



MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA VIA GUIDO RENI

Assessorato all'urbanistica
Assessore: Maurizio Veloccia

Dipartimento Programmazione e Attuazione
Urbanistica
Direttore: arch. Gianni Gianfrancesco

Direzione Trasformazione Urbana
Direttore: arch. Paolo Ferraro

U.O. Rigenerazione e progetti speciali
Dirigente: Enrica de Paulis

Responsabile Unico del Procedimento
Arch. Enrica De Paulis



Progettazione architettonica:
ADAT Studio Srl
arch. Antonio Atripaldi



Progettazione del paesaggio:
P'arcnouveau
arch. Luca Manzocchi



Progettazione strutturale,
impiantistica e ambientale:
WSP Italia Srl



Sicurezza, Antincendio,
Quadro Economico:
GAe Engineering Srl
ing. Giuseppe Amaro

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

Titolo

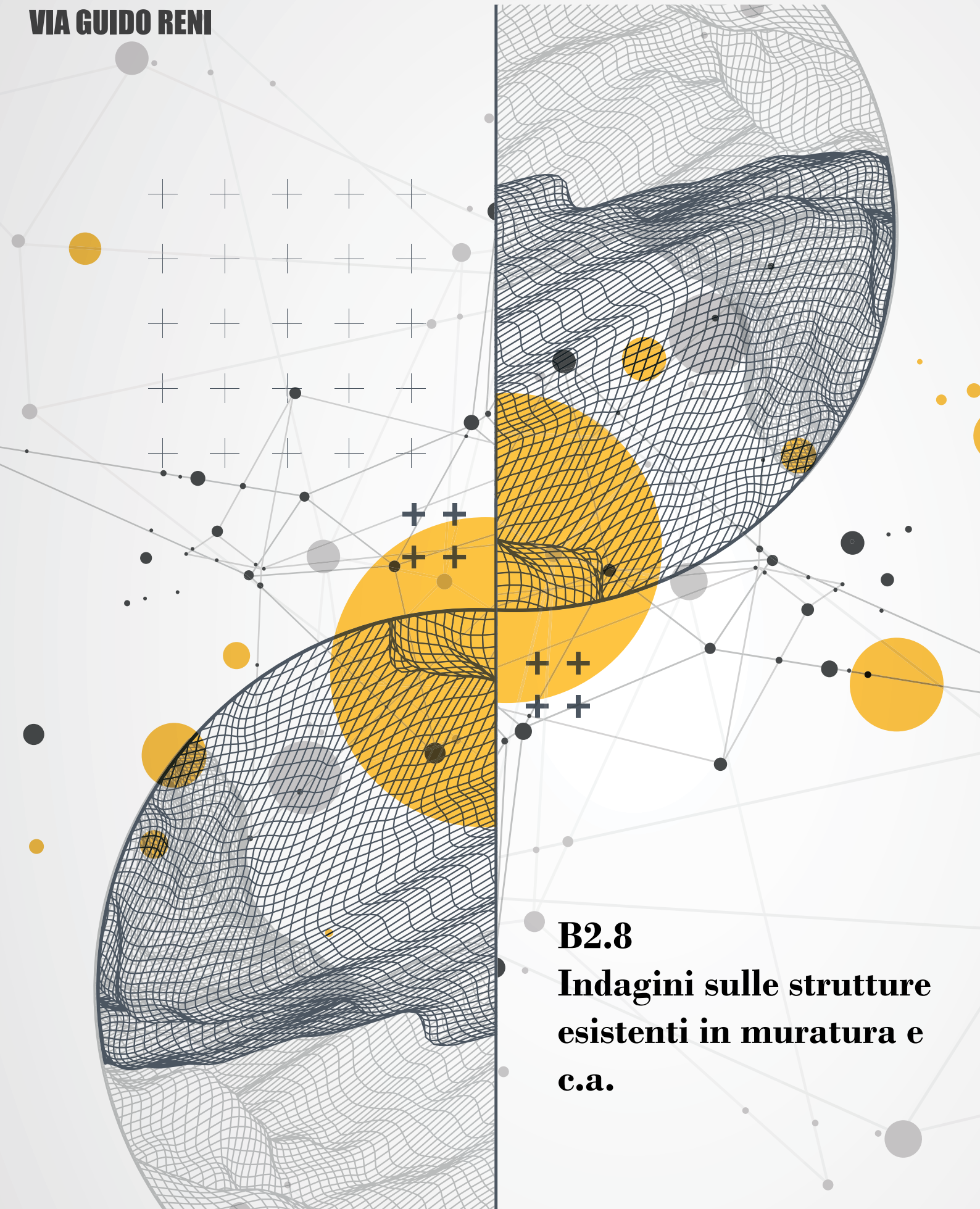
1. Urbanistica, Normativa e Vincoli
Indagini Strutture Esistenti in Muratura e C.A.

| Codice di consegna | N. tavola | Tipo | Scala |
|--------------------------|-----------|------|-------|
| 0006_F_1.01.04_AR_RS_001 | 1.01.04 | A4 | |

| Revisioni | | | | | |
|-----------|------------|---------|-------------|-----------|-------------|
| N° | Data | Redatto | Controllato | Approvato | Descrizione |
| 0 | 30/10/2023 | | | | |
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |

MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

VIA GUIDO RENI



B2.8

**Indagini sulle strutture
esistenti in muratura e
c.a.**

CONCORSO MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

B2.8 INDAGINI STRUTTURE ESISTENTI IN MURATURA E C.A.

CDP – Cassa Depositi e Prestiti Immobiliare Srl Roma, Italia

PROGETTO DI RIQUALIFICAZIONE EX STABILIMENTO MILITARE GUIDO RENI – CITTA' DELLA SCIENZA

Specifica Tecnica Indagini Strutturali e Geotecniche

Doc. No. P0002904-Hx Rev. 0 – Maggio 2022

| Rev. | Descrizione | Preparato da | Controllato da | Approvato da | Data |
|------|-----------------|-----------------------|----------------|--------------|------------|
| 0 | Prima Emissione | R. Siano / S. Cassarà | F. Tavaroli | - | 20/05/2022 |

INDICE

| | Pag. |
|---|-----------|
| LISTA DELLE TABELLE | 3 |
| LISTA DELLE FIGURE | 3 |
| 1 INTRODUZIONE | 4 |
| 2 QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO | 5 |
| 3 DEFINIZIONE CLASSE D'USO E INDICAZIONI PER LA CARATTERIZZAZIONE SISMICA | 6 |
| 4 DESCRIZIONE DELL'IMMOBILE OGGETTO DI INDAGINE | 7 |
| 5 DEFINIZIONE DEL LIVELLO DI CONOSCENZA E CRITERI PER LA CAMPAGNA DIAGNOSTICA | 9 |
| 6 INDAGINI DI CARATTERIZZAZIONE GEOMETRICA DELLE STRUTTURE ESISTENTI | 10 |
| 6.1 INDAGINI ENDOSCOPICHE | 11 |
| 6.2 INDAGINI MEDIANTE SAGGI | 11 |
| 6.3 INDAGINI PACOMETRICHE | 12 |
| 6.4 RILIEVO GEOMETRICO DI ELEMENTI IN C.A.P. | 13 |
| 6.5 RILIEVO GEOMETRICO DI ELEMENTI DI CARPENTERIA IN ACCIAIO | 13 |
| 6.6 SONDAGGI GEOGNOSTICI SU STRUTTURE DI FONDAZIONE | 14 |
| 7 INDAGINI DI CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DELLE STRUTTURE ESISTENTI | 15 |
| 7.1 INDAGINI SU ELEMENTI STRUTTURALI IN MURATURA PORTANTE | 15 |
| 7.1.1 Analisi di caratterizzazione meccanica della malta | 15 |
| 7.2 INDAGINI SU ELEMENTI STRUTTURALI IN C.A. | 16 |
| 7.2.1 Prove Distruttive su Calcestruzzo – Prelievo di Carote | 16 |
| 7.2.2 Determinazione della profondità di carbonatazione su carote di Calcestruzzo | 16 |
| 7.2.3 Prove Distruttive su Calcestruzzo – Prove di Pull-out | 17 |
| 7.2.4 Prove non distruttive su Calcestruzzo – Indagini Sonreb | 18 |
| 7.2.5 Prove Distruttive su Acciaio – Prelievo di ferri di armatura | 19 |
| 7.2.6 Prove Distruttive su Acciaio – Prelievo di elementi in acciaio da carpenteria | 20 |
| 7.2.7 Prove non Distruttive su Acciaio – Prova di durezza su armature ed elementi in acciaio da carpenteria | 21 |
| 8 INDAGINI GEOTECNICHE | 23 |
| 9 SPECIFICHE PER INDAGINI E PROVE GEOGNOSTICHE | 25 |
| 9.1 SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO (S) | 25 |
| 9.1.1 Sondaggi | 25 |
| 9.1.2 Prove SPT | 28 |
| 9.2 SONDAGGI A DISTRUZIONE DI NUCLEO | 32 |
| 9.3 PROVE DI PERMEABILITÀ | 32 |
| 9.3.1 Prove di Permeabilità Lefranc | 32 |
| 9.4 INDAGINI GEOFISICHE | 34 |
| 9.4.1 Indagine Sismica MASW | 34 |
| 9.4.2 Down-hole (DH) | 35 |
| 9.4.3 Indagini Microtremori (HVSr) | 37 |
| 9.4.4 Georadar | 38 |
| 9.5 PROVE DI LABORATORIO | 40 |
| 9.5.1 Esami geotecnici di Laboratorio su Campioni di Terre | 40 |
| 9.5.2 Esami ed Analisi per la Determinazione delle Caratteristiche fisiche | 44 |
| 9.5.3 Prove di Laboratorio per la Determinazione delle Caratteristiche fisico-meccaniche | 45 |

APPENDICE A: PLANIMETRIA DI UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE

APPENDICE B: PLANIMETRIA DI UBICAZIONE DELLE INDAGINI STRUTTURALI

LISTA DELLE TABELLE

| | | |
|--------------|---|----|
| Tabella 3.1: | Definizione della Classe d'uso ai sensi delle NTC2018 | 6 |
| Tabella 6.1: | Indagini Endoscopiche previste | 11 |
| Tabella 6.2: | Saggi distruttivi previsti | 12 |
| Tabella 6.3: | Indagini Pacometriche previste | 13 |
| Tabella 6.4: | Rilievi di elementi strutturali in c.a.p. previsti | 13 |
| Tabella 6.5: | Rilievi di elementi strutturali in acciaio previsti | 14 |
| Tabella 6.6: | Saggi geognostici previsti | 14 |
| Tabella 7.1: | Prove meccaniche su campioni di malta previste | 15 |
| Tabella 7.2: | Indagini Pacometriche previste | 16 |
| Tabella 7.3: | Determinazione della profondità di carbonatazione previste | 17 |
| Tabella 7.4: | Prove distruttive di pull out previste | 18 |
| Tabella 7.5: | Prove non distruttive su elementi in c.a. previste | 19 |
| Tabella 7.6: | Prove distruttive su provini di armatura previste | 20 |
| Tabella 7.7: | Prove distruttive su spezzoni di profilato metallico previste | 21 |
| Tabella 7.8: | Prove non distruttive su elementi di carpenteria in acciaio e armature metalliche | 22 |

LISTA DELLE FIGURE

| | | |
|-------------|---|---|
| Figura 1.1: | Localizzazione del sito di intervento nel territorio del Comune di Roma | 4 |
| Figura 4.1: | Identificazione delle tipologie strutturali | 7 |
| Figura 4.2: | Tipologie strutturali delle aree più antiche | 8 |
| Figura 4.3: | Tipologie strutturali delle aree più moderne e stato di conservazione | 8 |

1 INTRODUZIONE

Nell'ambito del progetto di rifunzionalizzazione e riqualificazione dell'ex Stabilimento Militare Materiali Elettronici e di Precisione Guido Reni sito in via Guido Reni Roma, il presente documento costituisce specifica di indagine finalizzata all'approfondimento conoscitivo della struttura dei citati capannoni ed in particolare alla caratterizzazione geometrica e meccanica del sistema strutturale, nonché alla caratterizzazione geotecnica del sito di ubicazione delle medesime strutture.

Le indagini descritte nel presente documento sono finalizzate alla caratterizzazione meccanica e tecnologica dei principali componenti strutturali dei capannoni con lo scopo di supportare la verifica preliminare di fattibilità tecnico economica degli interventi strutturali funzionali alla riqualificazione e rifunzionalizzazione dell'intero complesso.

Le strutture oggetto di studio sono situate lungo via Guido Reni nella città di Roma e versano attualmente in uno stato di semi-abbandono, essendo solo parzialmente utilizzate per scopi espositivi ed attività culturali.



Figura 1.1: Localizzazione del sito di intervento nel territorio del Comune di Roma

2 QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

Le verifiche degli elementi strutturali esistenti, nonché le modalità di definizione delle tipologie e quantità di indagini previste nel presente documento, saranno condotte in osservanza ai principi e alle regole riportate nelle seguenti normative:

- ✓ Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018 – “Norme tecniche per le Costruzioni”, di seguito indicato con NTC18;
- ✓ Circolare n. 7 C.S.LL.PP. del 21 gennaio 2019 – Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le Costruzioni”» di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018, di seguito indicato con Circolare n° 7/2019.
- ✓ Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile del 21/10/2003 – “Disposizioni attuative dell’art. 2, commi 2, 3 e 4, dell’ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20/03/2003, recante Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”.
- ✓ Ministero dei Lavori Pubblici, 1988– “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l’applicazione”;
- ✓ Raccomandazioni sulle Prove Geotecniche di Laboratorio, 1994, Associazione Geotecnica Italiana;
- ✓ Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche, 1977, Associazione Geotecnica Italiana.
- ✓ Deliberazione n° 793 del 05/11/2020 - Modifica della Deliberazione di Giunta regionale 23 luglio 2019, n. 493. Sostituzione dell'allegato A rubricato "Elenco delle strutture in Classe d'uso IV (Strategiche) e in Classe d'uso III (Rilevanti)".
- ✓ Regolamento regionale n° 26 del 26 Ottobre 2020 - “Regolamento regionale per la semplificazione e l’aggiornamento delle procedure per l’esercizio delle funzioni regionali in materia di prevenzione del rischio sismico. Abrogazione del regolamento regionale n° 14 del 13 luglio 2016 e s.m.i.”
- ✓ Deliberazione Giunta Regione Lazio n. 189 del 13/04/2021 – “Adozione del regolamento regionale concernente “Modifiche al regolamento regionale 26 ottobre 2020, n. 26 (Regolamento regionale per la semplificazione e l’aggiornamento delle procedure per l’esercizio delle funzioni regionali in materia di prevenzione del rischio sismico. Abrogazione del regolamento regionale 13 luglio 2016, n. 14 e successive modifiche”.

3 DEFINIZIONE CLASSE D'USO E INDICAZIONI PER LA CARATTERIZZAZIONE SISMICA

La definizione della classe d'uso delle strutture oggetto di intervento assume rilevante importanza in quanto rappresenta un passaggio fondamentale per la selezione delle procedure da seguire per la caratterizzazione sismica dell'area di ubicazione della medesima struttura. Il riferimento normativo principale per la definizione della classe d'uso è costituito dalle NTC18 che al paragrafo 2.4.2. che forniscono una classificazione delle strutture in funzione della rilevanza delle attività da esse ospitate, come riportato nella Tabella 3.1.

Tabella 3.1: Definizione della Classe d'uso ai sensi delle NTC2018

| Definizione della Classe d'uso | |
|--------------------------------|---|
| Classe d'uso | Definizione |
| I | Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli. |
| II | Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti. |
| III | Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso. |
| IV | Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica. |

Quale ulteriore riferimento normativo per la classificazione del Museo di Capodimonte si è inoltre tenuto conto delle indicazioni fornite dal Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile del 21/10/2003 nonché della Deliberazione Regionale n° 793 del 05/11/2020, entrambi i riferimenti forniscono elenchi dettagliati circa l'interesse strategico e la rilevanza in caso di collasso degli edifici in funzione dell'uso cui sono destinati.

