



4 EMME Service S.p.A.

Prove in Sito - Laboratorio Prove Materiali

Sede legale: Via L. Zuegg, 20 - 39100 Bolzano - ITALY
Tel. 0471/543111 - Fax 543110 4emme@legaimail.it www.4emme.it
Sistema Qualità ISO 9001:2008 certificato RINA nr. 6441/01/S

CURRICULUM PROFESSIONALE ORGANIGRAMMA ATTREZZATURE DI PROPRIETA

C.F./P.I. IT 01288130212	Cap. Soc. 500.000,00 Euro	R.E.A. - BZ 111601	CASSA CENTRALE RAIFFEISEN BZ IT49 B 03493 11600 000300027138		
Bolzano 0471-543111	Firenze 055-461000	Padova 049-8020707	Torino 011-7706023	Laboratori Autorizzati	
Bologna 051-6346808	Genova 010-586195	Palermo 091-6703629	Treviso 0438-990200	Bolzano 0471-543111	
Cagliari 070-490732	Milano 02-40092545	Piacenza 0523-755849	Verona 045-8004278	Milano 02-40092545	
Como 031-305253	Modena 059-395414	Roma 06-71546992			

1. CURRICULUM PROFESSIONALE

La 4 EMME Service S.p.a. è una Società di servizi che opera nel settore della diagnostica strutturale dal 1980.

Svolge un servizio di ingegneria specializzato nella diagnostica strutturale ed esecuzione di interventi di indagine sperimentale finalizzati ad acquisire tutti i parametri ingegneristicamente utili per definire la collaudabilità, la certificabilità e la rispondenza qualitativa delle strutture ai requisiti richiesti dalle normative in vigore.

I settori operativi riguardano:

- indagini tramite CnD sui materiali, come ad esempio carotaggi, pull-out, carbonatazione, soniche e ultrasoniche, verifiche sulle saldature con tecnici patentati di II livello, prove di durezza, misura spessori, acustica, ecc..;
- prove di carico statiche e statico - dinamiche;
- prove dinamiche e di caratterizzazione solai e strutture;
- termografia e laser scansione;
- rilevazioni di vibrazioni come danno alle strutture e/o disturbo sull'uomo;
- monitoraggio telematizzato di strutture con servizio di controllo-allarme ;
- prove di laboratorio sui materiali ai sensi della legge n.1086;
- servizio di ispezione di ponti, gallerie, versanti;
- elaborazione e calibrazione di modelli numerici strutturali;
- elaborazione di programmi informatici tecnici;
- organizzazione di corsi di aggiornamento professionale;
- produzione di testi tecnici.

La sede legale di Bolzano è dotata di Laboratorio Prove Materiali autorizzato con Decreto Ministeriale n° 52187 del 28.07.2004 ad effettuare prove sui materiali da costruzione ai sensi dell' art. 20, legge del 05.11.1971 n° 1086.

Inoltre è attivo anche il Laboratorio Terre per prove Geotecniche, settore A.



La sede secondaria è a Milano anche essa dotata di Laboratorio Prove Materiali autorizzato con Decreto Ministeriale; le altre sedi operative sono a: Trento, Treviso, Padova, Verona, Novara, Como, Torino, Genova, Piacenza, Modena, Bologna, Firenze, Grosseto, Roma, Palermo, Agrigento, Trapani, Cagliari.

L'azienda ha un organico di oltre 100 operatori di cui 32 laureati in diverse discipline, ed è certificata dal R.I.N.A. secondo la UNI EN ISO 9001:2008 con certificato Nr. 6441/01/S con prima emissione il 28/12/2001. Sono presenti tecnici certificati

L'azienda ha iniziato la sua attività sviluppando speciali apparecchiature che hanno portato un rinnovamento e miglioramento nelle possibilità di indagine.

Le innovazioni più importanti sono state:

- **il Collaudatore GS** – apparecchiatura predisposta per l'esecuzione di prove di carico mediante martinetti idraulici comandati a distanza ed il rilievo delle deformazioni attraverso sensori elettronici;
- **il Metodo delle Tangenti (inclinometrico)** – che attraverso una serie di sensori inclinometrici, posti sull'estradosso del ponte, consente la misura delle frecce visualizzando in tempo reale la deformata;

- **Io Speedymet** – apparecchiatura da cantiere in grado di calcolare, dopo poche ore dal getto, la resistenza a compressione del calcestruzzo prevedibile a 28 giorni;
- **il Manuale per la Valutazione dello stato dei Ponti** – che in abbinamento al software Bridge dedicato permette di gestire tutte le operazioni per il controllo manutentivo dei ponti;
- **il Manuale per la Valutazione dello stato delle Gallerie e delle Opere dei Versanti** - che in abbinamento al software Gallerie dedicato permette di gestire tutte le operazioni per il controllo manutentivo delle opere dei versanti.

Oggi la 4 Emme Service Spa è l'indiscussa leader del settore, esegue oltre 5.000 indagini all'anno, opera su tutto il territorio nazionale ed all'estero, collaborando con numerose università per lo sviluppo di nuove tecniche. Ha al suo interno personale qualificato e certificato R.I.N.A. di livello 3 - Ispettore di Ponti e Viadotti e personale con la certificazione delle competenze delle persone secondo UNI EN ISO 9712:2012 - Certificato AJA Europe di livello 2 e 3 per: prove/Monitoraggio su strutture in cls, c.a. e c.a.p., muratura e strutture metalliche, tensioni residue (TR), prova di penetrazione (PE), monitoraggio strutturale in campo dinamico (MD), monitoraggio strutturale in campo statico (MO), potenziale di corrosione delle armature (PZ), chimiche in sito (CH), Sonora – Ecometrica (SO – EC), estrazione e strappo (ES), indagine termografica (TG), esame visivo delle opere (VT), martinetti piatti (MP), prova di carico (PC), magnetometrica (MG), ultrasonora (UT), sclerometrica (SC).

Organizza costantemente corsi e convegni su temi specifici delle indagini.



In questi ultimi anni l'ambiente professionale sente sempre più pressante l'esigenza di un adeguamento delle proprie conoscenze. Sulla base di questa motivazione è stato istituito il CIAS, una struttura senza fini di lucro che svolge un'attività di divulgazione scientifica e di sviluppo della sperimentazione nel campo strutturale e geotecnico dell'ingegneria civile.

L'iniziativa ha trovato l'immediato appoggio di numerosi componenti del mondo accademico ed industriale.

L'azienda ha rappresentato da sempre un punto di riferimento per le Amministrazioni Pubbliche ed ha saputo fare proprie le problematiche e le sollecitazioni che da esse sono giunte. Grazie a questa sensibilità imprenditoriale, nell'ottica di realizzazione di una partnership global service, a partire dagli anni novanta, sulla spinta delle nascenti norme tecniche, l'Azienda ha iniziato a sviluppare un sistema di gestione informatizzato per i ponti stradali, denominato "Bridge". Anni di esperienze e studi in collaborazione con numerose Università italiane e professionisti operanti nel settore, hanno permesso di sviluppare l'idea originale sino all'attuale configurazione giunta con l'implementazione del Metodo della Valutazione Numerica, attualmente fondamento dei sistemi di gestione e manutenzione proposti.

Il sistema, apprezzato da parte del mercato, è attualmente utilizzato da numerose amministrazioni.

A seguire si citano le principali degli ultimi tre anni indicando l'anno di avvio.

- Provincia di Rimini Censimento Ponti, Ispezioni visive 2017;
- Comunità comprensoriale Wipptal Prove di carico, Ispezioni visive pista ciclabile 2017;
- Comune di Ravenna Ispezioni visive su Ponti 2016-2017-2018-2019
- Burgraviato (BZ) Ispezione visiva Ponti pista ciclabile 2018;
- Comune di Merano, Ispezioni visive ponti cittadini 2018;
- Anas Spa Software Carichi eccezionali 2018;
- Provincia di Mantova Censimento ponti, ispezioni visive software carichi eccezionali 2018;
- Provincia di Nuovo software Censimento Ponti, ispezione visiva, Carichi eccezionali 2018;

- Provincia di Asti Censimento Ponti, Ispezione primaria, Software Carichi eccezionali 2018;
- Comune di Lecco Ispezioni visive Prove di carico e software Carichi eccezionali 2018;
- Comune di Bolzano Prove statiche e dinamiche su 49 ponti 2018;
- Comune di Novara Censimento e Ispezione visive 2019;
- Comunità Comprensoriale Bassa Atesina Ponti della pista ciclabile
- Città Metropolitana di Genova Corso ispettore Ponti 2019

Alcune delle amministrazioni citate hanno avviato dei contratti di collaborazione annuali affidandoci la gestione e l'esecuzione delle necessarie attività di vigilanza, ottenendo il supporto tecnico ed organizzativo necessario alla corretta manutenzione delle opere, garantendosi una struttura snella, capace di tempestività d'intervento.

Attualmente risultano gestite oltre 10.000 tra ponti, gallerie e opere sui versanti.

È importante precisare che il sistema così come proposto deriva da una serie di implementazioni suggerite nel corso degli anni dai tecnici delle singole amministrazioni. Questo apporto ha permesso l'introduzione di una serie di migliorie in termini di praticità e sinteticità dei risultati che difficilmente possono essere tradotte in modo esaustivo.

Le soluzioni tecniche che verranno adottate per l'espletamento del servizio sono quelle derivanti dall'esperienze maturate in campo, utilizzando anche tecniche e tecnologie moderne sperimentate in molti lavori simili.

La forza di questa società sta proprio nella massima specializzazione nei particolari settori e nel rappresentare non solo una postazione di leadership in Italia, ma anche un punto di riferimento all'estero.

2 . ORGANIGRAMMA AZIENDALE

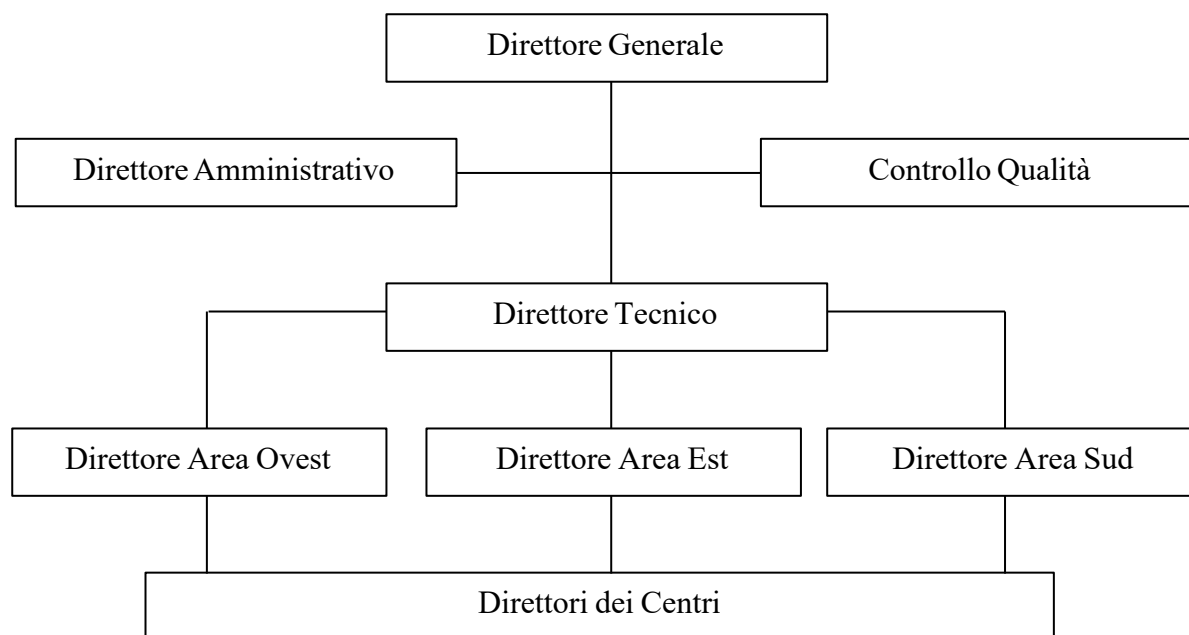
n°	Denominazione	Unità lavorative	
		Indirizzo	n°personale
1	BOLZANO	Sede Legale/Operativa via L. Zuegg, 20	
2	BOLOGNA	via Del Gomito 3/H	
3	CAGLIARI	loc. Pixina Matzeu ex SS131-Sestu	
4	COMO	via T. Grassi, 327 – Lipomo (CO)	
5	FIRENZE	via Di Le Prata, 31 – Calenzano (FI)	
6	GENOVA	via Borzoli 162S-162T Rossi	
7	MILANO	via Scarsellini, 13	
8	MODENA	via Martinelli 183	
9	PADOVA	via dei Ronchi, 5	
10	PALERMO	via Largo Lituania 11	
11	PIACENZA	via S. Giuseppe, 19	
12	ROMA	via Decollatura, 64	
13	TORINO	via Bard, 64/A	
14	TREVISO	via Matteotti, 6 Colle Umberto	
15	VERONA	via Roveggia, 136/A	
16	MARCHE	Via Dell'Industria 24 –Pporto san Elpidio (FM)	

Configurazione Territoriale

BZ													
Area Ovest					Area Est						Area Sud		
MI	PC	TO	GE	CO	BO	FI	MO	PD	TV	VR	ROMA	PA	CA

Struttura Gerarchico-Organizzativa

Di seguito si riporta la struttura organizzativa di 4 EMME Service S.p.A.



