

CAPITOLATO ESECUTIVO DELLA CAMPAGNA INDAGINI

Il progettista

.....

Luogo e data

OGGETTO ED AMMONTARE DELLE INDAGINI
--

Art. 1. OGGETTO

L'appalto ha per oggetto l'esecuzione della campagna di indagini di diagnostica strutturale e geognostica nella consistenza qualitativa e quantitativa indicate nel presente capitolato esecutivo, nel computo metrico estimativo e nei disegni di progetto allegati.

Art. 2. AMMONTARE DELLE INDAGINI

L'importo complessivo dei lavori oggetto del presente appalto ammonta rispettivamente per le due soluzioni proposte:

- | | | |
|---|---|------------------------|
| • Soluzione LC2 | € | 147.094,98+IVA |
| • Sondaggi geognostici -prove di laboratorio e prospezioni geofisiche | € | 17.854,65 + IVA |

DESIGNAZIONE DELLE INDAGINI

Art. 3. DESIGNAZIONE SOMMARIA DELLE INDAGINI

Ai sensi e per gli effetti dell'art. 22 del D.M. 1895 e degli art. 7 e 13 del D.P.R. 16 luglio 1962, ultimo e quinto comma rispettivamente, 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.;
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 all'atto dell'esecuzione della campagna indagine, . Là dove disponibili le prove devono attenersi a protocolli di esecuzione di approvata validità o secondo processi validati scientificamente. Le strumentazioni e il personale tecnico deve essere commisurato affinché la fase ispettiva sia ultimata nei tempi nei termini stabiliti nel presente capitolato.

Art. 4. CONDIZIONI ESECUTIVE

Per il fatto di accettare l'esecuzione dei lavori sopra descritti l'Appaltatore dovrà ammettere e riconoscere pienamente:

- a) di avere preso conoscenza delle indagini da eseguire;

- b) di avere visitato i locali interessati dalla campagna indagine , 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 tecnico incaricato della stesura della campagna indagine al fine di valutare singolarità o occorrenze non desumibili dalle tavole di progetto e dalla relazione tecnica.

L'Appaltatore non potrà quindi eccepire, durante l'esecuzione dei lavori, la mancata conoscenza di condizioni o 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.

* * * * *

DISPOSIZIONE PARTICOLARI

Art. 5. DOCUMENTAZIONE PRODOTTA

Fanno parte integrante del presente Capitolato Esecutivo, anche i seguenti documenti:

- ❑ DOC. 001 relazione tecnica;
- ❑ DOC. 002 documentazione fotografica;
- ❑ DOC. 003 computo metrico estimativo e l'elenco dei prezzi;
- ❑ i seguenti disegni di progetto:
 - Tav. RIL. 001: planimetria piano terra e abaco pilastri e travi
 - Tav. RIL. 101: planimetria piano primo e abaco pilastri e travi
 - Tav. RIL. 201: planimetria piano secondo e abaco pilastri e travi
 - Tav. RIL. 301: planimetria piano terzo e abaco pilastri e travi
 - Tav. RIL. 401: planimetria piano quarto e abaco pilastri e travi
 - Tav. RIL. 501: planimetria piano quinto e abaco pilastri e travi
 - Tav. RIL. 601: planimetria piano sesto e abaco pilastri e travi
 - Tav. RIL. 701: planimetria piano copertura e abaco pilastri e travi
 - Tav. RIL. 801: planimetria piano torino e abaco pilastri e travi
 - Tav. RIL. 901: Rilievo Telaio 1
 - Tav. RIL. 902: Rilievo Telaio 5
 - Tav. RIL. 903: Rilievo Telaio 10
 - Tav. RIL. 904: Rilievo Telaio 14
 - Tav. RIL. 905: Rilievo Telaio 17
 - Tav. RIL. 906: Particolari Costruttivi
 - Tav. IND. 001: planimetria piano terra e abaco pilastri e travi
 - Tav. IND. 101: planimetria piano primo e abaco pilastri e travi
 - Tav. IND. 201: planimetria piano secondo e abaco pilastri e travi
 - Tav. RIL. 301: planimetria piano terzo e abaco pilastri e travi
 - Tav. RIL. 401: planimetria piano quarto e abaco pilastri e travi
 - Tav. RIL. 501: planimetria piano quinto e abaco pilastri e travi
 - Tav. RIL. 601: planimetria piano sesto e abaco pilastri e travi
 - Tav. RIL. 701: planimetria piano copertura e abaco pilastri e travi
 - Tav. RIL. 801: planimetria piano torino e abaco pilastri e travi