Con specifico riferimento alle strutture oggetto di intervento si riportano di seguito i parametri che verranno adottati per la caratterizzazione dell'input sismico in funzione delle attività ospitate e delle indicazioni fornite dai citati riferimenti normativi:

- ✓ Vita nominale della struttura $VN = 50$ anni
- ✓ Classe d'uso III
- ✓ Coefficiente di utilizzo $Cu = 1,5$
- ✓ Periodo di riferimento per l'azione sismica: $VR = VN \times Cu = 75$ anni

4 DESCRIZIONE DELL'IMMOBILE OGGETTO DI INDAGINE

L'ex Stabilimento Militare Materiali Elettronici e di Precisione Guido Reni è stato realizzato nel 1906 ed è situato nel settore nord della Città Storica, nel quartiere Flaminio; lo stabilimento nasce come impianto di produzione di forniture industriale, successivamente convertito alla produzione di forniture belliche con l'avvento della Prima Guerra Mondiale.

Le strutture su cui insiste l'intervento includono due capannoni contigui che sono stati oggetti nel corso del tempo di successivi rimaneggiamenti e interventi di natura strutturale. Le strutture sono attualmente quasi totalmente dismesse, ospitando solo in parte eventi espositivi e culturali.

La porzione di struttura evidenziata in verde in Figura 4.1 conserva l'originaria struttura portante in acciaio delimitata lungo il perimetro da tamponature in muratura portante di pietra sbozzata e malta alternata a ricorsi di mattoni pieni. La struttura di copertura era realizzata con travi reticolari in acciaio e presenta una configurazione geometrica a dente di sega o a shed. Solai in putrelle e voltine completano la copertura nelle zone contigue al passaggio di collegamento tra i due capannoni. Quest'ultimo presenta una copertura a doppia falda sorretta da capriate in acciaio appoggiate direttamente sulle tamponature in muratura portante dei due capannoni (Figura 4.2).

Una porzione cospicua delle strutture oggetto di intervento (porzione evidenziata in rosso in Figura 4.1) ha però subito interventi strutturali in epoca più recente che hanno comportato la sostituzione dell'originaria struttura portante in acciaio con una struttura portante in c.a. composta da telai gettati in opera sormontati da travature di bordo in c.a. su cui insistono travi di copertura in c.a.p. con configurazione curva (voltine in c.a.p. tipiche di interventi realizzati a partire dagli anni '70, Figura 4.3).

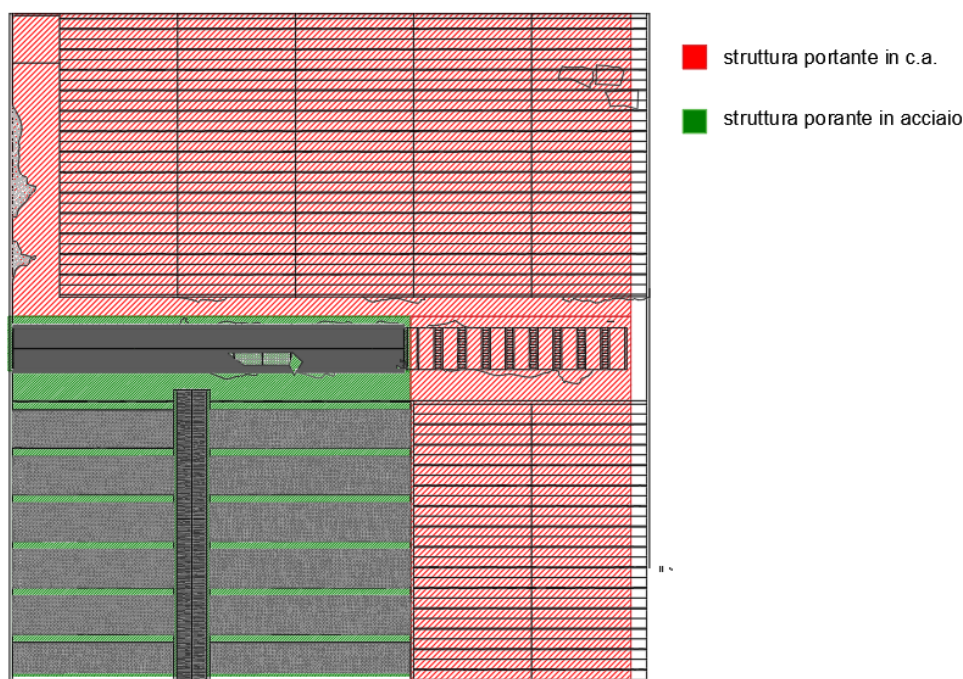


Figura 4.1: Identificazione delle tipologie strutturali

Le strutture più antiche versano in condizioni di totale degrado, con solai ammalorati e interessati da estesi fenomeni di infiltrazioni e dilavamento ed elementi strutturali in acciaio caratterizzati da una diffusa e profonda corrosione (Figura 4.2).

La porzione più moderna presenta, invece, migliori condizioni di conservazione almeno negli elementi strutturali della copertura, travi in c.a.p. e in c.a. gettato in opera presentano infatti generalmente copriferri integri e un buono stato di conservazione. Peggiori condizioni caratterizzano localmente i pilastri in c.a. gettati in opera e alcune porzioni di solaio, interessati da infiltrazioni e fenomeni di dilavamento (Figura 4.3).



Figura 4.2: Tipologie strutturali delle aree più antiche



Figura 4.3: Tipologie strutturali delle aree più moderne e stato di conservazione

5 DEFINIZIONE DEL LIVELLO DI CONOSCENZA E CRITERI PER LA CAMPAGNA DIAGNOSTICA

La definizione del livello di conoscenza da garantire nel percorso conoscitivo delle strutture dell'ex Stabilimento militare Guido Reni assume rilevante importanza in quanto rappresenta un passaggio fondamentale nel processo di studio e verifica di edifici esistenti. Nel caso specifico del percorso conoscitivo qui descritto, il riferimento normativo principale è costituito dalle NTC18 e relativa Circolare esplicativa n° 7/2019. I vigenti riferimenti normativi (Nuove Norme Tecniche per le costruzioni del 1/01/2018 e la relativa Circolare esplicativa n° 7 del 21/01/2019) definiscono a tal proposito tre livelli di conoscenza variabili da LC1 a LC3 all'aumentare del grado di approfondimento conseguito nel percorso conoscitivo e della completezza di informazioni disponibili su geometria, caratterizzazione meccanica dei materiali e dettagli costruttivi delle strutture esistenti.

Nella definizione del livello di conoscenza da raggiungere e delle metodologie conoscitive da applicare si è tenuto conto del livello di progettazione della natura degli interventi previsti a cui è funzionale la presente campagna conoscitiva. Nel caso delle strutture oggetto del presente documento, la definizione della tipologia e quantità di indagini strumentali sarà condotta facendo riferimento ad un livello di conoscenza di tipo LC1.

Tenendo conto del livello progettuale e degli specifici obiettivi del progetto, nonché del livello di conoscenza assunto, la campagna conoscitiva sarà indirizzata all'approfondimento degli aspetti di seguito elencati:

- ✓ Caratterizzazione geologica e geofisica del sito su cui insistono le strutture oggetto di intervento;
- ✓ Caratterizzazione strutturale e geotecnica a campione del sistema di fondazione delle strutture oggetto di intervento;
- ✓ Caratterizzazione geometrica e meccanica delle strutture portanti principali delle strutture oggetto di intervento attraverso prove e indagini limitate;
- ✓ Caratterizzazione geometrica e meccanica dei componenti strutturali delle coperture esistenti attraverso prove e indagini limitate.

Nel caso specifico della conoscenza geometrica del manufatto, l'intera struttura sarà oggetto di un rilievo geometrico completo. Per quanto riguarda il parametro di caratterizzazione meccanica dei materiali strutturali, le indagini condotte saranno limitate e integrate da considerazioni e dati riconducibili all'epoca di costruzione delle strutture oggetto di intervento. Infine, per quanto riguarda la caratterizzazione dei dettagli costruttivi si farà ricorso a limitate indagini in situ integrate da progettazione simulata condotta secondo i riferimenti normativi vigenti all'epoca di costruzione delle strutture oggetto di intervento.

6 INDAGINI DI CARATTERIZZAZIONE GEOMETRICA DELLE STRUTTURE ESISTENTI

Lo studio di edifici esistenti necessita innanzitutto della conoscenza dettagliata della sua configurazione geometrica. Le NTC18 (Capitolo 8) e la relativa Circolare applicativa (Capitolo C.8) forniscono specifiche indicazioni sugli aspetti geometrici la cui conoscenza è indispensabile allo studio del comportamento strutturale di un edificio esistente.

Le indagini di caratterizzazione geometrica di un edificio esistente devono essere indirizzate alla definizione della configurazione geometrica di tutti i componenti strutturali nonché di quelli non strutturali che possano avere influenza sul comportamento strutturale globale, dei dettagli costruttivi e dell'eventuale interazione con strutture limitrofe. Risulta, inoltre, necessario definire la qualità e lo stato di conservazione dei materiali strutturali impiegati, nonché individuare lo stato di danneggiamento dei componenti strutturali e l'eventuale presenza di dissesti o meccanismi di danno locale in atto sulla struttura.

Considerate le specifiche proprietà tecnologiche e materiche dei sistemi strutturali impiegati nelle strutture oggetto di intervento, si procede ad una disamina dei dettagli geometrici su cui andranno concentrate le indagini conoscitive distinguendo i medesimi in funzione del sistema strutturale prevalente presente in ciascun edificio. Le indagini qui descritte costituiranno integrazione e supporto alle attività di rilievo geometrico condotte sull'intero edificio e, in particolare si concentreranno sulla definizione dei dettagli costruttivi caratterizzanti i principali elementi strutturali in accordo alle prescrizioni della normativa tecnica vigente.

Nel caso specifico delle strutture o componenti strutturali in muratura portante, il rilievo dei dettagli costruttivi dovrà essere indirizzato all'approfondimento dei seguenti aspetti:

- ✓ Identificazione della tipologia di muratura portante tra quelle proposte dalla Circolare esplicativa del 11/02/2019 nella tabella C8.5.I;
- ✓ Caratterizzazione della configurazione geometrica e composizione stratigrafica dei paramenti murari;
- ✓ Definizione della qualità dei collegamenti tra pareti verticali e tra orizzontamenti e pareti;
- ✓ Presenza ed efficacia di presidi antisismici (catene, contrafforti, cordoli di piano ecc.);
- ✓ Rilievo del quadro fessurativo e dello stato di conservazione caratterizzante i paramenti murari;
- ✓ Identificazione della tipologia e geometria delle strutture di fondazione;
- ✓ Identificazione della tipologia, orditura e stratigrafia dei solai di piano con relative informazioni geometriche quali spessori, interassi e sezioni trasversali di tutte le orditure con funzione strutturale;

Nel caso specifico delle strutture o componenti strutturali in calcestruzzo armato o in acciaio, il rilievo dei dettagli costruttivi dovrà essere indirizzato all'approfondimento dei seguenti aspetti:

- ✓ Definizione della quantità, tipologia e dimensione dei ferri di armatura longitudinali presenti all'interno di travi e pilastri;
- ✓ Definizione della quantità, tipologia e dimensione dei ferri di armatura trasversale presenti all'interno di travi e pilastri;
- ✓ Caratterizzazione geometrica dei principali elementi strutturali (sezioni trasversali di travi e pilastri, altezza di interpiano, luce travi e interassi pilastri, interassi elementi strutturali secondari, ecc.);
- ✓ Spessori del copriferro su travi e pilastri;
- ✓ Geometria dei collegamenti strutturali definita in funzione della specifica tecnologia rilevata (ad esempio numero, diametro e tipo di bulloni nel caso di connessioni bullonate ecc.);
- ✓ Rilievo del quadro fessurativo e dello stato di conservazione caratterizzante i componenti strutturali in c.a. o acciaio;
- ✓ Identificazione della tipologia e geometria delle strutture di fondazione;
- ✓ Identificazione della tipologia, orditura e stratigrafia dei solai di piano con relative informazioni geometriche quali spessori, interassi e sezioni trasversali di tutte le orditure con funzione strutturale;
- ✓ Individuazione della tipologia e stratigrafia dei principali elementi non strutturali, quali tamponature e tramezzature.

Nel seguito sono riportate le specifiche indagini previste per l'approfondimento della configurazione geometrica dei principali dettagli costruttivi.

6.1 INDAGINI ENDOSCOPICHE

L'indagine tramite endoscopia ha lo scopo di verificare visivamente la consistenza e la natura del materiale costituente specifici componenti, evidenziando eventuali anomalie e cavità interne. L'applicazione di tale procedura ad elementi costruttivi e strutture portanti può fornire indicazioni circa la tipologia, morfologia e stratigrafia dei medesimi mediante fori di piccolo diametro che arrecano un disturbo limitato alle strutture indagate. Mediante l'inserimento di una piccola sonda endoscopica in fori di diametro compreso tra 20 mm e 30 mm si può studiare la superficie del foro per cercare di ricostruire la sezione muraria, inclusa la tipologia di materiali presenti e la presenza di larghi vuoti.

Il rilevamento endoscopico dovrà essere condotto mediante l'utilizzo di strumentazione adeguata ad eseguire riprese sia frontali che laterali nonché restituzione fotografica delle situazioni più significative rilevate durante il sondaggio endoscopico. L'esecuzione dei fori dovrà essere condotta avendo cura di causare il minore disturbo possibile agli elementi indagati e successivamente seguita dal ripristino dei suddetti elementi alle condizioni precedenti all'indagine. L'inserimento della sonda endoscopica dovrà avvenire facendola avanzare per tutta la profondità dell'elemento strutturale da rilevare e procedendo ad intervalli di 5 cm all'ispezione visiva della superficie del foro nelle quattro direzioni (0°-90°-180°-270°).

Le indagini endoscopiche dovranno essere elaborate con l'obiettivo di fornire i seguenti risultati e documenti minimi:

- ✓ Informazioni generali di esecuzione delle indagini;
- ✓ Rappresentazione grafica di localizzazione delle indagini eseguite;
- ✓ Restituzione fotografica delle indagini condotte con evidenza delle situazioni più critiche e rappresentative rilevate, nonché delle condizioni pre e post esecuzione della prova attestanti l'avvenuto ripristino delle prime;
- ✓ Rappresentazione grafica delle stratigrafie rilevate con indicazione della composizione e dello spessore dei singoli componenti.

Tenendo conto della tecnologia costruttiva e della composizione plano-volumetrica delle strutture oggetto di intervento, si riportano nel seguito il numero di indagini endoscopiche previste.

Tabella 6.1: Indagini Endoscopiche previste

| INDAGINI ENDOSCOPICHE | | |
|--|-----------------|----------|
| N° indagini | Unità di Misura | Quantità |
| 6 endoscopie su muratura portante + 3 endoscopie su solai di piano | N° prove | 9 |

Nel caso delle indagini su solai di piano, il rilievo endoscopico dovrà essere integrato con il rilievo geometrico dei principali componenti strutturali e non strutturali in modo da restituire i seguenti parametri:

- ✓ Identificazione della tecnologia costruttiva e della stratigrafia del pacchetto strutturale e non strutturale componente il solaio;
- ✓ determinazione interasse e sezione degli elementi strutturali principali (travetto in c.a. o trave in acciaio);
- ✓ determinazione della tipologia e armatura di travetti e soletta in caso di solai in c.a.

6.2 INDAGINI MEDIANTE SAGGI

L'approfondimento delle stratigrafie di elementi strutturali o della tessitura di murature portanti può essere integrato mediante esecuzione di saggi parzialmente distruttivi che consentano il rilievo diretto di tutti i componenti delle stratigrafie investigate. Questo tipo di indagine può essere applicata a diverse tipologie di elementi strutturali e può essere svolta con diversi livelli di invasività.