ELENCO LAVORI PIU' SIGNIFICATIVI ESEGUITI NEGLI ULTIMI 3 ANNI

DA - AL	COMMITTENTE	IMPONIBILE	OPERA D'ARTE	TIPO PROVA
gen-18	LIDL	€ 23.200,00	EDIFICIO DISMESSO VIA BRENNERO A TRENTO	INDAGINI IN SITO E DI LABORATORIO
mar-18	MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E TRASPORTI	€ 37.300,00	UFFICI GIUDIZIARI TRAPANI	VERIFICA INTRADOSSI DEI SOLAI
gen-18	PIATTAFORMA LOGISTICA TRIESTE	€ 23.614,00	PALO DI FONDAZIONE PRESSO PIATTAFORMA LOGISTICA	PROVE CASE/PROVE STATICHE
gen 18 - mar 18	BURGRAVIATO	€ 38.700,00	PONTI CICLABILE BURGRAVIATO	ISPEZIONE VISIVA E PROVE DI CARICO
feb-18	PROVINCIA DI MANTOVA	€ 39.900,32	PONTI	CENSIMENTO PONTI
feb-18	ANAS SPA - PUGLIA	€ 19.950,00	CARICHI ECCEZIONALI	SOFTWARE CARICHI ECCEZIONALI
feb-18	PROVINCIA MANTOVA	€ 39.396,06	CARICHI ECCEZIONALI	SOFTWARE CARICHI ECCEZIONALI
feb-18	PROVINCIA SAVONA	€ 39.900,00	PONTI	CENSIMENTO PONTI
feb-18	ANAS SPA - MOLISE	€ 19.950,00	CARICHI ECCEZIONALI	SOFTWARE CARICHI ECCEZIONALI
mar-18	COMUNE DI BOLZANO	€ 23.789,60	CASA DI RIPOSO DON BOSCO	INDAGINI IN SITO E PROVE LABORATORIO
lug-18	MIN.INF.TRASP.OO.PP. LOMBARDIA-SEDE BO	€ 7.223,00	CASA DI RECLUSIONE CASTELFRANCO EMILIA	INDAGINI SU TERRENI E STRUTTURE PORTANTI
mag-18	UNIV.VERONA	€ 22.120,00	SILOS DI LEVANTE VIA CANTARANE VERONA	IND.SPERIMENTALI PER VER.VULNERABILITA' SISMICA
giu-18	PROVINCIA DI SAVONA	€ 19.243,11	PONTE SU S.P.31 KM 5+830 LOC.VEREIRA	INDAGINI MATERIALI, RILIEVO GEOMETRICO, PROVA IDNAMICA E INSTALLAZIONE MONITORAGGIO
mar-18	PROVINCIA MASSA CARRARA	€ 19.000,00	PONTE SUL TORRENTE PENOLO S.P.20 KM 18+605	VERIFICA TRANSITABILITA'
mag-18	COMUNE DI GAMBOLO'	€ 16.500,00	CASTELLO LITTA	INDAGINI SPERIMENTALI
apr-18	PROVINCIA DI SAVONA	€ 3.800,00	ISTITUTO SUPERIORE DI FINALE LIGURE-SEZ.ALBERGHIERO	INDAGINI DIAGNOSTICHE SU SOLAI
giu-18	REGIONE PIEMONTE	€ 3.700,00	EDIFICIO REGIONALE VIA DEL GUASCO AD ALESSANDRIA	INDAGINE DINAMICA
gen-18	ANAS SPA	€ 13.860,00	SOFTWARE CARICHI ECCEZIONALI LOMBARDIA	SOFTWARE CARICHI ECCEZIONALI
ott-18	PROVINCIA DI VERCELLI	€ 37.925,00	PONTE S.P.32 TRINO-CAMINO KM 1+400 SUL FIUME PO'	PROVE DI CARICO, DINAMICHE, MODELLAZIONE NUMERICA
dic-18	PROVINCIA DI VERCELLI	€ 52.200,00	PONTE AL KM 48+752 NEL COMUNE DI QUARONA	ISPEZIONE VISIV, PROVE DI CARICO, OMOGENEITA', DINAMICA
2018	PROVINCIA DI SONDRIO	€ 21.980,00	PONTE SUL TORRENTE CREZZA A GORDONA (SO)	INDAGINI SPERIMENTALI E VERIFICHE GENERALI
ott.17-ago.18	PROVINCIA DI PADOVA	€ 23.699,80	ISTITUTI SCOLASTICI	INDAGINI SU SOLAI E CONTROSOFFITTI
gen-giu 18	PROVINCIA DI ASTI	€ 27.900,00	PONTI DELLA PROVINCIA	CENSIMENTO E ISPEZIONE PRIMARIA
set-18	PROVINCIA DI MANTOVA	€ 23.680,60	ISTITUTI SCOLASTICI	CARATTERIZZ.MECCANICA E MORFOLOGICA EDIFICI
2018	CITTA' METROP.VENEZIA	€ 38.610,00	PONTI DI VENEZIA	GESTIONE E SORVEGLIANZA
ago-18	MART di ROVERETO	€ 28.924,00	CUPOLA E PONTE DI COLLEGAMENTO	INDAGINI SU ELEMENTI STRUTTURALI
lug-ott.2018	TRENTINO TRASPORTI SPA	€ 36.900,00	VIADOTTI DAOLASA E MARILLEVA 1 FERROVIA	ISP.VISIVA, VER.SALDATURE, CARATT.DINAMICA, PROVA CARICO STATICA E DINAMICA
set-18	CITTA' DI BRUNICO	€ 32.700,00	PONTI WALDE, KUNTNER, KEHRER, S.GIORGIO	COLLAUDO DECENNALE
lug-18	GEDO IMMOBILIARE SRL	€ 23.000,00	CANTIERE EX ROSATI LANCIA	INDAGINI SPERIMENTALI
2018	COMUNE DI RAVENNA	€ 300.706,96	PONTI DEL COMUNE	PRESTAZIONI OPZIONALI 4
dic-18	REGIONE TOSCANA	€ 19.906,00	PONTI SUL FIORA	VERIFICA GENERALE
set-18	PROVINCIA DI NUORO	€ 39.900,00	PONTI ZONA OMOGENEA OGLIASTRA	CENSIMENTO E ISPEZIONE PRIMARIA CON RELAZ.STATO DEGRADO
set-18	BANCA D'ITALIA	€ 22.600,00	EX FILIALE BANCA D'ITALIA DI VITERBO	PROVE CARICO SOLAI E CERTIFICAZIONE STATICA
gen-feb 19	UNIVERSITA' CA' FOSCARI VENEZIA	€ 14.360,00	SEDE UNIVERSITA' CA' BEMBO	MIGLIORAMENTO SISMICO E ADEGUAMENTO ANTINCENDIO
sett.2018	DECAL SPA	€ 28.700,00	AREA DEPOSITO EX ITALCEMENTI A MARGHERA	INDAGINI SPERIMENTALI
2018-2019	MIN.INF. E TRASPORTI LOMBARDIA ED EMILIA ROMAGNA	€ 30.038,13	CERTOSA DI PAVIA	INDAGINI IN SITO E PROVE LABORATORIO
sett.2018	PROVINCIA DI NUORO	€ 39.800,00	SOFTWARE CARICHI ECCEZIONALI	SOFTWARE CARICHI ECCEZIONALI

