



DIAGNOSTICA STRUTTURALE E PROVE DI CARICO

La **ESSEBI** offre l'opportunità di effettuare tutta una serie di controlli in sito atti a verificare le condizioni e le caratteristiche dei terreni e dei vari elementi strutturali in cemento armato, muratura e in acciaio.

Per quanto riguarda la **GEOTECNICA** si citano, oltre ai classici sondaggi con prove penetrometriche e con prelievo di campioni indisturbati, le prove inclinometriche, assestometriche con piezometro in foro, le indagini con georadar e la geoelettrica e la microsismica.

Relativamente alle **STRUTTURE IN ELEVAZIONE**, a parte l'esame visivo ed il controllo geometrico dimensionale con relativi saggi, si ha una differenziazione a seconda della tipologia costruttiva e dei materiali impiegati.

Nel caso di strutture in cemento armato si effettuano controlli con ultrasuoni, abbinati ad analisi sclerometriche, per valutare le caratteristiche del calcestruzzo e controlli con pacometro per individuare la distribuzione delle armature.

Nel caso di elementi strutturali in muratura ha senso effettuare carotaggi sonici e prove con martinetto piatto, singolo e doppio. Per la determinazione delle caratteristiche di rigidità degli orizzontamenti sono previste prove di carico, con martinetti a doppio effetto e materasso ad acqua. Lo stesso dicasi per i pali di fondazione che possono essere sottoposti a prove con carichi verticali, orizzontali e di natura dinamica (metodo vibrazionale o dell'ammettenza meccanica).

GEOGNOSTICA

Tra le tecniche di terebreazione si annoverano la perforazione idraulica o a getto, la trapanazione a punta rotante e la trivellazione. Le scorie portate alla superficie non sono atte a fornire sufficienti elementi circa le caratteristiche meccaniche dei terreni e talvolta neanche lo spessore e la profondità dei diversi strati. Con penetrometri meccanici a massa battente o muniti di carotieri a coclea possono essere ricavati campioni indisturbati da sottoporre a successive prove di laboratorio per la determinazione delle caratteristiche chimico-fisiche dello strato in oggetto. La prova penetrometrica statica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica misurando separatamente lo sforzo necessario per la penetrazione della punta e l'adesione terreno-acciaio di un manicotto posto al disopra della punta stessa: una cella dinamometria idraulica, a mezzo di manometro di Bourdon, permette le letture dei valori della resistenza nelle varie direzioni. Particolarmente interessante è la diagrafia automatica continua, utilizzata nel corso di perforazioni a distruzioni di nucleo d in alcuni casi a carotaggio continuo, atta alla caratterizzazione indiretta dei materiali attraversati. Spesso è opportuno, con attrezzatura idonea effettuare saggi esplorativi finalizzati alla determinazione della tipologia e della profondità del sistema fondale.

INDAGINE CON GEORADAR

Il georadar ad impulso elettromagnetico è un sistema complesso e tecnologicamente avanzato in grado di indagare, utilizzando la riflessione di onde elettromagnetiche appositamente prodotte, i terreni ed i materiali, con notevole dettaglio, al fine di individuare strutture e corpi sepolti a profondità comprese tra 0 e 10 m, funzione dei materiali costituenti il terreno. Il risultato dell'indagine è costituito da sezioni verticali che illustrano visivamente gli andamenti delle discontinuità presenti nel sottosuolo, permettendo così di individuare la presenza di materiali metallici, fondazioni in cemento, tubazioni, cavi interrati, cavità, infiltrazioni dovute a perdite di liquidi e disomogeneità di varia natura. Indagini alternative, e spesso complementari, sono la tomografia elettrica e la microsismica.

PROVE DI CARICO SU PALI

Le norme tecniche per terreni, opere di sostegno e fondazioni prevedono prove di carico obbligatorie da eseguire su pali e ne definiscono il numero minimo (1% del numero totale di pali, con un minimo di due per ciascun tipo costruttivo). Quelle che generalmente si eseguono sono quelle pilota e quelle di collaudo. Le prime sono effettuate su pali non appartenenti alla palificata di fondazione, ma appositamente costruiti con lo scopo di controllare il comportamento geotecnico del palo nei confronti del terreno ed avere informazioni progettuali su questi elementi. Le seconde invece vengono condotte su elementi facenti parte della fondazione per verificare la bontà delle ipotesi poste alla base del progetto e la bontà di esecuzione; esse pertanto non devono compromettere l'integrità dell'elemento.