Nel caso di murature portanti, i saggi possono essere eseguiti con modalità poco invasive mediante asportazione degli strati di intonaco superficiali per una superficie quadrata di 0.25 m² al fine di individuare la tessitura del corpo murario, la tipologia e l'effettiva esecuzione a regola d'arte. Un numero sufficientemente rappresentativo di saggi sarà eseguito sia sui paramenti murari interni che esterni al fine di identificare la tipologia e tessitura dei principali maschi murari.

Nel caso dei solai di piano, i saggi possono essere eseguiti con modalità poco invasive mediante asportazione degli strati di intonaco superficiali per una superficie quadrata di 0.25 m² al fine di individuare la tecnologia del solaio di piano e la geometria dei principali componenti strutturali.

Le indagini mediante saggi distruttivi dovranno essere elaborate con l'obiettivo di fornire i seguenti risultati e documenti minimi:

- ✓ Informazioni generali di esecuzione delle indagini;
- ✓ Rappresentazione grafica di localizzazione delle indagini eseguite;
- ✓ Restituzione fotografica delle indagini condotte con evidenza delle situazioni più critiche e rappresentative rilevate, nonché delle condizioni pre e post esecuzione della prova attestanti l'avvenuto ripristino delle prime;
- ✓ Identificazione della tipologia di muratura portante tra quelle proposte dalla Circolare esplicativa del 11/02/2019 nella tabella C8.5.I (nel caso specifico di saggi su murature portanti);
- ✓ Determinazione dell'indice di qualità muraria IQM.

Tenendo conto della tecnologia costruttiva e della composizione plano-volumetrica dell'edificio oggetto di intervento, si riportano nel seguito il numero di saggi distruttivi previsti.

Tabella 6.2: Saggi distruttivi previsti

| SAGGI DISTRUTTIVI | | |
|------------------------------|-----------------|----------|
| N° indagini | Unità di Misura | Quantità |
| 6 saggi su muratura portante | N° prove | 6 |

6.3 INDAGINI PACOMETRICHE

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

L'esecuzione delle indagini pacometriche necessita di un apposito strumento dotato di una sonda emettitrice di campo magnetico collegata ad un'unità di acquisizione ed elaborazione digitale che consente, tramite apposito display, il rilievo della posizione delle armature mediante il passaggio del dispositivo sulla superficie degli elementi in calcestruzzo armato.

Ripetendo l'operazione su ogni faccia accessibile degli elementi in calcestruzzo armato e su più sezioni del medesimo elemento, e disegnando sulla superficie dello stesso una retta che passi per i punti individuati, sarà possibile tracciare il reticolo delle armature presenti in vicinanza della superficie indagata. In funzione del tipo di strumento utilizzato, una volta definito lo spessore del copriferro, è anche possibile determinare il diametro delle barre di armatura. Ovviamente tale dato necessita di essere confermato attraverso saggi sul calcestruzzo atti ad accertare il reale valore del copriferro.

La prova pacometrica deve essere preliminare a qualsiasi altro tipo di indagine, distruttiva e non, condotta su elementi in cemento armato. La sua esecuzione consente infatti di individuare le zone dell'elemento prive di armatura nelle quali eseguire il prelievo di carote finalizzate alla conoscenza delle caratteristiche del calcestruzzo o di qualsiasi altra indagine di tipo distruttivo o non distruttivo prescritta su elementi in cemento armato.

L'utilizzo del pacometro, come strumento di prova non distruttivo, è regolato dai seguenti riferimenti normativi:

- ✓ BS 1881:204 - Testing concrete. Recommendations on the use of electromagnetic covermeters.

Le indagini pacometriche dovranno essere elaborate con l'obiettivo di fornire i seguenti risultati e documenti minimi:

- ✓ Informazioni generali di esecuzione delle indagini;
- ✓ Rappresentazione grafica di localizzazione delle indagini eseguite;
- ✓ Rappresentazione grafica indicante la posizione dei ferri di armatura longitudinale e trasversale, il relativo diametro, interfero e copriferro per tutti gli elementi strutturali indagati;
- ✓ Restituzione fotografica delle condizioni pre e post esecuzione della prova attestanti l'avvenuto ripristino delle prime.

Tenendo conto della tecnologia costruttiva e della composizione plano-volumetrica delle strutture oggetto di intervento, si riportano nel seguito il numero di indagini pacometriche previste.

Tabella 6.3: Indagini Pacometriche previste

| INDAGINI PACOMETRICHE | | | |
|---|--|-----------------|----------|
| N° indagini | Note | Unità di Misura | Quantità |
| 20 indagini su travi e pilastri in c.a. in opera e c.a.p. | Area ispezione per singola prova 0.5 m x 0.5 m | N° prove | 20 |
| 10 saggi di verifica armature | Eseguiti insieme a parte delle indagini pacometriche | N° prove | 10 |

Le indagini pacometriche saranno parzialmente integrate da saggi visivi, condotti mediante locale rimozione di intonaco e copriferro e volti alla verifica a campione dei diametri delle armature rilevate.

6.4 RILIEVO GEOMETRICO DI ELEMENTI IN C.A.P.

Nella caratterizzazione delle strutture prefabbricate in c.a.p. assume particolare rilevanza la definizione geometrica della tipologia e configurazione geometrica dei principali elementi strutturali. Tali rilievi dovranno essere condotti mediante ispezione diretta delle strutture in opera e avendo cura di identificare con completezza la geometria della sezione trasversale delle travi in c.a.p., la luce dell'elemento indagato e l'interasse rispetto agli analoghi elementi immediatamente consecutivi. Le attività di rilievo dovranno essere integrate dal rilievo delle armature eseguito mediante impiego di pacometro.

I rilievi mediante ispezione diretta degli elementi strutturali in c.a.p. dovranno essere condotti ed elaborati con l'obiettivo di fornire i seguenti risultati e documenti minimi:

- ✓ Informazioni generali di esecuzione dei rilievi;
- ✓ Rappresentazione grafica di localizzazione dei rilievi eseguiti;
- ✓ Rappresentazione grafica delle configurazioni geometriche rilevate per i singoli componenti strutturali, sezione trasversale, armatura rilevata, luce del singolo elemento e interasse rispetto agli analoghi elementi immediatamente consecutivi.

Tenendo conto della tecnologia costruttiva e della composizione plano-volumetrica delle strutture oggetto di intervento, si riportano nel seguito il numero di rilievi degli elementi strutturali in c.a.p. previsti.

Tabella 6.4: Rilievi di elementi strutturali in c.a.p. previsti

| RILIEVI DI ELEMENTI STRUTTURALI IN C.A.P. | | | |
|--|------|-----------------|----------|
| N° indagini | Note | Unità di Misura | Quantità |
| 2 rilievi mediante ispezione visiva di travi in c.a.p. | - | N° prove | 2 |

6.5 RILIEVO GEOMETRICO DI ELEMENTI DI CARPENTERIA IN ACCIAIO

La caratterizzazione strutturale delle strutture in acciaio necessita di un'approfondita valutazione delle tipologie e geometrie degli elementi di carpenteria metallica principali e secondari. Tali rilievi dovranno essere condotti mediante ispezione diretta delle strutture in opera e avendo cura di restituire con completezza la configurazione geometrica di tutte le orditure aventi funzione strutturale.

I rilievi mediante ispezione diretta degli elementi strutturali in acciaio saranno localizzati in corrispondenza delle strutture di copertura in acciaio e dovranno essere condotti ed elaborati con l'obiettivo di fornire i seguenti risultati e documenti minimi:

- ✓ Informazioni generali di esecuzione dei rilievi;
- ✓ Rappresentazione grafica di localizzazione dei rilievi eseguiti;
- ✓ Rappresentazione grafica delle configurazioni geometriche rilevate per i singoli componenti strutturali, sezione trasversale, luce dell'elemento e interasse rispetto agli analoghi elementi immediatamente consecutivi;
- ✓ Rappresentazione grafica delle configurazioni geometriche di tutte le orditure in acciaio presenti.

Tenendo conto della tecnologia costruttiva e della composizione plano-volumetrica delle strutture oggetto di intervento, si riportano nel seguito il numero di rilievi degli elementi strutturali in acciaio previsti.

Tabella 6.5: Rilievi di elementi strutturali in acciaio previsti

| RILIEVI DI ELEMENTI STRUTTURALI IN ACCIAIO | | | |
|--|------|-----------------|----------|
| N° indagini | Note | Unità di Misura | Quantità |
| 2 rilievi mediante ispezione visiva di strutture di copertura in acciaio | - | N° prove | 2 |

6.6 SONDAGGI GEOGNOSTICI SU STRUTTURE DI FONDAZIONE

Con l'obiettivo di determinare la configurazione geometrica delle strutture di fondazione, sono previsti saggi in fondazione che comporteranno l'esecuzione di scavi di profondità contenuta fino al raggiungimento delle medesime strutture di fondazione. La messa in luce delle strutture di fondazione consentirà il rilievo diretto delle medesime oltre all'identificazione della tipologia strutturale e tecnologia costruttiva.

Le indagini mediante saggi sulle strutture di fondazione dovranno essere elaborate con l'obiettivo di fornire i seguenti risultati e documenti minimi:

- ✓ Informazioni generali di esecuzione delle indagini;
- ✓ Rappresentazione grafica di localizzazione delle indagini eseguite;
- ✓ Restituzione fotografica delle indagini condotte con evidenza delle situazioni più critiche e rappresentative rilevate, nonché delle condizioni pre e post esecuzione della prova attestanti l'avvenuto ripristino delle prime;
- ✓ Rappresentazione grafica delle sezioni strutturali rilevate per le strutture di fondazione.

Tenendo conto della tecnologia costruttiva e della composizione plano-volumetrica delle strutture oggetto di intervento, si riportano nel seguito il numero di saggi distruttivi previsti.

Tabella 6.6: Saggi geognostici previsti

| INDAGINI PACOMETRICHE | | | |
|---|---|-----------------|----------|
| N° indagini | Note | Unità di Misura | Quantità |
| 1 saggio mediante scavo e rilievo delle strutture di fondazione | Lo scavo dovrà essere condotto fino ad individuare il piano di posa delle fondazioni e per una larghezza tale da consentire il rilievo della geometria della fondazione | N° prove | 1 |

7 INDAGINI DI CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DELLE STRUTTURE ESISTENTI

La caratterizzazione meccanica dei materiali componenti i principali elementi strutturali si avvarrà dei risultati forniti da indagini di tipo distruttivo e non distruttivo. Il numero, tipologia e localizzazione delle indagini distruttive è stato stabilito in modo da arrecare il minimo disturbo possibile al sistema strutturale. I risultati delle indagini distruttive saranno elaborati in combinazione con quelli di un sufficiente numero di indagini non distruttive. Queste ultime sono state tarate in modo da limitare l'incidenza delle indagini distruttive e da comportare il minor disturbo possibile alle strutture, garantendo al contempo la rappresentatività dei risultati ottenuti e il conseguimento del livello di conoscenza prestabilito.

Nel seguito sono riportate le specifiche indagini previste per caratterizzazione meccanica dei principali componenti strutturali.

7.1 INDAGINI SU ELEMENTI STRUTTURALI IN MURATURA PORTANTE

Tenendo conto del livello di conoscenza predefinito, la caratterizzazione meccanica delle strutture portanti in muratura si baserà sull'identificazione della tecnologia costruttiva e della tessitura muraria che consentirà di ricondurre la muratura presente in sito ad una delle categorie meccaniche identificate dalle NTC18 e relativa circolare esplicativa (Tabella C8.5.1). L'identificazione delle tipologie murarie verrà condotta attraverso le indagini descritte al capitolo 6 e integrate da limitate indagini di caratterizzazione meccanica dei singoli componenti descritte nel seguito.

7.1.1 Analisi di caratterizzazione meccanica della malta

Le prove di caratterizzazione delle malte sono principalmente finalizzate a definire le caratteristiche compositive e tessiturali degli impasti identificando i costituenti mineralogici del legante e dell'aggregato, con anche un'indicazione della granulometria dell'aggregato e della porosità totale nei limiti imposti dal tipo di analisi eseguite, e a valutare qualitativamente lo stato di consistenza e conservazione delle malte. Accanto alle prove chimico-fisiche di caratterizzazione delle malte sono previste prove di caratterizzazione della resistenza meccanica che potranno essere condotte mediante penetrometro o sonda Windsor; la prova consiste nel far penetrare un ago di acciaio o una punta conica all'interno dei ricorsi di malta e misurare la resistenza opposta alla penetrazione da parte della malta.

L'utilizzo del penetrometro o della sonda Windsor, come strumento di prova non distruttivo, è regolato dai seguenti riferimenti normativi:

- ✓ ASTM C 803 – Standard test method for penetration resistance of hardened concrete.

Le indagini di caratterizzazione meccanica delle malte dovranno essere elaborate con l'obiettivo di fornire i seguenti risultati e documenti minimi:

- ✓ Informazioni generali di esecuzione delle indagini;
- ✓ Rappresentazione grafica di localizzazione dei prelievi eseguiti;
- ✓ Rapporto interpretativo dei dati sperimentali derivanti dalle prove con specifica indicazione dei parametri di caratterizzazione meccanica (identificazione della classe di resistenza della malta) e chimico-fisica delle malte ispezionate;
- ✓ Restituzione fotografica delle indagini condotte con evidenza delle condizioni pre e post esecuzione della prova attestanti l'avvenuto ripristino delle prime.

Tenendo conto della tecnologia costruttiva e della composizione plano-volumetrica delle strutture oggetto di intervento, si riportano nel seguito il numero minimo di indagini di caratterizzazione meccanica delle malte previste.

Tabella 7.1: Prove meccaniche su campioni di malta previste

| PROVE MECCANICHE SU MALTA | | |
|--|-----------------|----------|
| N° indagini | Unità di Misura | Quantità |
| 6 prove di caratterizzazione meccanica su ricorsi di malta | N° prove | 6 |

7.2 INDAGINI SU ELEMENTI STRUTTURALI IN C.A.

7.2.1 Prove Distruttive su Calcestruzzo – Prelievo di Carote

Il prelievo di provini cilindrici mediante appositi carotatori ha l'obiettivo di determinare lo stato di conservazione del calcestruzzo e la resistenza meccanica che lo caratterizza. A tale scopo i provini prelevati dai principali elementi strutturali sono successivamente sottoposti a prove di rottura per compressione finalizzate alla determinazione delle caratteristiche di resistenza del calcestruzzo.

Le operazioni di prelievo di provini cilindrici dovranno essere condotte in accordo alle prescrizioni fornite dalla norma UNI EN 12504-1. Preventivamente all'esecuzione del prelievo si dovrà procedere all'individuazione del reticolo di armature mediante indagine pacometrica, il prelievo sarà effettuato nei campi privi di armature.

Il prelievo dovrà essere eseguito in maniera continua in modo da garantire l'ottenimento di spezzoni di carote aventi rapporto lunghezza / diametro superiore a 2.5. Sia la fase di estrazione del campione, sia quella di manipolazione e preparazione per la prova di rottura a compressione dovranno essere gestite in modo da minimizzare il disturbo arrecato al campione, onde evitarne un eccessivo danneggiamento che, riducendone la capacità resistente, renda la carota non rappresentativa del calcestruzzo da cui è stata prelevata. Nel corso delle operazioni di prelievo delle carote verrà misurata anche la profondità di carbonatazione del calcestruzzo, così da valutare il potenziale grado di protezione alla corrosione delle barre di armatura.

Le carote prelevate in sito dovranno essere sottoposte, previa rettifica delle facce, a prove di rottura per compressione al fine di determinare i corrispondenti valori di resistenza a compressione cilindrica. Le prove di laboratorio dovranno essere condotte in accordo alle prescrizioni fornite dalle norme UNI EN 12390.