Art. 6. ONERI, OBBLIGHI E RESPONSABILITÀ DELL'APPALTATORE

- 1) Essere dotato di tutte le strumentazioni ed il personale necessari per l'esecuzione della campagna indagine senza nessuna eccezione;
- 2) provvedere a proprie spese alla cura e sorveglianza delle strumentazioni e macchinari messi in atto per la campagna indagine;
- 3) fornire i mezzi di trasporto (automezzi e cavalcature) per i sopralluoghi ai lavori sia a scopo di studio che per l'esecuzione ed il controllo di misure, o per l'esame dei risultati raggiunti dalle indagini al personale autorizzato dall'ente appaltante;
- 4) 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;
- 5) 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'Appaltante l'obbligo di mantenerli in perfetta efficienza e, pertanto, sarà a suo carico l'onere di ripristinarli.

Il corrispettivo per tutti gli obblighi ed oneri sopra specificati è conglobato nei prezzi dei lavori e negli eventuali compensi a corpo, di cui all'art. 2 del presente Capitolato. Detti eventuali compensi a corpo sono fissi ed invariabili, essendo soggetti soltanto alla riduzione relativa all'offerta ribasso contrattuale.

Art. 7. SONDAGGI GEOGNOSTICI

Principi

I sondaggi geognostici potranno essere eseguiti a carotaggio continuo e/o a distruzione di nucleo (utilizzabili 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, 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 perforazioni. 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 - 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 installazioni 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 appaltatrice 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 Aggiudicataria possa vantare alcun sovrapprezzo o compenso. 34 Installazione dei tubi in PVC per sismica in foro 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 andrà compensata con l'immissione di acqua al suo interno al fine di ridurre il rischio di deformazioni dello stesso. Congiuntamente alla colonna di tubi andranno immessi nel foro almeno 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. Tale 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 prospezioni potrà essere motivo di ordine di servizio per la riesecuzione del foro e il loro relativo condizionamento mediante nuova tubazione in PVC senza alcun onere aggiuntivo da corrispondere alla Ditta aggiudicataria. 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.

Art. 8. PROVE DI LABORATORIO

Principi

La realizzazione di prove geotecniche di laboratorio risponde a precisi adempimenti legislativi, come disciplinati dal DM 14.01.2008.

Esecuzione

- Esame preliminare dei campioni La certificazione di laboratorio viene 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 2.5-3.0 ed un diametro preferibilmente non inferiore alla dimensione della carota NX, 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 ilpascal (Pa) o suoi multipli.
- (l) Qualora si rendesse necessario in qualche caso sottoporre a prova campioni che non soddisfacessero le prescrizioni sopra menzionate, si riporteranno queste condizioni nella relazione di prova.

Avvertenze/raccomandazioni

Nel caso i terreni sottoposti a prova presentino caratteristiche tali da far ritenere possibili influenze delle tecniche di preparazione sui risultati delle analisi, tali eventuali influenze dovranno essere accertate su un numero minimo di 3 campioni. 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.

