



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



**PROCEDURA APERTA**  
**PER L’AFFIDAMENTO DEI SERVIZI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA**  
**PER LE AZIENDE SANITARIE DELLA REGIONE CAMPANIA**  
**PER GLI INTERVENTI RELATIVI AL PNRR**  
**N. GARA 8651470**

---

**CAPITOLATO TECNICO INDAGINI, ANALISI E SONDAGGI**

---

**CAPITOLATO TECNICO - INDAGINI**

**SO.RE.SA. S.p.A.** con unico Socio

Sede Legale: Centro Direzionale Isola F9 - 80143 Napoli

Capitale sociale: Euro 500.000,00 i.v.

Codice Fiscale, Partita IVA e iscrizione al Registro delle Imprese di Napoli n. 04786681215

Tel. 081 21 28 174 – Fax 081 75 00 012 - [www.soresa.it](http://www.soresa.it)

---

Pag. 1 di 47

## Sommario

|    |   |    |
|----|---|----|
| 1  | Premessa.....   | 2  |
| 2  | Oggetto .....   | 3  |
| 3  | Ammontare delle indagini, analisi e sondaggi .....                              | 4  |
| 4  | Designazione sommaria delle indagini.....                                       | 5  |
| 5  | Condizioni esecutive .....  | 6  |
| 6  | Oneri, obblighi e responsabilità dell'affidatario .....                         | 7  |
| 7  | Piano delle indagini .....  | 7  |
|    | 7.1 Ristrutturazioni pesanti .....  | 11 |
|    | 7.1.1 Introduzione .....  | 11 |
|    | 7.1.2 Finalità delle indagini .....   | 11 |
|    | 7.1.3 Autorizzazioni e valutazioni ambientali .....                             | 11 |
|    | 7.1.4 Normative, raccomandazioni tecniche e linee guida .....                   | 13 |
|    | 7.1.5 Programma delle indagini per le ristrutturazione pesanti .....            | 14 |
|    | 7.2 Nuove costruzioni .....   | 16 |
|    | 7.2.1 introduzione .....  | 16 |
|    | 7.2.2 Finalità delle indagini.....  | 17 |
|    | 7.2.3 Autorizzazioni e valutazioni ambientali .....                             | 17 |
|    | 7.2.4 Normative, raccomandazioni tecniche e linee guida.....                    | 17 |
|    | 7.2.5 Programma delle indagini.....   | 19 |
| 8  | Prove di laboratorio .....  | 21 |
| 9  | prospezioni geofisiche .....  | 24 |
| 10 | Osservazioni di carattere generale .....  | 31 |
| 11 | Prove di compressione su carote di calcestruzzo .....                           | 31 |
| 12 | Prove di trazione su barre di armatura d'acciaio estratte dalla struttura ..... | 33 |
| 13 | Prove pacometriche.....   | 34 |
| 14 | Indagini sclerometriche .....   | 35 |
| 15 | Prove ultrasoniche .....  | 37 |
| 16 | Metodo combinato sonreb .....   | 38 |
| 17 | Prove di carico.....  | 40 |
| 18 | Saggi diretti su elementi in c.a. ....  | 42 |
| 19 | Saggi endoscopici per le strutture in muratura .....                            | 43 |
| 20 | Prove con martinetti piatti su strutture in muratura .....                      | 44 |
| 21 | Ripristini .....  | 45 |
| 22 | Pozzetti ispettivi in fondazione .....  | 46 |
| 23 | Documentazione da produrre.....   | 47 |

## 1 PREMESSA

---

Il presente "Capitolato tecnico indagini, analisi e sondaggi per i lotti da 1 a 17" contiene le condizioni regolatrici dell'Appalto Pubblico relativo all'Accordo Quadro per l'affidamento dei servizi integrati di

progettazione di fattibilità tecnico economica, di progettazione definitiva, esecutiva, direzione dei lavori e coordinamento per la sicurezza e servizi di rilievo e indagini a supporto della progettazione per la realizzazione degli interventi del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR). Tali interventi si inseriscono nella Missione di Piano 6 dedicata alla Salute; in particolare, afferiscono la Componente 1 «Reti di prossimità, strutture e telemedicina per l'assistenza sanitaria territoriale», prevedendo la creazione di Case della Comunità e di Ospedali di Comunità.

La procedura aperta è suddivisa in lotti ed è diretta alla conclusione di un Accordo Quadro della durata di 48 (quarantotto) mesi e conseguenti contratti attuativi da parte delle Aziende

Sanitarie ed Ospedaliere della Regione Campania, di cui all'allegato "Schede riepilogative

Lotti". Il presente documento individua le condizioni per l'esecuzione dei servizi di progettazione, direzione dei lavori e coordinamento della sicurezza di cui ai lotti da 1 a 17.

## **2 OGGETTO**

---

L'appalto ha per oggetto l'esecuzione di indagini di diagnostica strutturale e geognostica nella consistenza qualitativa e quantitativa minima indicate nei documenti contrattuali.

Si evidenzia che le prestazioni principali della presente procedura riguardano i servizi di ingegneria ed architettura e, in via residuale e non per tutti i Lotti, i servizi di indagini sui materiali e prove di laboratorio. Pertanto, tenuto conto delle specifiche caratteristiche dell'appalto, le prestazioni secondarie sono interamente subappaltabili a norma dell'art. 105 del Codice.

Per i lotti nei quali è richiesto, oltre ai servizi di architettura e ingegneria, il servizio di indagini e prove di laboratorio, il Laboratorio incaricato di eseguire le indagini, qualora non inserito nella struttura operativa in maniera stabile, potrà essere associato al raggruppamento di professionisti, o potrà essere incaricato tramite la disciplina del subappalto. Si precisa, altresì, che qualora il concorrente intenda partecipare oltre ai Lotti per i quali sono previste indagini anche ai Lotti per i quali non sono previste, in relazione a questi ultimi lotti non è necessaria l'associazione del laboratorio, ferma restando, tuttavia, l'immodificabilità della composizione presentata per gli altri lotti.



### 3 AMMONTARE DELLE INDAGINI, ANALISI E SONDAGGI

---

Il corrispettivo delle indagini, analisi e sondaggi oggetto del presente affidamento è determinato in base al prezzario analitico riportato nei seguenti paragrafi "7.1.5

PROGRAMMA DELLE INDAGINI" per ristrutturazioni pesanti e "7.2.5 PROGRAMMA DELLE INDAGINI" per nuove costruzioni. Non sono previste attività di indagine per gli interventi di ristrutturazione leggera.

Le informazioni qui fornite sono indicative e non esaustive; all'Affidatario potranno essere ordinate, altresì, prestazioni ulteriori, purché rientranti nel novero dei servizi di ingegneria e architettura oggetto del D.M. 17 giugno 2016. L'adeguamento avverrà con gli stessi criteri di determinazione dell'importo a base di gara e sarà assoggettato al medesimo ribasso offerto dall'Affidatario.

Nel corrispettivo suddetto sono comunque compresi:

- l'onere per necessari incontri, contatti con gli enti, organi ed uffici a vario titolo competenti; in particolare, con i rappresentanti dell'Azienda Sanitaria Contraente;
- l'uso di attrezzature, strumenti informatici, e mezzi di indagine;
- le eventuali spese per il rilascio di pareri, nulla osta, gli oneri di copia e inoltro, con le modalità richieste dai competenti uffici, della documentazione necessaria, così come dei documenti ritenuti necessari dal medesimo Affidatario nonché per la ricerca presso gli enti di pareri precedenti o altri documenti rilevanti; sono escluse le spese per i diritti di segreteria ed eventuali bolli, che rimarranno a carico dell'Azienda Sanitaria Contraente.

L'Affidatario ai sensi dell'art 31 comma 8 del D.Lgs. 50 del 2016, non può avvalersi del subappalto, fatta eccezione per indagini geologiche, geotecniche e sismiche, sondaggi, rilievi, misurazioni e picchettazioni, predisposizione di elaborati specialistici e di dettaglio, con esclusione delle relazioni geologiche, nonché per la sola redazione grafica degli elaborati progettuali. Il progettista può affidare a terzi l'attività di consulenza specialistica inerenti ai settori energetico, ambientale, acustico e ad altri settori non attinenti alle discipline dell'ingegneria e dell'architettura per i quali siano richieste apposite certificazioni o competenze, rimanendo ferma la responsabilità del progettista anche ai fini di tali attività.



#### 4 DESIGNAZIONE SOMMARIA DELLE INDAGINI

---

Le indagini che formano oggetto del presente appalto possono riassumersi come appresso:

##### INDAGINI GEOGNOSTICHE

1. Sondaggi Geognostici;
2. Analisi e prove di laboratorio geotecnico;
3. Prospezioni geofisiche

##### INDAGINI STRUTTURALI

1. Estrazioni di carote;
2. Estrazione di barre di armatura;
3. Analisi da effettuarsi in situ su campioni estratti: determinazione in sito della profondità di carbonatazione su provino di calcestruzzo;
4. Analisi e prove di laboratorio: con riferimento ai provini cilindrici di calcestruzzo: taglio, rettifica e preparazione, valutazione della massa volumica, resistenza a compressione; con riferimento ai provini di armatura: taglio e preparazione, misura del diametro effettivo, prove di trazione;
5. Prove in situ non distruttive per la caratterizzazione elasto-meccanica dei calcestruzzi: prove SonReb, costituite da prove sclerometriche e soniche combinate;
6. Prove in situ non distruttive per la definizione geometrica delle armature e loro distribuzione: Indagini magnetometriche con pacometro e saggi diretti;
7. Saggi diretti per la definizione della struttura fondale: Pozzetto ispettivi fino a piano di fondazione;
8. Rilievi geometrici strutturali di elementi portanti;
9. Prove di carico sui solai.

È esplicito patto contrattuale che tutti i lavori presenti nel presente appalto debbano essere eseguiti con strumentazioni non obsolete, con precisione conforme alla prova richiesta e con certificato di taratura valido (ovvero non anteriore a mesi 6) all'atto dell'esecuzione delle indagini. Là dove specificatamente normate le

---

#### CAPITOLATO TECNICO - INDAGINI

**SO.RE.SA. S.p.A.** con unico Socio  
Sede Legale: Centro Direzionale Isola F9 - 80143 Napoli  
Capitale sociale: Euro 500.000,00 i.v.

Codice Fiscale, Partita IVA e iscrizione al Registro delle Imprese di Napoli n. 04786681215  
Tel. 081 21 28 174 – Fax 081 75 00 012 - [www.soresa.it](http://www.soresa.it)



prove devono attenersi a protocolli di esecuzione di approvata validità o secondo processi validati scientificamente. Le strumentazioni e il personale tecnico devono essere commisurati affinché la fase ispettiva sia ultimata nei tempi e nei termini stabiliti nel presente capitolato.

### **AUTORIZZAZIONI E VALUTAZIONI AMBIENTALI**

Per tutti gli interventi che rientrano nel perimetro di un'area protetta nazionale o regionale ai sensi della Legge 394/91 e/o di un sito della Rete Natura 2000, ai sensi del D.Lgs. 357/97 è richiesta una procedura specifica così come previsto dalle normative di riferimento e dalle Linee guida Nazionali e regionali.

Nello specifico:

- per gli interventi ricadenti in area protetta nazionale o regionale va predisposta la documentazione necessaria all'acquisizione del "Nulla Osta" dell'Ente gestore;
- per gli interventi ricadenti in un sito della Rete Natura 2000: Sito di Importanza Comunitaria o Zona Speciale di Conservazione, rispettivamente SIC e ZPS; Zona di Protezione speciale ZPS, va predisposta la documentazione necessaria alla Valutazione di Incidenza Ambientale in riferimento alle Linee guida e criteri di indirizzo per la valutazione di incidenza in Regione Campania;
- per gli interventi che ricadono sia in area protetta nazionale o regionale sia in un sito della Rete Natura 2000 vanno applicate entrambe le procedure precedenti.