set-18	PROVINCIA ASCOLI PICENO	€ 39.900,00	2 PONTI S.P.3 ANCARANESE	INDAGINI DIAGNOSTICHE CARICO
feb-18	PROVINCIA DI SALERNO	€ 19.900,00	CAVALCAVIA S.R. EX S.S.267	CARATTERIZZAZIONE MECCANICA E QUALITATIVA MATERIALI
ott.18-mar.19	COMUNITA' OLTRADIGE BASSA ATESSINA	€ 31.000,00	PONTI DELLA PISTA CICLABILE	PROVE DI CARICO
lug-dic.2018	PROVINCIA DI ASTI	€ 24.087,00	PONTI DELLA PROVINCIA	CENSIMENTO, ISPEZIONE PRIMARIA E SOFTWARE CARICHI ECCEZIONALI
2018	COMUNE DI LECCO	€ 18.590,00	PONTI DEL COMUNE	ISPEZIONI VISIVE, PROVE DI CARICO E SOFTWARE CARICHI ECCEZIONALI
2019	PIO ISTITUTO NEGRONE BRIGNOLE	€ 26.900,00	EDIFICIO VIA CARBONARA GENOVA	MONITORAGGIO
mar-19	PROVINCIA DI PESARO E URBINO	€ 29.803,27	PONTE SCARICALASINO	VERIFICA GENERALE
2018	PROVINCIA DI BOLZANO	€ 162.609,00	49 PONTI DELLA PROVINCIA	PROVE STATICHE E DINAMICHE
mar-giu 19	VERITAS SPA	€ 32.535,70	SERBATOI PENSILI ACQUEDOTTI PROV.VENEZIA	INDAGINI PER VERIFICA VULNERABILITA' SISMICA
giu-ott 19	IMPRESA SILVIO PIEROBON SRL	€ 47.900,00	LINEE FERROVIARIE DTP TRIESTE	INDAGINI GEORADAR
feb-19	PROVINCIA DI CREMONA	€ 20.150,00	PONTE S.P.64 APIANENGO (CR)	INDAGINI DIAGNOSTICHE
mar-19	GENIO CIVILE DI BOLZANO	€ 23.271,20	STAZIONE SAGF PRATO ALLA DRAVA G.D.F.	INDAGINI PER VERIFICA VULNERABILITA' SISMICA
lug-19	COMUNE DI NOVARA	€ 39.900,00	PONTI DEL COMUNE	CENSIMENTO E ISPEZIONE VISIVA
lug-19	CITTA' METROPOLITANA GENOVA	€ 39.400,00	CORSO IS+G328+D314:F328+E263:F328	CORSO ISPETTORE PONTI I E II LIVELLO
set-19	UNIV.CA FOSCARI VENEZIA	€ 12.950,00	PALAZZINA BRIATI, MASTER E AULA B2 - VENEZIA	INDAGINI STRUTTURALI SU SOLAI E MURATURA
2019	PROVINCIA AUTONOMA BOLZANO	€ 163.116,00	ACCORDO QUADRO PONTI	PROVE DI CARICO STATICHE E DINAMICHE
mar-18	MIN.INF.OO.PP. SICILIA CALABRIA-PROV.PA	€ 15.750,00	CATTEDRALE SANTA VERGINE MARIA ASSUNTA DI PALERMO	INDAGINI PROPEDEUTICHE ALLA DEFINIZIONE DELL'INTERVENTO STRUTTURALE
dic-19	COMUNE DI CASTELBUONO	€ 8.702,36	CHIESA DELL'ANNUNZIATA	INDAGINI SU MATERIALI
ott-19	CITTA' DI VENEZIA	€ 11.886,07	RAMPA RIZZARDI A MARGHERA (VE)	VERIFICHE TIRANTI
2019-2020	PARCO ARCHEOLOGICO DI ERCOLANO	€ 34.937,10	PONTE MAILLART - ERCOLANO	VERIFICA ENERALE
ott-19	ING.CINUS ERMINIO	€ 18.230,00	PONTI DEL COMUNE DI MONASTIR	VERIFICA IDONEITA' STATICA
ago-sett 19	COMUNE SOMMACAMPAGNA	€ 24.189,00	SCUOLA PRIMARIA DON MILANI	INDAGINI DIAGNOSTICHE
feb-19	PROVINCIA DI SIENA	€ 32.900,00	VIADOTTO RIBUSSOLAIA	VERIFICA E INDAGINI PER RILASCIO TRANSITABILITA'
mar-ago 19	CITTA' DI VENEZIA	€ 31.800,30	PALAZZO EX CASINO'	RILIEVI STRATIGRAFICI CON PROVE DI CARICO
gen-feb 19	MIN.INF. OO.PP.TRENTINO A/a	€ 37.460,00	TENENZA BOLGO VALSUGANA E FIERA DI PRIMIERO	INDAGINI VULNERABILITA' SISMICA E STABILITA' STRUTTURALE
2019	CITTA' IVREA	€ 69.650,00	VIADOTTO XXV APRILE	MONITORAGGIO
2019	AUT.PORTUALE MAR LIGURE OCCIDENTALE	€ 20.100,00	PORTO DI SAVONA - PALACROCIERE	INDAGINI SPERIMENTALI
ago-nov 19	CDE SCARL	€ 42.819,26	NUOVO CENTRO DIREZIONALE ENI SAN DONATO	INDAGINI SPERIMENTALI
giu-lug 19	MIN.INF.OO.PP. SICILIA CALABRIA-PROV.PA	€ 50.639,85	PALAZZO EX EAS	VERIFICA VULNERABILITA' SISMICA
dic.19	PERMASTEELISA SPA	€ 33.900,00	UFFICI E PRODUZIONE A VITTORIO VENETO	INDAGINI SPERIMENTALI
ott.19	ANAS SPA	€ 32.320,00	S.S.2 CASSIA PONTI COMUNE S.QUIRICO D'ORCIA	ISPEZIONE, RILIEVO, INDAGINE E PROVE MATERIALI E DI CARICO
apr.19	FERROTRAMVIARIA SPA	€ 39.825,90	PONTI E CAMPATE SUCCESSIVE - BARI	CENSIMENTO E ISPEZIONE VISIVA
nov.19	CAV SPA	€ 70.700,00	PONTI AUTOSTRADALI VENEZIA	INDAGINI DIAGNOSTICHE, PROVE DI CARICO E DI LABORATORIO
2019-2020	PROVINCIA DI FERMO	€ 24.918,50	LICEO ARTISTICO PORTO SAN GIORGIO	VERIFICA VULNERABILITA' SISMICA
2018-2019	CITTA' DI BRUNICO	€ 38.900,00	PONTI DEL COMUNE DI BRUNICO	ISPEZIONI E COLLAUDI PONTI
2019	PROVINCIA ASCOLI PICENO	€ 39.900,00	PONTI PROVINCIALI	CENSIMENTO, ISPEZIONE VISIVA E PROVE DI CARICO
2019	PROV.RIMINI	€ 31.200,00	PONTE A 14 CAMPATE S.P.69 BIS	PROVE DI CARICO
ott-nov.19	ANTHEA SPA	€ 38.000,00	PONTI DEL COMUNE DI RIMINI	INDAGINI SPERIMENTALI
feb.20	PROV.MANTOVA	€ 19.500,00	PONTI PROVINCIALI S.P.38 S.P.70 S.P.72	INDAGINI SPERIMENTALI
lug-05	COMUNE DI RHO	€ 23.300,00	PONTI DEL COMUNE DI RHO	ISPEZIONI
mar-19	UNIONE TERR.FRIULI CENTRALE	€ 29.697,00	EDUCANDATO STATALE "UCCELLIS" UDINE	PROVE SU MATERIALI X VALUTAZ.VULNER.SISMICA
2019	CITTA' TORINO	€ 39.900,00	PONTI	FORNITURA ED IMPLEMENTAZIONE BMS, CENSIMENTO E ISP. VISIVA
dic-19	COMUNE LECCO	€ 39.900,00	PONTI SU TORRENTI	CENSIMENTO E ISPEZIONE VISIVA

giu-19	MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E TRASPORTI	€	14.847,09	PALAZZO GIUSTIZIA MONZA EX PROCURA	INDAGINI GEOTECNICHE E RILIEVI
2019	PROVINCIA DI PIACENZA	€	39.900,00	PONTI DELLA PROVINCIA	CENSIMENTO E ISPEZIONE VISIVA
nov-19	COMUNE DI GALBIATE	€	16.233,00	CAVALCAVIA S.P. DELLA SANTA	VERIFICA GENERALE
apr-20	COMUNE SESTO FIORENTINO	€	39.034,17	PONTI COMUNALI	CENSIMENTO E ISPEZIONE
mag-20	COMUNE DI ASTI	€	27.239,70	PALAZZO CIVICO	INDAGINI VISIVE, DIAGNOSTICHE STRUTTURALI E GEOTECNICHE
mar-20	BANCA CARIGE	€	20.550,00	EX RINASCENTE A GENOVA	INDAGINI E PROVE DI CARICO
apr-20	UNIONE TERR.FRIULI CENTRALE	€	32.380,00	ISTITUTO RAIMONDO D'ARONCO	INDAGINI SPERIMENTALI IN SITO E PROVE DI LABORATORIO
ago-20	TECNO APPALTI SRL	€	23.000,00	CANTIERE DATA CENTER TECNOPOLO DI BOLOGNA	INDAGINI SPERIMENTALI
apr-mag.20	PROVINCIA DI PARMA	€	22.243,50	IPSIA LEVI A PARMA	INDAGINI SPERIMENTALI
2020	COMUNE DI AREZZO	€	25.227,28	PONTI DEL COMUNE	CENSIMENTO E ISPEZIONE PONTI
2020	COMUNE DI RAVENNA	€	304.643,25	PONTI DEL COMUNE	PRESTAZIONI OPZIONALI N.5
2020	LEONARDO GLOBAL SOLUTION	€	108.582,99	STABILIMENTO DI VENEGONO (VA)	RILIEVI PROVE E INDAGINI PER DVR SISMICO
giu-20	LEONARDO GLOBAL SOLUTION	€	30.915,06	STABILIMENTO DI VERGIATE (VA) FABBRICATO 18	INDAGINI SPERIMENTALI
mag-giu.20	LEONARDO GLOBAL SOLUTION	€	23.122,82	STABILIMENTO DI LA SPEZIA FABBRICATO 19	RILIEVI, PROVE E INDAGINI CONOSCITIVE
giu-20	LEONARDO GLOBAL SOLUTION	€	25.856,83	STABILIMENTO CASCINA COSTA (VA) FABBRICATO 22	INDAGINI SPERIMENTALI
set-20	HERATECH SRL	€	22.316,29	CANALE CESUOLA A CESENA	RILIEVI STRUTTURE
lug-19	PORTO DI GENOVA	€	29.706,08	SOPRAELEVATA PORTUALE E GIRO LANTERNA	INDAGINI SPERIMENTALI
2019	PROVINCIA DI SAVONA	€	39.975,00	PONTI COMUNE PROVINCIA	VERIFICA TRANSITABILITA' CARICHI ECCEZIONALI
2019	PROVINCIA DI SAVONA	€	37.616,62	PONTE S.P.55 BOSSOLETO CASO KM 0+200	PROVE DI CARICO E ATTESTAZIONE TRANSITABILITA'
2019	PROVINCIA DI SAVONA	€	39.962,50	PONTI DELLA PROVINCIA	CENSIMENTO E ISPEZIONE VISIVA
lug-19	COMUNE DI SARENTINO	€	55.000,00	PONTI DEL COMUNE	ISPEZIONI COMPLESSE, PROVE DI CARICO E CENSIMENTO
set-19	COMUNE DI GENOVA	€	27.300,00	VIADOTTO VIA PIONIERI E AVIATORI D'ITALIA A GENOVA	INDAGINI SPERIMENTALI A SEGUITO MODIFICA VIABILITA'
2019	COMINITA' COMPRESORIALE SALTO SCILIAR	€	73.706,00	PONTI DELLE PISTE CICLABILI	PROVE DI CARICO, ISPEZIONI VISIVE CENSIMENTO E SOFTWARE BRIDGE
2019	CITTA' METROPOLITANA VENEZIA	€	31.076,48	PONTI DELLA PROVINCIA 3° LOTTO	CENSIMENTO E ISPEZIONE
gen-19	PONTIFICIA UNIVERSITA' S.TOMMASO D'ACQUINO	€	37.395,00	EDIFICIO UNIVERSITARIO	INDAGINI SPERIMENTALI
nov-20	PROVINCIA DI CUNEO	€	18.800,00	PONTI E VIADOTTI REP.MONDOVI'	CENSIMENTO E ISPEZIONE PONTI STRADALI SS.PP.12 E 661
2019-2020	SACBO SPA	€	30.000,00	AEROPORTO BERGAMO ORIO AL SERIO	CAPACITA' PORTANTE CAVALCAVIA SS671 IP 54/2019
set-20	IPES BOLZANO	€	19.689,70	EDIFICIO IPES VIALE EUROPA 172-176	INDAGINI SU CALCESTRUZZI
giu-20	INVESTIRE SGR SPA	€	34.510,00	IMMOBILE PRIVATO VIA BOMCOMPAGNI A ROMA	INDAGINI SPERIMENTALI
lug-20	CONSORZIO BONIFICA FRIULANA	€	18.070,00	ARGINE FIUME TAGLIAMENTO A LATISANA	ANALISI CROSS.HOLE E PROVE INTEGRITA' SONICA
apr-20	PROVINCIA DI MANTOVA	€	27.800,00	PONTE S.P.EX 413 ROMANA S.BENEDETTO PO	PROVE DI CARICO
set-20	COMUNE POVEGLIANO VERONESE	€	28.807,06	PALESTRA SCUOLA MANZONI	INDAGINI PER ADEGUAMENTO SISMICO
mag-lug.20	AUTORITA' SISTEMA PORTUALE MARE DI SARDEGNA	€	59.168,89	CAPANNONE NERVI	INDAGINI SUI MATERIALI PER LAVORI RISANAMENTO STATICO
mag-20	REG.SICILIANA GENIO CIVILE CALTANISSETTA	€	22.820,75	S.P.190 DA KM 0,00 A KM 5+100	INDAGINI DIAGNOSTICHE E PROVE DI LABORATORIO
nov-20	LEONARDO GLOBAL SOLUTION	€	47.305,42	STABILIMENTO CASCINA COSTA (VA) FABBRICATO 18	INDAGINI STRUTTURALI
dic-20	LEONARDO GLOBAL SOLUTION	€	18.395,00	STABILIMENTO DI VERGIATE (VA) FABBRICATO 41	INDAGINI VULNERABILITA' SISMICA
ott-20	ANAS SPA	€	24.754,62	VIADOTTO LEVEROGNE	INDAGINI PER RISANAMENTO
feb.20	MIN.INT.PUBBLICA SICUREZZA - SCUOLA POLIZIA	€	32.690,00	CASERMA SCUOLA ALLIEVI DI POLIZIA	INDAGINI SPERIMENTALI
giu.2020	PROVINCIA DI RIMINI	€	39.108,75	PONTI PROVINCIALI	CENSIMENTO E MONITORAGGIO PONTI
ott.19	COMUNE DI FIRENZE	€	14.400,00	EDIFICI SCOLASTICI PROG.S0236/19	INDAGINI SU STRUTTURE IN MURATURA
sett.2020	MILANO SERRAVALLE ENGINEERING SRL	€	39.900,00	OPERE D'ARTE AUTOSTRADA PEDEMONTANA LOMBARDA	ISPEIONE VISIVA MONITORAGGIO E CONTROLLO

