Esecuzione

Strumentazione

La strumentazione utilizzata, di potenza adeguata in relazione alle misure da eseguire sui massimi stendimenti previsti, dovrà avere caratteristiche tali da permettere l'ottenimento dei migliori risultati possibili.

In particolare, l'attrezzatura minima dovrà comprendere:

- un dispositivo multielettrodico con un minimo di 32 elettrodi e una unità di acquisizione dati caratterizzata da un georesistivimetro digitale con impedenza di ingresso minima di 2,5 megaohm, sensibilità almeno di 0,1 millivolt, circuito di compensazione dei potenziali spontanei; possibilmente lo strumento dovrà controllare l'erogazione di corrente con accuratezza nella misura dell'intensità di corrente inferiore al 1% del valore immesso, il georesistivimetro dovrà eseguire ripetuti cicli di misura memorizzando resistività,

differenza di potenziale, intensità e deviazione standard;

- generatore di potenza costituito da un gruppo elettrogeno con raddrizzatore di potenza adeguata o con batterie a secco anch'esse di tensione e potenza adeguata;
- cavi elettrici multipolari ad alto isolamento con guaina specifica di protezione resistente alle azioni di trazione e abrasione;
- elettrodi in acciaio inox, in rame, in bronzo e impolarizzabili; in particolare, gli elettrodi di tensione M ed N dovranno essere preferibilmente in rame e, in terreni particolarmente secchi, dovranno essere immersi in una soluzione acquosa, al fine di aumentare la conducibilità.

Esecuzione delle prove

Il metodo geoelettrico si basa sulla misura tra due elettrodi (detti convenzionalmente MN) della differenza di potenziale ΔV connessa alla distribuzione nel sottosuolo di una corrente elettrica I immessa in una diversa coppia di elettrodi, detti AB.

Si otterrà quindi un valore di resistività apparente pari a

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I}$$

che è funzione, oltre che della posizione reciproca dei 4 elettrodi anzidetti (dipendenza contenuta nel parametro K , detto fattore geometrico), della distribuzione della resistività elettrica delle rocce nel sottosuolo interessato dalla propagazione della corrente I . I dati così acquisiti devono essere "interpretati" per ottenere, dall'insieme dei valori di ρ_a (resistività apparente), un modello dell'effettiva distribuzione delle resistività elettriche reali nel sottosuolo indagato. Da questa distribuzione, con opportune tarature e/o in base alle conoscenze geologiche del sottosuolo, il modello geofisico viene trasformato in modello geolitologico.

Si dovrà concordare con l'Amministrazione aggiudicatrice quale modalità di acquisizione utilizzare: di Wenner o di Schlumberger o in casi particolari dispositivi dipolo-dipolo e polo-dipolo.

Preliminarmente all'esecuzione della campagna di prospezione geoelettrica dovrà essere effettuata una prova di isolamento dei cavi del circuito elettrico ed un test di verifica delle resistenze di contatto agli elettrodi prima di iniziare le misure.

La durata del periodo di registrazione dovrà essere tale da permettere la valutazione, senza incertezze, del

valore della differenza di potenziale (ΔV). La distanza interelettrodica sarà definita sulla base delle profondità da raggiungere e delle dimensioni dell'obiettivo di indagine e dovrà comunque essere preventivamente concordata con l'Amministrazione. Per incrementare il dettaglio della misura ed ottenere il ricoprimento tra due linee contigue si farà ricorso a tecniche di sovrapposizione di linee consecutive (*roll-along*) mediante spostamenti successivi con passo regolare di una porzione ($1/3$ o $1/4$) dello stendimento iniziale.

Per la definizione delle modalità esecutive più corrette della prospezione potranno essere eseguiti alcuni sondaggi elettrici verticali per la taratura delle caratteristiche geoelettriche del sottosuolo.

L'elaborazione dei dati dovrà permettere:

- la ricostruzione di "pseudosezioni" di resistività mediante l'impiego di software di *contouring*;
- il calcolo dei valori di resistività vera tramite inversione bidimensionale e lo sviluppo di un adeguato modello di distribuzione della resistività del sottosuolo; il software di inversione dovrà essere in grado di applicare l'eventuale correzione topografica.