## **5 CONDIZIONI ESECUTIVE**

---

All'atto della sottoscrizione dell'Ordine di Servizio Attuativo, l'Affidatario riconosce pienamente:

- a. di avere preso conoscenza delle indagini minime da eseguire;
- b. di avere visitato i luoghi interessati dalle indagini, di averne accertato le condizioni di accesso, la viabilità delle vie di accesso, le condizioni del suolo e della struttura su cui dovranno eseguirsi le indagini;
- c. di avere esaminato gli elaborati dettagliatamente;
- d. di aver valutata la richiesta di un confronto tecnico preventivo con il Responsabile Tecnico dell'Ordine di Servizio Attuativo delle indagini al fine di valutare singolarità o occorrenze non desumibili dalle tavole di progetto e dalla relazione tecnica.



L'Affidatario non potrà quindi eccepire, durante l'esecuzione dei lavori, la mancata conoscenza di condizioni la sopravvenienza di elementi non valutati o non considerati, a meno che tali nuovi elementi appartengano alla categoria delle cause di forza maggiore contemplate dal Codice Civile e non escluse da altre norme del presente capitolato.

## **6 ONERI, OBBLIGHI E RESPONSABILITÀ DELL'AFFIDATARIO**

---

1. L'Affidatario dovrà:
2. essere dotato di tutte le strumentazioni ed il personale necessari per l'esecuzione delle indagini senza nessuna eccezione;
3. provvedere a proprie spese alla cura e sorveglianza delle strumentazioni e macchinari messi in atto per le indagini;
4. fornire i mezzi di trasporto (automezzi e cavalcature) per i sopralluoghi ai lavori sia a scopo di studio sia per l'esecuzione ed il controllo di misure, o per l'esame dei risultati raggiunti dalle indagini al personale autorizzato dal Contraente;
5. provvedere all'opportuna recinzione e segnalazione di tutte le superfici interessate dai lavori, cui, per il pericolo di franamenti o per la presenza di scavi, potrebbe essere pericolo l'avvicinarsi;
6. accertare che nel sottosuolo e negli elementi strutturali interessati dalle indagini non siano presenti impianti idrici, elettrici e tecnologici in genere. La loro eventuale presenza imporrà all'Esecutore l'obbligo di mantenerli in perfetta efficienza e, pertanto, sarà a suo carico l'onere di ripristinarli.

## **7 PIANO DELLE INDAGINI**

---

### Principi

I sondaggi geognostici dovranno essere eseguiti a carotaggio continuo, ovvero a distruzione di nucleo solo per installazione di strumentazione o per raggiungere le quote di prelievo di campioni; con i sondaggi si devono perseguire i seguenti fini: - ricostruzione della stratigrafia del sottosuolo mediante l'esame del carotaggio



continuo prodotto - prelievo di campioni indisturbati per la sperimentazione geotecnica di laboratorio - installazione di piezometri - esecuzione di prove in foro di tipo tradizionale (ad es. SPT) e di tipo geofisico (ad es. down hole).

### Esecuzione

- Attrezzature

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

- Sondaggi a carotaggio continuo

I carotaggi dovranno essere eseguiti con carotiere semplice del diametro di 101 mm. Laddove le condizioni fisiche del litotipo non garantiscano il recupero di campione per una percentuale superiore al 50% dovranno essere adottati carotieri doppi (NT2 o NT6). Tali carotieri dovranno essere utilizzati comunque per garantire il campionamento completo degli orizzonti litoidi e per consentire la valutazione dell'indice RQD. Laddove la natura del litotipo richieda l'uso del rivestimento se ne adotterà uno di diametro tale da consentire il prosieguo delle operazioni di perforazione.

- Cassette catalogatrici

Le carote recuperate verranno riposte in opportune cassette catalogatrici sulle quali verranno apposte tutte le indicazioni relative a: committente, cantiere, data, sigla e numero del sondaggio, profondità della perforazione. Dovranno essere apposti, inoltre, idonei separatori al fine di indicare l'inizio e la fine di ogni manovra ed il prelievo di eventuali campioni. Le singole cassette verranno fotografate a colori entro 24 ore dal



loro completamento, con risoluzione adeguata ad una visione chiara delle carote contenute ed in modo che siano chiaramente leggibili tutte le indicazioni apposte sulla cassetta. La documentazione fotografica deve far parte del rapporto delle indagini.

- Profili stratigrafici

Le stratigrafie dovranno essere presentate sotto forma di certificati e saranno compilate per i sondaggi eseguiti a carotaggio continuo. I profili stratigrafici conterranno le informazioni generali sul sondaggio (norme AGI - ASTM) e, precisamente: - quota assoluta del boccaforo - data di inizio e fine della perforazione - dati tecnici della sonda e delle strumentazioni utilizzate (es. penetrometri) - diametro del foro ed uso di eventuali carotieri doppi - descrizione dei tipi di terreno attraversati (conformemente a quanto riportato nelle raccomandazioni AGI, 1977) - consistenza e grado di plasticità dei terreni a grana fina - stato di addensamento dei terreni a grana grossa - % di carotaggio, % RQD dei livelli lapidei - struttura del terreno - profondità del livello dell'acqua all'interno del foro di sondaggio al termine delle operazioni di perforazione ed eventuali letture di piezometri, se installati - quote e dati delle prove SPT eseguite in foro - nominativi dell'operatore e del supervisore - nominativo del geologo responsabile di sito - eventuali note sulle modalità operative adottate.

- Sondaggi a distruzione di nucleo

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

#### Avvertenze/raccomandazioni

L'impianto di perforazione deve essere di potenza adeguata ed attrezzato per raggiungere le profondità che si renderanno necessarie, in funzione dei risultati delle indagini fino a quel momento svolte. Qualora l'attrezzatura installata nel cantiere di perforazione non fosse ritenuta idonea allo scopo, la DL ha facoltà di richiederne l'immediata sostituzione, sospendendo i lavori sino a sostituzione avvenuta, senza che la Ditta esecutrice possa vantare alcun sovrapprezzo o compenso. Le perforazioni dovranno essere eseguite in quei punti



preventivamente indicati dalla Direzione dei Lavori, in base al programma di indagine. L'ubicazione dei punti di perforazione sarà fissata dalla DL, e rimarrà comunque facoltà della stessa variarla in funzione delle maggiori conoscenze che si avranno durante la fase esecutiva delle indagini, senza che la Ditta esecutrice possa vantare alcun sovrapprezzo o compenso. I fori di sondaggio destinati ad essere utilizzati per prospezioni sismiche in foro con il metodo down-hole devono essere condizionati mediante tubo in PVC, necessario a garantire perfette condizioni di geometria al foro e a contenere la strumentazione per la rilevazione delle onde sismiche. I tubi in PVC, dello spessore compreso tra 3 e 8 mm e del diametro interno pari almeno a 80 mm, dovranno essere di ottima qualità e approvati dalla

D.L. prima dell'inizio della loro posa in opera. I tubi saranno giuntati per elementi di 3 o 6 metri mediante innesti maschio/femmina oppure avvitati. La tenuta idraulica della colonna di tubi sarà garantita dalla sigillatura mediante resina siliconica e nastro plastico. Il primo elemento immesso nel foro deve essere chiuso al fondo mediante un tappo semplice o dalla valvola di fondo, a seconda della modalità di riempimento dell'intercapedine. I tubi andranno installati in fori opportunamente rivestiti in cui sarà stata immessa acqua pulita per il lavaggio.

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



## 7.1 Ristrutturazioni pesanti

### 7.1.1 INTRODUZIONE

Il presente paragrafo costituisce il programma relativo alle specifiche indagini geognostiche (geologiche, geotecniche, idrogeologiche e geofisiche), autorizzazioni e valutazioni ambientali ed indagini strutturali propedeutiche allo sviluppo delle diverse fasi progettuali, con specifico riferimento agli interventi di ristrutturazione pesante di manufatti esistenti per la realizzazione di strutture sanitarie (CdC e OdC) ricomprese nel PNRR. Il programma d'indagine in sito e di laboratorio prende spunto dai DIP relativi ai singoli interventi di progetto rappresentanti il quadro conoscitivo di base di indirizzo della progettazione.

### 7.1.2 FINALITA' DELLE INDAGINI

Lo scopo delle indagini geognostiche in oggetto è quello di definire correttamente il contesto e le caratteristiche geologiche e geotecniche in cui l'opera in progetto si inserisce e, quindi, valutare le interferenze della nuova opera nell'ambito del volume significativo, con particolare riferimento agli aspetti idrogeologici, oltre che valutare la caratterizzazione ambientale dei terreni interessati da attività di scavo ai fini del loro eventuale, successivo riutilizzo. Infine, laddove necessario, dovranno essere eseguiti scavi e verifiche di superficie mirate alla verifica preventiva del rischio archeologico nelle aree di realizzazione dell'intervento di progetto.

### 7.1.3 AUTORIZZAZIONI E VALUTAZIONI AMBIENTALI

Per tutti gli interventi che rientrano nel perimetro di un'area protetta nazionale o regionale ai sensi della Legge 394/91 e/o di un sito della Rete Natura 2000, ai sensi del D.Lgs. 357/97 è richiesta una procedura specifica così come previsto dalle normative di riferimento e dalle Linee guida Nazionali e regionali.

Nello specifico:

- per gli interventi ricadenti in area protetta nazionale o regionale va predisposta la documentazione necessaria all'acquisizione del "Nulla Osta" dell'Ente gestore;



- per gli interventi ricadenti in un sito della Rete Natura 2000: Sito di Importanza Comunitaria o Zona Speciale di Conservazione, rispettivamente SIC e ZPS; Zona di Protezione speciale ZPS, va predisposta la documentazione necessaria alla Valutazione di Incidenza Ambientale in riferimento alle Linee guida e criteri di indirizzo per la valutazione di incidenza in Regione Campania;
- per gli interventi che ricadono sia in area protetta nazionale o regionale sia in un sito della Rete Natura 2000 vanno applicate entrambe le procedure precedenti.

Per quanto concerne, infine, le indagini strutturali, per la valutazione della sicurezza statica e sismica dell'immobile, risultano necessarie indagini finalizzate alla determinazione della geometria degli elementi strutturali, dei dettagli costruttivi e delle proprietà dei materiali strutturali utilizzati per la realizzazione dell'immobile.

Il piano di indagini strutturali dovrà essere basato sulla documentazione resa disponibile dalla

Stazione Contraente e visionabile da parte dei progettisti incaricati, nonché sull'esistenza di elaborati strutturali originali della struttura in esame.

Nel caso in cui la struttura di interesse risulti essere realizzata in c.a., si prevede di raggiungere il massimo livello di conoscenza possibile (LC3 secondo NTC 2018 e Circolare n° 7 del 2019) in modo da sfruttare a pieno le capacità dei materiali esistenti.

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

Rilievo geometrico della parte strutturale e non strutturale

Un rilievo geometrico della parte strutturale si renderà necessario per verificare la corrispondenza dell'organismo strutturale realizzato con quello presente sugli elaborati di progetto. Pertanto, in questa fase si dovrà effettuare un rilievo delle geometrie (sviluppo longitudinale e sezione) dei singoli elementi strutturali, e determinarne la posizione nello spazio.

Inoltre, risulterà necessario determinare anche la tipologia e gli spessori degli elementi non strutturali che rappresentano il carico permanente non strutturale, quali: tipo e

spessore dei compari, spessore del pacchetto di finitura dei solai, etc..



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

#### Indagini sulle armature

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

#### Indagini sui materiali

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

#### **7.1.4 NORMATIVE, RACCOMANDAZIONI TECNICHE E LINEE GUIDA**

- A.G.I. (1977). "Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche".
- Decreto Ministeriale LL.PP. 11/3/1988 - 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.
- Circolare LL.PP. 24/9/1988 n.30483 - L.2.2.1974, n.64 - art.1 - Istruzioni per l'applicazione del D.M. 11/3/1988. 1
- A.G.I. (1994). "Raccomandazioni sulle Prove Geotecniche di Laboratorio".
- UNI ENV 1997-2. "Eurocodice 7. Progettazione Geotecnica. Parte 2: Progettazione assistita da prove di Laboratorio". Giugno 2002.
- UNI ENV 1997-3. "Eurocodice 7. Progettazione Geotecnica. Parte 3: Progettazione assistita con prove in sito". Settembre 2002.
- UNI ENV 1997-3. "Eurocodice 8. Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnica".
- Legge 64/1974; Legge 464/1984;



- Capitolato Generale d'Appalto per le Opere Pubbliche (approvato con D.M. 145/2000);
- D.P.R. 380/2001;
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 28 aprile 2006, n. 3519 e ss.mm.ii.;
- D.Lgs. 50/2016. "Codice degli appalti pubblici";
- D.P.R. 207/2010 Regolamento di esecuzione e attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n.163 e ss.mm.ii.
- Decreto Ministeriale 14.01.2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni".
- Circolare n° 617/2009 CSLP - Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14.01.2008.
- Decreto Ministeriale 17.01.2008 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni".
- Circolare n° 7 del 21.01.2019 CSLP – Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17.01.2018.
- Riferimenti di Enti Formatori italiani e stranieri inerenti all'esecuzione di indagini dirette ed indirette, prove in sito ed in laboratorio (CNR, UNI, ASTM, ISRM, BS, SMRE, AASHTO ecc....).