dic.2020	PROVINCIA AUTONOMA BOLZANO	€	22.700,00	S.P.3 PONTI KM16+900 E 18+410 VAL SENALES	PROVE RILASCIO TENSIONALE E MONITORAGGIO TRAVI A CASSONE
nov-20	CITTA' DI BRUNICO	€	39.900,00	4 PONTI DEL COMUNE	ISPEZIONE PONTI
2020	CITTA' METROPOLITANA TORINO	€	39.900,00	PONTI DELLA PROVINCIA	CENSIMENTO E ISPEZIONE VISIVA PRIMARIA
2020	CITTA' METROPOLITANA TORINO	€	39.518,18	PONTI DELLA PROVINCIA	GESTIONE E VALUTAZIONE DELLO STATO DEI PONTI E RIPRISTINO, CARICHI ECCEZIONALI ED ASSISTENZA TECNICA
2020	PROVINCIA PESARO E URBINO	€	30.000,00	PONTI PROVINCIALI	CENSIMENTO E ISPEZIONE PONTI
DIC.20	COMUNE DI LECCO	€	19.899,96	5 PONTI DEL COMUNE	PROVE DI CARICO E IDONEITA' SISMICA
2020	PROVINCIA CREMONA	€	35.660,17	MANUFATTI DELLA PROVINCIA	VERIFICHE ISPETTIVE INDAGINI E MONITORAGGIO
2020	PROVINCIA DI LODI	€	39.900,00	MANUFATTI RETE VIARIA DELLA PROVINCIA	VERIFICHE E MONITORAGGIO
set-20	COMUNE DI BAGNARIA	€	18.470,00	PONTE SUL TORRENTE STAFFORA LOC.CASA GALEOTTI	INDAGINI SPERIMENTALI
ott-20	LEONARDO GLOBAL SOLUTION	€	22.817,54	CANTIERE LEONARDO VIA LUNGA N.2 - BRESCIA	INDAGINI SPERIMENTALI
nov-20	VENETO STRADE SPA	€	37.149,83	PONTE LIMONI S.R.10 KM 334+560 LEGNAGO	INDAGINI DIAGNOSTICHE PER VERIFICA STRUTTURALE
2021	PROVINCIA AUTONOMA BOLZANO	€	20.110,00	PONTI PROVINCIALI	IMPLEMENTAZIONE MODULO SOFTWARE CARICHI ECCEZIONALI
gen-21	COMUNE DI SCANDICCI	€	38.845,00	PONTE 28 FEBBRAIO A SCANDICCI	INDAGINI SPERIMENTALI
2020	PROVINCIA DI PIACENZA	€	39.900,00	PONTI SUL TORRENTE CHERO S.P.6 BIS E SUL TORRENTE ONGINA S.P.588R	INDAGINI E VERIFICHE STRUTTURALI
2020-2021	COMUNE VALLE AURINA	€	29.520,00	PONTI DEL COMUNE VALLE AURINA	CENSIMENTO E ISPEZIONE PONTI
OTT-20	COMUNE FORTEZZA	€	17.970,00	3 PONTI PEDONALI	ISPEZIONE VISIVA E PROVE DI CARICO
2020-2021	CDP INVESTIMENTI SGR SPA	€	111.614,76	EX OSPEDALE A MARE - LIDO VENEZIA	INDAGINI STRUTTURALI
mar-21	ANAS SPA	€	14.289,38	VIADOTTO MACOMER	INDAGINI E PROVE DI LABORATORIO
APR.21	PROVINCIA DI CUNEO	€	29.965,00	PONTE A POLLENZO SUL FIUME TANARO	CARATTERIZZAZIONE DINAMICA E PROVE DI CARICO
mar-21	LEONARDO GLOBAL SOLUTION	€	29.955,00	FABBRICATO 13 VIA VALDILOCCHI - LA SPEZIA	INDAGINI STRUTTURALI
feb-21	PROVINCIA AUTONOMA BOLZANO	€	24.296,16	LOTTO 1 - S.S.38	ISPEZIONI COMPLESSE SU PONTI
gen-21	TECNO APPALTI SRL	€	33.436,90	CANTIERE DATA CENTER TECNOPOLO DI BOLOGNA	INDAGINI SPERIMENTALI
2019-2020	IREM SPA	€	81.965,00	RAFFINERIA ENI SANNAZZARO	INDAGINI DIAGNOSTICHE SU CARPENTERIE METALLICHE
2020	CITTA' DI MONCALIERI	€	39.900,00	PONTI E VIADOTTI DELLA CITTA'	CENSIMENTO E ISPEZIONI
2020	DBA PROGETTI SPA	€	58.898,40	AUTOGRILL	PROVE VULNERABILITA'
FEB-21	COMUNE DI VALLE AURINA	€	29.520,00	PONTI	CENSIMENTO, ISPEZIONE VISIVA E CLASSIFICAZIONE + WEBRIDGE
2020-2021	MILANO SERRAVALLE ENGINEERING SRL	€	83.537,63	VIADOTTO DEI PARCHI	ISPEZIONE VISIVA E INDAGINI MECCANICHE E DINAMICHE
DIC-20	FAL SRL	€	25.480,00	PONTE IN FERRO KM 1+388 LINEA BARI-MATERA	VERIFICA CON DIAGNOSI COMPLETA
LUG.21	COMUNE DI ERBA	€	20.520,00	PONTI COMUNALI	CENSIMENTO E ISPEZIONE
2020	PROVINCIA DI SAVONA	€	19.900,00	N.3 PONTI	PROVE DI CARICO URGENTI E ATTESTAZIONE TRANSITABILITA' TEMPORANEA
2020/21	PROVINCIA DI SAVONA	€	39.900,00	PONTI PROVINCIALI	ISPEZIONE VISIVA X MONITORAGGIO
2020	FAL SRL	€	39.900,00	VIADOTTI BARI CENTRALE 48 ARCADE	CORSO ISPETTORE PONTI I E II LIVELLO- CENSIMENTO ISPEZIONE E SOFTWARE WEBRIDGE
DIC-20	HOTEL DON PEDRO SRL	€	44.836,00	HOTEL DON PEDRO A PORTO ERCOLE	INDAGINI SPERIMENTALI
SET.21	MIN.INF.MOBILITA' SOSTENIBILE DI ANCONA	€	9.671,04	PALAZZO DI GIUSTIZIA URBINO	PROVE IN SITO X RESISTENZA MURATURA E SOLAI E PROVE GEOGNOSTICHE
2021	PROV.AUT.BOLZANO	€	175.315,00	PONTI PROVINCIALI	ACCORDO QUADRO PER PROVE DI CARICO STATICHE E DINAMICHE
GIU-LUG-21	STRADA DEI PARCHI	€	51.410,21	A24 - VIADOTTO SAN GIACOMO	INDAGINI SPECIALI SU IMPALCATI IN CALCESTRUZZO
lug-nov 21	STRADA DEI PARCHI	€	259.164,47	A24 - VIADOTTO SAN GIACOMO	INDAGINI PRELIMINARI E PROVE MATERIALI SU STRUTTURE VIADOTTI
NOV-20	REG.SICILIANA RAGIONERIA GENERALE	€	45.117,75	PRESIDIO OSPEDALIERO VILLA SOFIA PALERMO	INDAGINI GEOTECNICHE E DIAGNOSTICHE SU MATERIALI
APR-DIC 21	LEONARDO GLOBAL SOLUTION	€	161.935,39	SAMARATE FABBRICATO 42-43	INDAGINI SPERIMENTALI
APR-DIC 21	LEONARDO GLOBAL SOLUTION	€	91.667,10	SAMARATE FABBRICATO 36-37-38	INDAGINI SPERIMENTALI

MAG-LUG 21	LEONARDO GLOBAL SOLUTION	€ 50.258,72	VENEGONO FABBRICATO 11	INDAGINI STRUTTURALI PER VULNERABILITA' SISMICA
SET-DIC 21	LEONARDO GLOBAL SOLUTION	€ 63.645,44	CASCINA COSTA DI SAMARATE FABBRICATO 23-24	INDAGINI SPERIMENTALI
OTT-DIC 21	LEONARDO GLOBAL SOLUTION	€ 39.031,53	VENEGONO FABBRICATO 25	INDAGINI STRUTTURALI PER VULNERABILITA' SISMICA
DIC 21- GEN 22	LEONARDO GLOBAL SOLUTION	€ 39.843,66	VERGIATE FABBRICATO 30	INDAGINI STRUTTURALI
APR.21	REG.AUTONOMA TRENINO ALTO ADIGE	€ 26.396,43	EX CARCERE VIA PILATI A TRENTO	VERIFICA STRUTTURALE E VULNERABILITA' SISMICA
FEB-APR 21	COMUNE SAN DONATO MILANESE	€ 45.441,00	SCUOLE ED EDIFICI COMUNALI	INDAGINI E REVISIONE SOLAI E STABILITA' CONTROSOFFITTI
NOV 21	CITTA' DI BRUNICO	€ 39.900,00	PONTE PIAZZA CAPPUCCINI E PONTE OBERHOFER	VERIFICA STRAORDINARIA CON RILASCIO TENSIONALE
LUG.21- FEB.22	CITTA' METROPOLITANA TORINO	€ 37.500,00	PONTE PRETI SUL TORRENTE CHIUSELLA	MONITORAGGIO
LUG.21	CITTA' DI TORINO	€ 22.225,00	CAVALCAFERROVIA CORSO BRAMANTE A TORINO	INDAGINI IN SITO
LUG.21	COMUNE DI NOVARA	€ 21.721,00	EX CASERMA PASSALACQUA	INDAGINI SPERIMENTALI IN SITO
2021	COMUNE DI CANELLI	€ 21.140,00	PONTI COMUNALI	CENSIMENTO E ISPEZIONI PRIMARIE, INSERIMENTO DATI WEBRIDGE
LUG.21	AEM CREMONA	€ 31.000,00	EX MERCATO ORTOFRUTTICOLO	PROVE DI CARICO E INDAGINI MATERIALI
DIC.21	ENVSENSING SRL	€ 25.200,00	VIADOTTO NOVENTANA A13	PROVE RILASCIO TENSIONALE
NOV.21	CONDominio VERA CRUZ	€ 25.060,00	INDAGINI DIAGNOSTICHE	RESIDENCE VERA CRUZ
2021	CITTA' METROPOLITANA MILANO	€ 74.642,53	MONITORAGGIO E ISPEZIONI DEL LIVELLO 1	PONTI PROVINCIALI
SETT.21	PROVINCIA CREMONA	€ 39.590,00	PROVE DI LABORATORIO E IN SITO PER INDAGINI DIAGNOSTICHE	PONTI PROVINCIALI
2021	PROV.VERBANO CUSIO OSSOLA	€ 74.875,00	CENSIMENTO E ISPEZIONE VISIVA CON VALUTAZIONE NUMERICA	PONTI
2021	PROVINCIA PESARO E URBINO	€ 35.000,00	ISPEZIONE VISIVA E ANALISI STRUTTURALE	PONTI PROVINCIALI
MAR-21	IRE SPA	€ 23.300,00	PROVE IN SITO E DI LABORATORIO	PONTILI RIMORCHIATORI ZONA 4 PORTO DI SAVONA
2020-2021	PROVINCIA SAVONA	€ 38.034,86	DIAGNOSI DETERMINAZIONE CAPACITA' PORTANTE	PONTE S.P.36 BRAGNO FERRAGNA
DIC.21	COMUNE MARIANO COMENSE	€ 25.750,00	PROVE STRUMENTALI PER VERIFICA STATICA	CAVALCAVIA VIALE LOMBARDIA
DIC.20	14°REPARTO INFRASTRUTTURE	€ 36.100,00	VALUTAZIONE VULNERABILITA' SISMICA	PALAZZIN AEX NOVIZIATO CASERMA DEMURTAS
MAG.21	COMUNE OLGiate OLONA	€ 21.445,00	INDAGINI DIAGNOSTICHE X CAPACITA' PORTANTE	IMPALCATO PONTE VIA ISONZO
NOV.21	ESU PADOVA	€ 28.381,80	INDAGINI SPERIMENTALI	CASA DELLA STUDENTESSA
LUG.21	COMUNE DI GORIZIA	€ 37.651,96	INDAGINI E PROVE DINAMICHE	PONTE VIII AGOSTO
2021	COMUNE DI ORTISEI	€ 25.200,00	CENSIMENTO, ISPEZIONE VISIVA E GESTIONE AUTOMATIZZATA	PONTI DEL COMUNE
MAR.22	REAM SGR SPA	€ 25.000,00	PROVE DI CARATTERIZZAZIONE ELEMENTI IN C.A.	STABILI DEL COMUNE DI RIMINI
TOTALE		€ 7.499.553,74		

2 . ELENCO DELLE ATTREZZATURE

Di seguito per trasparenza riportiamo l'elenco di alcune delle principali attrezzature per l'esecuzione delle indagini in sito di nostra proprietà. Le attrezzature per le prove di laboratorio presenti a Bolzano e Milano sono quelle obbligatorie per legge.