Art. 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 (Primae, ovvero più veloci) e di taglio S (Secundae, ovvero che arrivano dopo), che si propagano in profondità con ampiezza proporzionale alla energia dell'impulso. Quindi si leggono i tempi di arrivo delle onde alle diverse quote in profondità, mediante opportuni ricevitori (geofoni) posti all'interno di un foro di sondaggio, ubicato in pianta a breve distanza dalla sorgente (dell'ordine di pochi metri). Le velocità di propagazione VP e VS 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 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, perché 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 VS. In realtà si generano comunque anche onde P, generalmente di ampiezza inferiore, e si può quindi misurare anche la VP; 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 VS pari ad almeno 800 m/s), da attraversare per uno spessore significativo (per es. 5 metri). È da tenere presente però che all'aumentare della profondità, ed in funzione anche della rigidità dei terreni attraversati, i segnali registrati diminuiscono di ampiezza, per cui riesce più difficile la loro interpretazione. Generalmente l'affidabilità della prova DH con un singolo ricevitore e con le tecniche di interpretazione convenzionali si riduce fortemente oltre i 40 m di profondità, in quanto l'energia generata dalla sorgente potrebbe non essere sufficiente all'univoca individuazione dei primi arrivi. Il ricorso al doppio ricevitore e l'uso di tecniche di analisi digitale dei segnali possono altresì consentire la fattibilità di indagini fino ed oltre la profondità di 60 m dal piano campagna.

Esecuzione

Strumentazione

La sorgente degli impulsi sismici deve generare prevalentemente onde SH. Ciò si può ottenere ponendo un asse orizzontale (preferibilmente tavola in legno o alluminio) sul terreno precedentemente livellato, con orientazione ortogonale alla congiungente sorgente–foro, e dando colpi con una massa (ad es. un martello) alle estremità dell'asse, con la stessa orientazione dell'asse. L'asse deve essere poggiato sul terreno nudo, e vincolato ad esso con un adeguato peso. L'asse deve essere strumentato con un sensore (velocimetro), allo scopo di determinare l'istante in cui si produce l'impatto e si generano quindi le onde sismiche. Come ricevitore in profondità si deve utilizzare un geofono 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 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, e che deve essere accuratamente misurata. Per ogni quota di prova (generalmente con intervallo di 1 metro), dapprima si deve bloccare il geofono (o i 2 geofoni) 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 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 di orientamento dei geofoni dalla superficie. I dati di campagna 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 e le modalità di elaborazione dei dati di campagna.

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 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 VP; ciò, però, non costituisce un obiettivo 41 primario della prova DH. Qualora invece si ritenesse essenziale la misura delle VP, 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. Modalità di prova analoghe vengono adottate per le prove SCPT (cono sismico) ed SDMT (dilatometro sismico), nelle quali i ricevitori sono collocati nella batteria di aste che spinge la sonda in profondità. 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 VP.

Documentazione da presentare:

Lo scopo dell'indagine è la caratterizzazione dinamica del sottosuolo nei primi 30 metri, con l'individuazione delle principali unità geofisiche e delle relative proprietà meccaniche elastiche, come la velocità delle onde trasversali S e i relativi parametri elastici (E, G, K, ν). In tal modo sarà possibile classificare il suolo secondo quanto disposto dalla normativa 14-01-2008, al capitolo 3.2.2. "Categorie di sottosuolo".

Dovranno essere presentate: Relazione contenente le modalità delle prove, una scheda tecnica della strumentazione utilizzata, le difficoltà incontrate, le elaborazioni fatte con esempi. o Piante schematiche scala 1:200 con l'ubicazione delle sorgenti e dei fori. o Diagrammi profondità-tempi, ridotti alla verticale, per le onde S e per onde P (laddove possibile). o Tabella delle velocità VS per i diversi strati di terreno, ed eventualmente valori dei moduli di taglio iniziali G0, tipo di terreno presente. o Tabella delle velocità VP per i diversi strati di terreno (laddove possibile). o 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.