#### **7.1.5 PROGRAMMA DELLE INDAGINI PER LE RISTRUTTURAZIONE PESANTI**

Di seguito si forniscono le specifiche relative all'esecuzione delle indagini minime propedeutiche alla progettazione degli interventi.

Si prevede la realizzazione di almeno n° 1 sondaggio a rotazione e carotaggio continuo da realizzare in un punto ritenuto quanto più significativo (ed, ovviamente, accessibile) rispetto al sedime del manufatto secondo le seguenti tipologie e modalità: profondità di investigazione pari a 30.0 m dal p.c.; strumentazione del foro, nel caso di rinvenimento di una falda idrica sotterranea, con tubazione piezometrica a tubo aperto; attività di monitoraggio della tubazione piezometrica per l'intero arco temporale dell'attività progettuale. Durante la perforazione si prevede il prelievo di almeno n° 2 campioni indisturbati per mezzo di campionatore a pareti sottili e fustelle in acciaio inox (o altro idoneo campionatore in funzione della natura dei terreni attraversati).



Qualora, a causa della tipologia litologica non fosse possibile il prelievo di campioni di tipo indisturbato dovrà essere valutata la possibilità del prelievo di campioni di tipo rimaneggiato. Le profondità a cui verrà prelevato il campione verranno definite durante lo svolgimento della terebrazione in base alle litologie estratte e delle profondità di interesse geotecnico. La totalità dei campioni prelevati verrà sottoposta a specifiche analisi fisiche, di resistenza meccanica e di deformabilità afferenti la Meccanica delle Terre secondo il seguente programma (indicativo e non esaustivo): determinazione del contenuto naturale d'acqua, peso di volume naturale e della frazione solida, analisi granulometrica completa di vagliatura e sedimentazione, limiti di Atterberg, prova di compressione monoassiale ad espansione laterale libera, prova di taglio diretto consolidata-drenata, prova di taglio anulare, prova di compressione triassiale CD, CIU o UU, prova di compressione edometrica, prova dinamica triassiale ciclica. La tipologia delle singole prove a cui verrà sottoposto ogni singolo campione da analizzare dovrà essere compiutamente definita a seguito della natura della composizione litologica del materiale prelevato e degli interessi progettuali di carattere geotecnico e/o strutturale. Durante l'avanzamento della perforazione si prevede la realizzazione di prove S.P.T. (preferibilmente a punta aperta, ovvero a punta chiusa nel caso di terreni ghiaioso-ciottolosi) mediamente ogni 5.0 m di avanzamento. Si prevede inoltre la realizzazione di una o più prove di permeabilità tipo Lefranc a carico variabile.

Inoltre verranno eseguite le seguenti indagini geofisiche: – prospezioni sismiche attive di superficie in onda S (masw o holysurface) finalizzate alla valutazione del parametro  $V_{s,eq}$ , oltre che alla ricostruzione stratigrafica del sottosuolo; prospezioni sismiche passive a stazione singola (hvsr) per la determinazione della frequenza di risonanza sito specifica. Per quanto concerne le valutazioni relative alla circolazione idrica sotterranea ante-operam e sulle perturbazioni indotte sull'assetto della falda dalla realizzazione dell'intervento dovrà essere sviluppato uno studio di carattere idrogeologico, mediante specifica modellazione con codici di calcolo. In presenza di specifiche indicazioni della Soprintendenza Archeologica di effettuare una valutazione sul rischio archeologico dell'area è prevista la realizzazione di due tipologie di intervento tra loro integrative che prevedono indagini archeologiche per trincee o saggi e indagini archeologiche tramite ricognizione di superficie. In particolare, gli scavi delle trincee verranno eseguiti in corrispondenza delle aree destinate a cantierizzazione e ad attività di scavo e saranno finalizzate alla caratterizzazione/valutazione dei terreni tramite indagine a campione. Le trincee, che interesseranno circa il 10% della superficie interessata dall'intervento, verranno eseguite con mezzo meccanico e sotto il costante controllo degli archeologi; esse si spingeranno fino all'individuazione di indizi archeologici o fino ad una profondità ritenuta priva di interesse archeologico,



indicativamente stimata in 3.0 m da p.c.. Si prevedono eventuali scavi e puliture a mano qualora vi fossero necessità al fine di definire la natura e le caratteristiche del deposito. La ricognizione di superficie da eseguirsi a piedi interesserà l'intera area di intervento e sarà finalizzata alla verifica e all'esame dell'eventuale presenza a terra di indicatori utili a definire la presenza di depositi archeologici sepolti. Da un punto di vista ambientale, al fine di poter procedere alla valutazione, ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i., delle caratteristiche chimiche dei terreni di scavo (e di demolizione) presenti in corrispondenza dei settori interessati dalla realizzazione dell'opera in progetto e quindi all'idoneità e compatibilità ambientale per il riutilizzo/smaltimento degli stessi (ai sensi del D.M. 161/2012) si prevede di procedere al prelievo di campioni di terreno/materiali, prelevati nel corso della perforazione di sondaggio o da specifici pozzetti esplorativi realizzati con escavatore meccanico, ovvero dai differenti materiali costituenti il manufatto da ristrutturare e riscontrati nel corso dei rilievi della struttura, da sottoporre ad analisi di tipo chimico-ambientale ai fini della caratterizzazione e alla successiva definizione della possibilità di riutilizzo in operazioni, quali "ripristini ambientali" (o di smaltimento). Pertanto, i campioni prelevati verranno sottoposti a specifiche analisi di caratterizzazione ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. secondo un protocollo standard, che fa riferimento a quanto definito dall'Allegato 4 al D.M. 161/2012, e successivamente, anche in considerazione degli esiti analitici emersi dalla caratterizzazione e dalla eventualità di smaltire come rifiuto il terreno proveniente dagli scavi, una serie di analisi per la valutazione della pericolosità del rifiuto e di prove di cessione, ai sensi del D.M. 27/09/2010, che nell'ambito della materia "rifiuti" sancisce attraverso le caratteristiche chimiche che emergono dagli eluati di tali prove, l'ammissibilità in discariche ai fini del recupero. Infine, ai fini di una valutazione ante-operam del chimismo delle acque sotterranee si prevede il prelievo di campioni di matrice liquida da sottoporre a specifiche analisi di caratterizzazione chimico-fisica (pH, conducibilità, metalli, anioni e cationi, idrocarburi totali) di laboratorio ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i..

## **7.2 Nuove costruzioni**

### **7.2.1 Introduzione**

Il presente paragrafo costituisce il programma relativo alle specifiche indagini geognostiche (geologiche, geotecniche, idrogeologiche e geofisiche), autorizzazioni e valutazioni ambientali ed indagini propedeutiche allo sviluppo delle diverse fasi progettuali, con specifico riferimento agli interventi di realizzazione ex-novo (ovvero mediante abbattimento e ricostruzione di manufatti esistenti) delle strutture sanitarie (CdC e OdC) ricomprese



nel PNRR. Il programma d'indagine in sito e di laboratorio prende spunto dai DIP relativi ai singoli interventi di progetto rappresentanti il quadro conoscitivo di base di indirizzo della progettazione.

### 7.2.2 FINALITÀ DELLE INDAGINI

Lo scopo delle indagini in oggetto è quello di definire correttamente il contesto e le caratteristiche geologiche e geotecniche in cui l'opera in progetto si inserisce e, quindi, valutare le interferenze della nuova opera nell'ambito del volume significativo, con particolare riferimento agli aspetti idrogeologici, oltre che valutare la caratterizzazione ambientale dei terreni interessati dalle attività di scavo ai fini del loro eventuale, successivo riutilizzo. Infine, laddove necessario, dovranno essere eseguiti scavi e verifiche di superficie mirate alla verifica preventiva del rischio archeologico nelle aree di realizzazione dell'intervento di progetto.

### 7.2.3 AUTORIZZAZIONI E VALUTAZIONI AMBIENTALI

Per tutti gli interventi che rientrano nel perimetro di un'area protetta nazionale o regionale ai sensi della Legge 394/91 e/o di un sito della Rete Natura 2000, ai sensi del D.Lgs. 357/97 è richiesta una procedura specifica così come previsto dalle normative di riferimento e dalle Linee guida Nazionali e regionali.

Nello specifico:

- per gli interventi ricadenti in area protetta nazionale o regionale va predisposta la documentazione necessaria all'acquisizione del "Nulla Osta" dell'Ente gestore;
- per gli interventi ricadenti in un sito della Rete Natura 2000: Sito di Importanza Comunitaria o Zona Speciale di Conservazione, rispettivamente SIC e ZPS; Zona di Protezione speciale ZPS, va predisposta la documentazione necessaria alla Valutazione di Incidenza Ambientale in riferimento alle Linee guida e criteri di indirizzo per la valutazione di incidenza in Regione Campania;
- per gli interventi che ricadono sia in area protetta nazionale o regionale sia in un sito della Rete Natura 2000 vanno applicate entrambe le procedure precedenti.

### 7.1.4 NORMATIVE, RACCOMANDAZIONI TECNICHE E LINEE GUIDA

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



- Decreto Ministeriale LL.PP. 11/3/1988 - 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.
- Circolare LL.PP. 24/9/1988 n.30483 - L.2.2.1974, n.64 - art.1 - Istruzioni per l'applicazione del D.M. 11/3/1988. 1
- A.G.I. (1994). "Raccomandazioni sulle Prove Geotecniche di Laboratorio".
- UNI ENV 1997-2. "Eurocodice 7. Progettazione Geotecnica. Parte 2: Progettazione assistita da prove di Laboratorio". Giugno 2002.
- UNI ENV 1997-3. "Eurocodice 7. Progettazione Geotecnica. Parte 3: Progettazione assistita con prove in sito". Settembre 2002.
- UNI ENV 1997-3. "Eurocodice 8. Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnica".
- Legge 64/1974; Legge 464/1984;
- Capitolato Generale d'Appalto per le Opere Pubbliche (approvato con D.M. 145/2000);
- D.P.R. 380/2001;
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 28 aprile 2006, n. 3519 e ss.mm.ii.;
- D.Lgs. 50/2016. "Codice degli appalti pubblici";
- D.P.R. 207/2010 Regolamento di esecuzione e attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n.163 e ss.mm.ii.
- Decreto Ministeriale 14.01.2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni".
- Circolare n° 617/2009 CSLP - Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14.01.2008.
- Decreto Ministeriale 17.01.2008 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni".
- Circolare n° 7 del 21.01.2019 CSLP – Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17.01.2018.
- Riferimenti di Enti Formatori italiani e stranieri inerenti all'esecuzione di indagini dirette ed indirette, prove in sito ed in laboratorio (CNR, UNI, ASTM, ISRM, BS, SMRE, AASHTO ecc....).



#### 7.2.5 PROGRAMMA DELLE INDAGINI

Di seguito si forniscono le specifiche relative all'esecuzione delle indagini propedeutiche alla progettazione degli interventi.