Successivamente al prelievo, si procederà al ripristino delle originarie condizioni di integrità e continuità degli elementi strutturali mediante colaggio di malte fluide a ritiro compensato fino a completa chiusura del volume di carota estratta. Dovrà altresì essere garantito il ripristino di condizioni di finitura superficiali equivalenti a quelle caratterizzanti l'intero elemento strutturale su cui è stato effettuato il prelievo.

L'esecuzione delle indagini distruttive su elementi in calcestruzzo, mediante prelievo di carote da sottoporre a prove di resistenza a compressione, e l'elaborazione dei relativi dati dovrà essere condotta nel rispetto delle prescrizioni fornite dai seguenti riferimenti normativi:

- ✓ UNI EN 12504-1:2021: Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 1: Carote - Prelievo, esame e prova di compressione;
- ✓ UNI EN 12390 parti da 1 a 4: Prove sul calcestruzzo indurito.

I prelievi di carote di calcestruzzo e le successive prove di rottura per compressione dovranno essere elaborati con l'obiettivo di fornire i seguenti risultati e documenti minimi:

- ✓ Informazioni generali di esecuzione delle indagini;
- ✓ Rappresentazione grafica di localizzazione dei prelievi eseguiti;
- ✓ Restituzione fotografica delle indagini condotte con evidenza delle condizioni pre e post esecuzione della prova attestanti l'avvenuto ripristino delle prime;
- ✓ Rapporto interpretativo dei dati sperimentali derivanti dalle prove di rottura a compressione dei provini con specifica indicazione dei valori medi della resistenza a compressione dedotta per ciascun provino esaminato.

Tenendo conto della tecnologia costruttiva e della composizione plano-volumetrica dell'edificio oggetto di intervento, si riportano nel seguito il numero minimo di prove distruttive su provini di calcestruzzo previste.

Tabella 7.2: Indagini Pacometriche previste

| PROVE DISTRUTTIVE SU CLS | | |
|---|-----------------|----------|
| N° indagini | Unità di Misura | Quantità |
| 10 carotaggi su travi e pilastri con relative prove di rottura a compressione | N° prove | 10 |

7.2.2 Determinazione della profondità di carbonatazione su carote di Calcestruzzo

La prova ha lo scopo di determinare la profondità di carbonatazione dello strato superficiale del calcestruzzo e conseguentemente stabilire le effettive condizioni di qualità e durabilità del calcestruzzo in opera. Il calcestruzzo possiede un valore di pH di circa 12.5, fatto che gli conferisce un carattere fortemente alcalino. Questa forte

alcalinità costituisce una protezione naturale dell'armatura contro la corrosione. Il calcestruzzo carbonatato è fortemente permeabile e riduce la capacità protettiva; fornisce inoltre una durezza superiore che tende ad ingannare i metodi di determinazione della resistenza a compressione stimati con sclerometro, ultrasuoni e pull-out. L'armatura, nel caso di copriferro completamente carbonatato, si trova a contatto con acqua praticamente pura, caratterizzata da un valore di pH ben al di sotto di 11.5, minimo valore necessario per assicurare, in assenza di cloruri, le condizioni di passività. La reazione di carbonatazione inizia alla superficie esterna del calcestruzzo per interessare progressivamente le regioni più interne.

La misura della profondità di carbonatazione avviene osservando il viraggio della fenoftaleina, che, in ambiente basico, ovvero in assenza di carbonatazione, si colora di rosso – violetto. Pertanto, spruzzando sulla superficie cilindrica del campione prelevato da strutture esistenti, immediatamente dopo l'estrazione, una soluzione di fenoftaleina 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.

La prova di determinazione della profondità di carbonatazione deve essere effettuata subito dopo la rimozione del provino di calcestruzzo in quanto, con il passare del tempo, lo strato superficiale del conglomerato tende a carbonatarsi a seguito del contatto con la CO₂ presente nell'aria.

L'esecuzione delle prove di determinazione della carbonatazione e l'elaborazione dei relativi dati dovrà essere condotta nel rispetto delle prescrizioni fornite dai seguenti riferimenti normativi:

- ✓ UNI EN 14630:2007: Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della profondità di carbonatazione di un calcestruzzo indurito con il metodo della fenoftaleina.

Le prove di determinazione della profondità di carbonatazione dovranno essere elaborate con l'obiettivo di fornire i seguenti risultati e documenti minimi:

- ✓ Informazioni generali di esecuzione delle indagini;
- ✓ Rappresentazione grafica di localizzazione dei prelievi eseguiti;
- ✓ Restituzione fotografica delle indagini condotte con evidenza delle condizioni pre e post esecuzione della prova attestanti l'avvenuto ripristino delle prime;
- ✓ Spessore dei provini soggetto a carbonatazione.

Tenendo conto della tecnologia costruttiva e della composizione plano-volumetrica delle strutture oggetto di intervento, si riportano nel seguito il numero minimo di prove di determinazione della profondità di carbonatazione previste.

Tabella 7.3: Determinazione della profondità di carbonatazione previste

| DETERMINAZIONE PROFONDITA' CARBONATAZIONE SU PROVINI CLS | | |
|--|-----------------|----------|
| N° indagini | Unità di Misura | Quantità |
| 10 prove su carote prelevate da travi o pilastri in c.a. | N° prove | 10 |

7.2.3 Prove Distruttive su Calcestruzzo – Prove di Pull-out

La caratterizzazione meccanica degli elementi strutturali in c.a.p. sarà condotta mediante prove di pull out. Si tratta di prove meno invasive rispetto a quelle di compressione su provini cilindrici estratti dagli elementi in opera e più adatte a caratterizzare elementi, come le travi in c.a.p., le cui dimensioni e diffusione delle armature rende più delicata l'estrazione di carote da sottoporre a prove di compressione.

L'indagine pull-out è una prova semi-distruttiva che arreca un danno limitato all'elemento di calcestruzzo e necessita di spazi molto limitati (diametro 55 mm, profondità 25mm) per la determinazione della forza di estrazione di un inserto metallico pre-inglobato o post inserito nell'elemento in calcestruzzo da sottoporre a prova. La prova si basa sulla corrispondenza esistente tra il carico unitario di rottura a compressione del calcestruzzo e la forza necessaria ad estrarre un inserto metallico standardizzato, può essere pertanto utilizzata per la stima dello stato di resistenza raggiunto da singoli componenti strutturali.

Nel caso di impiego di inserti post-inseriti nel calcestruzzo, la prova si svolge secondo le seguenti modalità:

- ✓ individuazione di una zona di misura idonea, ovvero di una zona non coincidente con aggregati affioranti e sufficientemente distante dalle barre di armatura, dagli altri punti di misura e dagli spigoli dell'elemento;

- ✓ esecuzione di almeno 3 estrazioni per ogni area di misura eseguite secondo la seguente procedura:
 - esecuzione del foro ortogonalmente alla superficie del calcestruzzo;
 - evacuazione della polvere dal foro, inserimento del tassello per tutta la sua lunghezza e sua forzatura per espansione contro le pareti del foro;
 - posizionamento del martinetto sul calcestruzzo ed inserimento del tirante nel foro del martinetto avvitandolo con forza nel tassello;
 - centratura del martinetto rispetto al tassello ed esecuzione della prova di estrazione;
 - incremento della pressione (o del carico) nel martinetto in modo graduale e costante (circa 0.5 ± 0.2 kN/s);
 - rilievo della forza F di estrazione, in kN e registrazione del risultato.

L'esecuzione delle prove di pull out su elementi in calcestruzzo armato e l'elaborazione dei relativi dati dovrà essere condotta nel rispetto delle prescrizioni fornite dai seguenti riferimenti normativi:

- ✓ UNI EN 12504-3:2005: Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 3: Determinazione della forza di estrazione.

Tenendo conto della tecnologia costruttiva e della composizione plano-volumetrica delle strutture oggetto di intervento, si riportano nel seguito il numero minimo di prove pull-out su elementi in c.a. previste.

Tabella 7.4: Prove distruttive di pull out previste

| PROVE DISTRUTTIVE SU CLS – PROVE DI PULL OUT | | |
|--|-----------------|----------|
| N° indagini | Unità di Misura | Quantità |
| 5 prove di pull out su travi in c.a.p. | N° prove | 5 |

7.2.4 Prove non distruttive su Calcestruzzo – Indagini Sonreb

Il metodo d'indagine combinato o SonReb è una tecnica indiretta che consente di dare una stima della resistenza di un calcestruzzo indurito, correlando i risultati forniti da indagini di tipo non distruttivo quali le indagini ultrasoniche e sclerometriche. Il SonReb consente di superare gli errori che si ottengono utilizzando separatamente il metodo sclerometrico, che è un metodo di indagine superficiale, e il metodo ultrasonico, che invece è un metodo di indagine volumetrico. Il valore di resistenza del calcestruzzo viene dedotto da apposite relazioni di combinazione dell'indice sclerometrico e della velocità di transizione degli ultrasuoni. L'affidabilità dei risultati viene ulteriormente incrementata mediante taratura dei risultati con indagini di tipo distruttivo.

Le indagini sclerometriche si basano sulla misura del rimbalzo di un cilindro metallico che colpisce la superficie del calcestruzzo con una forza costante prodotta da una molla. Gli sclerometri utilizzati su elementi con dimensione maggiore di 120 mm di spessore devono avere una massa battente e molla di spinta che produca una energia di impatto di 2.207 Nm e sono classificati come sclerometri di tipo "N". Gli sclerometri utilizzati su elementi con dimensione inferiore di 120 mm di spessore devono avere una massa battente e molla di spinta che produca una energia di impatto di 0.705 Nm e sono classificati come sclerometri di tipo "L". Il parametro non distruttivo delle indagini sclerometriche è rappresentato dall'indice di rimbalzo. L'indice di rimbalzo o sclerometrico (IRm) viene convertito in resistenza cubica a compressione attraverso le curve di correlazione relative alla direzione d'uso dello sclerometro. Per l'esecuzione della prova devono essere prodotte non meno di 9 misure per singolo punto di analisi, le singole misure saranno poste a distanza relativa e dai bordi non inferiore a 25 mm.

Le onde ultrasoniche sono oscillazioni meccaniche la cui frequenza è al di sopra del campo delle frequenze udibili dall'orecchio umano. La velocità di propagazione delle onde in un materiale omogeneo dipende dalla sua densità e dalle sue caratteristiche elastiche (modulo elastico, coefficiente di Poisson). La prova ultrasonica si basa sulla determinazione della velocità di propagazione degli impulsi delle onde ultrasoniche nel calcestruzzo indurito il cui valore, in prima approssimazione, è correlato a quello del modulo di Young del materiale che a sua volta è correlato alla resistenza meccanica del conglomerato.

Le indagini ultrasoniche si eseguono su superfici prive di intonaco o altro materiale e prive di armatura, è pertanto necessario procedere all'esecuzione di un'indagine pacometrica sulle superfici degli elementi da indagare preliminarmente all'esecuzione sia delle prove ultrasoniche che di quelle sclerometriche.

L'affidabilità dei risultati forniti dalle indagini non distruttive viene incrementata dalla ripetizione delle misure nonché dalla sovrapposizione di misure di tipo ultrasonico e sclerometrico sui medesimi elementi.

L'esecuzione delle prove sclerometriche e l'elaborazione dei relativi dati dovrà essere condotta nel rispetto delle prescrizioni fornite dai seguenti riferimenti normativi:

- ✓ UNI EN 12504-2:2021: Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 2: Prove non distruttive - Determinazione dell'indice sclerometrico.

L'esecuzione delle prove ultrasoniche e l'elaborazione dei relativi dati dovrà essere condotta nel rispetto delle prescrizioni fornite dai seguenti riferimenti normativi:

- ✓ UNI EN 12504-4:2021: Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 4: Determinazione della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici.

Le indagini non distruttive su elementi in c.a. dovranno essere elaborate con l'obiettivo di fornire i seguenti risultati e documenti minimi:

- ✓ Informazioni generali di esecuzione delle indagini;
- ✓ Rappresentazione grafica di localizzazione delle indagini eseguite;
- ✓ Restituzione fotografica delle indagini condotte con evidenza delle condizioni pre e post esecuzione della prova attestanti l'avvenuto ripristino delle prime;
- ✓ Dati sperimentali dedotti dalle indagini e relativa conversione in valori di resistenza media del calcestruzzo.

In funzione dei criteri forniti dalle NTC18 e dalla relativa Circolare attuativa, si è proceduto alla determinazione del numero minimo di prove Sonreb previste per le strutture oggetto di studio, tale valore è riportato nella tabella seguente.

Tabella 7.5: Prove non distruttive su elementi in c.a. previste

| INDAGINI SONREB SU ELEMENTI IN C.A. | | |
|--|-----------------|----------|
| N° indagini | Unità di Misura | Quantità |
| 30 prove sonreb su pilastri e travi in c.a. e c.a.p. | N° prove | 30 |

7.2.5 Prove Distruttive su Acciaio – Prelievo di ferri di armatura

Il prelievo di spezzoni di armatura metallica da elementi strutturali in c.a. ha l'obiettivo di determinare lo stato di conservazione dell'armatura metallica e la resistenza meccanica che la caratterizza. A tale scopo i provini prelevati dai principali elementi strutturali sono successivamente sottoposti a prove di rottura per trazione finalizzate alla determinazione delle caratteristiche di resistenza meccanica dell'acciaio.

Considerata la delicatezza dell'operazione di estrazione di barre di armatura, i prelievi devono avvenire nella massima cautela possibile individuando elementi strutturali poco sollecitati e operando sulle parti meno critiche dei medesimi elementi, avendo comunque cura di creare meno disturbo possibile al manufatto e ai suoi elementi costitutivi. L'estrazione dei provini di armatura deve produrre il prelievo di barre di lunghezza almeno pari a 45 cm che saranno successivamente sottoposte a prove di laboratorio di tipo chimico e meccanico finalizzate alla determinazione della resistenza a snervamento e rottura dell'acciaio.

Particolare cura sarà posta nel ripristino della capacità resistente originaria dell'elemento strutturale, verificando la saldabilità delle barre in opera 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.

L'esecuzione delle indagini distruttive su barre di armatura, mediante prelievo di campioni da sottoporre a prove di resistenza a trazione, e l'elaborazione dei relativi dati dovrà essere condotta nel rispetto delle prescrizioni fornite dai seguenti riferimenti normativi:

- ✓ UNI EN ISO 15630-1:2019: Acciaio per calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso - Metodi di prova - Parte 1: Barre, rotoli e fili per calcestruzzo armato;
- ✓ UNI EN ISO 6892-1:2016: Materiali metallici - Prova di trazione - Parte 1: Metodo di prova a temperatura ambiente;
- ✓ UNI EN ISO 7438:2016: Materiali metallici - Prova di piega.

I prelievi di spezzoni di armature e le successive prove di rottura per trazione dovranno essere elaborati con l'obiettivo di fornire i seguenti risultati e documenti minimi:

- ✓ Informazioni generali di esecuzione delle indagini;

- ✓ Rappresentazione grafica di localizzazione dei prelievi eseguiti;
- ✓ Restituzione fotografica delle indagini condotte con evidenza delle condizioni pre e post esecuzione della prova attestanti l'avvenuto ripristino delle prime;
- ✓ Rapporto interpretativo dei dati sperimentali derivanti dalle prove di rottura a trazione dei provini con specifica indicazione dei valori medi della resistenza a snervamento e a rottura dell'acciaio dedotta per ciascun provino esaminato.

Tenendo conto della tecnologia costruttiva e della composizione plano-volumetrica delle strutture oggetto di intervento, si riportano nel seguito il numero minimo di prelievi di barre di armatura e relative prove di rottura a trazione previsti.

Tabella 7.6: Prove distruttive su provini di armatura previste

| PROVE DISTRUTTIVE SU PROVINI DI ACCIAIO | | |
|--|-----------------|----------|
| N° indagini | Unità di Misura | Quantità |
| 3 prove distruttive su provini di armatura da pilastri e travi in c.a. | N° prove | 3 |

7.2.6 Prove Distruttive su Acciaio – Prelievo di elementi in acciaio da carpenteria

Il prelievo di spezzoni di profilato metallico da elementi in acciaio da carpenteria ha l'obiettivo di determinare lo stato di conservazione dell'armatura metallica e la resistenza meccanica che la caratterizza. A tale scopo gli spezzoni prelevati dai principali elementi strutturali sono successivamente sottoposti a prove di rottura per trazione finalizzate alla determinazione delle caratteristiche di resistenza meccanica dell'acciaio.