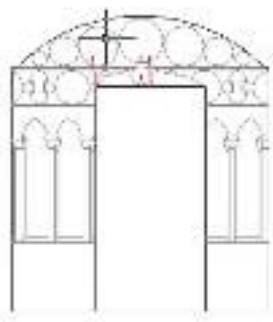


PROVE NON DISTRUTTIVE SU PALI

Le prove generalmente riconosciute come prove non distruttive per verificare l'integrità dei pali sono le prove puntuali con test acustici, le prove globali a bassa potenza nel dominio del tempo, il test dell'ammettenza meccanica e quello del profilo di impedenza. La prova ultrasonica cross-hole consente di controllare la qualità del calcestruzzo costituente il palo per ciò che attiene l'omogeneità e la continuità, e quindi di individuare l'eventuale presenza di intrusioni, interruzioni di getto, fratture, dilavamenti, nonché la profondità del getto. L'emissione e la ricezione di segnali ultrasonici avviene grazie a due sonde, comunemente di tipo radiale, che si spostano all'interno di appositi tubi inglobati nel palo in fase di getto oppure in fori realizzati ad opera già eseguita mediante le comuni procedure di carotaggio. Sollecitando la testa di un palo con una vibrodina, in grado di imprimere una sollecitazione verticale sinusoidale di ampiezza massima costante e frequenza variabile e rilevandone la velocità di oscillazione è possibile determinare un diagramma che riporta in ascissa la frequenza ed in ordinata l'ammettenza del punto preso in considerazione. All'aumentare della frequenza si osserva una successione di risonanze ed antirisonanze, cioè di massimi e minimi di velocità vibrazionali che, note le caratteristiche elastiche del calcestruzzo, consentono di determinare la lunghezza del palo e, analisi più accurate, addirittura la presenza di sbulbature ed imperfezioni varie. Un metodo più speditivo, ed altrettanto efficace, è quello di ricorrere ad un martello strumentato in sostituzione della vibrodina.



RILIEVO GEOMETRICO STRUTTURALE



Per rilievo geometrico si intende l'acquisizione diretta delle dimensioni mediante l'uso di strumenti classici di misurazione o delle più sofisticate apparecchiature ottiche ed elettroniche; per rilievo strutturale la definizione tecnologico-strutturale delle caratteristiche del manufatto attraverso la visione diretta o mediante saggi e campionature, del quadro fessurativo e dei dissesti. Qualsiasi indagine finalizzata allo studio del comportamento statico di strutture che mostrano segni di sofferenza inizia da un accurato rilievo, con la

localizzazione e la classificazione di tutte le lesioni visibili sui paramenti esterni di ogni componente. Per opere di importanza maggiore od al fine di ottenere una documentazione più attendibile in tempi inferiori, la rilevazione della geometria esterna può essere effettuata con il metodo fotogrammetrico gestito da elaboratore. A tale scopo vengono effettuate foto stereoscopiche collegate con un reticolo di riferimento di cui, con un procedimento automatizzato, si otterrà un modello corretto da tutte le deformazioni prospettiche. Alternativamente, con un approccio sicuramente meno rigoroso, possono essere fatte fotografie con macchina digitale ad alta risoluzione e procedere al raddrizzamento delle immagini tramite l'impiego di appositi programmi software.

PROVE CON MARTINETTI PIATTI SU MURATURE

L'indagine con martinetti piatti consente di determinare la tensione di esercizio cui è sottoposta una muratura, e le sue caratteristiche elastoplastiche. Per la definizione della tensione di compressione si impiega un solo martinetto piatto e si effettuano le seguenti operazioni. Dopo aver accuratamente preparato la superficie della muratura si dispongono le basi estensimetriche a cavallo del corso di malta, in corrispondenza del quale effettuare la prova; si eseguono le letture degli strumenti di misura; si realizza un taglio nel giunto di malta; si ripete la lettura e si rilevano le variazioni rispetto alle misure precedenti; si inserisce un martinetto piatto e si aumenta la pressione del circuito idraulico fino ad ottenere le stesse misure rilevate all'inizio della prova. In queste ultime condizioni l'azione del martinetto eguaglia la compressione preesistente nel muro a meno di costanti che tengono conto del rapporto tra l'area di taglio e quella del martinetto e della calibrazione dello stesso, effettuata sotto apposita pressa dal fornitore. La definizione delle