Si prevede la realizzazione almeno di n° 1 sondaggio a rotazione e carotaggio continuo da realizzare in un punto quanto più baricentrico rispetto all'impronta di sedime del nuovo manufatto secondo le seguenti tipologie e modalità: profondità di investigazione pari a 30.0 m dal p.c.; strumentazione del foro, nel caso di rinvenimento di una falda idrica sotterranea, con n. 2 celle piezometriche di tipo Casagrande da ubicare in due punti significativi della verticale esplorata a giudizio del Responsabile Tecnico dell'Ordine di Servizio Attuativo, ovvero con tubazione cieca in pvc per la successiva esecuzione di prove sismiche in foro; attività di monitoraggio delle celle piezometriche installate per l'intero arco temporale dell'attività progettuale. Durante la perforazione si prevede il prelievo di almeno n° 2 campioni indisturbati per mezzo di campionatore a pareti sottili e fustelle in acciaio inox (o altro idoneo campionatore in funzione della natura dei terreni attraversati). Qualora, a causa della tipologia litologica non fosse possibile il prelievo di campioni di tipo indisturbato dovrà essere valutata la possibilità del prelievo di campioni di tipo rimaneggiato. Le profondità a cui verrà prelevato il campione verranno definite durante lo svolgimento della terebrazione in base alle litologie estratte e delle profondità di interesse geotecnico. La totalità dei campioni prelevati verrà sottoposta a specifiche analisi fisiche, di resistenza meccanica e di deformabilità afferenti la Meccanica delle Terre secondo il seguente programma (indicativo e non esaustivo): determinazione del contenuto naturale d'acqua, peso di volume naturale e della frazione solida, analisi granulometrica completa di vagliatura e sedimentazione, limiti di Atterberg, prova di compressione monoassiale ad espansione laterale libera, prova di taglio diretto consolidata-drenata, prova di taglio anulare, prova di compressione triassiale CD, CIU o UU, prova di compressione edometrica, prova dinamica triassiale ciclica. La tipologia delle singole prove a cui verrà sottoposto ogni singolo campione da analizzare dovrà essere compiutamente definita a seguito della natura della composizione litologica del materiale prelevato e degli interessi progettuali di carattere geotecnico e/o strutturale. Durante l'avanzamento della perforazione si prevede la realizzazione di prove S.P.T. (preferibilmente a punta aperta, ovvero a punta chiusa nel caso di terreni ghiaioso-ciottolosi) mediamente ogni 5.0 m di avanzamento. Si prevede inoltre la realizzazione di una o più prove di permeabilità tipo Lefranc a carico variabile.

Inoltre verranno eseguite le seguenti indagini geofisiche: – prospezioni sismiche attive di superficie in onda S (masw o holysurface) finalizzate alla valutazione del parametro  $V_{s,eq}$ , oltre che alla ricostruzione stratigrafica



del sottosuolo, ovvero in foro mediante prove downhole; prospezioni sismiche passive a stazione singola (hvsr) per la determinazione della frequenza di risonanza sito specifica. Per quanto concerne le valutazioni relative alla circolazione idrica sotterranea ante-operam e sulle perturbazioni indotte sull'assetto della falda dalla realizzazione dell'intervento dovrà essere sviluppato uno studio di carattere idrogeologico, mediante specifica modellazione con codici di calcolo. In presenza di specifiche indicazioni della Soprintendenza Archeologica di effettuare una valutazione sul rischio archeologico dell'area è prevista la realizzazione di due tipologie di intervento tra loro integrative che prevedono indagini archeologiche per trincee o saggi e indagini archeologiche tramite ricognizione di superficie. In particolare, gli scavi delle trincee verranno eseguiti in corrispondenza delle aree destinate a cantierizzazione e ad attività di scavo e saranno finalizzate alla valutazione tramite indagine a campione. Le trincee, che interesseranno circa il 10% della superficie interessata dall'intervento, verranno eseguite con mezzo meccanico e sotto il costante controllo degli archeologi; esse si spingeranno fino all'individuazione di indizi archeologici o fino ad una profondità ritenuta priva di interesse archeologico, indicativamente stimata in 3.0 m da p.c.. Si prevedono eventuali scavi e puliture a mano qualora vi fossero necessità al fine di definire la natura e le caratteristiche del deposito. La ricognizione di superficie da eseguirsi a piedi interesserà l'intera area di intervento e sarà finalizzata alla verifica e all'esame dell'eventuale presenza a terra di indicatori utili a definire la presenza di depositi archeologici sepolti. Da un punto di vista ambientale, al fine di poter procedere alla valutazione, ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i., delle caratteristiche chimiche dei terreni di scavo presenti in corrispondenza dei settori interessati dalla realizzazione dell'opera in progetto e quindi all'idoneità e compatibilità ambientale per il riutilizzo degli stessi (ai sensi del D.M. 161/2012) si prevede di procedere al prelievo di campioni di terreno (almeno tre a diverse profondità), prelevati o direttamente dal materiale carotato nel corso della perforazione di sondaggio, o da uno o più specifici pozzetti esplorativi realizzati con escavatore meccanico da sottoporre ad analisi di tipo chimico-ambientale ai fini della caratterizzazione e alla successiva definizione della possibilità di riutilizzo in operazioni, quali "ripristini ambientali". Pertanto, i campioni prelevati verranno sottoposti a specifiche analisi di caratterizzazione ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. secondo un protocollo standard, che fa riferimento a quanto definito dall'Allegato 4 al D.M. 161/2012, e successivamente, anche in considerazione degli esiti analitici emersi dalla caratterizzazione e dalla eventualità di smaltire come rifiuto il terreno proveniente dagli scavi, una serie di analisi per la valutazione della pericolosità del rifiuto e di prove di cessione, ai sensi del D.M. 27/09/2010, che nell'ambito della materia "rifiuti" sancisce attraverso le caratteristiche chimiche che emergono dagli eluati di tali prove, l'ammissibilità in discariche ai fini del recupero. Infine, ai fini di una valutazione ante-operam del chimismo delle

acque sotterranee si prevede il prelievo di campioni di matrice liquida da sottoporre a specifiche analisi di caratterizzazione chimico-fisica (pH, conducibilità, metalli, anioni e cationi, idrocarburi totali) di laboratorio ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i..

## **8 PROVE DI LABORATORIO**

---

### Principi

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

### Esecuzione

- Esame preliminare dei campioni. La certificazione di laboratorio verrà preceduta da un foglio descrittivo del campione che conterrà: committente – cantiere – data - località di provenienza del campione - sondaggio e profondità di prelievo - numero del campione - caratteristiche delle attrezzature di perforazione e campionamento - lunghezza e diametro del campione - descrizione visiva del campione secondo la norma ASTM - consistenza e omogeneità del campione eventualmente mediante scissometro o pocket penetrometer - elenco delle prove previste - eventuale fotografia.

- Determinazione della resistenza a compressione monoassiale dei materiali rocciosi

Sarà effettuata secondo le raccomandazioni ISRM (International Society for Rock Mechanics) per la determinazione della resistenza a compressione monoassiale e della deformabilità delle rocce. Questo metodo di prova è rivolto alla misura della resistenza a compressione monoassiale di un saggio di roccia costituito da campioni dalla geometria regolare.

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

### Apparecchiatura

Per applicare e misurare il carico assiale sul campione si impiegherà una macchina adeguata. Sarà di portata sufficiente ed atta ad applicare il carico ad una velocità in accordo ai requisiti indicati. Sarà verificata ad adeguati



intervalli di tempo e dovrà soddisfare le normative nazionali in vigore, ad es. come prescritto in «ASTM Methods ». E4: Vèrification of Testirrg Machines» o in «British Standards 1610, Grade A» oppure in «Deutsche Normen DIN 51220, DIN 51223, Klasse 1, DIN 51 300».

#### Procedimento

(a) I provini saranno cilindri circolari retti aventi un rapporto fra l'altezza ed il diametro di 2.53.0 ed un diametro preferibilmente non inferiore alla dimensione della carota, approssimativamente 54 mm. Il diametro del campione dovrebbe essere correlato alla dimensione del più grande dei grani presenti nella roccia da un rapporto almeno 10:1. (b) Le facce del campione saranno piane con uno scostamento inferiore a 0.02 mm e non si discosteranno dalla perpendicolarità rispetto all'asse del campione per più di 0.001 rad (circa 3.5') ovvero 0.05 mm su 50 mm.

(c) La superficie laterale del campione sarà liscia e priva di brusche irregolarità e con profilo rettilineo con uno scostamento non superiore a 0.3 mm sull'intera lunghezza del campione. (d) Non è consentita l'interposizione di materiali per la trasmissione del carico alle teste o di trattamenti della superficie delle teste diversi da lavorazioni meccaniche.

(e) Il diametro dei provini sarà misurato con l'approssimazione di 0.1 mm calcolando la media delle misure di due diametri fra loro ortogonali effettuate nella parte superiore, a mezza altezza e nella parte inferiore del campione. Il diametro medio sarà usato per calcolare l'area della sezione trasversale. L'altezza del campione sarà determinata con l'approssimazione di 1.0 mm.

(f) I campioni saranno conservati, per non più di 30 giorni, in modo da mantenere il contenuto d'acqua naturale, per quanto possibile, e sottoposti a prova in quella condizione. Questa condizione di umidità sarà riportata in accordo con le «Raccomandazioni per la determinazione del contenuto d'acqua di un campione di roccia», Comitato della Società Internazionale per la Meccanica delle Rocce sulle prove di laboratorio, Documento n. 2, Primo aggiornamento, dicembre 1977.

(g) Il carico sul campione sarà applicato in modo continuo con una velocità di applicazione della tensione costante tale per cui la rottura avvenga entro 5-10 min di carico; in alternativa, la velocità di applicazione della tensione sarà: compresa nei limiti di 0.5-1.0 MPa/s. (h) Il massimo carico sul campione sarà registrato in newton (in kilonewton o Meganewton, secondo il caso) con l'accuratezza di 1%.



(i) Il numero di campioni da sottoporre a prova dovrebbe essere determinato in base a considerazioni pratiche, ma si suggerisce l'impiego di almeno 5 provini.

Calcoli

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

#### Relazione sui risultati

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

(1) Qualora si rendesse necessario in qualche caso sottoporre a prova campioni che non soddisfacessero le prescrizioni sopra menzionate, si riporteranno queste condizioni nella relazione di prova.

#### Avvertenze/raccomandazioni

---

#### **CAPITOLATO TECNICO - INDAGINI**

**SO.RE.SA. S.p.A.** con unico Socio  
Sede Legale: Centro Direzionale Isola F9 - 80143 Napoli  
Capitale sociale: Euro 500.000,00 i.v.

Codice Fiscale, Partita IVA e iscrizione al Registro delle Imprese di Napoli n. 04786681215  
Tel. 081 21 28 174 – Fax 081 75 00 012 - [www.soresa.it](http://www.soresa.it)



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

di taglio diretto, può indicare eventuali modifiche alle procedure di esecuzione delle prove.