Considerata la delicatezza dell'operazione di estrazione di spezzoni di profilato metallico, i prelievi devono avvenire nella massima cautela possibile individuando elementi strutturali e posizioni lungo l'elemento poco sollecitati e operando sulle parti meno critiche dei medesimi elementi, avendo comunque cura di creare meno disturbo possibile al manufatto e ai suoi elementi costitutivi.

Gli spezzoni di profilato metallico prelevati in situ saranno successivamente sottoposti a prove di laboratorio di tipo chimico e meccanico finalizzate alla determinazione della resistenza a snervamento e rottura dell'acciaio, nonché della percentuale di allungamento a rottura.

L'esecuzione delle indagini distruttive su spezzoni di profilato metallico, mediante prelievo di campioni da sottoporre a prove di resistenza a trazione, e l'elaborazione dei relativi dati dovrà essere condotta nel rispetto delle prescrizioni fornite dai seguenti riferimenti normativi:

- ✓ UNI EN ISO 10002-1:20004: Materiali metallici - Prova di trazione - Parte 1: Metodo di prova a temperatura ambiente;

I prelievi di spezzoni di profilato metallico e le successive prove di rottura per trazione dovranno essere elaborati con l'obiettivo di fornire i seguenti risultati e documenti minimi:

- ✓ Informazioni generali di esecuzione delle indagini;
- ✓ Rappresentazione grafica di localizzazione dei prelievi eseguiti;
- ✓ Restituzione fotografica delle indagini condotte con evidenza delle condizioni pre e post esecuzione della prova attestanti l'avvenuto ripristino delle prime;
- ✓ Rapporto interpretativo dei dati sperimentali derivanti dalle prove di rottura a trazione dei provini con specifica indicazione dei valori medi della resistenza a snervamento e a rottura e della percentuale di allungamento a rottura dell'acciaio dedotta per ciascun provino esaminato.

Tenendo conto della tecnologia costruttiva e della composizione plano-volumetrica delle strutture oggetto di intervento, si riportano nel seguito il numero minimo di prelievi di barre di armatura e relative prove di rottura a trazione previsti.

Tabella 7.7: Prove distruttive su spezzoni di profilato metallico previste

| PROVE DISTRUTTIVE SU PROVINI DI ACCIAIO | | |
|--|-----------------|----------|
| N° indagini | Unità di Misura | Quantità |
| 2 prove distruttive su spezzoni di profilato metallico da elementi di carpenteria in acciaio | N° prove | 2 |

7.2.7 Prove non Distruttive su Acciaio – Prova di durezza su armature ed elementi in acciaio da carpenteria

L'indagine ha lo scopo di ottenere una stima della resistenza meccanica a trazione dell'acciaio eseguendo la misura della durezza superficiale mediante l'utilizzo di un durometro portatile. La durezza di un materiale è generalmente definita come resistenza che esso oppone alla penetrazione di un altro corpo (di durezza maggiore e di definita geometria) al quale è applicato lentamente un determinato carico nella direzione perpendicolare alla superficie da esaminare. La misurazione della durezza può avvenire tramite misura dell'impronta lasciata dal corpo che colpisce l'oggetto rilevato (testi di durezza Brinell o Vickers) oppure mediante misura dell'abbassamento del corpo che indenta la superficie oggetto di test (test Rockwell).

Nella prova di durezza Brinell, definita dalla norma UNI EN 6506-1, il parametro meccanico è proporzionale al rapporto tra il carico di prova diviso l'area della superficie curva originata nell'impronta. La prova si esegue mediante un penetratore costituito da una sfera di acciaio indurito (utilizzata per materiali aventi durezza < 350) oppure di carburo di tungsteno (materiali con durezza fino a 650) che ha diametro 1, 2, 2.5, 5 o 10 mm, anche se è consigliabile impiegare sempre la sfera di diametro 10 mm, mentre i diametri inferiori sono utilizzati laddove lo spessore del provino sia inferiore a 6 mm. Il carico, che può variare tra 5000 e 30000 N, viene scelto in base a considerazioni relative al materiale ed al diametro del penetratore. Il provino deve essere opportunamente preparato in modo che la superficie sulla quale si effettua la prova sia pulita ed esente da contaminanti. La misurazione dell'impronta avviene mediante un sistema ottico che visualizza la superficie su uno schermo con ingrandimento 20 o 70X. Il carico è applicato secondo una rampa iniziale che si esegue in un tempo variabile tra 2 e 8 s, e resta costante al valore massimo per un periodo compreso tra 10 e 15 s. Trascorso tale tempo si rimuove il carico e si visualizza la superficie sulla quale è impressa l'impronta, che sullo schermo apparirà come una circonferenza.

La prova di durezza Vickers, definita dalla norma UNI EN 6507, si esegue applicando sul provino un carico mediante un opportuno penetratore a forma piramidale e misurando la superficie di impronta. Anche nel caso della prova di durezza Vickers il parametro meccanico è proporzionale al rapporto tra il carico di prova e la superficie dell'impronta. Il penetratore ha forma piramidale retta a base quadrata ed è realizzato in diamante. Il metodo Vickers estende e perfeziona la prova Brinell in quanto ha un campo di applicazione illimitato sia per la durezza che per lo spessore del pezzo da provare senza la necessità di cambiare il penetratore, con la sola modifica del carico di prova. La prova deve essere eseguita su una superficie liscia, libera da ossidazione ed esente da alterazioni dovute, ad esempio, a riscaldamento o incrudimento. I carichi applicati possono variare da 1.9 a 980.7 N e il penetratore viene premuto sul materiale con un carico F gradualmente crescente, in un tempo variabile tra 2 e 10 s e mantenuto per 10-15 s. Una volta rimosso il carico, si visualizza su un apposito schermo l'impronta (che ha forma quadrata) e si misurano le lunghezze delle due diagonali, la cui media aritmetica viene impiegata per il calcolo della superficie dell'impronta.

Le prove di durezza Rockwell, definite dalla norma UNI EN 6508-1, sono completamente diverse da quelle Brinell e Vickers, infatti in questo caso si sottopone il materiale ad un carico in due tempi mediante un penetratore sferico o conico. La prova consiste nel misurare l'aumento residuo della profondità dell'impronta sotto il carico iniziale e dopo la rimozione del carico aggiuntivo. In questo modo si tiene conto del ritorno elastico del materiale. La lettura della profondità dell'impronta viene eseguita direttamente sulla macchina mediante uno strumento analogico o digitale.

Le prove di caratterizzazione della resistenza meccanica a trazione dell'acciaio mediante indagine durometrica dovranno essere eseguita sia su elementi di carpenteria metallica che su armature metalliche in opera in elementi in c.a. In entrambi i casi le superfici metalliche dovranno essere messe a nudo e rese lisce per evitare di alterare il risultato della prova durometrica

Le indagini di caratterizzazione meccanica degli elementi in acciaio con funzione portante e barre di armature metalliche dovranno essere elaborate con l'obiettivo di fornire i seguenti risultati e documenti minimi:

- ✓ Informazioni generali di esecuzione delle indagini;

- ✓ Rappresentazione grafica di localizzazione delle indagini eseguite;
- ✓ Rapporto interpretativo dei dati sperimentali derivanti dalle prove con specifica indicazione dei parametri di caratterizzazione meccanica degli acciai rilevati.

Tenendo conto della tecnologia costruttiva e della composizione plano-volumetrica delle strutture oggetto di intervento, si riportano nel seguito il numero di indagini di caratterizzazione meccanica degli elementi in acciaio previste per ciascuno di essi.

Tabella 7.8: Prove non distruttive su elementi di carpenteria in acciaio e armature metalliche

| PROVE DISTRUTTIVE SU PROVINI DI ACCIAIO | | | |
|--|--|-----------------|----------|
| N° indagini | Note | Unità di Misura | Quantità |
| 3 prove durometriche su elementi di carpenteria in acciaio | - | N° prove | 2 |
| 10 prove durometriche su armature metalliche | Le prove saranno associate ai saggi di verifica e ispezione visiva di armature metalliche previste al cap. 6.3 | | 10 |

Le prove durometriche su barri di armatura metalliche sono associate ai saggi visivi di ispezione delle stesse e finalizzate a darne una caratterizzazione meccanica non distruttiva.

8 INDAGINI GEOTECNICHE

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

- ✓ Tecnico-Normativi, riferiti alle normative attualmente in vigore;
- ✓ Conoscitivi: associati alle informazioni ad oggi disponibili sull'area, basate principalmente alla cartografia geologica reperibile presso il sito della regione Lazio e alla documentazione geotecnica disponibile per le aree limitrofe.

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

- ✓ n.1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo di profondità pari a 30 m, con esecuzione di prove SPT e prelievo di circa n. 5 campioni indisturbati /rimaneggiati (1 circa per litologia), da sottoporre a prove geotecniche di laboratorio, per la definizione delle caratteristiche fisico-meccaniche;
- ✓ n.1 sondaggio a distruzione di nucleo della profondità di 16 m con inserimento di n.2 celle piezometriche a profondità di -8.50 m da pc. e -15 m da p.c. (per il monitoraggio della falda artesianica profonda);
- ✓ n.1 sondaggio a distruzione di nucleo della profondità di 5 m con inserimento di n.1 piezometro a tubo aperto di lunghezza pari a 5.0 m (per il monitoraggio della falda superficiale);
- ✓ 1 prova tipo CPTU (L=30 m);
- ✓ 1 prova downhole in foro;
- ✓ esecuzione di n. 2 stendimenti sismici MASW con determinazione Vs30 e prova HVSR.
- ✓ n.1 prospezioni GEORADAR per l'individuazione di sottoservizi esistenti, secondo le geometrie individuate dagli elaborati grafici allegati
- ✓ N 1 prove di permeabilità Lefranc nel primo strato di terreni coesivi al di sotto dello strato di riporto (orientativamente a circa -12 m dal p.c., da confrontare comunque con le risultanze di cantiere).

All'interno del sondaggio a carotaggio continuo, che dovrà essere eseguito mediante l'impiego del carotiere ritenuto più idoneo alla tipologia di terreno attraversato, si prescrive:

- ✓ Nei terreni granulari l'esecuzione di prove SPT ad intervalli di circa 3 m. Se per le profondità individuate, non fosse possibile l'esecuzione della prova, si richiede di ricollocare la stessa nelle profondità limitrofe a quella richiesta;
- ✓ Nei terreni coesivi il prelievo di campioni indisturbati a intervalli di circa 6 m, da eseguire in posizione alternata rispetto alle prove in sito. Se per le profondità individuate, non fosse possibile l'esecuzione del prelievo, si richiede di ricollocare lo stesso nelle profondità limitrofe a quella richiesta;
- ✓ Il prelievo di campioni rimaneggiati, nei terreni granulari, ad intervalli di circa 6 m, da eseguire in posizione alternata rispetto alle prove in sito. Se per le profondità individuate, non fosse possibile l'esecuzione del prelievo, si richiede di ricollocare lo stesso nelle profondità limitrofe a quella richiesta;
- ✓ Lettura della quota di falda durante l'esecuzione del sondaggio;
- ✓ L'installazione nel sondaggio a distruzione di nucleo (L=16 m) di piezometri tipo cella Casagrande (di seguito Monitoraggio Piezometrico), a profondità di -8.50 m da pc. e -15 m da p.c per il monitoraggio della falda artesianica profonda;
- ✓ L'installazione nel sondaggio a distruzione di nucleo (L= 5 m) di un piezometro a tubo aperto fino alla profondità da p.c. di 5 m per il monitoraggio della falda artesianica superficiale;
- ✓ L'esecuzione di prove di permeabilità nel sondaggio geognostico a carotaggio continuo (L= 30 m) o nel sondaggio a distruzione di nucleo (L =16 m) di prove permeabilità tipo Lefranc, nel primo strato di terreni coesivi al di sotto dello strato di riporto (orientativamente a -12 m da p.c., ipotesi da confrontare con le risultanze di cantiere)
- ✓ L'allestimento del sondaggio a carotaggio continuo, sino ad una profondità massima di 30 m, per successiva esecuzione di prova sismica in foro, tipo Downhole (di seguito DH);

Sui n. 5 campioni prelevati dal sondaggio a carotaggio continuo:

- ✓ apertura campioni, prove di identificazione e classificazione (per ciascun campione);
- ✓ n. 1 prove di compressione edometrica e n.1 prova di taglio diretto (su campioni indisturbati);
- ✓ n. 2 prove di taglio diretto (sui campioni prevalentemente incoerenti);
- ✓ n. 1 prove triassiali UU (sui campioni prevalentemente coesivi);
- ✓ n. 1 prova di colonna risonante.

L'esecuzione di prove di laboratorio che prevedano:

- ✓ Analisi granulometriche (per ciascun campione);
- ✓ Prove di classificazione (per ciascun campione)
- ✓ Limiti di atterberg (campioni prevalentemente coesivi);
- ✓ Determinazione di peso di volume e contenuto d'acqua naturale (per ciascun campione);
- ✓ Prove di taglio diretto nei campioni prelevati nelle unità granulari e coesive ;
- ✓ Prove triassiali non consolidate e non drenate, per determinazione dei parametri di resistenza al taglio non drenate, nelle unità coesive;
- ✓ Prove edometriche per determinazione dei parametri di deformabilità delle unità coesive.
- ✓ 1 Prova di colonna risonante in un campione indisturbato superficiale.

9 SPECIFICHE PER INDAGINI E PROVE GEOGNOSTICHE

Rilievo planoaltimetrico

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

9.1 SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO (S)

9.1.1 Sondaggi

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

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

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

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

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

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

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

Caratteristiche delle attrezzature

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

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

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

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

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

- ✓ Coppia massima: > 1000 kgm;
- ✓ Max spinta: > 5000 kg;
- ✓ Max tiro: > 4000 kg;

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

Operazioni di perforazione

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

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

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

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

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

Cassette catalogatrici

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

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

Documentazione fotografica delle cassette catalogatrici

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

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

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

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

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

Prelievo dei campioni

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

Modalità Esecutive

Ogni campionamento deve essere preceduto dalle seguenti operazioni:

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

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

Il campione deve essere conservato nello stesso tubo o contenitore di prelievo, ripulito alle estremità, sigillato ermeticamente con paraffina fusa o tappi a tenuta e munito di etichetta (non degradabile con l'umidità) in cui siano indicati:

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

Nella documentazione da fornire al Committente si dovrà anche indicare:

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

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

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

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

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

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

Norma di riferimento

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

Rilievo stratigrafico

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

- ✓ riferimento progettuale;
- ✓ luogo di cantiere;

- ✓ coordinate e quota assoluta in m s.l.m.;
- ✓ direttore di cantiere;
- ✓ ditta esecutrice;
- ✓ data di perforazione;
- ✓ scala metrica verticale;
- ✓ metodo di perforazione;
- ✓ attrezzatura impiegata (sonda, carotiere, corona, ecc.);
- ✓ diametro di perforazione;
- ✓ diametro degli eventuali rivestimenti;
- ✓ tipologia e profondità dei campionamenti;
- ✓ percentuale di carotaggio;
- ✓ parametri geostrutturali delle fratture (inclinazione, rugosità, riempimento, etc.);
- ✓ livello falda rilevato e data del rilievo;
- ✓ descrizione dei singoli strati attraversati con le relative quote di separazione, comprendente:
 - Terreni (coesivi e granulari)
 - i. colore/i prevalente/i della formazione;
 - ii. composizione granulometrica approssimata, nei termini correnti (trovanti, ciottoli, ghiaia, sabbia, limo, argilla), indicando il ϕ massimo della ghiaia, elencando per prima la frazione prevalente e di seguito le eventuali altre frazioni in ordine di importanza percentuale;
 - iii. caratteristiche di consistenza (terreni coesivi) nei termini correnti (tenero, molle plastico, moderatamente consistente, consistente, molto consistente) e valori di "Pocket Penetrometer" e "Vane", misurati sulla carota appena estratta, previa scortecciatura;
 - iv. caratteristiche di addensamento (terreni non coesivi o granulari) nei termini usuali (sciolto, addensato, molto addensato, lievemente cementato);
 - v. presenza di sostanze organiche o torbe, fossili, legno, calcinacci ecc. o altri riporti di natura antropica;
 - vi. presenza di ossidi, idrossidi e altri minerali accessori;
 - vii. grado di arrotondamento e/o di appiattimento e natura litologica di ghiaie e ciottoli;
 - viii. grado di uniformità sui materiali non coesivi (ben gradato, uniforme).
 - Rocce
 - i. colore/i prevalente/i della formazione;
 - ii. natura litologica della roccia nei termini usuali (arenarie, calcareniti, calciruditi: da breccia molto grossolana a brecciola o da conglomerato molto grossolano a microconglomerato, calcari, calcari marnosi, marne calcaree, marne, argilliti, argilloscisti, gessi, etc.);
 - iii. stato di aggregazione, dimensioni, forma e natura dei costituenti;
 - iv. grado di continuità del materiale: distanza e tipo di discontinuità e/o delle superfici di minor resistenza;
 - v. stato delle superfici di discontinuità;
 - vi. apertura delle discontinuità; materiali di riempimento delle discontinuità; stato di alterazione della matrice;
 - vii. inclinazione sull'orizzontale (piano perpendicolare all'asse della carota) delle superfici di discontinuità.