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)

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. 48 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 1 Hz. 3. Registrazione di finestre di rumore di almeno 30 minuti utilizzando un campionamento non inferiore a 125 Hz (passo di campionamento non superiore a 8 ms). 4. Controllo dell'accoppiamento sensore-terreno che deve essere ottimale. Dove possibile è consigliato l'interramento del sensore (in SESAME, 2004 sono indicate diverse analisi mirate alla definizione dell'influenza del luogo e della tipologia di appoggio del sensore). 5. Verifica delle condizioni meteorologiche, ambientali ed antropiche: (ad es. è bene evitare giornate piovose e/o ventose, acquisizioni in occasione di mareggiate, di piene torrentizie, di attività antropiche come scavi, perforazioni). Come indicato anche dalle linee guida fornite nell'ambito del progetto SESAME (2004), il processing dei dati potrà essere effettuato nel seguente modo: 1. suddivisione della finestra di registrazione completa (di almeno 20-30 minuti) in sottofinestre di almeno 120 secondi (la lunghezza della finestra dipende dal valore minimo di frequenza che si è interessati a campionare); 2. eliminazione delle sotto-finestre eventualmente contenenti transienti (la procedura indicata in SESAME, 2004 prevede un'analisi basata sul rapporto Sta/Lta in grado di riconoscere la parte stazionaria del microtremore registrato escludendo le porzioni di segnale contenenti transienti per esempio legati a sorgenti specifiche prossime al sensore come passi o passaggio di automobili); 3. utilizzo delle FFT (Fast Fourier Transform) per il computo degli spettri includendo l'operazione di tapering (l'utilizzo della FFT è convenzionalmente consigliato, ma è necessario ricordare che tale metodo in presenza di transienti fornisce degli spettri che possono

essere non corretti; per questo motivo, se lo step precedente non è stato effettuato, è sempre necessario analizzare gli spettri calcolati eliminando le sottofinestre che mostrano un andamento anomalo rispetto al comportamento medio; ultimamente si stanno testando delle nuove metodologie basate sull'utilizzo dello spettro di potenza al posto dello spettro di Fourier calcolato tramite FFT); 4. lisciamento (smoothing) degli spettri utilizzando diverse tecniche. Le più utilizzate sono la Konno-Ohmachi smoothing window, valida soprattutto per analizzare frequenze inferiori a 1 Hz e la Hanning smoothing window, valida per frequenze superiori a 1 Hz; 49 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 valor medio della curva H/V e della sua deviazione standard (generalmente si considera il valor medio ± 1 sigma ma è anche possibile considerare 3 sigma in modo da avere una stima più completa dell'errore associato a ciascuna frequenza). I risultati forniti devono essere comprensivi sia dei rapporti spettrali H/V sia degli spettri iniziali non soggetti a processing in modo da valutare anche a posteriori l'effettiva qualità di un rapporto spettrale (per esempio la presenza di rumori industriali monocromatici caratterizzati da picchi stretti visibili negli spettri originali possono creare anomalie all'interno della curva H/V). Calcolati per ciascun punto di misura i relativi rapporti spettrali H/V, è necessario passare all'interpretazione dei risultati: - riconoscimento e definizione dei picchi significativi: le linee guida del Progetto SESAME (2004) forniscono una serie di criteri che permettono di definire il livello di affidabilità della misura e di identificare il picco significativo (uso di test statistici opportuni); - interpretazione dei risultati: un'analisi di rapporti spettrali basata sul metodo Nakamura non può essere utilizzata per definire la risposta sismica locale; limitatamente alla stima della frequenza di risonanza, è necessario validare i risultati attraverso altre tecniche come i metodi H/V basati su fasi S sismiche o i metodi RST (metodi con stazione di riferimento) o le analisi di risposta sismica locale con modelli 1D basati su dati desunti da indagini geofisicogeotecniche di esplorazione geologica del sottosuolo.