caratteristiche di deformabilità (stima in opera del modulo elastico e dei valori ultimi a fessurazione e rottura) si realizza introducendo un secondo martinetto piatto, eseguendo cicli di carico e scarico ed acquisendo i dati dagli strumenti (questa volta posizionati anche nella zona compresa tra i due martinetti). Il metodo consiste nel realizzare due tagli sovrapposti, come per il martinetto singolo, ad una distanza variabile da ca. 50 a 100 cm lungo la verticale, e di inserirvi due martinetti piatti. Poi la prova si svolge in modo del tutto analogo a quella del martinetto semplice. Si esegue in sostanza una vera e propria compressione nella zona di muratura



compresa tra i due martinetti, costituente un ideale campione in opera, con tutti i vantaggi di una prova di compressione in situ e tutte le condizioni al contorno reali. Il carico massimo può essere portato fino al raggiungimento di pressioni pari a tre volte e anche più quella iniziale, in modo da ottenere indicazioni sulle caratteristiche di resistenza della muratura. Il rapporto del limite ultimo, così determinato, con la tensione d'esercizio, determinata con la prova del martinetto piatto singolo, fornirà il coefficiente di sicurezza relativo al maschio murario in esame.

TERMOGRAFIA INFRAROSSO

Le indagini termografiche vengono effettuate con l'impiego di strumentazione all'infrarosso su superfici murarie esterne o interne, anche affrescate. Sfruttando i gradienti termici naturali o prodotti con generatori di aria calda, è possibile individuare le zone superficiali a distacco incipiente, gli elementi architettonici celati, la tessitura dei materiali, il quadro fessurativo, la presenza di umidità, la presenza di vuoti, le ammorsature tra murature diverse, etc.

CAROTAGGI SU ELEMENTI STRUTTURALI

Il carotaggio prevede l'estrazione di materiale indurito sul quali è possibile, previa preparazione delle superfici, l'effettuazione delle prove di rottura a compressione. Trattasi di indagine di tipo distruttivo da effettuare con attrezzatura idonea per ridurre al minimo il danneggiamento sul campione. In tal senso si usano sonde rotative a corona diamantata comandate da motore elettrico che, opportunamente contrastate, consentono il prelievo di carote di calcestruzzo o di muratura senza percussione o sollecitazioni dannose. Anche la norma UNI 6133-72, che regola tale tipo di indagine finalizzato al solo calcestruzzo, prevede quale criterio generale di tali prelevamenti, di ridurre per quanto possibile il danneggiamento sul campione. Prescrive inoltre che il diametro del provino estratto deve essere non inferiore a tre volte la dimensione massima dell'inerte e che nel rendiconto dei risultati sia indicata la direzione del prelievo. Anche per quel che riguarda il componente strutturale, la prova deve essere la meno distruttiva possibile.



ENDOSCOPIA

Da effettuarsi in perfori di lunghezza variabile mediante l'ausilio di endoscopio, rigido o flessibile, al fine di individuare la composizione della muratura, eventuali cavità, fessurazioni interne, percorsi seguiti dalle miscele cementizie iniettate, ecc. L'endoscopio è appunto strumento di indagine particolarmente adatto nella diagnostica edilizia, nella conservazione e nel restauro con particolare riferimento alle murature storiche. In diversi modelli e versioni può essere assemblato in funzione delle particolari esigenze applicative; in particolare può essere a terminale rigido con testa orientabile (boroscopio) o flessibile. A seconda se la fonte di illuminazione è posta all'estremità dell'obiettivo (lampada alogena) o sulla punta dell'endoscopio si definisce strumento a luce calda o a luce fredda. Interessante variante a tale sistema è il videoendoscopio caratterizzato da una videocamera miniaturizzata collegata ad un dispositivo di registrazione delle immagini.



PROSPEZIONI SONICHE ED ULTRASONICHE

Praticate su sezioni di elementi strutturali in materiale lapideo, laterizio, calcestruzzo, metallo, per la determinazione delle loro caratteristiche meccaniche, ricavate per mezzo di correlazioni con la velocità di attraversamento e l'attenuazione delle onde soniche o ultrasoniche applicate. Il termine ultrasonico è usato per descrivere le vibrazioni a frequenze superiori a 20.000 Hz. Il metodo si basa su impulsi che sono prodotti da trasduttori piezoelettrici e propagati nell'elemento da provare attraverso un mezzo di accoppiamento. Dopo aver percorso una traiettoria di lunghezza L , l'impulso viene ricevuto da un secondo trasduttore che lo trasforma in segnale elettrico. In un buon calcestruzzo la velocità di propagazione è compresa tra 3.500 e 4.500 m/s. La prova può essere a trasmissione diretta (quando le sonde sono poste allineate su facce opposte), a trasmissione





semidiretta (quando le sonde sono poste su facce adiacenti, per esempio a 90°), trasmissione indiretta (quando le sonde sono poste sulla stessa faccia). La prova ad ultrasuoni è unificata dalla British Standards Institution (BS 4408 Part.5).