ATTREZZATURE	TOT.	ATTREZZATURE	TOT.
collaudatore gs prove di carico	25	contenitori neri 4 emme 70 lt	28
wavebook per dinamica e prova carico statica – dinamica e acustiche sonore	10	contalitri	11
pacometro covermeter - elcometer	20	pompa acqua per saccone	21
pull-out	16	pompa immersione 175	2
sclerometro schmidt	13	pompa manuale	1
incudine per sclerometro	7	martinetto a spinta tipo a - 4 ton	19
acquisitore grafico per 6 potenziometri	1	martinetto spinta a2- corsa 5 cm	9
acquisitore mp6 per pali	3	martinetto spinta tipo b - 16 ton	47
acquisitore+cella 10 t spinta 7 t tiro	2	martinetto spinta tipo b-corsa 1m	10
acquisitore mp6 cella tiranti 1000 kn	1	martinetto a tiro tipo a1 - 4 ton	32
ultrasuoni	15	martinetto tiro tipo b1-16 t corto	3
resistograph	3	martinetto a tiro tipo b1 - 16 t	76
giogo elettromagnetico	7	martinetto a tiro tipo c - 32 t	4
sonic integrity test o pit	4	martinetto a spinta tipo z - 16 ton	61
ultrasuoni per acciaio e saldature	4	martinetto pali 90 ton	16
endoscopio - videoscopio	4	martinetto pali 180 ton	13
pull-off con accessori	2	martinetto energpac cls504	5
igrometro	1	martinetti piatti	18
uad-3	12	martinetti cavo per tiranti 700 kn	1
acquisitore sismic 2u 4emme	4	martinetto pali piccoli 500 kn	2
cross-hole	2	martinetto traslante	1
spessimetro	3	martinetto tipo speedymet	5
misuratore laser hilty	10	base superiore	78
durometro punta di diamante	7	anelli in acciaio basi inferiori	66
upm 100 (strain gauges)	1	base inferiore	77
spyder 8 canali (strain gauges dinam.)	1	base trazione l=100 cm	58
georadar	1	base trazione l=50 cm	14
attrezzatura prove su piastra	3	base superiore pistone c	3
contatore geiger gamma scout	1	base inferiore pistone c	3
termocamera	3	set prolunghe pistone c	3
centralina per sismic 2u 4emme	4	prolunga per pistone b media	39
acquisitore acceler. wireless 24 ch	1	prolunga per pistone b lunga	37
acquisitore estens. wireless 4 ch	2	prolunga per pistone z corta	59
acquisitore wireless capetti	4	prolunga per pistone z media	85

ATTREZZATURE	TOT.	ATTREZZATURE	TOT.
potenziometri wireless capetti	16	prolunga per pistone z lunga	78
inclinometri wireless capetti ass-bias	12	camice prolunghe l=1000 mm	9
attrezzatura barbieri - monitoraggi	11	camice prolunghe l= 500 mm	8
fessurimetro 0,01 mm	4	prolunga 15 cm per pistone pali	11
deformometro digitale	5	pistola hilti x tasselli chimici	13
minimate plus o minigraf per vibrazioni	10	trapano a batteria	9
microismic per caratt. dinamica	10	trapano atlas -copco	1
laser scanner	1	trapano bosch	17
livello ottico + stadia invar	4	trapano hitachi dh 24 pb	
stadia per livello	4	trapano metabo	3
stazione totale sookkia	3	trapano hilti te 1 e 2 e 5	4
mcdm - 128 (giostre)	1	trapano hilti te 52 e 56	6
unita' p3500 misura estensimetrica	3	trapano hilti te 72	4
unita' estensimetrica 29 ch	3	trapano hilti te 75 e 76	3
unita' estensimetrica 4 ch	1	trapano hilti te 92	2
gigaohmetro	2	demolitore hilti te 300 - te56	1
acquisitore mae 16 ch	7	carotatrice hilty	8
misura potenziale di corrosione	1	corona carotatrice ø 52 l=43 cm	7
fonometro hd 2110	1	corona carotatrice ø 70 l=43 cm	2
manometro wika da 60 bar	3	corona carotatrice ø 92 l=43 cm	1
manometro digitale 600 bar	3	corona carotatrice ø 100 l=43 cm	2
manometro digitale 200 bar		corona carotatrice ø 150 l=43 cm	1
pompa manuale con manom 60 e 250 bar	2	corona carotatrice ø 60 l=50 cm	1
pompa idraul. + manometro mar.piat.	1	corona carotatrice ø 80 l=50 cm	5
mototratrice martin. piatti	2	corona carotatrice ø 100 l=50 cm	9
martinetto per prova taglio su muri	1	corona carotatrice ø 120 l=50 cm	1
centralina oleodinamica per pali	9	corona carotatrice ø 150 l=50 cm	2
centr. oleod. x strappo prov. rottura	1	prolunghe hilty dd160-fl 300mm	9
generatore elettrico	22	punta hilti ø 20 l= 42 cm	14
compressore 50 l	2	punta hilti ø 22 l= 42 cm	1
gruppo di continuita'	37	punta hilti ø 22 l= 92 cm	1
ricetrasmittenti	48	punta hilti ø 24 l= 52 cm	10
computer hp portatili per prove in sito	32	punta hilti ø 25 l= 130 cm	1
stampante per prove in sito	19	punta hilti ø 32 l= 42 cm	11
fotocamera digitale	32	punta hilti ø 32 l= 92 cm	7
sensore diff.± 1 mm	24	punta hilti ø 37 l= 45 cm	2
sensore diff.± 5 mm	129	punta hilti ø 37 l= 92 cm	1
sensore diff.± 12,5 mm	43	punta hilti ø 40 l= 45 cm	1
sensore diff.± 25 mm	63	punta hilti scalpello	15

ATTREZZATURE	TOT.	ATTREZZATURE	TOT.
sensore potenz. per crepe 25 mm	54	pompa a stantuffo hilti	8
sensore potenz. per crepe 50 mm	8	pompa per trapano bosch	1
sensori potenz. per crepe 50 mm (tondo)	22	catene ø 6 l=10 m	3
sensore potenziom. midori 50 mm	55	catene ø 7 l=10 m	9
sensore potenziom. midori 100 mm	24	catene ø 8 l=10 m	90
sensore potenziom. midori 200 mm	17	catene ø 10 l=2 m gancio e anello	20
sensore potenziom. midori 300 mm	0	catene ø 10 l=10 m	69
sensore potenziom. a filo 1000 mm	17	catene ø 13 l=5 m	27
sensore potenziom. mae 50 mm	38	catene ø 13 l=10 m	58
sensore potenziom. mae 100 mm	20	catene ø 13 l=5 m	11
sensore potenziom. sfernice 50 mm	31	catene ø 13 l=5 m	12
sensore potenziom. sfernice 100 mm	14	alzacamion ø = 13	74
inclinometro ± 4°	173	alzacamion ø = 10	5
livellometro	16	grilli ad omega	93
accelerom. 393m19 (quarzo) 0,5v=1g	20	grilli ad "u"	165
accelerometro mod. 601°02	11	crosby ad omega	74
accelerometro mod. 393a03 (ceramici)	32	crosby piccoli ø 50 mm	22
accelerometro resistivo (giostre)	7	tirante ø 30	47
scatole inclinometriche	33	fascie di polietilene per tiro	67
scatole accelerometriche	9	coni stradali grandi	22
comparatori meccanici centes. 25 mm	3	coni stradali piccoli	72
comparatori meccanici centes. 50 mm	6	dossi per salto camion	33
comparatori meccanici centes. 100 mm	4	piedistalli cartelloni stradali	10
micrometro millesimale		cassetta attrezzi	32
sonde da 50 khz	3	cassetta pronto soccorso	53
cella di carico 10 kn + display	1	cassetta viti fissaggio	14
cella di carico 250 kn acquisitore mp6	1	cavi batteria	34
cella di carico 250 kn	29	cinture sicurezza	41
cella di carico pali 1000 kn	5	estintore a polvere	43
cella dynafor a tiro 200 kn con grilli	1	tirfor 50 ton	2
freatimetro bfx-50	3	lampada a batteria	16
aste telescopiche l=5,80 m	226	lampada da cantiere	17
aste di prolunghe	146	molla a smeriglio	7
aste telescopiche corte l=1,80 m	88	paranco tralift da 10 kn	1
gommone prova di carico 3,7 x 3,7 x 1,0	7	pettorine alta visibilita' autom.	69
gommone 3 x 2 x 0,75	9	pistola a caldo	10
gommone 4 x 3 x 0,75	16	rulli avvolgicavo furgone	12
gommone 4 x 4 x 0,75	2	rotella metrica	40
gommone 6 x 3 x 0,75	42	saldatore a stagno 220 volt	19

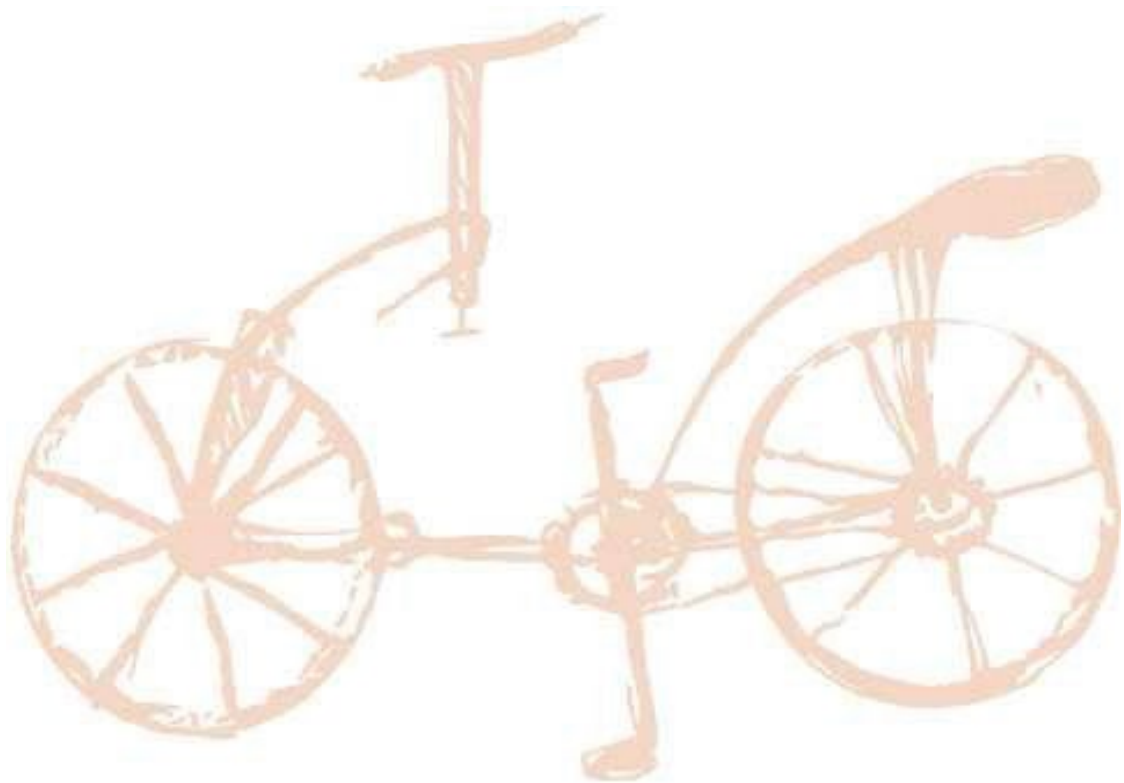
ATTREZZATURE	TOT.	ATTREZZATURE	TOT.
gommone 6 x 2 x 0,75	2	saldatore portatile	5
gommone 7,5 x 3 x 0,75	3	scala doppia estensibile	16
saccone goccia prova di carico 3000 l	3	tavolino pieghevole	23
saccone a goccia 5000 l	4	navigatore satellitare	25
saccone a goccia 3000 l	3	acquisitore wireless prove case	1
cassoni acqua capacita' 1000 lt.	18	magli prova case 1,5 - 5,7 t	2
contenitori neri 200 lt.	182	tester	21
contenitori grigi capacita' 500 lt.	25	cavo in acciaio traino mezzi	14
contenitori gialli 4m capacita' 300 lt.	58	barca con remi e salvagente	1
contenitori neri 4 emme 70 lt	28	chiave dinamometrica	12