Documentazione da presentare:

- Relazione conclusiva contenente la descrizione della strumentazione impiegata, le caratteristiche di acquisizione dei dati e delle operazioni eseguite, con commento ed interpretazione dei dati acquisiti e delle anomalie riscontrate, eventualmente tarate sulla base di sondaggi meccanici o altre prove geofisiche eseguite;
- Carta con l'ubicazione planimetrica georeferenziata dei punti di misura (inizio e fine del profilo di misura), delle linee e degli eventuali sondaggi di taratura eseguiti;
- Tabelle con i valori di voltaggio, corrente, deviazione standard e resistività apparente per ogni singola misura;
- Pseudosezioni di resistività in scala adeguata, con i punti di misura, scala cromatica di riferimento (Ohm- m) e relativa legenda orizzontale interpretativa contenente i valori della resistività;
- Risultati dell'inversione e modellizzazione dei dati unitamente al completo database utilizzato per la valutazione geoelettrica ed il calcolo della distribuzione della resistività;
- Copia dei libretti di campagna originali;
- Documentazione fotografica delle attività.
- Modello bidimensionale del sottosuolo e sezione geologica interpretativa;

-
- qualora disponibili, dovranno essere fornite le informazioni sulla posizione della falda.

10 PROVE DI COMPRESSIONE SU CAROTE DI CALCESTRUZZO

Principi

Le indagini, siano esse distruttive o non distruttive, necessitano di particolare cura affinché si pervenga ad una conoscenza delle caratteristiche reali dei materiali. Ciò vale in special modo per le prove distruttive effettuate su campioni di calcestruzzo ("carote") estratti dalla struttura mediante carotaggio. In particolare, sia la fase di estrazione del campione, sia quella di manipolazione e preparazione per la prova devono minimizzare il disturbo ad esso arrecato, onde evitarne un eccessivo danneggiamento che, riducendone la capacità resistente, rende la carota non rappresentativa del calcestruzzo da cui è stata prelevata. Tipicamente, nella prova di compressione dei campioni cilindrici, affinché il valore misurato non sia influenzato dall'effetto di confinamento delle piastre di carico della pressa, si preferisce realizzare provini con un rapporto tra altezza e diametro della base pari a due. I valori di resistenza a compressione così ottenuti (f_c) possono poi essere ricondotti ai valori di resistenza dei campioni cubici (R_c) dividendo per un coefficiente pari a 0,83.

Esecuzione

L'esecuzione dei carotaggi è regolata dalla norma UNI 12504-1 [UNI 2009]. La prova di compressione, invece, è regolata dalla norma UNI EN 12390 nelle parti da 1 a 4. Individuato il reticolo delle armature mediante il pacometro, il prelievo dovrà avvenire nei campi privi di armatura. Nel caso in cui le prove distruttive siano integrate con prove non distruttive tipo SONREB, sarà opportuno eseguire i carotaggi in corrispondenza dei punti in cui sono state eseguite prove sclerometriche e/o ultrasoniche, al fine di ricavare le corrette correlazioni con i risultati delle indagini non distruttive. Le operazioni di prelievo devono scongiurare l'inclusione di armature metalliche nelle carote per evitare:

- la significativa riduzione della capacità resistente dell'elemento strutturale su cui si effettua il prelievo
- l'aggravio del disturbo al campione nelle fasi di prelievo determinato dall'incremento delle vibrazioni
- l'alterazione dei valori della prova di compressione per la presenza della barra d'armatura.

Quando la maglia delle armature è tale da non consentire il prelievo di carote prive di inclusioni è preferibile prelevare carote con diametro minore. In ogni caso, qualora una o più barre d'armatura vengano tranciate, è necessario procedere al ripristino. Nel corso delle operazioni di prelievo delle carote è opportuno misurare

anche la profondità di carbonatazione del calcestruzzo, così da valutare il potenziale grado di protezione alla corrosione delle barre di armatura. La misura della profondità di carbonatazione è regolata dalla norma UNI 9944. Essa avviene osservando il viraggio della fenolftaleina, che, in ambiente basico, ovvero in assenza di carbonatazione, si colora di rosso – violetto. Pertanto, spruzzando sulla superficie cilindrica del campione, immediatamente dopo l'estrazione, una soluzione di fenolftaleina all'1% in alcol etilico, è osservabile il calcestruzzo carbonatato come quella parte che non mostra una colorazione rosso-violetto. La profondità di carbonatazione andrà misurata con la precisione del millimetro.