Le caratteristiche relative ai punti iv, v, vi e vii del precedente elenco saranno rilevate sulla base delle indicazioni fornite dall'ISRM (International Society For Rock Mechanics).

9.1.2 Prove SPT

Questa prova consiste nell'infissione a percussione di una speciale punta conica o di un particolare campionatore a pareti grosse (Campionatore Raymond – split spoom), i quali consentono di valutare la

resistenza meccanica del terreno alla penetrazione, in base al numero di colpi infissi da un apposito maglio per un dato avanzamento.

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

- ✓ ASTM D1586-67 (74); D1586-84. Standard Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soil";
- ✓ ISSMFE Techn. Committee (1988). Standard Penetration Test (SPT): International Reference Test procedure.

Attrezzatura

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

| <i>Parametri per prove S.P.T.</i> | |
|--|--|
| <i>Tubo campionatore apribile longitudinalmente:</i> | $\varnothing_{est} = 50,8\text{mm}$; $\varnothing_{int} = 35\text{mm}$; L_{minima} (escluso tagliente principale) $> 457\text{mm}$; $L_{utile} = 630\text{mm}$; L_{scarpa} tagliente terminale (con rastremazione negli ultimi 19mm) = 76mm; Il campionatore sarà munito di valvola a sfera alla sommità e aperture di scarico e sfiato |
| <i>Massa battente:</i> | di peso 63,4 kg che cada da 75cm di altezza |
| <i>Aste collegate al campionatore</i> | aventi peso per metro lineare 6.5kg (± 0.5 kg/ml). Le aste saranno diritte, ben avvitate in corrispondenza dei giunti e con flessione totale della batteria pronta per la prova $< 1^\circ/\text{m}$. |

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

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

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

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

Modalità esecutive

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

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

Le fasi da seguire sono le seguenti:

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

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

Documentazione

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

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

Inoltre, per ciascuna verticale indagata:

- ✓ grafico N_{spt} in funzione della profondità

Registrazioni particolari in corso di perforazione

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

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

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

Sistemazione finale dei luoghi

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

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

Rilievi di falda nel sondaggio ed installazione di piezometri

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

Norma di riferimento:

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

Attrezzatura

La verticale strumentale completa deve essere costituita dai seguenti elementi:

- ✓ cella o celle di Casagrande; deve essere composta da un filtro a candela e da un telaio. Il filtro, avente un diametro esterno di circa 55mm e lunghezza compresa tra 100 e 500 mm. deve essere costituito da agglomerato di silice, o materiale equivalente, con porosità compresa tra 0.2 e 0,6 mm; il telaio deve avere ad una estremità due raccordi da 1/2". Tutti i materiali che costituiscono la cella piezometrica devono essere tali da evitare l'aggressione da parte della ruggine;
- ✓ tubi di misura e di spurgo e manicotti: ogni cella piezometrica deve essere munita di un tubo di misura e di un tubo di spurgo in PVC aventi le eguenti caratteristiche:
 - diametro nominale 1/2",
 - lunghezza degli spezzoni pari a 3m uniti tramite appositi manicotti,
 - Filetti: gas normale.

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

Installazione

L'installazione prevede le seguenti fasi operative:

1. controllo della quota di fondo del foro con idoneo scandaglio;
2. se richiesto, riempimento del foro con malta di cemento-bentonite-acqua (50-10-100 parti in peso), sino alla quota di 1.5 m al di sotto di quella prevista per l'installazione del piezometro, con ritiro progressivo del rivestimento;
3. posa di un tappo impermeabile costituito da palline di bentonite ($\phi=1-2$ cm.) precedentemente confezionate, costipate con pestello, per lo spessore di 1 m., con ritiro ulteriore del rivestimento;
4. abbondante lavaggio del foro con acqua pulita immessa dal fondo;
5. controllo della profondità del foro;
6. posa di uno strato (spessore 0.5m.) di materiale granulare pulito uniforme e saturo ($\phi = 1-4$ mm.), ritirando i rivestimenti; tale operazione deve avvenire con il foro pieno d'acqua;
7. controllo della profondità del foro;
8. discesa a quota del piezometro preventivamente saturato (mantenuto fino a quel momento in acqua pulita) collegando i tubi di andata e ritorno, assicurandosi della perfetta tenuta dei giunti mediante sigillanti idraulici;
9. posa di sabbia pulita attorno e sopra il piezometro (0.5 m.) con ritiro della colonna di rivestimento senza l'ausilio della rotazione, con l'avvertenza di controllare che il piezometro non risalga assieme ai rivestimenti e che in colonna sia sempre presente sabbia;
10. posa di un tappo impermeabile di palline bentonitiche di circa 15 cm, costipate con pestello ad aste, con progressivo ritiro del rivestimento;
11. posa di uno strato di 15cm di ghiaia compattata con pestello;
12. realizzazione di un ulteriore strato di 15cm con palle di bentonite compattate tramite pestello;
13. innalzamento graduale della colonna di rivestimento mentre si compiono le operazioni di sigillatura;
14. cementazione del tratto di foro rimanente, come nel caso del primo riempimento, fino alla sommità (se non prevista l'installazione della seconda cella piezometrica), ritirando gradualmente la colonna di rivestimento;
15. spurgo della cella con acqua pulita per almeno 20 minuti;
16. protezione delle estremità dei tubi con tappi avvitati;
17. posa di un pozzetto metallico con chiusura a lucchetto e chiave per la protezione dei terminali piezometrici. A protezione ulteriore del tubo metallico può essere posato un pozzetto in calcestruzzo di profondità sufficiente per evitare lo scalzamento ad opera delle acque superficiali e/o la manomissione da parte di maleintenzionati. Qualora si preveda di installare all'interno della stessa perforazione due celle Casagrande a differenti profondità. deve essere eseguito un adeguato tappo impermeabile che consenta un completo isolamento fra le due celle piezometriche. Tale isolamento può essere realizzato con strati alternati di palline di bentonite e ghiaietto dello spessore di circa 10cm per una lunghezza totale di almeno 3m

L'esecuzione della prima lettura significativa sarà da considerarsi tale dopo aver eseguito almeno tre letture, la prima delle quali deve avvenire a non meno di due ore dalla realizzazione del piezometro e le successive a distanza di 24 ore l'una dall'altra, fino a completa stabilizzazione del livello dell'acqua nel foro. La misura del

livello dovrà essere eseguita in entrambi i tubi del piezometro. controllando così che il circuito e il filtro siano liberi da bolle d'aria o impurità che possano impedire il libero flusso dell'acqua. In caso di rilevamento di un livello dell'acqua non uguale nei due tubi, dovrà essere eseguito il lavaggio dei tubi.

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

Documentazione

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

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

9.2 SONDAGGI A DISTRUZIONE DI NUCLEO

Saranno realizzati per permettere, entro gli stessi, la esecuzione di prove e/o l'installazione di strumenti di vario genere e tipo.

La loro realizzazione dovrà quindi essere sempre eseguita tenendo conto di quanto prescritto per le prove o gli strumenti per cui il foro è connesso.

Potranno essere richiesti anche per la perforazione di pretori in appoggio a preparazioni di altre prove in sito, quali prove penetrometriche statiche, dilatometriche e similari, di emungimento.

Per la perforazione si potrà utilizzare:

- ✓ Sonda a rotazione completa di pompa per la circolazione dei fanghi e dispositivi per la loro preparazione;
- ✓ Altre sonde proposte dall'Impresa, il cui utilizzo sarà preventivamente comunicato alla DL.

Si potranno utilizzare come utensili di perforazione:

- ✓ Carotieri semplici o doppi;
- ✓ Triconi o utensili a distribuzione dotati di fori radiali per la fuoriuscita del fluido;
- ✓ Altri utensili proposti dall'Impresa il cui utilizzo sarà preventivamente comunicato alla DL.

Il diametro di perforazione sarà di 70 + 150 mm, comunque da definire in funzione delle prove o degli strumenti da eseguire o installare nel foro.

Sono ammesse modalità di perforazione varie, comunque tali da garantire il sostentamento delle pareti del foro, il contenimento del fondo foro e la minimizzazione dei disturbi arrecati al terreno nei tratti di prova.

Per ciascun foro si compilerà una documentazione finale con le seguenti indicazioni:

- ✓ informazioni generali;
- ✓ quota assoluta del punto di indagine;
- ✓ nominativo del compilatore;
- ✓ attrezzatura impiegata;
- ✓ diametro di perforazione;
- ✓ diametro dell'eventuale rivestimento;
- ✓ dati relativi alle prove o all'installazione;
- ✓ stratigrafia approssimativa in base ai detriti di perforazione.

9.3 PROVE DI PERMEABILITÀ

9.3.1 Prove di Permeabilità Lefranc

La prova consente di misurare la permeabilità (o conducibilità idraulica) del terreno in un foro di sondaggio; a seconda della geometria realizzata in corrispondenza del tratto di foro prescelto e quindi della direzione del flusso

che si instaura durante la prova, la permeabilità misurata sarà quella orizzontale (K_h), quella verticale (K_v) o una media tra le due ($\sqrt{K_h \cdot K_v}$).

La prova, che può essere eseguita per immissione o estrazione di acqua dal foro, può essere condotta a carico idraulico costante o variabile, a seconda della conducibilità idraulica del terreno: se elevata si potrà eseguire una prova a carico costante, se bassa una prova a carico variabile.

Normative e specifiche di riferimento

- ✓ A.G.I. (1977) - Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche

In ogni caso l'Impresa dovrà attenersi a quanto di seguito specificato.

Modalità esecutive

Dovranno essere tenuti presenti i seguenti aspetti fondamentali:

- ✓ la perforazione dovrà essere eseguita senza l'impiego di fanghi utilizzando come fluido di circolazione solo acqua pulita;
- ✓ è necessario evitare che all'esterno del rivestimento metallico utilizzato per sostenere la parete del foro si crei una via preferenziale di scorrimento dell'acqua immessa durante la prova;
- ✓ è altresì necessario evitare che, nel perforare il tratto da sottoporre a prova, si verifichino vistosi fenomeni di "bruciatura" sul fondo del foro e "spalmatura" di terreno coesivo sulla parete del foro, tali da alterare la composizione granulometrica e la compattezza del terreno interessato.

La preparazione del tratto di terreno per la misura del coefficiente di permeabilità andrà realizzata in relazione al tipo di schema prescelto:

- ✓ nel caso di prova su fondo filtrante piano, si dovrà infiggere il rivestimento a secco (senza circolazione di fluido) negli ultimi 20-30 cm, in modo da bloccare all'acqua le vie preferenziali di flusso; si dovrà poi eseguire un lavaggio all'interno del rivestimento utilizzando un attrezzo a fondo piano e con fori radiali di fuoriuscita del fluido;
- ✓ nel caso di prova con filtro cilindrico, si dovrà infiggere un primo rivestimento esterno fino al tetto del tratto da provare: anche in questo caso tale rivestimento dovrà essere infisso a secco (senza circolazione di fluido) negli ultimi 20-30 cm, in modo da bloccare all'acqua le vie preferenziali di flusso; si dovrà poi inserire un secondo rivestimento, telescopico ed interno al primo, costituito ad esempio da un doppio carotiere a fune (wire-line) dotato di imbocco rastremato oppure di tricono a distruzione, facendolo penetrare con leggera circolazione d'acqua pulita, fino alla base del tratto da provare; si eseguirà quindi il lavaggio all'interno del rivestimento e si immetterà da bocca foro il dreno di ghiaia fine estraendo tutto il rivestimento interno e scoprendo in tal modo il tratto di foro non rivestito da provare; il dreno di ghiaia deve essere mantenuto in questa fase appena sopra l'estremità inferiore del rivestimento esterno; in certi terreni (per esempio in sabbie fini) è necessario utilizzare un dreno più fine, quale ad esempio una sabbia medio-grossolana, per prevenire il parziale intasamento;
- ✓ dovendo determinare il coefficiente di permeabilità verticale, si dovrà ancora utilizzare una seconda colonna di rivestimento, interna a quella di sondaggio, alla cui estremità è avvitato un cilindro di acciaio a pareti sottili sagomato a tagliente (tipo fustella per campioni indisturbati) da poter infiggere a pressione a fondo foro, per un tratto pari a circa 2 diametri; tutta la batteria interna, cilindro terminale compreso, deve essere a tenuta.

Nel caso in cui si debba determinare la permeabilità di terreni al di sopra del livello della falda freatica, le prove da eseguirsi dovranno essere precedute da una fase di saturazione, da considerarsi conclusa quando si raggiunga, in condizioni di portata immessa costante, la stabilità del livello dell'acqua all'interno del foro. Tale fase di saturazione dovrà comunque avere una durata non inferiore a 30 minuti.

La documentazione di prova dovrà contenere i seguenti dati:

- ✓ informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- ✓ n° del sondaggio;
- ✓ schema geometrico del foro di sondaggio, diametro di perforazione e di rivestimento, profondità del rivestimento;
- ✓ stratigrafia del sondaggio;
- ✓ livello piezometrico della falda;
- ✓ metodo e attrezzature utilizzate per la preparazione del tratto di prova;

- ✓ modalità di prova (carico idraulico costante o variabile, per immissione o estrazione);
- ✓ profondità da p.c. del tetto e della base del tratto di prova;
- ✓ caratteristiche geometriche (diametro e lunghezza del tratto di prova non rivestito, diametro interno e profondità del rivestimento, carico idraulico costante o valore iniziale di carico idraulico per le prove a carico variabile);
- ✓ tempo di inizio della prova;
- ✓ letture dei tempi e dei relativi valori di volume di acqua immessa o emunta (prove a carico costante) o dei valori di profondità dell'acqua nel foro (prove a carico variabile);
- ✓ calcolo del coefficiente di permeabilità;
- ✓ eventuali note e osservazioni. Indagini geofisiche

9.4 INDAGINI GEOFISICHE

9.4.1 Indagine Sismica MASW

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

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

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

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

Caratteristiche delle attrezzature

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

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

Elaborazione dei dati

MASW

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

relative ai modi superiori e altri eventi sismici (onde di volume o guidate). È opportuno che il riconoscimento dei massimi spettrali avvenga con l'ausilio di codici di ricerca automatica.