CAPITOLATO

Prove di diagnostica strutturale

2020



Prove di diagnostica strutturale

Indice

1. CALCESTRUZZO	4	
1.1	Ultrasuoni con trasmissione diretta, semidiretto, indiretta – calcestruzzo	4
1.2	Indagine di tipo Pull-out – calcestruzzo	5
1.3	Indagine con sclerometro – calcestruzzo	6
1.4	Indagine con metodo Windsor – calcestruzzo	7
1.5	Valutazione della profondità della carbonatazione – calcestruzzo	8
1.6	Carotaggio – calcestruzzo	10
1.7	Misura delle deformazioni – calcestruzzo	11
1.8	Indagini con metodo SonReb – calcestruzzo	12
1.9	Indagini tramite endoscopio - calcestruzzo	14
1.10	Verifica del profilo di penetrazione dello ione-cloruro - calcestruzzo	15
1.11	Misura della forza di adesione del rivestimento (Pull-Off)	16
1.12	Indagini con pacometro – ferri d’armatura	17
2. ACCIAIO	18	
2.1	Prelievo di armature – ferri d’armatura	18
2.2	Misura del potenziale di corrosione – ferri d’armatura	19
2.3	Misura dello stato di tensione tramite estensimetri – ferri d’armatura	20
2.4	Prove con microdurometro - acciaio per carpenteria metallica	21
2.5	Controllo delle saldature con metodo visivo (VT)	22
2.6	Controllo delle saldature con liquidi penetranti (PT)	23
2.7	Controllo delle saldature con particelle magnetiche (MT)	24
2.8	Controllo delle saldature con ultrasuoni (UT)	25
2.9	Prelievo – acciaio per carpenteria metallica	26
2.10	Analisi con spettrometro sulla composizione chimica	27
2.11	Misure di spessore con ultrasuoni	28
3. MURATURA	29	
3.1	Indagini tramite endoscopio – muratura	29
3.2	Indagini con martinetto piatto singolo – muratura	30
3.3	Indagini con martinetto piatto doppio – muratura	32
3.4	Indagini soniche – muratura	34
3.5	Prelievo di mattoni, pietre, malte e prove di Laboratorio - muratura	35
3.6	Prelievo di campioni cilindrici di muratura – muratura	36
3.7	Prelievo di campioni di muratura – muratura	37
3.8	Sclerometro a pendolo per malte – muratura	38

3.9	Penetrometro per malte – muratura	39
3.10	Shave test – muratura	40
3.11	Prova in diagonale su pannelli - muratura	41
3.12	Prova Sheppard (o prova di taglio-compressione in situ) - muratura	42
4.	LEGNO	43
	Premessa – ispezione visiva	43
4.1	Indagini ultrasoniche – legno	44
4.2	Determinazione del profilo resistografico - legno	45
4.3	Determinazione del modulo elastico tramite Pilodyn - legno	46
4.4	Indagini tramite endoscopio - legno	47
5.	PROVE SU STRUTTURE	48
5.1a	Prova di carico statica con martinetti idraulici	48
5.1b	Prova di carico statica sacconi o contenitori d’acqua	50
5.2a	Caratterizzazione dinamica di un edificio	52
5.2b	Modello geometrico dinamico di un edificio	54
5.2c	Caratterizzazione dinamica del terreno	55
5.3	Movimento delle fessurazioni con sistema multicanale in linea - monitoraggio	56
5.4	Cedimenti assoluti con tazze livellometriche - monitoraggio	56
5.5	Indagine tramite georadar - monitoraggio	57
5.6	Rilievo tramite laser-scanner - monitoraggio	57
5.7	Indagine termografica	58
6.	PROVE SU TERRENI E PALI DI FONDAZIONE	60
6.1	Prova di carico statica su palo di fondazione	60
6.2	Prova di carico dinamica su palo di fondazione – Metodo Case	62
6.3	Rilevazione delle caratteristiche meccaniche di un palo – Cross Hole	64
6.4	Prova di integrità del palo a bassa energia di impatto, PIT	66
6.5	Prova di integrità del palo con Sonda termica, metodo TIP	68
6.6	Prova di integrità del palo con Cavi termici, metodo TIP	70
6.7	Prova di carico su piastra – prove sui terreni	72
6.8	Prova con piastra dinamica (LWD - Light Weight Deflectometer) – prove sui terreni	74
 ALLEGATI		
	Edifici. Verifica di vulnerabilità sismica, piano delle indagini, ipotesi si adeguamento	75
	Ponti. Processo diagnostico per la valutazione della capacità portante di un ponte	79

1. CALCESTRUZZO

1.1 Ultrasuoni con trasmissione diretta, semidiretta, indiretta – calcestruzzo

Riferimento normativo: UNI EN 12504-4 TU 2008

Attraverso una strumentazione a emissione di ultrasuoni si possono stimare le caratteristiche meccaniche del cls. La sua utilizzazione fondamentale consiste nella valutazione dell'omogeneità del materiale di un elemento strutturale indagato, preventivamente, attraverso l'estrazione di un provino mediante carotaggio. Per l'esecuzione della prova si utilizza una sonda ultrasonica emettitrice e una sonda ricevente poste a cavallo dell'elemento da indagare (o su facce perpendicolari o sulla stessa faccia nel caso non sia possibile fare l'indagine diretta). La sonda emettitrice produce onde elastiche longitudinali che, attraversano il materiale, sono captate dalla sonda ricevente e registrate dall'apparecchiatura. Si misura il tempo di transito delle onde dalla sonda emettitrice e quella ricevente e si calcola la velocità in base alla distanza delle sonde. La resistenza a compressione può essere stimata in base alla velocità di trasmissione ipotizzando la validità di una relazione con la Resistenza a compressione e il Modulo Elastico. Si deve tener presente che le onde elastiche subiscono, all'interno dell'elemento esaminato, rifrazioni e riflessioni dovute alle dimensioni degli aggregati e alla presenza di fessure o vuoti.

Condizioni operative

Nella predisposizione della prova è necessario, preventivamente, individuare la presenza di ferri d'armatura con indagine pacometrica, segnandoli con gesso. Liberare le zone scelte dall'intonaco o quant'altro non faccia parte del materiale in esame.

Procedura

Segnare con precisione i punti di misura evitando la vicinanza dei ferri di armatura; posizionare le sonde utilizzando un apposito mezzo di accoppiamento con il materiale (gel - plastilina). La misurazione della velocità si ottiene calcolando la media di varie misurazioni effettuate su un elemento con valori all'interno di una variabilità di 200÷300 m/s.

Apparecchiatura

E' preferibile utilizzare apparecchiature con possibilità di "controllo di guadagno proporzionale", ovvero la possibilità di variazione del segnale tramite l'amplificatore di misura. Verificare la taratura dell'apparecchiatura utilizzata mediante apposito provino fornito direttamente della casa produttrice.

Sicurezza

Normali dotazioni di sicurezza di cantiere.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dello sperimentatore;
- data e ora della prova;
- caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;
- caratteristiche geometriche dell'elemento in prova;
- identificazione inequivocabile delle posizioni di prova;
- età del calcestruzzo (se conosciuta);
- condizione di umidità superficiale del calcestruzzo al momento della prova;
- temperatura ambiente e del materiale in prova;
- tabella dei risultati di prova relativamente ai tempi misurati e alla velocità calcolata;
- valore di correlazione della resistenza R_c del calcestruzzo indicando la formula utilizzata;
- data di taratura degli strumenti utilizzati.

L'operazione va eseguita o diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

1.2 Indagine di tipo Pull-out – calcestruzzo

Riferimento normativo: UNI EN 12504-3:2005

La tecnica di indagine denominata Pull-out è utilizzata per stimare la resistenza meccanica del calcestruzzo in opera. La metodologia consiste nell'inserire nel calcestruzzo un tassello metallico standardizzato e di estrarlo mediante idonea attrezzatura. Il valore della forza di rottura del cono di calcestruzzo attorno al tassello, attraverso una curva di correlazione sperimentale, permette di stimare la Resistenza del calcestruzzo.

Condizioni operative

Nella predisposizione della prova è necessario, preventivamente, individuare la presenza dei ferri d'armatura con indagine magnetometrica (pacometro), segnandoli con gesso. Liberare le zone scelte dall'intonaco o quant'altro non faccia parte del materiale in esame.

I tasselli vanno inseriti a una distanza di circa 20 cm uno dall'altro. Lo spessore minimo del calcestruzzo deve essere almeno di 10 cm e la distanza minima dai bordi dei punti di prova di almeno 10 cm.

Procedura

Scegliere un punto che non presenti dei ferri di armatura per un raggio di 5 cm; effettuare il foro con punta al widia Ø 18, montata su trapano a percussione; eseguire l'alesaggio di diametro 25 mm a 25 mm di profondità, pulire il foro con getto d'aria; inserire il tassello standard; battere con il martello la capsula cilindrica in modo da far aderire il tassello alle pareti della parte alesata; avvitare il cilindro filettato del martinetto fino a contrasto; attivare l'apparecchiatura di estrazione fino al raggiungimento della rottura cogliendo la forza massima impiegata.

Apparecchiatura

Sono da utilizzare apparecchiature di prova che impieghino, per il calcolo della forza, un trasduttore di pressione tarato; l'apparecchiatura deve produrre una stampa che riporti almeno: data, ora e forza di estrazione. Sulla stampa dovrà essere trascritto il numero del provino e l'elemento strutturale sottoposto a prova.

L'apparecchiatura utilizzata dev'essere tarata entro 1 anno dalla data della prova.

Sicurezza

Utilizzare sempre: scarpe antinfortunistiche, casco, occhiali e guanti antinfortunistici.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dello sperimentatore;
- data e ora della prova;
- identificazione inequivocabile della posizione di prova;
- età del calcestruzzo (se conosciuta);
- condizione di umidità superficiale del calcestruzzo al momento della prova;
- temperatura ambiente e del materiale in prova;
- tabella dei risultati di prova relativamente alla forza misurata;
- valore di correlazione della resistenza R_c del calcestruzzo indicando la formula utilizzata.

Al report deve essere allegata la stampa, o una fotocopia, dei dati ottenuti direttamente dalla apparecchiatura.

L'operazione va eseguita o diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

1.3 Indagine con sclerometro – calcestruzzo

Riferimento normativo: UNI EN 12504-2, CSLP2008

La prova sclerometrica è utilizzata per stimare la resistenza a compressione del calcestruzzo. La tipologia di prova porta a risultati attendibili solo per calcestruzzi di pochi anni dove la carbonatazione non è ancora sviluppata. Per calcestruzzi datati, da 5 anni in su, la sua utilizzazione è preferita nella sola valutazione della omogeneità del materiale di un elemento strutturale caratterizzato attraverso l'estrazione di una carota. Lo sclerometro utilizza la misura del rimbalzo di un cilindro d'acciaio che colpisce la superficie del calcestruzzo con una forza costante prodotta da una molla.

Gli sclerometri utilizzati su elementi con dimensione maggiore di 120 mm di spessore devono avere una massa battente e molla di spinta che produca una energia di impatto di 2,207 Nm e sono classificati come sclerometri di tipo "N".

Gli sclerometri utilizzati su elementi con dimensione inferiore di 120 mm di spessore devono avere una massa battente e molla di spinta che produca una energia di impatto di 0,705 Nm e sono classificati come sclerometri di tipo "L".