Avvertenze/Raccomandazioni

È di fondamentale importanza verificare, nel corso dei prelievi, che la macchina carotatrice non abbia significative vibrazioni dell'asse di rotazione e che la velocità di avanzamento sia bassa, onde evitare un eccessivo danneggiamento del campione. Pertanto, occorre adottare gli accorgimenti necessari ad evitare la vibrazione del sistema di carotaggio (carotatrice e relativo supporto) e inoltre la velocità di avanzamento per il prelievo di campioni dovrà essere ben minore di quella abitualmente adottata per la realizzazione di fori nel calcestruzzo, preferibilmente inferiore a 600 giri/min. Il diametro delle carote, come indicato dalle norme UNI, deve essere almeno pari a tre volte il diametro massimo dell'aggregato presente nel calcestruzzo. Il diametro più comunemente utilizzato nei prelievi è di circa 100 mm e, di conseguenza, l'altezza della carota prelevata deve essere di circa 280 mm, affinché possa ottenersi un campione lungo 200 mm o, meglio, due campioni con rapporto altezza/diametro unitario. Particolare cura dovrà essere posta nel ripristino dell'elemento procedendo alla chiusura del foro con l'impiego di malte molto fluide, a ritiro compensato, adottando tutte le cautele necessarie ad assicurare la massima adesione alla superficie del foro. Operativamente sarà necessario disporre una "barriera" che ostruisca interamente la sezione del foro, all'interno del quale verrà colata la malta mediante uno scasso, preventivamente realizzato in corrispondenza del punto più alto della circonferenza, così da assicurare il completo riempimento del foro. Al fine di non indurre riduzioni importanti della sicurezza strutturale è importante scegliere con accortezza i punti di prelievo, evitando di eseguire dei carotaggi su elementi snelli o molto caricati e sulle parti più sollecitate degli elementi strutturali. Va peraltro ricordato, a questo proposito, come un calcestruzzo molto sollecitato, anche solo a compressione, possa subire fessurazioni o microlesioni che possono ridurre sensibilmente la resistenza a compressione dei provini estratti. L'esito della prova, in tal caso, è evidentemente molto condizionato da tale effetto e non riflette le reali caratteristiche del materiale, che debbono ovviamente far riferimento ad una condizione di danneggiamento assente. La prova deve essere documentata, catalogata e fotografata in tutte le sue fasi.

11. PROVE DI TRAZIONE SU BARRE DI ARMATURA D'ACCIAIO ESTRATTE DALLA STRUTTURA

Principi

Si tratta della classica prova di trazione su barre d'armatura, così come regolata dalle NTC18 e dalla norma UNI EN 10002/1. Contrariamente al calcestruzzo, l'acciaio, essendo un prodotto industrializzato, possiede un'elevata stabilità di comportamento e le sue caratteristiche, all'epoca della realizzazione della struttura, sono accertate già presso lo stabilimento di produzione. In ogni caso appare opportuno limitarne il numero, data la notevole invasività dell'operazione e, per quanto detto, l'usuale buona costanza di caratteristiche dell'acciaio.

Esecuzione

Lo spezzone di barra da prelevare deve avere una lunghezza tale da poter essere sottoposto alla prova di rottura per trazione in conformità alla norma UNI EN 10002/1.

Avvertenze/Raccomandazioni

Là dove possibile si tenda ad estrarre campioni di armatura dagli elementi meno sollecitati o dalle zone meno sollecitate dello stesso elemento. È inoltre preferibile che la barra, se prelevata da un pilastro, non sia una barra d'angolo, essendo la sua funzione strutturale sicuramente più importante di quella delle eventuali barre intermedie. Particolare cura dovrà essere posta nel ripristino della capacità resistente originaria dell'elemento strutturale, verificando la saldabilità delle barre in opera, adottando l'opportuno tipo di elettrodo ed effettuando la saldatura tra il nuovo spezzone e la barra esistente con cordoni d'angolo di adeguata lunghezza, in ogni caso non mediante saldatura di testa. Il tratto di barra da estrarre dovrà avvenire solamente dopo la messa in sicurezza della barra stessa. L'estrazione del campione deve avvenire previo posizionamento e saldatura di un elemento di armatura di caratteristiche geometriche identiche e elasto-meccaniche identiche o superiori a quello oggetto di prelievo. Il tratto sostitutivo dovrà essere integro, esente da curve, gomiti o irregolarità di sorta. Deve essere saldato preventivamente per un tratto di lunghezza non inferiore a 15 cm per estremità all'armatura da cui sottrarre la porzione da sottoporre a prova di laboratorio. Solamente dopo che il Responsabile Tecnico dell'Ordine di Servizio Attuativo ha valutato la corretta messa in opera dell'elemento sostitutivo si può procedere a reciderla porzione di campione. Il taglio di quest'ultima non deve intaccare in alcun modo la barra di presidio. La lunghezza del provino deve essere idonea per l'ottenimento della prova di trazione. Barre di lunghezza minore devono essere giustificate nel rapporto di indagine. La prova deve essere documentata, catalogata e fotografata in tutte le sue fasi.