Annotazioni/Raccomandazioni

La tecnica proposta da Nakamura (1989) può essere usata per valutazione speditiva dei fenomeni di amplificazione locale. In particolare il rapporto H/V può essere utilizzato per la stima della frequenza fondamentale di vibrazioni del terreno. Tuttavia è sempre necessario considerare che queste informazioni non possono essere utilizzate in modo diretto per la valutazione quantitativa dei fenomeni di amplificazione locale e quindi delle azioni sismiche di progetto. Nel seguito sono elencati alcuni importanti aspetti legati all'applicabilità del metodo: - l'ampiezza del picco H/V non è direttamente relazionabile alla effettiva amplificazione (può essere talora assunta come inferiore); - la presenza di effetti bidimensionali può invalidare totalmente i risultati di una analisi H/V. In particolare la generazione di onde diffratte può portare ad una amplificazione della componente verticale; - la tecnica di Nakamura non consente l'individuazione di eventuali fenomeni di amplificazione topografica; - i rapporti H/V possono essere influenzati dalla natura del noise (da cui la necessità di ripetere le misure effettuate per esempio in condizioni meteorologiche particolari). I metodi HVSR presentano delle limitazioni in presenza di stratificazioni caratterizzate dai seguenti aspetti: -

profondità del substrato sismico: profondità superiori a 100 m comportano delle frequenze caratteristiche dell'ordine di 1 Hz o inferiori con conseguente necessità di uso di sensori a bassa 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. 50 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 singola stazione (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.

**

PRESCRIZIONI DI CARATTERE TECNICO – INDAGINI STRUTTURALI

Art. 10. OSSERVAZIONI DI CARATTERE GENERALE

È prevista 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'Impresa ritenesse necessario apportare delle modifiche alle modalità anzidette, dovrà preliminarmente concordarle con la Direzione dei Lavori.

Art. 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 sono integrate con prove non distruttive tipo SONREB, sarà opportuno eseguire i carotaggi in corrispondenza dei punti in cui sono state eseguite alcune delle prove sclerometriche ed 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 regolato 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.

Art. 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 NTC08 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 pari per poter essere sottoposto la barra 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 tecnico dell'impresa, responsabile della campagna indagine, 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.

Art. 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 essere 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.

Art. 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.

Art. 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, come mostrato in Figura 1.

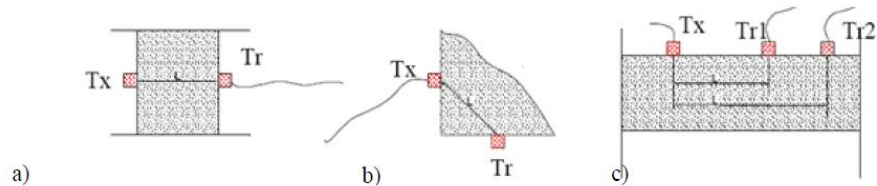


Figura 1. Letture ultrasoniche: a) per trasparenza T; b) per semi-trasparenza ST; c) per superficie S.

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 10kHz 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 la campagna di 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 ricevente, 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.

Art. 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:

$$R_c = a * I_r^b * V^c$$

dove:

- R_c è la resistenza stimata associata al punto indagato
- a, b, c sono i coefficienti che consentono 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 ¼), 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 che non distruttivo.

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

Art. 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 step 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, quando non vengono impiegati come sopra illustrato i comparatori, 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 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 massi ma 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. appoggi.

Art. 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 (solaio e setto) 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.

E' 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 tipologia 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 dipende 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 1.2m 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 mezzera. 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.

Art. 19. 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

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. E' 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.

DOCUMENTAZIONE DA PRODURRE

Art. 20. DOCUMENTAZIONE DA PRODURRE

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

- Relazione generale sulla campagna indagine eseguita contenente l
 - o a descrizione della metodologia di prova,
 - o la documentazione fotografica delle prove eseguite,
 - o schemi e disegni utili all'esplicitazione del layout di strumentazione disposta,
 - o tabelle riassuntive riportanti i dati misurati e manipolati,
 - o l'interpretazione degli stessi dati ai fini del loro uso nei modelli numerici.
- rapporti di prova delle verifiche tecniche sia di laboratorio che in situ
- 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.