Condizioni operative

Nella predisposizione della prova è necessario, preventivamente, individuare la presenza di ferri d'armatura con indagine pacometrica, segnandoli con gesso. Liberare le zone scelte dall'intonaco o quant'altro non faccia parte del materiale in esame. Provvedere che la superficie di impatto sia liscia.

Procedura

Azionare lo strumento almeno tre volte prima di iniziare a effettuare le letture; provvedere che la superficie di impatto eviti i ferri d'armatura; posizionarsi di fronte alla superficie in misura facendo attenzione di tenere lo strumento perpendicolare rispetto alla superficie ed aumentare gradualmente la pressione di contatto fino a provocare l'impatto meccanico.

Devono essere prodotte non meno di 10 misure per singolo punto di analisi. La distanza dei singoli impatti e dai bordi non deve essere inferiore a 25 mm. Il risultato della prova risulta quello mediano ai valori rilevati, successivamente interpretati in resistenza stimata R_c in base all'orientamento dello sclerometro ed alle curve di correlazione dello strumento. Il risultato è valido se almeno l'80% dei valori non differisce dalla media per meno di 6 unità, IR Indice di Rimbalzo. In caso negativo l'intera serie di dati deve essere scartata e le misure vanno ripetute in una zona adiacente.

Apparecchiatura

E' indicato l'uso dello sclerometro con indicazione dei valori misurati su nastro cartaceo che consente la registrazione dei valori rilevati; lo sclerometro deve essere verificato prima e dopo le prove attraverso una verifica della taratura sull'apposita incudine di confronto.

Sicurezza

Normali dotazioni di sicurezza di cantiere.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dello sperimentatore;
- data e ora della prova;
- identificazione inequivocabile della posizione di prova;
- marca e modello dello sclerometro con indicazione della classificazione N o L;
- data dell'ultima verifica sull'incudine di riferimento ed esito delle battute di prova;
- età del calcestruzzo (se conosciuta);
- condizione di umidità superficiale del calcestruzzo al momento della prova;
- temperatura ambiente e del materiale in prova;
- tabella dei risultati di prova col risultato medio secondo la curva di correlazione dello strumento.

Al report deve essere allegata la stampa, o una fotocopia, del nastro di stampa dello sclerometro.

L'operazione va eseguita o diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

1.4 Indagine con metodo Windsor – calcestruzzo

Riferimento normativo: ASTM C803, BS1881:207

Lo scopo della prova è di stimare la resistenza del calcestruzzo in funzione della resistenza alla penetrazione da parte di una sonda in acciaio sottoposta a spinta balistica ed infissa all'interno del materiale con energia prestabilita. Per stimare la Resistenza media a compressione R_c si utilizza una tabella di correlazione, scala di Mohs, dei valori relativi alla profondità media di penetrazione della sonda, tabella con risultati in funzione della durezza superficiale dell'aggregato.

Condizioni operative

Nella predisposizione della prova è necessario, preventivamente, individuare la presenza dei ferri d'armatura con indagine pacometrica, segnandoli con gesso. Liberare le zone scelte dall'intonaco o quant'altro non faccia parte del materiale in esame.

Procedura

Scegliere il punto di impatto evitando la vicinanza di ferri d'armatura; appoggiare la punta della pistola facendo attenzione di tenerla perpendicolare rispetto alla superficie; effettuare lo sparo con l'inserimento della sonda; effettuare la misurazione della parte di sonda rimasta all'esterno utilizzando lo specifico strumento di misura.

Per la valutazione della Resistenza meccanica R_c , su scala Mohs, con l'individuazione della colonna dei valori nella tabella, è necessario sfregare una serie di inerti campione di diversa durezza sino ad individuare il campione che determina segni di abrasione.

Vanno eseguite almeno 3 prove per zona di controllo ottenendo un valore medio di riferimento.

Se le misure da mediare hanno una variazione superiore a 0,5 cm si devono utilizzare, per il calcolo, solamente i due valori più simili o in alternativa ripetere le tre prove in un'altra zona.

Apparecchiatura

Utilizzare solo la pistola Windsor commercializzata dal distributore ufficiale.

Sicurezza

Utilizzare sempre: scarpe antinfortunistiche, occhiali, guanti, casco, cuffie antirumore.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dello sperimentatore;
- data e ora della prova;
- identificazione inequivocabile della posizione di prova;
- età del calcestruzzo (se conosciuta);
- condizione di umidità superficiale del calcestruzzo al momento della prova;
- temperatura ambiente e del materiale in prova;
- tabella dei risultati di penetrazione con l'individuazione della resistenza stimata R_c .

L'operazione va eseguita o diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

1.5 Valutazione della profondità della carbonatazione – calcestruzzo

Riferimento normativo: UNI EN 14630

La prova ha lo scopo di determinare la profondità di carbonatazione dello strato superficiale del calcestruzzo. Il calcestruzzo possiede un valore di pH di circa 12,5, fatto che gli conferisce un carattere fortemente alcalino. Questa forte alcalinità costituisce una protezione naturale dell'armatura contro la corrosione. Il calcestruzzo carbonatato è fortemente permeabile e riduce la capacità protettiva; fornisce inoltre una durezza superiore che tende ad ingannare i metodi di determinazione della resistenza a compressione stimati con sclerometro, ultrasuoni e pull-out. L'armatura, nel caso di copriferro completamente carbonatato, si trova a contatto con acqua praticamente pura, caratterizzata da un valore di pH ben al di sotto di 11,5, minimo valore necessario per assicurare, in assenza di cloruri, le condizioni di passività. La reazione di carbonatazione inizia alla superficie esterna del calcestruzzo per interessare via via le regioni più interne.

Condizioni operative

Il test va eseguito immediatamente dopo l'estrazione della carota per evitare che si formi un film carbonatato superficiale. Se il test è eseguito dopo alcune ore dall'esecuzione della carota, ad esempio in Laboratorio, è necessario carteggiare vigorosamente la superficie prima di procedere all'applicazione della fenoftalina.

Procedura:

Identificare la carota con un numero o un adesivo; pulire accuratamente con uno straccio asciutto la superficie cilindrica; nebulizzare la superficie con una soluzione all'1% di fenolftaleina in alcool etilico; una volta che la soluzione ha fatto effetto, misurare lo spessore di carbonatazione che risulta di colore inalterato, facendo la media di almeno 4 punti.

La parte reagente, non carbonatata, assumerà una colorazione rosso violetto.

Nel caso di un andamento molto irregolare della linea di carbonatazione ne dovrà essere riportato il valore massimo e quello medio.

Eseguire una foto che individui la differenza di colorazione e la denominazione.

Apparecchiatura

Utilizzare un nebulizzatore a getto fino.

Sicurezza

Utilizzare sempre: occhiali, mascherina e guanti antinfortunistici.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dello sperimentatore;
- data e ora della prova;
- caratteristiche geometriche dell'elemento strutturale da cui si è ricavata la carota;
- identificazione inequivocabile delle posizioni di estrazione della carota;
- età del calcestruzzo (se conosciuta);
- temperatura ambiente e del materiale in prova;
- tabella dei risultati di prova indicante lo spessore medio ed i valori massimi e minimi.

Allegare la foto di ogni singola misurazione.

L'operazione va eseguita o diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

Valutazione della profondità di carbonatazione

Nota tecnica.

Quando lo spessore di carbonatazione raggiunge lo spessore di copriferro s'innesca il fenomeno di corrosione dell'armatura. Il fenomeno si evidenzia, nella prima fase, con l'aumento di volume dell'armatura stessa, con la conseguente fessurazione del copriferro, con l'espulsione graduale della polvere di ossido e con la riduzione del diametro resistente fino al completo disfacimento dell'armatura.

La misura dello spessore di carbonatazione permette di stimare il *tempo residuo*, t_{res} , prima che il fenomeno degradante s'inneschi.

La legge che lega il *tempo di penetrazione* della carbonatazione è esprimibile, con buona approssimazione, attraverso la relazione $S = K\sqrt{t}$

dove: S = *spessore di penetrazione* della carbonatazione, espresso in [mm];
 K = *parametro variabile* con le caratteristiche fisico chimiche del calcestruzzo;
 t = *età del calcestruzzo*, espressa in [anni].

Il valore di K si può stimare utilizzando i risultati della valutazione della profondità di carbonatazione, descritta in 1.5, attraverso lo *spessore di carbonatazione* misurato, S_{car} , e conoscendo l'*età del calcestruzzo*, t_{car} .

Con opportune operazioni matematiche si arriva alla formulazione che ci permette la valutazione del *tempo residuo* che è espressa da:

$$t_{res} = t_{car} \left(\frac{S_{cop}^2}{S_{car}^2} - 1 \right)$$

dove: t_{res} = *tempo residuo* prima che lo spessore di carbonatazione raggiunga tutto il copriferro, espresso in [anni];
 t_{car} = *età del calcestruzzo* al momento della valutazione dello spessore di carbonatazione, espresso in [anni];
 S_{cop} = *spessore del copriferro*, espresso in [mm].
 S_{car} = *spessore medio di penetrazione* della carbonatazione, espresso in [mm].

Come esempio si consideri un elemento strutturale in calcestruzzo di età pari a 25 anni, dove si è valutato lo *spessore di carbonatazione* che risulta di un valore medio pari a 15 mm per un copriferro di 20 mm.

Dalla relazione precedente il *tempo residuo* prima che la carbonatazione raggiunga l'intero copriferro risulta pari a:

$$t_{res} = 25 \cdot \left(\frac{20^2}{15^2} - 1 \right) = 19,4 \text{ anni}$$

S.M.

1.6 Carotaggio – calcestruzzo

Riferimento normativo: UNI EN 12504-1

Lo scopo di questa tipologia di indagine è di fornire al Laboratorio il provino da sottoporre a prova di compressione per determinare la resistenza cilindrica. Dalle prove sulla carota si potrà ricavare anche il modulo elastico e lo spessore di carbonatazione.

Condizioni operative

Nell'individuazione del punto di estrazione della carota è necessario, preventivamente, individuare la presenza di ferri d'armatura con indagine pacometrica, segnandoli con gesso. Se, durante l'esecuzione di taglio della carota dovesse esser riscontrata la presenza di un elemento estraneo al calcestruzzo la prova va interrotta, spostandosi in altra zona dell'elemento strutturale. Procedere all'estrazione di carote con inseriti elementi di armatura produce delle vibrazioni che sono dannose e tendono ad alterare i risultati.

Procedura

Fissare la carotatrice con gli appositi tasselli perfettamente ortogonale alla superficie di lavoro.

Va sempre previsto il tubo per l'acqua di raffreddamento e l'aspiratore del fango di taglio.

Procedere ad attivare la carotatrice che deve avanzare in maniera costante e controllata; estratta la carota contrassegnarla con una denominazione e riportare i dati della posizione di estrazione su un'apposita scheda.

Procedere a eseguire una fotografia della carota e del foro di estrazione.

La carota deve avere (dopo la rettifica in Laboratorio) una lunghezza almeno pari al diametro. Per il trasporto della carota al Laboratorio è necessario provvedere a una protezione agli urti attraverso materiale di protezione e inserendo la carota in apposite cassette.

Apparecchiatura

Utilizzare solo carotatrici professionali con sistema di avanzamento possibilmente automatico. La corona deve essere a filo diamantato. E' necessario scegliere una corona con un diametro pari ad almeno tre volte il diametro massimo dell'inerte.

Sicurezza

Utilizzare sempre: scarpe antinfortunistiche, occhiali, guanti, casco, cuffie antirumore.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dello sperimentatore;
- data e ora dell'estrazione;
- caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;
- caratteristiche geometriche dell'elemento in prova;
- identificazione inequivocabile delle posizioni di estrazione;
- età del calcestruzzo (se conosciuta);
- condizione di umidità superficiale del calcestruzzo al momento della prova;
- temperatura ambiente e del materiale in prova.

Allegare le foto dell'applicazione della carotatrice e della carota.

L'operazione va eseguita o diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

1.7 Misura delle deformazioni – calcestruzzo

Scopo della prova è di misurare la deformazione relativa di un elemento strutturale sottoposto a un carico per determinarne, attraverso il Modulo Elastico, lo stato tensionale.