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

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

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

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

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

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

La caratterizzazione sismica dei suoli oggetto di intervento sarà completata mediante esecuzione di indagini sismiche di superficie con metodo MASW. La caratterizzazione del terreno dal punto di vista dinamico si avvale della caratterizzazione del profilo di velocità delle onde di taglio Vs degli strati di terreno presenti nel sito sino ad almeno 30 metri dal piano campagna (Vs30). La conoscenza del profilo delle onde di taglio Vs degli strati che compongono i primi 30 metri di profondità risulta necessaria per i seguenti obiettivi:

- ✓ valutare l'azione sismica di progetto al livello del piano fondale tipo di opera;
- ✓ valutare il potenziale di liquefazione del terreno;
- ✓ valutare l'accelerazione sismica per il calcolo della stabilità dei pendii e/o delle opere di sostegno nei confronti dell'azione sismica;
- ✓ valutare, in condizioni sismiche, la capacità portante ed i cedimenti di rilevati stradali, opere di sostegno, fondazioni degli edifici.

Sulla base del profilo di velocità delle onde di taglio dei primi 30 m di profondità, si determina una velocità media equivalente Vs30 rappresentativa del sito in esame. Tale parametro consente di classificare il sito in categorie di sottosuolo. La stima della velocità delle onde di taglio Vs dei vari sismostrati può essere eseguita con la tecnica MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES (MASW) che fornisce la stratigrafia e le velocità delle onde di taglio. Una volta acquisiti gli spessori degli strati e le relative velocità delle onde S, si calcola la velocità media relativa ai primi trenta metri di sottosuolo e si procede alla conseguente classificazione del sito secondo i riferimenti normativi.

9.4.2 Down-hole (DH)

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

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

Si prevedono due diversi assetti metodologici:

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

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

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

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

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

- ✓ sistema di energizzazione costituito da una massa battente manovrata a mano (mazza da 10 kg), agente a percussione in diverse direzioni su un massello di legno o calcestruzzo, ben saldato al terreno e posto nelle adiacenze della testa foro; potranno essere utilizzati anche un percussore oleodinamico agente all'interno di una piccola cassaforma interrata, oppure altri dispositivi concordati con la Società; è onere e responsabilità dell'Impresa dimensionare correttamente il sistema di energizzazione, in funzione della natura e delle caratteristiche dei terreni, che sono da considerarsi noti, in quanto le misure sono successive alla perforazione dei sondaggi entro i quali si eseguono le stesse; la sorgente di energia superficiale dovrà essere collocata ad una distanza adeguata dalla bocca del foro in funzione della migliore risoluzione dell'indagine stessa;
- ✓ 1 o 2 sonde tridirezionali, a frequenza compresa fra 8 e 14 Hz, e di diametro minore o uguale a 70 mm, da calare nel foro a profondità prefissate, in grado di registrare i tempi di arrivo delle onde di compressione e di taglio; ogni ricevitore deve potere essere reso solidale con la tubazione di rivestimento del foro tramite un dispositivo di bloccaggio meccanico o pneumatico;
- ✓ sismografo registratore a 12 canali, in grado di realizzare campionature di segnali tra 0.025 e 2 millisecondi e dotato di filtri high pass, band pass e band reject, di "Automatic Gain Control" e di convertitori A/D del segnale campionato ad almeno 16 bit;
- ✓ dispositivo di segnalazione di partenza automatica del segnale (trigger), caratterizzato da velocità di partenza inferiore a 10 microsecondi; il trigger non è necessario se si adotta l'assetto "true time interval" con doppio sensore;
- ✓ apposito software per l'elaborazione dei dati, in grado di fornire i valori di velocità delle onde di compressione e di taglio per ogni stazione di misura impiegando iterativamente algoritmi di calcolo adeguati (es. ART, SIRT, e ILSP) previo controllo dei tragitti dei raggi sismici (Ray Tracing Curvilineo).

Le modalità di esecuzione della prova dovranno essere le seguenti:

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

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

La documentazione di ciascuna indagine dovrà comprendere:

- ✓ caratteristiche tecniche delle attrezzature (energizzatore, contrasto, sensori, trigger, sismografo, sistema di memorizzazione);

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

9.4.3 Indagini Microtremori (HVSr)

La metodologia, chiamata anche tecnica Nakamura (1989), è stata introdotta da Nogoshi e Igarashi (1971) sulla base di studi precedenti.

Questa tecnica si basa essenzialmente sul rapporto spettrale H/V di rumore ambientale (seismic noise) e permette di valutare gli effetti locali di sito.

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

Caratteristiche delle attrezzature

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

La strumentazione di acquisizione presenta le seguenti specifiche:

- ✓ trasduttori tricomponenti (N-S, E-W, verticale) a bassa frequenza (< 1-2 Hz);
- ✓ amplificatori;
- ✓ digitalizzatore;
- ✓ frequenza di campionamento: > 50 Hz;
- ✓ convertitore A/D (analogico digitale) a 24 bit;
- ✓ durata registrazione: >15 minuti;
- ✓ collegamento al tempo GPS per la referenziazione temporale.

Modalità esecutive

Come accennato l'installazione lo strumento di misura dovrà essere orientato secondo le direzioni geografiche (E e W) e dovrà essere dotato di bolla sferica per il posizionamento mentre l'accoppiamento con la superficie dovrà essere diretto o assicurato con piedini o puntazze in terreni morbidi. Bisognerà altresì fare attenzione alla presenza di radici, sottoservizi, vicinanza edifici, vento ecc., in quanto creano disturbo nel segnale H/V inducendo una forte perturbazione a bassa frequenza.

Per uno studio di risposta di sito è consigliabile effettuare almeno tre misure ognuna di almeno 15-20 minuti per punto, possibilmente in tempi diversi durante la giornata, da cui derivare il valore di frequenza di risonanza.

Elaborazione dei dati

L'elaborazione dei dati raccolti deve impiegare un software in grado di consentire la determinazione delle frequenze di risonanza del sottosuolo mediante la tecnica dei rapporti spettrali secondo le linee guida del progetto europeo SESAME (Site EffectS assessment using Ambient Excitations, 2005).

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

I principali passi del processing sono i seguenti:

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

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

Documentazione

Il certificato finale della prova presenta:

- ✓ i criteri di attendibilità della misura;
- ✓ i criteri di validità del picco di f_0 ;
- ✓ i valori di soglia delle condizioni di stabilità;
- ✓ l'analisi dei criteri in particolare con verifica rispetto alla frequenza del sensore ed alla presenza di rumore di origine industriale;
- ✓ l'interpretazione di f_0 e dello spettro H/V nei termini di caratteristiche del sito.

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

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

9.4.4 Georadar

La prospezione georadar si basa sulla misura ed interpretazione dei fenomeni che subisce un'onda elettromagnetica nel momento in cui essa, attraversando un materiale con una determinata costante dielettrica relativa, incontra la superficie di un altro materiale con costante dielettrica relativa diversa da quella del mezzo in cui si sta diffondendo (scattering).

La risoluzione e la profondità di indagine sono funzione delle caratteristiche dielettriche dei mezzi attraversati, della frequenza delle onde emesse dall'antenna e della potenza del trasmettitore.

Il metodo risulta adatto per individuare forti contrasti dielettrici, ad esempio fra murature, cavità, metalli, sottoservizi, ecc., ed il terreno circostante.

Norma di riferimento:

- ✓ ASTM D 6432-99 Standard Guide for using the surface ground penetrating Radar method for subsurface investigation.

Strumentazione:

L'attrezzatura di base deve comprendere:

- ✓ una unità georadar centrale di comando, controllo ed amplificazione, in grado di operare con almeno due canali, e dotato di un registratore magnetico digitale, di un monitor e di una stampante entrambe a colori;

- ✓ antenne, dotate di amplificatore di potenza, con frequenza compresa tra 80 e 1500 MHz;
- ✓ cavo multipolare di collegamento tra l'unità georadar e l'antenna.

Dovranno essere disponibili appositi software necessari per l'analisi ed il trattamento dei segnali registrati (filtrazione, correzione, valutazione di velocità di propagazione, correlazione ecc..).

Modalità esecutive ed elaborazione dati:

La prospezione si esegue spostando le antenne lungo la superficie da investigare o manualmente o per mezzo di veicoli. Il rilievo si esegue normalmente lungo profili isolati, paralleli o organizzati in maglie di dimensione idonea all'obiettivo della prospezione. L'ubicazione dei profili, la densità della maglia, il tipo e la configurazione delle antenne dovranno essere commisurati al tipo di materiale indagato, alla profondità di indagine e di dettaglio richiesto.

Compatibilmente al tipo di superficie da indagare dovrà essere garantita una buona linearità del piano di lavoro, cercando preventivamente di eliminare, se possibile, asperità od oggetti metallici che possono produrre interferenze.

Nel caso di mancanza di riferimenti fissi, il rilievo dovrà essere riferito a dei punti di riferimento posizionati esternamente al profilo e/o alle maglie (tolleranza pari a 0,1 m per le quote ed a 0,2 m per la posizione planimetrica).

Preliminarmente all'esecuzione della prospezione dovrà essere indagato un breve tratto campione sul quale dovranno essere tarate le apparecchiature e saranno provate diverse configurazioni di impostazione (velocità di passaggio, distanza sorgente-struttura, frequenza di campionamento, offset delle antenne, ecc.) per determinare la tecnica ottimale in relazione agli obiettivi dell'indagine.

La frequenza di campionamento deve essere 6÷10 volte superiore alla frequenza nominale dell'antenna. L'offset (distanza) delle antenne deve essere tale che le due antenne non risultino troppo vicine con conseguente distorsione del segnale ma neanche troppo lontane da produrre una diminuzione del rapporto segnale-rumore ricevuto. Si dovranno pertanto eseguire alcune prove con offset diversi, adottando la distanza tra antenne che fornisce il migliore risultato in termini di rapporto segnale-rumore. Di norma si assume che una distanza idonea sia pari ad almeno un paio di lunghezze d'onda

La penetrazione del segnale georadar nei vari terreni dipende essenzialmente dall'assorbimento del segnale nei mezzi indagati ed, in linea generale, si osserva che a parità di frequenza, la penetrazione risulta massima in terreni poco conduttivi e che a parità di terreni, la penetrazione risulta massima alle basse frequenze.

Inoltre, dovrà essere possibile adottare uno schema di rilievo con più antenne, a diversa frequenza, per investigare contemporaneamente profondità diverse e con risoluzione differente in un unico passaggio.

Le antenne possono operare in configurazione "monostatica" (la stessa antenna georadar funziona come trasmittente e ricevente tramite un commutatore) o "bistatica" (antenne differenti funzionano rispettivamente da trasmittente e da ricevente).

Le tecniche di acquisizione sono due:

- ✓ singlefold: acquisizione a copertura singola in cui si illuminano una volta sola i punti del sottosuolo; è possibile sia con antenne monostatiche che con antenne bistatiche;
- ✓ multifold: acquisizione a copertura multipla in cui i punti del sottosuolo sono illuminati sotto diverse angolazioni; è possibile soltanto con antenne bistatiche.

Si può ottenere una copertura multipla operando secondo diverse modalità: energizzando direttamente il singolo punto con offset diversi, sommando profili con offset diverso o sommando acquisizioni Wide Angle Reflection Refraction, ottenute tenendo fissa l'antenna trasmittente e spostando la ricevente, ripetendo l'operazione con spostamenti costanti della sorgente.

Una volta acquisiti i dati grezzi è necessario effettuare una preelaborazione per eliminare le componenti di disturbo geometriche e/o radiometriche attraverso operazioni di filtraggio verticale (dominio del tempo) e di filtraggio orizzontale (dominio spaziale). Successivamente i dati grezzi ripuliti saranno elaborati applicando tecniche di guadagno per contrastare l'abbassamento del segnale con la profondità, tecniche di filtraggio dirette (taglia basso, taglia, alto passa banda) per cercare di incrementare il rapporto segnale/rumore attenuando le frequenze indesiderate e tecniche di filtri F-K per migliorare la coerenza laterale del segnale mediante l'attenuazione delle onde di disturbo laterali e dirette al suolo.

La parte conclusiva dell'elaborazione consisterà nell'analisi di velocità che sulla base della corretta conoscenza dell'andamento della funzione velocità dovrà permettere di definire l'esatta profondità delle varie discontinuità.

Documentazione:

- a. Relazione conclusiva con le indicazioni delle attrezzature impiegate, delle modalità esecutive dei rilievi e dei criteri di elaborazione adottati; tale relazione dovrà inoltre mettere in evidenza le caratteristiche dei materiali e la stratigrafia dei terreni investigati, il contatto terreno-struttura, la presenza di acque, fratture, cavità locali ecc.;
- b. Rappresentazione plano-altimetrica in scala adeguata dei profili eseguiti e delle anomalie riscontrate e, nel caso di indagine su muratura o su opere, l'indicazione continua degli spessori riscontrati;
- c. Radar-grammi di campagna, a diverse intensità cromatiche, con le distanze (m) in ascissa e i tempi di ascolto (ns) in ordinata;
- d. Radar-grammi interpretati in funzione delle costanti dielettriche dei mezzi attraversati, con le distanze (m) in ascissa e i tempi di ascolto (ns) in ordinata e/o la profondità (m).

9.5 PROVE DI LABORATORIO

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

9.5.1 Esami geotecnici di Laboratorio su Campioni di Terre

Identificazione dei campioni

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

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

In generale un campione potrà essere identificato dai seguenti dati:

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

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

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

Conservazione dei campioni

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

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

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

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

Condizioni di trattamento dei campioni e mantenimento delle caratteristiche naturali

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

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

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

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

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

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

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

9.5.1.1 Criteri di Programmazione degli Esami di Laboratorio

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

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

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

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

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

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

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

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

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

9.5.1.2 Criteri di Descrizione e di scelta Critica delle Prove da eseguire

a) Descrizione dei campioni

All'atto dell'apertura dei campioni si provvederà alla descrizione preliminare dei terreni rappresentati; tale descrizione verrà effettuata con criteri geotecnici sulla base di esami visivi e manuali.

I termini adottati saranno quelli convenzionali, di: argilla, limo, sabbia, ghiaia, ciottoli, e la corrispondente terminologia intermedia.

Verrà identificata la componente del terreno che si valuta come più significativa dal punto di vista del comportamento geotecnico del terreno.

Nel caso di materiali granulari o con prevalente componente granulare si formulerà una descrizione basata sulla valutazione delle proporzioni stimabili delle varie classi granulometriche presenti (con riferimento al termine del 50% per valutare la predominanza di una componente).

Verranno quindi indicate le componenti subordinate del terreno.

Si fornirà una definizione della colorazione prevalente del campione (ove specificamente richiesto si farà riferimento alla definizione colorimetrica secondo le Munsell Colour Charts).

Nel caso in cui il campione sia costituito da parti significativamente differenziabili, si provvederà alla descrizione di ogni singola parte distinta con gli stessi criteri sopra indicati.

Si provvederà infine a segnalare ogni ulteriore particolarità rilevabile ed utile per la caratterizzazione del terreno, sia dal punto di vista delle proprietà geotecniche che dal punto di vista della correlabilità stratigrafica.

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

- ✓ natura del materiale (materiale organico, materiale calcareo rilevato dalla reazione di effervescenza all'acido cloridrico diluito, ecc.);
- ✓ colorazione (zone di diverso colore, venature ossidate, ecc.);
- ✓ elementi anomali (resti animali o vegetali, quali conchiglie o radici, evidenti elementi minerali, quali mica-gesso-pomice, grossi inclusi litici, ecc.);
- ✓ sintomi di struttura del terreno (scagliosità, laminazione, fitte alternanze, ecc.);
- ✓ aspetto della componente più grossolana (forma prevalente, eventuale valutazione della natura geologica, ecc);
- ✓ condizioni attribuibili (rimescolamento, fratturazione fresca, presenza di fanghi di al prelievo perforazione, ecc.);
- ✓ odore;
- ✓ eccetera.

b) Scelta critica delle prove da eseguire

L'attività di laboratorio verrà eseguita basandosi fondamentalmente sul programma di prove indicato.