12. PROVE PACOMETRICHE

Principi

Consistono nella misura del campo magnetico determinato dalla presenza di armature di acciaio in vicinanza della superficie del calcestruzzo degli elementi strutturali (travi, pilastri, pareti). Tali prove consentono di "leggere", in proiezione sulla superficie di calcestruzzo, la posizione delle armature, così da consentire una stima della misura dell'interferro e del copriferro delle armature longitudinali, presenti nel piano parallelo al piano d'indagine, e del passo delle staffe.

Esecuzione

L'utilizzo del pacometro, come strumento di prova non distruttivo, è regolato dalle norme BS 1881:204. Su ogni faccia delle superfici di calcestruzzo è individuabile la posizione delle barre di armatura. Ripetendo l'operazione su più sezioni dell'elemento, e disegnando sulla superficie dello stesso, mediante una matita o altro, una retta che passi per i punti individuati, sarà possibile tracciare il reticolo delle armature presenti in vicinanza della superficie indagata.

Avvertenze/Raccomandazioni

La prova pacometrica consente anche di individuare le zone dell'elemento prive di armatura nelle quali eseguire le indagini finalizzate alla conoscenza delle caratteristiche del calcestruzzo, quali, ad esempio, il prelievo di carote, le prove sclerometriche e quelle ultrasoniche. Ne consegue che l'indagine pacometrica deve essere preliminare a qualsiasi altro tipo di indagine, distruttiva e non, condotta su elementi in cemento armato. In funzione del tipo di strumento, noto il copriferro, è anche determinabile il diametro delle barre di armatura. Si sottolinea che gli abachi standardizzati a corredo di alcuni pacometri, indicanti il diametro delle armature in funzione del copriferro (trasversale al piano su cui si sta lavorando), devono esser utilizzati con molta cautela, a causa dell'elevata incertezza sulla conoscenza del reale spessore del copriferro presente in corrispondenza di ciascuna barra posta in opera. Tale operazione è eseguita abbinando dei saggi sul calcestruzzo atti ad accertare il reale valore del copriferro. La prova deve essere documentata, catalogata e fotografata in tutte le sue fasi.

13. INDAGINI PER LA VERIFICA PREVENTIVA DI INTERESSE ARCHEOLOGICO

Ai fini della verifica preventiva dell'interesse archeologico, si chiede di approfondire la conoscenza archeologica del sito, attraverso la lettura dei sondaggi che saranno effettuati nel corso della campagna di

indagine, in collaborazione con il consulente geologo che fornirà la necessaria assistenza tecnico-scientifica finalizzata alla descrizione litologica degli strati estratti, utile alla definizione, l'interpretazione e la determinazione cronologica dei paleosuoli e/o depositi vulcanici sepolti.

L'attività degli archeologi dovrà consistere, quindi, nella lettura dal punto di vista archeologico delle carote estratte, prima che vengano effettuati i prelievi dei campioni e quindi non più verificabili le sequenze cronostratigrafiche.

Si dovranno fissare dei marker nella stratigrafia presente nel sottosuolo, quali il riconoscimento di eventuali depositi vulcanici o paleosuoli che definiscono degli archi temporali fondamentali dell'occupazione antropica e delle dinamiche insediative dell'area oggetto di intervento.

Si chiede, pertanto, una verifica preventiva di interesse archeologico che tenga conto sia della caratterizzazione geologica-archeologica dell'area oggetto di studio, anche attraverso di adeguata ricerca bibliografica che un'analisi archeo-stratigrafica delle carote prelevate.

14.DOCUMENTAZIONE DA PRODURRE

Al completamento dei lavori l'Affidatario dovrà consegnare, in formato digitale, tutta la documentazione tecnica già indicata, oltre quella che di seguito si elenca in via esemplificativa e non esaustiva:

- una Relazione generale sulle indagini eseguite in situ e in laboratorio, contenente la descrizione delle metodologie di prova, la documentazione fotografica delle prove eseguite, gli schemi e i disegni utili all'esplicitazione del layout di strumentazione disposta, le tabelle riassuntive riportanti i dati misurati e manipolati, l'interpretazione degli stessi dati ai fini del loro uso nei modelli numerici;
- una Relazione tecnica finale (Rapporto di sintesi) con allegate le tavole grafiche riportanti l'indicazione delle prove eseguite e della loro effettiva collocazione;
- le Schede riassuntive di ciascuno dei punti di campionamento;
- la redazione di stratigrafie;
- la redazione di una carta delle isopiezometriche con indicazione della direzione di deflusso della falda idrica sotterranea;
- i Rapporti di prova delle indagini eseguite, sia in situ sia in laboratorio;
- tutta la documentazione specificamente prevista all'esito delle singole indagini/prove.

Sondaggi prelievo campioni analisi ambientali