## 9 PROSPEZIONI GEOFISICHE

---

### INDAGINI DOWN HOLE (DH)

#### Principi

Il metodo down hole (DH) serve a determinare la velocità di propagazione di onde sismiche ed a ricavare i relativi parametri di rigidità del terreno a bassi livelli di deformazione. Nella prova DH, mediante una sorgente direzionale posta in superficie, si generano onde di volume, ed in particolare di compressione P (Prima, ovvero più veloci) e di taglio S (Secundae, ovvero che arrivano dopo), che si propagano in profondità con ampiezza proporzionale alla energia dell'impulso. Quindi si leggono i tempi di arrivo delle onde alle diverse quote in profondità, mediante opportuni ricevitori (geofoni) posti all'interno di un foro di sondaggio, ubicato in pianta a breve distanza dalla sorgente (dell'ordine di pochi metri). Le velocità di propagazione  $V_P$  e  $V_S$  si determinano come rapporto tra una distanza percorsa ed il tempo impiegato per effettuare tale percorso. La prova DH più efficace prevede il ricorso a due ricevitori posti nello stesso foro ad interasse noto: in questo caso, infatti, è facile misurare il tempo di viaggio che intercorre tra le due profondità, confrontando le registrazioni acquisite ai due geofoni, per cui la misura risulta molto più affidabile (perché di facile interpretazione). In alternativa, utilizzando un unico ricevitore, si misura il tempo di percorrenza tra la sorgente posta in superficie ed il geofono posto all'interno del foro di sondaggio: in tal caso, noto l'istante di partenza, si deve essere in grado di leggere esattamente l'istante di arrivo dell'onda al ricevitore (cosa talora non semplice, per la presenza di "rumore di fondo" nel segnale acquisito); in tal caso quindi la misura è meno affidabile e di più difficile interpretazione. La sorgente DH ed il posizionamento dei ricevitori sono concepiti in modo da generare essenzialmente onde di taglio S e misurare quindi la velocità  $V_S$ . In realtà si generano comunque anche onde P, generalmente di ampiezza inferiore, e si può quindi misurare anche la  $V_P$ ; è da precisare, però, che la misura della velocità di propagazione



delle onde P ha senso solo nel caso di terreni non saturi, altrimenti si misura la velocità di propagazione delle onde di compressione nell'acqua. La prova DH dovrebbe essere spinta fino ad incontrare una formazione rigida di base (caratterizzata da una velocità delle onde di taglio  $V_s$  pari ad almeno 800 m/s), da attraversare per uno spessore significativo (per es. 5 metri). È da tenere presente però che all'aumentare della profondità, ed in funzione anche della rigidezza dei terreni attraversati, i segnali registrati diminuiscono di ampiezza, per cui riesce più difficile la loro interpretazione. Generalmente l'affidabilità della prova DH con un singolo ricevitore e con le tecniche di interpretazione convenzionali si riduce fortemente oltre i 40 m di profondità, in quanto l'energia generata dalla sorgente potrebbe non essere sufficiente all'univoca individuazione dei primi arrivi. Il ricorso al doppio ricevitore e l'uso di tecniche di analisi digitale dei segnali possono altresì consentire la fattibilità di indagini fino ed oltre la profondità di 60 m dal piano campagna. Esecuzione

#### Strumentazione

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

#### Esecuzione delle prove

La sorgente deve essere posta ad una distanza dal foro generalmente compresa tra 3 e 4



m. Per ogni quota di prova (generalmente con intervallo di 1 metro), dapprima si deve bloccare il geofono nel foro, poi si procede alla generazione degli impulsi in superficie, colpendo di volta in volta la sorgente sulle due estremità dell'asse. A meno di condizioni ottimali di assenza di rumore, è sempre consigliabile sommare/mediare più segnali generati da impulsi agenti nello stesso verso, per facilitare, come già detto, l'interpretazione delle misure. La posizione della sorgente deve essere mantenuta fissa durante tutta la prova. Se il disturbo dovuto ad onde che si propagano direttamente nel tubo e nella zona di cementazione circostante dovesse risultare troppo elevato, ed "oscurare" la lettura delle onde che si propagano nel terreno, si potrebbe fare ricorso ad una seconda sorgente collocata a distanza maggiore dal foro, e confrontare le registrazioni ottenute utilizzando alternativamente i due punti sorgente. È consigliato utilizzare tecniche o strumentazioni che permettano di riconoscere l'orientazione dei sensori orizzontali rispetto alla posizione della sorgente. Ciò potrà ad esempio essere ottenuto o con geofoni muniti di sensore di orientamento o utilizzando aste rigide per l'orientamento dei geofoni dalla superficie. I dati di indagine devono essere restituiti in formato digitale su supporto informatico (CD); schemi interpretativi, tabelle e grafici illustrativi dei risultati (dromocrone, velocità ecc.) saranno restituiti su carta e in formato pdf. Nella relazione sulle misure DH dovranno essere indicati lo schema, il codice di calcolo dedicato e le modalità di elaborazione dei dati di indagine.

#### Elaborazione delle misure e loro rappresentazione

Nel caso di prova DH con un unico ricevitore, la determinazione del tempo di arrivo del primo impulso dell'onda S può costituire il punto critico dell'intera prova. Per facilitare la lettura di tale tempo, è necessario filtrare i segnali sismici registrati per eliminare l'eventuale rumore caratterizzato da frequenze esterne a quelle proprie del segnale. L'arrivo dell'onda S può essere individuato sulla base delle seguenti osservazioni: o variazione di frequenza del treno d'onda; o inversione della polarità del segnale (onda S) nelle registrazioni relative ad impulsi generati sui due lati opposti della sorgente. I tempi di primo arrivo dell'onda S rispetto al tempo di generazione del segnale (trigger), dovranno essere ridotti alla verticale (correzione dei tempi) e riportati su un diagramma profondità–tempi, sul quale saranno individuati i tratti a pendenza quasi costante, tenuto conto sia della stratigrafia sia dell'accuratezza delle singole misure dei tempi. I tratti a pendenza costante individueranno gli strati di terreno in cui la velocità delle onde S è costante, ed è ovviamente funzione della pendenza individuata. Per quanto concerne invece le onde P, la lettura del primo arrivo è in generale più difficile, considerando anche la loro ampiezza ridotta. Pertanto, non è sempre possibile determinare la velocità di propagazione delle onde di compressione  $V_p$ ; ciò, però, non costituisce un obiettivo primario della prova DH.



Qualora invece si ritenesse essenziale la misura delle  $V_p$ , si dovrebbero di volta in volta adottare opportune varianti sperimentali. Nel caso di prova DH con doppio ricevitore, la velocità delle onde è determinata, a ciascuna profondità, per lo strato di terreno compreso tra i due geofoni (preferibilmente da porre a distanza relativa di un metro). Il tempo di viaggio delle onde S tra i due geofoni è facilmente individuabile dal confronto fra i segnali nel dominio del tempo, facendo riferimento a punti caratteristici degli stessi (essenzialmente la serie dei picchi, meno affetti dal disturbo eventualmente presente nelle registrazioni). Evidentemente la determinazione dello stesso tempo di viaggio tra i due geofoni può essere ottenuta automaticamente e con assoluta affidabilità dall'analisi digitale delle registrazioni nel dominio delle frequenze, mediante i noti algoritmi (cross-correlation, cross power spectrum e coherence) normalmente implementati nelle apparecchiature digitali di acquisizione dei segnali. Per quanto concerne le onde P, nonostante esse siano comunque caratterizzate da ampiezza ridotta; tuttavia, l'analisi digitale dei segnali registrati simultaneamente ai due geofoni consente generalmente una determinazione affidabile della loro velocità di propagazione.

#### Documentazione da presentare:

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

Dovranno essere presentate: Relazione contenente le modalità delle prove, una scheda tecnica della strumentazione utilizzata, le difficoltà incontrate, le elaborazioni fatte con esempi, piante schematiche in scala adeguata con l'ubicazione delle sorgenti e dei fori, diagrammi profondità-tempi ridotti alla verticale, per le onde S e per onde P (laddove possibile), tabella delle velocità  $V_s$  per i diversi strati di terreno, ed eventualmente valori dei moduli di taglio iniziali  $G_0$ , tipo di terreno presente, tabella delle velocità  $V_p$  per i diversi strati di terreno (laddove possibile), copia su carta ed in formato elettronico (e.g. SEGY, SEG2 o ASCII) delle registrazioni. Per le densità da inserire nel calcolo dei moduli elastici ci si riferirà a densità ricavate dalle prove geotecniche o, in assenza, a dati di letteratura regionali espressamente dichiarati. Ottenuti graficamente i sismostrati si ottengono la densità media, funzione della velocità e della profondità, e i seguenti parametri: 1) coefficiente di Poisson medio; 2) modulo di deformazione a taglio medio; 3) modulo di compressibilità edometrica medio; 4) modulo di Young medio; 5) modulo di compressibilità volumetrica medio.

#### INDAGINI DI SISMICA PASSIVA (MICROTREMORI)

---

#### CAPITOLATO TECNICO - INDAGINI

**SO.RE.SA. S.p.A.** con unico Socio

Sede Legale: Centro Direzionale Isola F9 - 80143 Napoli

Capitale sociale: Euro 500.000,00 i.v.

Codice Fiscale, Partita IVA e iscrizione al Registro delle Imprese di Napoli n. 04786681215

Tel. 081 21 28 174 – Fax 081 75 00 012 - [www.soresa.it](http://www.soresa.it)



## Principi

Tra le metodologie speditive utilizzate negli studi di microzonazione vi è il metodo Nakamura (1989). Questo è basato sul calcolo dei rapporti spettrali tra la componente verticale e quella orizzontale del segnale registrato (rapporto H/V), e consente di determinare la frequenza di risonanza di un sito utilizzando il rumore ambientale (microtremore, ovvero rumore ambientale a corto periodo) nell'ipotesi che lo spettro della componente verticale simuli quello di un rumore bianco. Attraverso un sistema di acquisizione composto da un sensore a tre componenti (verticale, Est-Ovest e Nord-Sud), da un convertitore analogico digitale e da un GPS si registrano finestre di rumore ambientale dalle quali è possibile elaborare i rapporti H/V. Tali rapporti presentano un comportamento differente a seconda del sito considerato, mostrando a seconda dei casi un picco di amplificazione in corrispondenza della frequenza fondamentale del sito. È importante sottolineare come in contesti geologico-tecnici semplici la tecnica Nakamura fornisca con una buona approssimazione la frequenza fondamentale del sito. Quest'ultima peraltro dipende da diverse caratteristiche del deposito di terreno; tra le più importanti si ricordano lo spessore delle coltri di copertura e le velocità medie di propagazione delle onde di taglio al di sopra del substrato roccioso.

## Esecuzione

È possibile prevedere la seguente procedura, peraltro già adottata in diversi contesti regionali: 1. Definizione di tutti i siti caratterizzati da diverse situazioni morfologiche o geolitologiche ed esecuzione di una misura di rumore sismico HVSR per ciascun sito. Le misure dovranno essere effettuate su terreno libero, in aree adiacenti agli edifici, ma a distanza da essi preferibilmente pari all'altezza degli stessi (in modo da evitare l'interferenza della struttura sulla misura). 2. Utilizzo di una strumentazione idonea composta da geofoni a 3 componenti (orientati in modo da avere le componenti N-S, E-O e Verticale) di frequenza naturale uguale (o inferiore) a 2 Hz. 3. Registrazione di finestre di rumore di almeno 30 minuti utilizzando un campionamento non inferiore a 125 Hz (passo di campionamento non superiore a 8 ms). 4. Controllo dell'accoppiamento sensore-terreno che deve essere ottimale. Dove possibile è consigliato l'interramento del sensore (in SESAME, 2004 sono indicate diverse analisi mirate alla definizione dell'influenza del luogo e della tipologia di appoggio del sensore). 5. Verifica delle condizioni meteorologiche, ambientali ed antropiche: (ad es. è bene evitare giornate piovose e/o ventose, acquisizioni in occasione di mareggiate, di piene torrentizie, di attività antropiche come scavi, perforazioni). Come indicato anche dalle linee guida fornite nell'ambito del progetto SESAME (2004), il processing dei dati potrà essere effettuato nel seguente modo: 1. suddivisione della finestra di registrazione completa (di almeno



20-30 minuti) in sottofinestre di almeno 120 secondi (la lunghezza della finestra dipende dal valore minimo di frequenza che si è interessati a campionare); 2. eliminazione delle sotto-finestre eventualmente contenenti transienti (la procedura indicata in SESAME, 2004 prevede un'analisi basata sul rapporto  $St_a/Lt_a$  in grado di riconoscere la parte stazionaria del microtremore registrato escludendo le porzioni di segnale contenenti transienti, per esempio, legati a sorgenti specifiche prossime al sensore come passi o passaggio di automobili); 3. utilizzo delle FFT (Fast Fourier Transform) per il computo degli spettri includendo l'operazione di tapering (l'utilizzo della FFT è convenzionalmente consigliato, ma è necessario ricordare che tale metodo in presenza di transienti fornisce degli spettri che possono essere non corretti; per questo motivo, se lo step precedente non è stato effettuato, è sempre necessario analizzare gli spettri calcolati eliminando le sottofinestre che mostrano un andamento anomalo rispetto al comportamento medio; ultimamente si stanno testando delle nuove metodologie basate sull'utilizzo dello spettro di potenza al posto dello spettro di Fourier calcolato tramite FFT); 4. lisciamento (smoothing) degli spettri utilizzando diverse tecniche. Le più utilizzate sono la Konno-Ohmachi smoothing window, valida soprattutto per analizzare frequenze inferiori a 1 Hz e la Hanning smoothing window, valida per frequenze superiori a 1 Hz; 5. facoltativo: calcolo della componente orizzontale media ottenuta preferibilmente mediando (media geometrica) le due componenti orizzontali E-O e N-S; 6. calcolo del rapporto spettrale H/V (o dei rapporti NS/V, EO/V) per ciascuna sottofinestra selezionata; 7. stima del valore medio della curva H/V e della sua deviazione standard (generalmente si considera il valor medio  $\pm 1$  sigma ma è anche possibile considerare 3 sigma in modo da avere una stima più completa dell'errore associato a ciascuna frequenza). I risultati forniti devono essere comprensivi sia dei rapporti spettrali H/V sia degli spettri iniziali non soggetti a processing in modo da valutare anche a posteriori l'effettiva qualità di un rapporto spettrale (per esempio la presenza di rumori industriali monocromatici caratterizzati da picchi stretti visibili negli spettri originali possono creare anomalie all'interno della curva H/V). Calcolati per ciascun punto di misura i relativi rapporti spettrali H/V, è necessario passare all'interpretazione dei risultati: - riconoscimento e definizione dei picchi significativi: le linee guida del Progetto SESAME (2004) forniscono una serie di criteri che permettono di definire il livello di affidabilità della misura e di identificare il picco significativo (uso di test statistici opportuni); - interpretazione dei risultati: un'analisi di rapporti spettrali basata sul metodo Nakamura non può essere utilizzata per definire la risposta sismica locale; limitatamente alla stima della frequenza di risonanza, è necessario validare i risultati attraverso altre tecniche come i metodi H/V basati su fasi S sismiche o i metodi RST (metodi con stazione di riferimento) o le analisi di risposta sismica locale con modelli 1D basati su dati desunti da indagini geofisico-geotecniche di esplorazione geologica del sottosuolo.