Nell'intraprendere le prove è però raccomandato che i responsabili del laboratorio attuino una valutazione critica della eseguibilità delle analisi, delle determinazioni e delle prove previste; tale valutazione è da effettuarsi tenendo conto del fatto che la finalità da perseguire è quella di fornire dati significativi e rappresentativi (dal punto di vista geotecnico), in funzione della natura dei terreni investigati e delle necessità progettuali, e compatibilmente con il tipo e le condizioni dei campioni disponibili.

Escludendo il caso in cui sia programmato di operare su materiali ricostituiti, in generale è da adottare il criterio di definire le caratteristiche quanto più possibile attendibili dei terreni nelle condizioni naturali.

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

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

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

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

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

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

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

- ✓ condizioni buone (a);
- ✓ condizioni mediocri (b);
- ✓ condizioni cattive (b).

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

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

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

9.5.2 Esami ed Analisi per la Determinazione delle Caratteristiche fisiche

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

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

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

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

documentazione

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

P.I. Determinazione dei parametri indice;

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

RIFERIMENTI: CNR-UNI 10008, ASCTM D 2216

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

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

RIFERIMENTI: CNR-BU N.62 ASCTM D 1188

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

Documentazione delle dimensioni dei provini e delle relative pesate.

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

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

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

L.A. Determinazione dei limiti di Atterberg

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

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

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

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

A.G. Analisi granulometrica

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

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

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

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

9.5.3 Prove di Laboratorio per la Determinazione delle Caratteristiche fisico-meccaniche

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

U.U. Prova triassiale, non consolidata- non drenata, con back-pressure:

Prova triassiale per la determinazione della resistenza al taglio in termini di sforzi totali, senza consolidazione del provino e con fase di rottura in condizioni non drenate eseguita su provino con diametro minimo pari a 35 mm e con rapporto altezza/diametro pari a 2; condotta a velocità di deformazione imposta e controllata; compresa la preparazione del provino. E' richiesto che la prova sia eseguita su almeno tre provini omogenei.

RIFERIMENTI: ASCTM D 2850

DOCUMENTAZIONE: Tracciamento almeno di: curva sforzi/deformazioni, andamento variazioni volumetriche/deformazioni, cerchio di Mohr a rottura.

Indicazione di: dimensioni del provino, umidità finale, velocità imposta nella fase di rottura.

Caratteristiche fisiche dei provini e classificazione geotecnica del materiale utilizzato.

Tabelle riepilogative dei dati rilevati e presentati, con l'indicazione della successione cronologica dei procedimenti e delle rilevazioni.

E.D. Prova edometrica a gradini di carico

Prova di compressione edometrica condotta a gradini di carico finiti e predeterminati, su provino di diametro non inferiore a 50 mm controllato nelle condizioni iniziali; comprensiva della preparazione del provino e di un percorso di carico e di un percorso di scarico; con durata di permanenza di ciascun carico fino a 24 ore; con pressione massima tale da determinare il tratto vergine della curva; con progressione dei gradini di carico finalizzata alla ottimizzazione della definizione della massima curvatura dell'andamento cedimenti-carico, possibilmente con tre punti allineati dopo la massima curvatura; con possibilità di determinazione del parametro Cv su almeno due intervalli di carico prima della massima curvatura e comunque in corrispondenza dell'intervallo di carico a cui il terreno sarà soggetto in relazione alle caratteristiche dell'opera in progetto. Il numero totale dei gradini di carico applicati deve essere almeno corrispondente a quello della progressione al raddoppio; il numero dei gradini di scarico deve essere almeno pari a 3.

RIFERIMENTI: ASCTM D 2435

DOCUMENTAZIONE: Tracciamento almeno del grafico σ -log p' e calcolo di almeno 5 valori del modulo edometrico a 24 ore. Indicazione delle dimensioni e delle caratteristiche fisiche iniziali e finali del provino e la segnalazione della durata complessiva della prova. Definizione delle caratteristiche di classificazione geotecnica del materiale considerato. Tabelle riepilogative di dati di carico, deformazione e tempi rilevati.

Determinazione dei coefficienti C_v e K nel corso di prove edometriche a gradini di carico, ovvero, più in generale, rilevazione e restituzione grafica dell'andamento deformazioni/tempo ad un livello di carico costante e permanente per un periodo di tempo dell'ordine delle 24 ore.

La determinazione dei coefficienti C_v e K è da effettuarsi per livelli di carico e cedimenti significativi; gli incrementi carico in corrispondenza dei quali è realizzabile la determinazione sono quelli nei quali si raggiunge un valore di pressione pari ad almeno il doppio del valore imposto nel livello di carico precedente.

E' raccomandato che la rilevazione delle deformazioni sia eseguita indicativamente secondo una progressione temporale geometrica.

DOCUMENTAZIONE: Tracciamento, con evidenza dei punti rilevati, della curva σ -log t e/o della curva σ - ϵ - t (con calcolo dei valori di C_v e K) e tabella corrispondente.

Moduli riepilogativi del procedimento di rilevazione seguito.

TD Prova di taglio diretto

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

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

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

RIFERIMENTI: ASCTM D 3080

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

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

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

Prova di colonna risonante

Prova eseguita secondo le prescrizioni di cui alle Norme Tecniche. Norme di riferimento: ASTM D4015

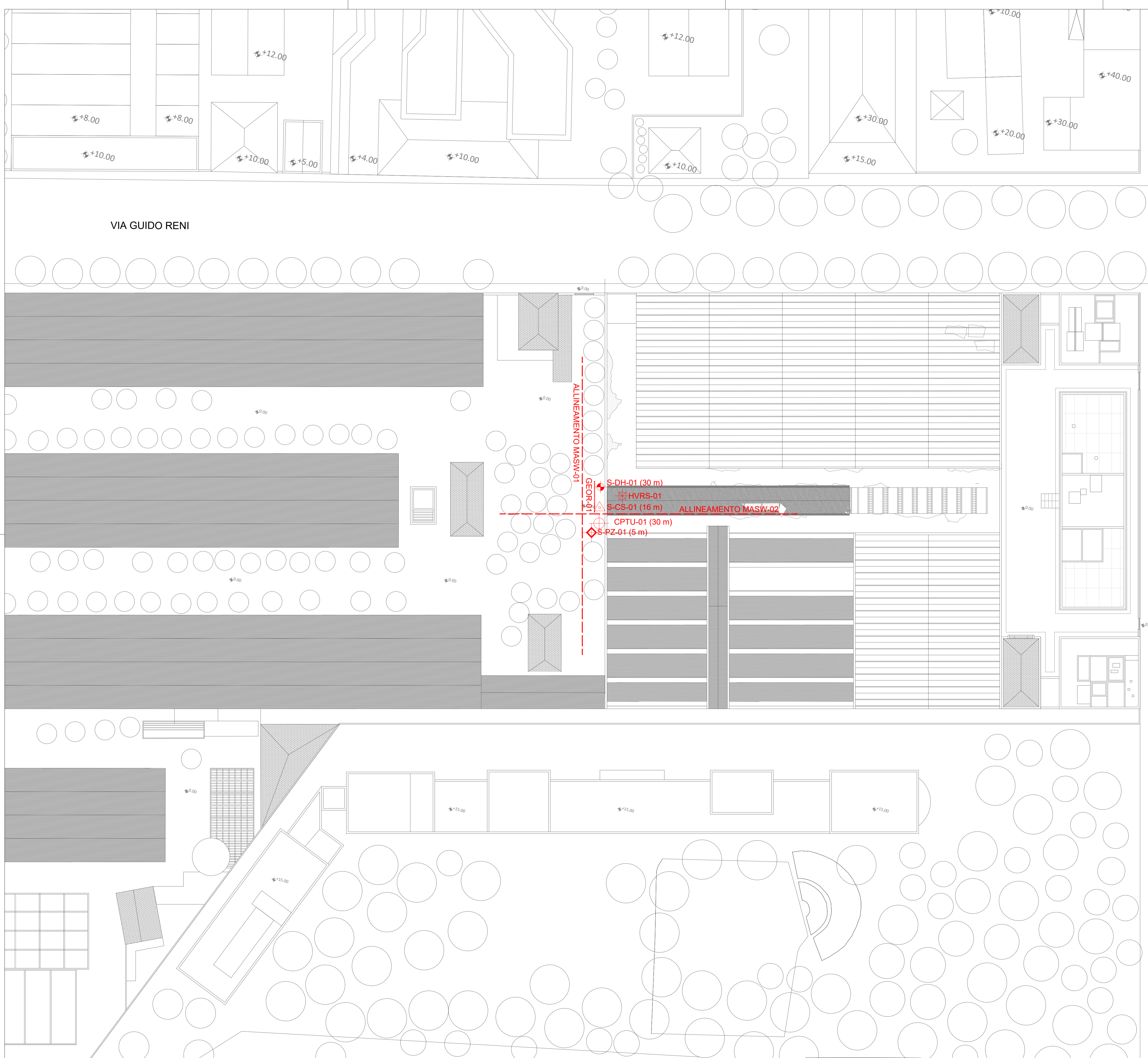
RSI01, SCS01:initials

Appendice A

Planimetria di ubicazione delle indagini geognostiche

Doc. No. P0002904-Hx Rev. 0 – Maggio 2022





LEGENDA
Campagna Indagini 2022

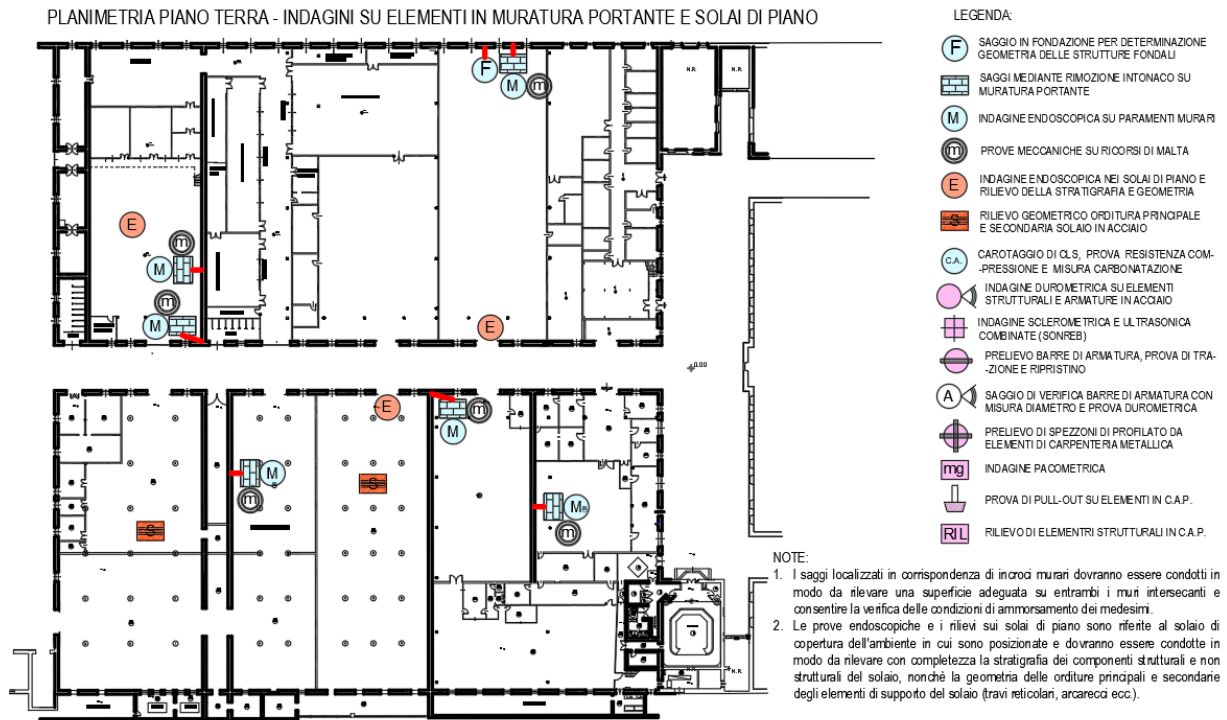
- ◆ **S-DH-01** Sondaggio a carotaggio continuo allestito per down hole
- ◇ **S-PZ-01** Sondaggio a distruzione di nucleo allestito per *piezometro*
- △ **S-CS-01** Sondaggio a distruzione di nucleo allestito con celle Piezometriche
- ⊕ **CPTU-01** Prova penetrometrica CPTU
- ⊗ **HVRS-01** Prova di microtemore HVSR
- **MASW-01** Prova sismica in sito attiva MASW
- **GEOR-01** Indagine Georadar per rilievo sottoservizi

Appendice B

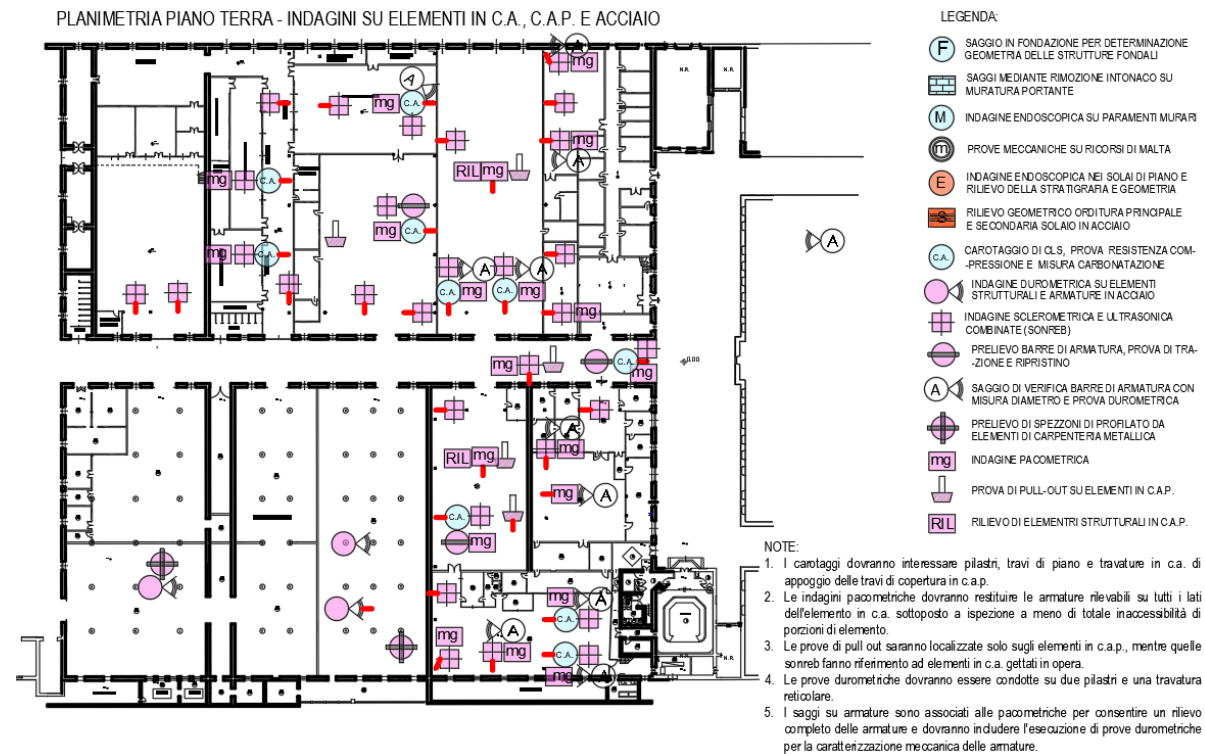
Planimetria di ubicazione delle indagini strutturali

Doc. No. P0002904-Hx Rev. 0 – Maggio 2022





Planimetria Piano Terra – Ubicazione indagini strutturali su elementi in muratura portante e solai di piano



Planimetria Piano Terra – Ubicazione indagini strutturali su elementi strutturali in c.a., c.a.p. e acciaio