PROVA SCLEROMETRICA

La prova sclerometrica è un tipo di controllo estremamente rapido ed agile che permette, senza danneggiamenti, l'esame di numerose strutture in breve tempo. Essa consente la valutazione della



probabile resistenza a compressione del calcestruzzo in opera mediante la determinazione della relativa durezza d'urto fornita dalle battute sclerometriche. La prova si esegue posizionando lo strumento (sclerometro) a contatto con la superficie ed in direzione perpendicolare e misurando i valori dei rimbalzi di un cursore d'acciaio spinto con forza contro tale superficie. Una molla graduata ed il relativo ago danno l'indicazione dell'indice di rimbalzo su una scala graduata. I limiti, insiti nel metodo stesso, sono parzialmente superabili mediante opportune tarature eseguibili con i tradizionali controlli distruttivi (carotaggi e relative prove di compressione). La prova è standardizzata dalla norma UNI 9189

(che prevede l'effettuazione di almeno 10 battute per ogni zona della struttura presa in esame).

METODO COMBINATO SONREB

Il metodo Sonreb, grazie alla combinazione della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici con l'indice di rimbalzo, consente di determinare, attraverso una tabella sperimentale, la resistenza a compressione del calcestruzzo. Detto metodo è normalizzato in seno alla commissione Rilem 43 CND; è in corso di definizione la relativa normativa UNI.

RILEVAMENTO BARRE DI ARMATURA



L'esatta determinazione della posizione e del diametro delle armature di un elemento strutturale in c.a., risulta della massima utilità ogniqualvolta occorra confrontare i dati di progetto e non sia consentito effettuare indagini di tipo distruttivo. Utilizzando i pacometri, che sono strumenti il cui principio di funzionamento si basa su fenomeni elettromagnetici, è possibile arrivare a determinazioni con buone approssimazioni. La valutazione del diametro dei ferri è tanto più esatta, quanto minore è la copertura del ferro



PROVE SU MATERIALI PER C.A. (Lg. 1086/71)



Sono tutte le prove, da eseguirsi in laboratorio autorizzato dal Ministero dei LL.PP., atte alla determinazione delle grandezze meccaniche relative ai costituenti una struttura in cemento armato. Fra le più significative si ricordano le prove di resistenza a compressione di provini cubici (confezionati durante il getto) e cilindrici (estratti con carotatrice da materiale indurito) e le prove di trazione sulle barre di armatura (per la determinazione della tensione di snervamento e rottura e l'allungamento a rottura). Altre prove sono quelle atte alla determinazione dei moduli di elasticità longitudinali, quelle di piegamento di piegamento, di resilienza e di durezza sulle barre di acciaio di sfilamento (pull-out) ed aderenza nel calcestruzzo.

PROVE DI CARICO SU ORIZZONTAMENTI

Consistono nell'applicazione di un carico, via via crescente, sull'elemento strutturale in esame e relativa misurazione dei suoi abbassamenti tramite flessimetri meccanici o elettronici. Dalla curva carico-



deformazione ricavata si individua il carico massimo applicabile. Tali prove consentono innanzitutto di verificare se le strutture restano in campo elastico sotto l'azione delle forze esterne applicate, che devono coincidere con quelle previste in fase di progetto. A tal fine è opportuno



realizzare condizioni di carico significative raggiungendo la intensità massima attraverso le varie aliquote, e lasciando le strutture sotto carico massimo costante per un periodo di tempo affinché il materiale possa deformarsi completamente. La determinazione degli spostamenti (frecce) e delle tensioni specifiche in vari punti degli elementi esaminati permette di confrontare il comportamento effettivo con quello ipotizzato e di verificare la validità del calcolo preso in esame nel progetto.

TENSIONE NELLE CATENE

La determinazione della tensione di esercizio dell'elemento metallico di tirantatura si può ottenere sia col metodo statico che con quello dinamico. Il primo consiste nell'applicare più carichi prefissati in mezzera ed ai quarti del tirante e misura dei corrispondenti abbassamenti e, successivamente, con nell'impiego di formule chiuse della scienza delle costruzioni, ricavare lo stato pensionale. Il secondo consiste invece nell'analisi delle frequenze di vibrazione della catena sollecitata con impulso meccanico, registrazione della risposta, e valutazione quantitativa dello stato tensionale ottenuto dall'analisi spettrale.