### Annotazioni/Raccomandazioni

La tecnica proposta da Nakamura (1989) può essere usata per valutazioni speditive dei fenomeni di amplificazione locale. In particolare, il rapporto H/V può essere utilizzato per la stima della frequenza fondamentale di vibrazione del terreno. Tuttavia, è sempre necessario considerare che queste informazioni non possono essere utilizzate in modo diretto per la valutazione quantitativa dei fenomeni di amplificazione locale e quindi delle azioni sismiche di progetto. Nel seguito sono elencati alcuni importanti aspetti legati all'applicabilità del metodo: - l'ampiezza del picco H/V non è direttamente relazionabile alla effettiva amplificazione (può essere talora assunta come inferiore); - la presenza di effetti bidimensionali può invalidare totalmente i risultati di una analisi H/V. In particolare, la generazione di onde difratte può portare ad una amplificazione della componente verticale; - la tecnica di Nakamura non consente l'individuazione di eventuali fenomeni di amplificazione topografica; - i rapporti H/V possono essere influenzati dalla natura del *noise* (da cui la necessità di ripetere le misure effettuate per esempio in condizioni meteorologiche particolari). I metodi HVSR presentano delle limitazioni in presenza di stratificazioni caratterizzate dai seguenti aspetti: - profondità del substrato sismico: profondità superiori a 100 m comportano delle frequenze caratteristiche dell'ordine di 1 Hz o inferiori con conseguente necessità di uso di sensori a bassissima frequenza; - i contrasti di velocità (impedenze acustiche) debbono essere piuttosto significativi: tanto questi sono minori ed a forte stratificazione tanto più la determinazione della frequenza caratteristica del sito risulta di difficile identificazione; - mezzi con alternanze sottili di strati a diversa rigidità spesso sfuggono all'indagine. Le caratteristiche del *noise* possono in alcuni casi portare all'inapplicabilità del metodo HVSR, come la presenza di sorgenti molto coerenti derivanti da macchine vibranti (pompe) con frequenze monocromatiche o presenza di *noise* variabile significativamente nel tempo con presenza di alternanze di *spikes* con *noise*. In base alle suddette considerazioni, l'utilizzo di misure di rumore sismico può essere destinato alla ricostruzione speditiva della distribuzione delle frequenze caratteristiche nei vari punti di misura, ma soltanto a seguito della taratura fornita da una dettagliata ricostruzione dell'assetto geologico-geomorfologico a scala di dettaglio sia tramite rilievo di superficie, sia per mezzo di metodologie multidisciplinari di esplorazione del sottosuolo. È inoltre consigliato un confronto dei risultati ottenuti tramite rumore ambientale con le funzioni di trasferimento derivate attraverso l'applicazione di tecniche a stazione singola (H/V) o a stazione di riferimento (H/Href) basate sull'analisi di terremoti. Da tale confronto è possibile valutare l'effettiva affidabilità ed accuratezza dei parametri legati all'effetto di sito determinati attraverso il metodo Nakamura. La buona correlabilità, in termini spettrali, anche nei confronti delle analisi dinamiche della



risposta sismica locale 1D e 2D, svolte sulla base della caratterizzazione geologico-geotecnica-geofisica condotta, dimostra la buona applicabilità del metodo per l'individuazione delle frequenze di risonanza. L'utilizzo, invece, delle suddette misure per la ricostruzione sismostratigrafica del sottosuolo appare, allo stato attuale, confinato in un ambito sperimentale, senza fornire le garanzie scientifiche necessarie per un utilizzo applicativo dei dati acquisiti, soprattutto in un contesto regionale in cui sono state frequentemente riscontrate le suddette limitazioni geologico-tecniche per l'applicazione del metodo.

## **10 OSSERVAZIONI DI CARATTERE GENERALE**

---

È previsto l'approntamento di un impianto di cantiere per l'esecuzione di prove, indagini e prelievi in situ sulle strutture in cemento armato e/o muratura e di un impianto di cantiere per le prove di carico da effettuare sui solai. L'esecuzione delle indagini dovrà essere effettuata secondo le modalità via via descritte negli articoli successivi. Nel caso in cui l'Esecutore ritenesse necessario apportare delle modifiche alle modalità anzidette, dovrà preliminarmente concordarle con la Direzione dei Lavori che le dovrà, comunque, autorizzare.

## **11 PROVE DI COMPRESSIONE SU CAROTE DI CALCESTRUZZO**

---

### Principi

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



## Esecuzione

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

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

Quando la maglia delle armature è tale da non consentire il prelievo di carote prive di inclusioni è preferibile prelevare carote con diametro minore. In ogni caso, qualora una o più barre d'armatura vengano tranciate, è necessario procedere al ripristino. Nel corso delle operazioni di prelievo delle carote è opportuno misurare anche la profondità di carbonatazione del calcestruzzo, così da valutare il potenziale grado di protezione alla corrosione delle barre di armatura. La misura della profondità di carbonatazione è regolata dalla norma UNI 9944. Essa avviene osservando il viraggio della fenolftaleina, che, in ambiente basico, ovvero in assenza di carbonatazione, si colora di rosso – violetto. Pertanto, spruzzando sulla superficie cilindrica del campione, immediatamente dopo l'estrazione, una soluzione di fenolftaleina all'1% in alcol etilico, è osservabile il calcestruzzo carbonatato come quella parte che non mostra una colorazione rosso-violetto. La profondità di carbonatazione andrà misurata con la precisione del millimetro.

## Avvertenze/Raccomandazioni

È di fondamentale importanza verificare, nel corso dei prelievi, che la macchina carotatrice non abbia significative vibrazioni dell'asse di rotazione e che la velocità di avanzamento sia bassa, onde evitare un eccessivo danneggiamento del campione. Pertanto, occorre adottare gli accorgimenti necessari ad evitare la vibrazione del sistema di carotaggio (carotatrice e relativo supporto) e inoltre la velocità di avanzamento per il prelievo di campioni dovrà essere ben minore di quella abitualmente adottata per la realizzazione di fori nel calcestruzzo, preferibilmente inferiore a 600 giri/min. Il diametro delle carote, come indicato dalle norme UNI, deve essere



almeno pari a tre volte il diametro massimo dell'aggregato presente nel calcestruzzo. Il diametro più comunemente utilizzato nei prelievi è di circa 100 mm e, di conseguenza, l'altezza della carota prelevata deve essere di circa 280 mm, affinché possa ottenersi un campione lungo 200 mm o, meglio, due campioni con rapporto altezza/diametro unitario. Particolare cura dovrà essere posta nel ripristino dell'elemento procedendo alla chiusura del foro con l'impiego di malte molto fluide, a ritiro compensato, adottando tutte le cautele necessarie ad assicurare la massima adesione alla superficie del foro. Operativamente sarà necessario disporre una "barriera" che ostruisca interamente la sezione del foro, all'interno del quale verrà colata la malta mediante uno scasso, preventivamente realizzato in corrispondenza del punto più alto della circonferenza, così da assicurare il completo riempimento del foro. Al fine di non indurre riduzioni importanti della sicurezza strutturale è importante scegliere con accortezza i punti di prelievo, evitando di eseguire dei carotaggi su elementi snelli o molto caricati e sulle parti più sollecitate degli elementi strutturali. Va peraltro ricordato, a questo proposito, come un calcestruzzo molto sollecitato, anche solo a compressione, possa subire fessurazioni o microlesioni che possono ridurre sensibilmente la resistenza a compressione dei provini estratti. L'esito della prova, in tal caso, è evidentemente molto condizionato da tale effetto e non riflette le reali caratteristiche del materiale, che debbono ovviamente far riferimento ad una condizione di danneggiamento assente. La prova deve essere documentata, catalogata e fotografata in tutte le sue fasi.

## **12 PROVE DI TRAZIONE SU BARRE DI ARMATURA D'ACCIAIO ESTRATTE DALLA STRUTTURA**

---

### Principi

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

### Esecuzione

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



### Avvertenze/Raccomandazioni

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

## **13 PROVE PACOMETRICHE**

---

### Principi

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



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

#### Avvertenze/Raccomandazioni

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

## **14 INDAGINI SCLEROMETRICHE**

---

### Principi

Sono finalizzate alla determinazione della resistenza del calcestruzzo tramite misura della durezza superficiale, mediante valutazione del rimbalzo di una sfera metallica contenuta in apposito cilindro cavo. Sono le prove più comunemente utilizzate, sebbene i valori che restituiscono, se non abbinati alle prove ultrasoniche (metodo SonReb), risultano, spesso, essere poco significativi. Come indicato dalle norme UNI, l'indice di rimbalzo deve essere valutato come la media sul numero di battute eseguite nella stessa area di misura (è sbagliato ripeterle sullo stesso identico punto fisico) la cui superficie sia stata opportunamente preparata (non abbia asperità). Le aree su cui si eseguono le battute sclerometriche devono risultare interne alle zone di solo



calcestruzzo circoscritte dal reticolo delle armature individuate mediante misure pacometriche. Si dovrà evitare di eseguire misurazioni in corrispondenza di calcestruzzo distaccato o palesemente deteriorato. La valutazione della resistenza di porzioni di calcestruzzo deteriorato è ottenibile, quando possibile, solo mediante prelievo e successiva prova di compressione dei campioni. Esecuzione

L'utilizzo dello sclerometro, come strumento di prova non distruttivo, è regolato dalla norma UNI EN 12504-2 [UNI 2001]. Su ogni faccia delle superfici di calcestruzzo indagate vanno eseguite almeno n° 9 misurazioni (o battute) non sovrapposte (generalmente se ne eseguono 10) e distanti non meno di 25 mm tra loro o dal bordo di eventuali difetti superficiali presenti e da ferri d'armatura, preventivamente localizzati. Il risultato della prova è fornito in termini di indice di rimbalzo medio  $I_r$  ed è riportato per ogni punto di indagine. Se, per ciascun punto, oltre il 20% di tutte le misure si discosta dalla media per più di 6 unità, deve essere scartata l'intera serie di misure.

#### Avvertenze/Raccomandazioni

L'indice di rimbalzo dovrà essere valutato eseguendo la misura con lo sclerometro in posizione orizzontale. Qualora ciò non sia possibile, al fine di determinare l'equivalente indice di rimbalzo misurato in orizzontale, si deve far ricorso alle curve di ragguglio indicate dalla casa costruttrice dello strumento. Va peraltro sottolineato come tale operazione riduca ulteriormente l'attendibilità dei risultati dell'indagine. Si evidenzia, inoltre, che in presenza di calcestruzzi molto carbonatati la durezza superficiale può risultare più alta di quella comunemente misurata e, pertanto, è opportuno ridurre il valore di riferimento medio dell'indice di rimbalzo  $I_r$ , tramite un opportuno coefficiente. Un'indicazione dei valori entro cui è compreso il coefficiente può essere: 0.95 (per profondità di carbonatazione comprese tra i

50 e 60mm) - 0.90 (per profondità maggiori o uguali ai 60 mm), salvo casi particolari in cui l'indice di rimbalzo perde addirittura di significatività. Si ricorda, infine, che la funzionalità dello sclerometro va periodicamente verificata e calibrata (quando lo strumento non consente la calibrazione e risulta starato va sostituito) eseguendo le misure su un'apposita massa detta incudine di taratura o massa di riscontro. Preliminarmente a qualsiasi lettura, è opportuno azionare almeno tre volte lo strumento per accertarne il corretto funzionamento.

La prova deve essere documentata, catalogata e fotografata in tutte le sue fasi.



## 15 PROVE ULTRASONICHE

---

Le prove ultrasoniche basano la loro capacità di stima della resistenza del calcestruzzo sulla velocità di propagazione delle onde ultrasoniche nel calcestruzzo stesso, essendo tale velocità strettamente correlata con il modulo elastico del calcestruzzo, a sua volta correlato con la resistenza a compressione.

La prova ultrasonica ha, perciò, come scopo principale la determinazione del tempo di propagazione di un impulso di vibrazione meccanica nel calcestruzzo fra una o più coppie di punti di rilievo.

Misurando il tempo di attraversamento dell'impulso e lo spessore del mezzo posto tra le due sonde dell'apparecchio si calcola la velocità virtuale o apparente di propagazione degli impulsi e da essa, preliminarmente, si ricavano informazioni sull'omogeneità del calcestruzzo. In genere le misure ultrasoniche possono essere svolte per trasparenza, per semitrasparenza e per superficie. Esecuzione

L'utilizzo degli ultrasuoni, come strumento di prova non distruttivo, è regolato dalla norma UNI EN 12504-4 [UNI 2005]. La frequenza del segnale trasmesso dai trasduttori dovrà essere compresa tra i 10 kHz ed i 200 kHz. Su ogni faccia delle superfici di calcestruzzo indagate la lettura va eseguita in aree interne alle zone di solo calcestruzzo, prive dell'eventuale intonaco soprastante, circoscritte dal reticolo delle armature individuate mediante le misure pacometriche. Analogamente a quanto detto per le prove sclerometriche, si dovrà evitare di eseguire misurazioni in corrispondenza di calcestruzzo distaccato o palesemente deteriorato. È preferibile utilizzare frequenze comprese tra i 60kHz ed i 200kHz per piccoli percorsi del segnale (distanze inferiori ai 50 mm) e frequenze più basse comprese tra i 10 kHz ed i 40 kHz per dimensioni particolarmente grandi con un massimo di 15 m. Frequenze comprese tra i 40 kHz ed i 60 kHz sono quelle utilizzate per le più comuni applicazioni.

### Avvertenze/Raccomandazioni

L'attendibilità di questo metodo è fortemente influenzata dall'attendibilità della velocità delle onde ultrasoniche misurate che risentono fortemente delle modalità di esecuzione, oltre che della corretta calibrazione dello strumento. Prima di iniziare le misure si dovrà, innanzitutto, verificare il corretto funzionamento dello strumento mediante gli appositi cilindri calibrati. Nell'eseguire le misure per trasparenza, il disallineamento non "voluto", e quindi non considerato della valutazione della distanza tra il trasmettitore ed il ricevitore, modifica significativamente la reale lunghezza del percorso dell'onda, e di conseguenza la velocità,



così come la stessa è fortemente influenzata dalla corretta disposizione sui sensori del materiale idoneo a ricreare la corretta "continuità" con il calcestruzzo. In particolare, la misura può essere falsata dalla presenza di:

- lesioni e/o microfessurazione nel calcestruzzo
- presenza di armature in acciaio
- livello di imbibizione del calcestruzzo.

Nel primo caso si ha un aumento della lunghezza del percorso e, quindi, una riduzione della velocità apparente. Questa situazione può manifestarsi più frequentemente là dove si eseguano letture per propagazione superficiale e per semitrasparenza, e/o in calcestruzzi la cui stagionatura ha indotto una diffusa microfessurazione da ritiro. Per quanto detto, quindi, molto spesso si adottano coefficienti maggiorativi della velocità per equiparare le letture superficiali e per semitrasparenza, generalmente più sensibili ai disturbi detti, a quelle per trasparenza. In letteratura i fattori correttivi assumono valori circa pari a 1.05 nel caso di semitrasparenza e compresi tra il 1.05 e 1.575 per le letture superficiali compiute, rispettivamente, su superfici prive di difetti superficiali o molto deteriorate. Per evitare l'uso di correlazioni empiriche, quindi, è sempre preferibile, ovviamente quando possibile, eseguire misure per trasparenza. La presenza di armature lungo il percorso del suono, così come un elevato livello di imbibizione, possono determinare incrementi della velocità apparente. La velocità di trasmissione nell'acciaio è mediamente maggiore del 40% rispetto a quella del calcestruzzo; pertanto, specie se le armature sono disposte nella stessa direzione della trasmissione del segnale, si possono registrare velocità maggiori di quelle effettive. Altro fattore che può falsare di circa il 5% la velocità di propagazione del segnale è il contenuto di umidità presente nell'elemento che sarà crescente, all'aumentare del contenuto d'acqua presente. La prova deve essere documentata, catalogata e fotografata in tutte le sue fasi.

## **16 METODO COMBINATO SONREB**

---

### Principi

Il metodo (SONREB) si basa sulla combinazione dei risultati ottenuti, nelle stesse zone di prova, con prove sclerometriche ed ultrasoniche, correlando l'indice di rimbalzo (REBound) con la velocità delle onde ultrasoniche (SONic), con la resistenza a compressione del calcestruzzo, attraverso una opportuna calibrazione della relazione che lega queste tre grandezze, effettuata mediante regressione statistica dei valori sperimentali. La validità del



metodo SONREB deriva dalla compensazione delle imprecisioni dei due metodi non distruttivi utilizzati. Infatti, si è notato che il contenuto di umidità fa sottostimare l'indice sclerometrico e sovrastimare la velocità ultrasonica, e che, all'aumentare dell'età del calcestruzzo, l'indice sclerometrico aumenta mentre la velocità ultrasonica diminuisce. La correlazione tra la resistenza e l'indice di rimbalzo e la velocità ultrasonica si esprime, generalmente, mediante la seguente formula:  $R_c = a * I_{rb} * V_c$  dove: -  $R_c$  è la resistenza stimata associata al punto indagato -  $a$ ,  $b$ ,  $c$  sono i coefficienti che consentono di correlare al meglio i dati sperimentali diretti -  $V$  è la velocità ultrasonica -  $I_r$  è l'indice di rimbalzo

### Esecuzione

Eseguendo delle prove di compressione su campioni prelevati negli stessi punti in cui sono state eseguite le prove non distruttive, si determinano i valori da assegnare ai tre coefficienti, così da poter utilizzare la formula sopra detta in tutti gli altri punti in cui non si eseguono indagini distruttive. Questa operazione è stata svolta da diversi autori che hanno determinato i coefficienti che meglio approssimano i risultati delle prove SONREB con quelli delle prove di compressione. Tali valori, però, dipendono fortemente dalle caratteristiche, principalmente di composizione, dei calcestruzzi indagati nel corso delle singole ricerche ed infatti essi cambiano anche sensibilmente da autore ad autore. È pertanto opportuno, se non necessario, eseguire la calibrazione dei coefficienti  $a$ ,  $b$ ,  $c$  sulla base di prove a compressione eseguite su un certo numero di carote, ovviamente inferiore al numero di punti indagati (ad esempio pari a  $\frac{1}{4}$ ), mediante regressione statistica che minimizzi gli scarti (ad esempio tramite l'ausilio di fogli elettronici preprogrammati). Qualora il numero di risultati di prove di compressione su carote sia limitato, si può ricorrere a formulazioni proposte in letteratura, individuando quella che meglio si adatta ai risultati delle prove a rottura o ritardando il solo coefficiente  $a$ .

### Avvertenze/Raccomandazioni

È importante utilizzare la massima cautela nel definire quali siano gli eventuali valori, e quindi punti di indagine, da non considerare nelle correlazioni. Un'eccessiva differenza tra il valore medio e quello considerato spesso è indice di anomalie imputabili ad una cattiva esecuzione della prova, sia essa di tipo di distruttivo sia non distruttivo. La prova deve essere documentata, catalogata e fotografata in tutte le sue fasi



## 17 PROVE DI CARICO

---

### Principi

Le prove di carico qui trattate sono quelle eseguite su orizzontamenti ad uso civile; esse sono previste dalle vigenti NTC (Cap. 9.2 Prove di carico) e devono consentire di valutare il comportamento del solaio sotto le azioni di esercizio. Il carico deve essere, generalmente, tale da indurre le massime sollecitazioni di esercizio “per combinazioni rare”. I risultati sperimentali della prova, ed il giudizio sul comportamento della struttura, devono permettere di accertare che: - ci sia proporzionalità delle deformazioni rispetto all'incremento del carico; - durante la prova non si siano generate fratture, fessurazioni, deformazioni o dissesti, ecc.; - la deformazione residua, dopo la prima applicazione del carico massimo, non deve superare la quota parte di quella totale, commisurata ai prevedibili assestamenti iniziali di tipo anelastico. Qualora tale limite dovesse essere superato, ulteriori cicli devono accertare il comportamento elastico della struttura; - la deformazione elastica non deve superare la deformazione teorica calcolata nelle condizioni di carico della prova.

Quando la prova viene eseguita sulla struttura allo stato grezzo, il carico di prova deve tenere conto dei carichi di progetto non ancora posti in opera quali: - carico accidentale o di esercizio; - carico permanente (pavimentazione, sottofondo, tramezzi, intonaco, ecc.). Nelle prove di carico delle coperture, inclinate e/o la cui struttura principale sia costituita da capriate, è frequente il ricorso, nel configurare la condizione di carico, a carichi concentrati tali da generare le massime sollecitazioni di esercizio. In questo ultimo caso è però necessario eseguire verifiche locali nei punti di applicazione del carico concentrato. Il carico di prova è da applicarsi in modo uniformemente distribuito, tipicamente tramite l'utilizzo di serbatoi flessibili. Tali attrezzature devono essere corredate di una pompa (per il carico e/o lo scarico), di un sistema di manichette e raccordi dal punto di alimentazione (o dal serbatoio) alla zona di carico, della valvola a sfera, di un conta-litri, identificato da un numero di matricola e da un certificato di taratura. Gli steps di carico possono essere desunti anche dall'altezza del serbatoio in funzione della curva di correlazione fornita dal produttore. La distribuzione di carico può avvenire anche tramite altre metodologie che devono essere approvate dal committente, diversamente devono essere adottati i suddetti metodi.

### Esecuzione

Il carico di prova deve essere applicato gradualmente, ad incrementi regolari, acquisendo le letture degli spostamenti dai relativi strumenti di misura, preventivamente disposti in punti significativi (mezzeria, quarti



della luce e in corrispondenza degli appoggi), sia in asse alla striscia di carico, sia (per la corretta stima degli effetti della collaborazione laterale) in direzione a essa trasversale. Gli intervalli tra le diverse fasi, i tempi di attesa e i cicli di carico, sono necessari per una stima globale della risposta della struttura e delle sue caratteristiche di deformabilità. È pertanto opportuno prima della prova individuare l'impronta del carico che si intende applicare, che può essere pari all'intera superficie del solaio o interessarne una porzione ridotta, ovvero una striscia di solaio parallela (sempre sconsigliabile una striscia ortogonale) all'orditura. Questa scelta, dettata da considerazioni di ordine pratico in alcuni casi non superabili, origina una condizione di carico diversa rispetto alle ipotesi di progetto di carico uniformemente distribuito sull'intera superficie del solaio. In questo caso oltre a definire l'entità del carico equivalente tale da indurre, in specifici punti del solaio, una sollecitazione pari alla massima sollecitazione di progetto, è necessario che il calcolo della freccia teorica venga eseguito nella effettiva configurazione del carico di prova. Acquisite tali informazioni si deve disporre la zavorra correttamente sulla striscia di solaio. Preventivamente si devono posizionare gli strumenti di misura delle deformazioni, comparatori analogici, centesimali o trasduttori di spostamento. I comparatori analogici, centesimali sono resi solidali al solaio, oggetto della prova, mediante chiodi asolati e fili in

“invar” zavorrati all'estremità con un peso che garantisce la trasmissione rigida degli spostamenti. I trasduttori di spostamento possono essere alloggiati all'estremità di aste telescopiche poste, con un sistema a molla, a contrasto rigido del solaio, oggetto della prova. Tutti gli strumenti di misura devono essere identificati da un numero di matricola e da un certificato di taratura valido (non antecedente a mesi 6) al momento dell'esecuzione della prova.

Qualora non fosse accessibile l'intradosso del solaio, oggetto della prova, p.e. per presenza di controsoffitti di pregio o non smontabili, dovrà essere avvertita la committenza e valutata la possibilità di ricollocazione della prova in un solaio simile ed accessibile. La lettura degli abbassamenti viene eseguita ad ogni incremento di carico, o preferibilmente in maniera continua ad intervalli regolari. Il carico viene mantenuto costante per almeno 20 min e comunque sempre fino alla stabilizzazione degli abbassamenti, ovvero sino a quando la differenza fra due letture consecutive, eseguite ad intervallo temporale significativo per il fenomeno, è trascurabile, tenendo anche conto della precisione dello strumento utilizzato. Qualora si impieghino trasduttori di spostamento è opportuno che si provveda ad acquisire con la frequenza di una lettura al minuto, altrimenti, utilizzando strumentazione analogica è opportuno effettuare una lettura ogni 5 min, e comunque ad ogni step di carico e di scarico. Lo scarico può seguire la stessa sequenza impiegata nella fase di carico ovvero può adottare



decrementi doppi, o maggiori, rispetto a quelli usati nella fase di carico. La freccia residua al termine delle operazioni di scarico deve essere ritenuta stabile (valutazione da eseguirsi con una modalità analoga a quella illustrata per la fase di carico). Nei solai di copertura si deve tenere conto dell'ora del giorno e dell'esposizione ai raggi solari al fine di non escludere l'influenza degli effetti termici. Per quanto possibile le prove sulle superfici esposte ai raggi solari devono avvenire in una parte della giornata in cui l'esposizione sia minima. La prova deve essere documentata, catalogata e fotografata in tutte le sue fasi. Avvertenze/Raccomandazioni

Prima di eseguire la prova deve essere eseguito il calcolo della freccia massima nella effettiva configurazione del carico di prova. Prima di disporre l'attrezzatura in opera si deve verificare l'efficienza della strumentazione di misura, conta litri, comparatori/trasduttori mediante la verifica dei certificati di taratura.

## **18 SAGGI DIRETTI SU ELEMENTI IN C.A.**

---

### Principi

L'esecuzione di questa prova ha lo scopo di ottenere le informazioni relative alla sezione geometrica resistente dell'elemento, all'armatura (numero e diametro), allo spessore dell'elemento investigato (soffitto e tetto) e alla determinazione del nodo trave pilastro. Per quanto attiene il saggio sull'elemento trave è necessario restituire anche la presenza dell'armatura di parete.

È prevista la restituzione grafica e fotografica dell'elemento strutturale.

### Esecuzione

Rimozione dell'intonaco e/o altro materiale posto a ricoprimento dell'elemento e il relativo copri ferro fino al raggiungimento di tutte le tipologie delle armature presenti per ottenere la posizione, il diametro di tutte le barre e la sezione dell'elemento oggetto d'indagine.

L'estensione e la modalità della prova dipendono dall'elemento indagato. Si distinguono i seguenti casi:

**PILASTRO:** Ogni indagine diretta per pilastro prevede l'individuazione della posizione di una staffa ad una quota non inferiore ad 1.2 m dal calpestio di piano ed all'asportazione del copriferro fino alla messa a nudo delle



armature per una quantità sufficiente ad un accurato rilievo e misura. Il saggio si estende sulle due dimensioni del pilastro per individuare le armature su entrambe le facce.

**TRAVE:** Ogni indagine diretta consta di due punti di misura. Il primo deve essere posto in prossimità dell'incastro mentre il secondo deve essere prossimo alla mezzeria. I saggi devono essere effettuati in coincidenza con la posizione delle staffe. Se rilevati, vanno esposte le armature di parete al fine del rilievo di dettaglio.

**TRAVETTI SOLAIO:** Il saggio sui travetti di solaio deve seguire le indicazioni applicate alle travi, fatta eccezione per la specifica con oggetto le armature di parete. Deve essere fatta cura, nell'esecuzione di quest'ultima modalità, della demolizione delle pignatte. Questa deve essere eseguita nel rispetto di integrità degli elementi in laterizio limitrofi.

**NODI:** Ogni nodo viene indagato tramite l'asportazione del copriferro fino alla messa a nudo delle armature e la loro misura, lungo due tratti che coprono le due dimensioni piane del nodo. Un tratto deve essere orizzontale prossimo al pilastro inferiore, il secondo deve essere verticale prossimo alla trave di maggiore dimensione. La presenza di staffe interne, se rilevata, deve essere esposta e misurata.

#### Avvertenze/Raccomandazioni

Al termine della prova dovrà essere prodotta documentazione grafica in scala adeguata e fotografica con l'individuazione dell'elemento indagato su apposita planimetria.

## **19 SAGGI ENDOSCOPICI PER LE STRUTTURE IN MURATURA**

---

L'indagine endoscopica consentirà l'ispezione visiva diretta di cavità all'interno dello spessore murario e il rilevamento di eventuali discontinuità del tessuto murario. I punti di indagine dei campioni sono indicati negli allegati grafici e in genere riguarderanno parti della muratura prive di qualsiasi elemento di rivestimento e/o elemento decorativo. Le sezioni murarie dovranno essere rappresentate in scala 1:5 o 1:10. Per tutti i campioni estratti sarà fornita una documentazione fotografica mentre per le endoscopie dovranno essere allegati agli elaborati grafici i DVD con i video registrati in ogni foro.

Indagini tramite endoscopio – muratura



Il resoconto di prova deve includere a titolo esemplificativo e non esaustivo:

- nome dello sperimentatore e indicazione del livello di certificazione (se in possesso UNI EN 473);
- data e ora della prova;
- caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;
- caratteristiche geometriche dell'elemento in prova;
- identificazione inequivocabile delle posizioni di prova;
- età della muratura (se conosciuta);
- condizione di umidità superficiale al momento della prova;
  - fotogrammi e schema esplicativi della sezione dell'elemento con indicazione di eventuali anomalie e note dell'operatore.

## **20 PROVE CON MARTINETTI PIATTI SU STRUTTURE IN MURATURA**

---

Le caratteristiche meccaniche della muratura potranno essere desunte dalle proprietà degli elementi costituenti solo nel caso della muratura di mattoni o di elementi naturali squadri ed a tessitura regolare; in questo caso sarà possibile fare riferimento alle indicazioni contenute nel punto 11.10 delle NTC o in altri documenti di riconosciuto valore scientifico e tecnico.

Negli altri casi si dovrà procedere per la determinazione del modulo di elasticità normale e della resistenza a compressione, degli elementi costituenti (malta; mattoni o elementi lapidei) mediante prove in sito o su campioni di piccole dimensioni, prelevati e successivamente analizzati in un laboratorio, di prevede sempre di interessare porzioni di muratura

prive di elementi decorativi e/o rivestimenti.

doppio martinetto piatto: tecnica debolmente distruttiva, in quanto eseguita su una porzione limitata di un paramento murario, si tratta di inserire 2 martinetti idraulici semiovali (350 x 260 mm) collegati ad un circuito idraulico pressurizzato, posti ad una distanza di 45-50 mm, generalmente si fanno coincidere i tagli con i ricorsi

di malta in modo da facilitarne il ripristino; la prova termina con l'innesco della fessurazione del pannello interposto tra i martinetti, ciò permette il calcolo della resistenza e del modulo elastico della muratura.

## 21 RIPRISTINI

---

Per i ripristini sarà adoperata una malta naturale esente da cemento e costituita da aggregati di origine marmorea, calce idraulica naturale e pozzolana certificata secondo UNI EN 459-1.

Prodotto a presa pozzolanica "rapida" certificato UNI EN 998-1 come intonaco GP classe CSI.

| <b>Aspetto</b>  | <b>Polvere di colore nocciola</b> |
|---|-----------------------------------|
| Temperatura di applicazione,<br>°C                                  | +5 a +35 °C                       |
| pH in soluzione acquosa   | 12                                |
| Intervallo granulometrico, EN<br>1015-1                             | 0 – 0,6 mm                        |
| Spessore applicabile  | max 4mm                           |
| Massa volumica apparente<br>della malta in polvere, UNI EN<br>459-2 | ca. 1000 Kg/m <sup>3</sup>        |
| Massa volumica apparente<br>della malta fresca, EN 1015-19          | ca. 1650 Kg/m <sup>3</sup>        |
| Massa volumica apparente  | ca. 1400 Kg/m <sup>3</sup>        |



|  |  |
|--|--|
| della malta indurita, EN 1015-19         |  |
| Acqua di impasto                         | ca. 32-35%                                   |
| Resa                                     | ca. 1,3 Kg/m <sup>2</sup> per mm di spessore |
| Tempo di lavorabilità della malta fresca | ca. 60 min*                                  |

|  |             |
|--|-------------|
| Tempo di attesa per applicazione secondo strato      | ca. 1 h*    |
| Tempo di attesa consigliato per frattazzatura        | ca. 30 min* |
| Tempo di attesa per applicazione prodotti decorativi | ca. 21 gg   |

## 22 POZZETTI ISPETTIVI IN FONDAZIONE

---

### Principi

L'esecuzione di questa prova ha lo scopo di accertare la geometria e l'armatura (in numero e in diametro) dell'elemento trave di fondazione. Inoltre, è prevista la restituzione grafica e fotografica dell'elemento strutturale.

### Esecuzione

---

#### CAPITOLATO TECNICO - INDAGINI

**SO.RE.SA. S.p.A.** con unico Socio  
Sede Legale: Centro Direzionale Isola F9 - 80143 Napoli  
Capitale sociale: Euro 500.000,00 i.v.

Codice Fiscale, Partita IVA e iscrizione al Registro delle Imprese di Napoli n. 04786681215  
Tel. 081 21 28 174 – Fax 081 75 00 012 - [www.soresa.it](http://www.soresa.it)



L'esecuzione dei pozzetti o trincee di ispezione, a mano o a mezzo attrezzatura meccanica adeguata, verrà effettuato fino al raggiungimento della quota di fondazione. È previsto a conclusione della prova il ripristino dello stato dei luoghi. Di ciascuno di essi si dovrà fornire un elaborato con grafici che indichino l'ubicazione, la dimensione planimetrica e la sezione della fondazione.

#### Avvertenze/Raccomandazioni

Prima dell'esecuzione dello scavo si dovrà accertare che non ci sia presenza di sottoservizi e l'esecuzione dello scavo non dovrà recare disturbo alla fondazione. Al termine della prova dovrà essere prodotta documentazione grafica in scala adeguata e fotografica con l'individuazione dell'elemento indagato su apposita planimetria.

## **23 DOCUMENTAZIONE DA PRODURRE**

---

Al completamento dei lavori l'Affidatario dovrà consegnare tutta la documentazione tecnica di seguito elencata, aggiornata secondo il reale modo di esecuzione:

- Relazione generale sulle indagini eseguite contenente: la descrizione della metodologia di prova, la documentazione fotografica delle prove eseguite, gli schemi e disegni utili all'esplicitazione del layout di strumentazione disposta, le tabelle riassuntive riportanti i dati misurati e manipolati, l'interpretazione degli stessi dati ai fini del loro uso nei modelli numerici.

I rapporti di prova delle verifiche tecniche sia di laboratorio che in situ.

Le tavole grafiche con indicazione delle prove eseguite e della loro collocazione.

CD consultabile con i dati acquisiti e non manipolati durante le misurazioni di qualunque tipo.