A tal fine possono essere sfruttate diverse tipologie di sensori, quali estensimetri elettrici (strain-gauges) o sensori a corda vibrante.

Gli estensimetri elettrici hanno lo scopo di rilevare le deformazioni relative delle superfici su cui sono applicati. Sono costituiti da un corpo elastico con annegata una resistenza elettrica il cui valore varia in maniera lineare con la sua deformazione.

La corda vibrante, di cui la frequenza di vibrazione varia con la deformazione, è predisposta su un apposito supporto che può essere fissato con gli estremi alla superficie o annegato nel calcestruzzo stesso.

Condizioni operative

Una volta individuato il punto e la direzione di misura va pulita la superficie accuratamente e se necessario carteggiata in modo che presenti una faccia perfettamente liscia. Pulire infine con solventi e sgrassatori appositi.

Procedura

Riportare con precisione sulla superficie una linea che rappresenti la direzione di misura; incollare l'estensimetro mediante apposite colle bicomponenti (o fissare lo strumento a corda vibrante); isolare lo strumento con la pasta collante e nastro adesivo facendo attenzione che non ci siano contatti tra i fili.

Dopo l'installazione i sensori vanno testati con l'unità di acquisizione e protetti con agente chimico e nastro adesivo.

La misura della deformazione relativa fornita dall'unità di acquisizione, espressa in $\mu\epsilon$, è trasformata in tensione attraverso la legge di Hooke: $\sigma = E \cdot \epsilon = E \cdot (\Delta L / L)$ dove con E si indica il Modulo

Elastico del calcestruzzo. Quest'ultimo parametro va valutando teoricamente o, preferibilmente, attraverso prove di compressione in Laboratorio su campioni prelevati dalla struttura in esame.

Apparecchiatura

Vanno preferite unità di acquisizione ad alta sensibilità con capacità di memorizzazione dei segnali acquisiti.

Sicurezza

Utilizzare sempre: occhiali, guanti, mascherina.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dello sperimentatore;
- data e ora del montaggio;
- caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;
- caratteristiche geometriche dell'elemento in prova;
- identificazione inequivocabile delle posizioni di misura;
- età del calcestruzzo (se conosciuta);
- condizione di umidità superficiale del calcestruzzo al momento della prova;
- temperatura ambiente e del materiale in prova;
- andamento temporale dei valori rilevati sottoforma di tabella o grafico.

L'operazione va eseguita o diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

1.8 Indagini con metodo SonReb – calcestruzzo

Riferimento normativo: Norma BS 1881-204, DIN 1045, CP110

Lo scopo del metodo SonReb è di stimare la resistenza del calcestruzzo combinando l'utilizzo di prove sclerometriche con le prove a ultrasuoni per ottenere una stima più attendibile. Va in ogni caso tenuto presente che, all'aumentare dell'età del calcestruzzo, l'indice sclerometrico aumenta mentre la velocità ultrasonica diminuisce e che il contenuto di umidità fa sottostimare l'indice sclerometrico e sovrastimare la velocità ultrasonica. Il combinato delle due prove consente di compensare in parte gli errori commessi utilizzando singolarmente le due metodologie.

Condizioni operative

Come per le prove sclerometriche e a ultrasuoni, è necessario, preventivamente, individuare la presenza di ferri d'armatura con indagine pacometrica, segnandoli con gesso, e liberare le zone scelte dall'intonaco o quant'altro non faccia parte del materiale in esame.

Procedura

Le procedure di prova sono state riportate ai paragrafi 1.1 e 1.3.

Ottenuta la valutazione delle medie dei valori locali della Velocità ultrasonica V e degli Indici di Rimbalzo IR , si stima la Resistenza del calcestruzzo R_c mediante le correlazioni fornite dalla letteratura tecnica di cui si riportano quelle più utilizzate. E' buona norma calcolarle entrambe e calcolare una media.

- formula fornita da A. Di Leo e G. Pascale: $R_c = 1,2 \cdot 10^{-9} \cdot IR^{1,058} \cdot V^{2,446}$ [MPa, m/s]

- formula fornita da R. Giacchetti e L. Lacquaniti: $R_c = 7,695 \cdot 10^{-11} \cdot IR^{1,4} \cdot V^{2,6}$ [MPa, m/s]

- formula fornita da E. Del Monte: $R_c = 4,4 \cdot 10^{-7} \cdot (IR^2 \cdot V^3)^{0,5634}$ [MPa, m/s]

Apparecchiatura

Utilizzare le strumentazioni descritte ai paragrafi 1.1 e 1.3.

Sicurezza

Normali dotazioni di sicurezza di cantiere.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dello sperimentatore;
- data e ora della prova;
- caratteristiche tecniche principali delle strumentazioni utilizzate;
- caratteristiche geometriche dell'elemento in prova;
- identificazione inequivocabile delle posizioni di prova;
- età del calcestruzzo (se conosciuta);
- condizione di umidità superficiale del calcestruzzo al momento della prova;
- temperatura ambiente e del materiale in prova;
- tabella dei risultati delle due tipologie di prova relativamente ai tempi misurati dal metodo ultrasonico e relativa velocità calcolata, e agli indici di rimbalzo riscontrati;
- valore di correlazione della resistenza R_c del calcestruzzo indicando le formule utilizzate.

L'operazione va eseguita o diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

Indagini con metodo SonReb – calcestruzzo
Nota Tecnica

Si riportano, a scopo di esempio, dei valori di confronto tra le diverse formulazioni in conformità ad alcuni valori di IR e V.

IR [MPa]	V [m/s]	Pascale	Giacchetti	Del Monte	Media
		Rc [MPa]	Rc [MPa]	Rc [MPa]	Rc [MPa]
5	3000	2,1	0,8	2,0	1,6
10	3100	4,8	2,3	4,7	3,9
15	3200	7,9	4,4	7,8	6,7
20	3300	11,5	7,2	11,4	10,0
25	3400	15,7	10,6	15,4	13,9
30	3500	20,5	14,7	19,9	18,4
35	3600	25,8	19,7	24,8	23,4
40	3700	31,8	25,5	30,2	29,1
45	3800	38,4	32,2	36,0	35,6
50	3900	45,8	40,0	42,4	42,7
55	4000	53,8	48,8	49,3	50,6

S.M.

1.9 Indagini tramite endoscopio - calcestruzzo

L'indagine tramite endoscopio, mediante l'osservazione visiva, ha lo scopo di verificare visivamente la consistenza e la natura del materiale costituente evidenziando eventuali anomalie. La restituzione fotografica, o video dell'ispezione, permette di osservare in dettaglio le anomalie e cavità interne al calcestruzzo.

Condizioni operative

Individuare il punto di esecuzione del foro scegliendo, ove possibile, una condizione operativa comoda per l'operazione di foratura.

Procedura

Procedere all'esecuzione del foro di diametro 20÷30 mm fino a raggiungere la profondità desiderata; pulire il foro mediante immissione di aria (se foro passante) o acqua al fine di evitare che il pulviscolo causato dalla perforazione offuschi le immagini; inserire la sonda endoscopica facendola avanzare in profondità con intervalli di 5 cm ispezionando visivamente le quattro direzioni (0°-90°-180°-270°); documentare la visione interna degli elementi indagati mediante memorizzazione di immagini o filmati e riportando, su apposito modulo, l'ubicazione delle anomalie riscontrate col commento.

Eeguire una foto dell'area di prova con inserito l'endoscopio.

Apparecchiatura

Utilizzare una sonda endoscopica rigida per lunghezze fino a 1 m e, preferibilmente, una sonda flessibile per lunghezze superiori. La sonda è dotata in punta di gruppo ottico con sorgente luminosa e testa snodabile telecomandata tramite joystick. Le immagini devono essere trasmesse a un monitor a colori dotato di memoria di registrazione. Lo strumento deve essere dotato di un riferimento metrico indicante in maniera continua la posizione della porzione inquadrata.

Sicurezza

Utilizzare sempre: scarpe antinfortunistiche, casco, occhiali, oltre a guanti e mascherina durante l'esecuzione del foro.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

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

Allegare le foto del punto di esecuzione e le immagini fotografiche, e/o filmati, dell'endoscopia.

L'operazione va diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

1.10 Verifica del profilo di penetrazione dello ione-cloruro - calcestruzzo

Riferimento normativo: UNI EN 206-1, ASTM C114

Lo scopo della prova è di calcolare la quantità di ioni cloruro presente all'interno di un provino di calcestruzzo. Le Linee Guida del Servizio Tecnico del Ministero delle Infrastrutture indicano, come parametri di controllo per la durabilità delle strutture, la concentrazione degli ioni cloruro. La quale è espressa come percentuale in peso sul contenuto di cemento e deve essere inferiore alla soglia critica dello 0,4%, valori superiori innescano la reazione che porta alla corrosione delle armature.

Condizioni operative

Prelevare le polveri di calcestruzzo mediante un trapano per murature, con punta non inferiore a 20 mm, a profondità crescenti, fermandosi di volta in volta a valori di profondità prefissati (per es. 1,0 cm, 2,0 cm, 3,0 cm, oppure 1,5 cm, 3,0 cm, 4,5 cm), e raccogliendo le polveri così generate. Per la prova necessita una quantità di polvere di almeno 5÷10 g per ognuno degli step predefiniti. È molto importante pulire la punta del trapano e il foro ad ogni prelievo.

Procedura

Versare la polvere di calcestruzzo in un contenitore di plastica contenente 20 ml di liquido di estrazione, come fissato da normativa. Collegare un elettrodo dotato di sensore di temperatura incorporato a un apparato dedicato e compensato in temperatura che misura il voltaggio generato dalla concentrazione di ioni cloruro presenti in una soluzione. Inserire l'elettrodo nel liquido al fine di rilevare la reazione elettrochimica in atto. La percentuale di ioni cloruro è visualizzata direttamente sul display LCD. Eseguire la prova su almeno 3 provini per ottenere risultati statisticamente attendibili e non soggetti a fenomeni puntuali.

La prova di Laboratorio fornisce la percentuale di ioni cloro nel calcestruzzo mentre la normativa riporta i limiti imposti in percentuale al cemento.

Onde correlare i risultati sul calcestruzzo ottenuti con i limiti sul cemento, si può utilizzare la formula:

$$\% \text{ cloruri cemento} = \frac{\text{cloruri cls [\%]} \cdot \text{peso specifico cls} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]}{\text{dosaggio cemento} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]}$$

Apparecchiatura

Specifica attrezzatura da Laboratorio.

Sicurezza

Utilizzare sempre: occhiali, guanti, mascherina.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- il Laboratorio dove sono state eseguite le prove;
- il riferimento normativo;
- la descrizione e l'identificazione del provino;
- lo stato, la forma e la dimensione del provino;
- l'identificazione delle posizioni e delle profondità di prova;
- l'età del calcestruzzo (se conosciuta);
- la data della prova;
- le percentuali di ioni cloruro determinate per ogni campione di calcestruzzo.

Le prove devono essere eseguite da un Laboratorio qualificato con personale abilitato quale

sperimentatore.

1.11 Misura della forza di adesione del rivestimento (Pull-Off)

Riferimento normativo: UNI EN 1015-12, UNI EN 1542, ASTM D4541-09

L'obiettivo di questa indagine è la verifica dell'adesione tra gli strati di finitura e/o la coesione degli stessi. Il principio prevede l'applicazione di un carico crescente su una superficie determinata e isolata sino a rottura o distacco dell'elemento. Si rileva il valore di carico massimo e la modalità di frattura che può essere per adesione o per coesione.

Condizioni operative

Rimuovere l'eventuale strato di colore attraverso spatola, carta vetrata o spazzola meccanica, facendo ben attenzione a non rovinare la superficie dell'elemento in prova.

Procedura

Perforare la superficie oggetto di prova con apposita corona diamantata di diametro Ø50 al fine di circoscrivere un campione; applicare lo strato di adesivo epossidico bi-componente sulla superficie del campione (il tempo di messa in opera con temperature tra 0÷5° C è di 120÷180 minuti); posizionare gli appositi tasselli in alluminio sulla faccia del campione circoscritto; installare sui tasselli il supporto per l'apparecchiatura di estrazione e l'apparecchiatura stessa in maniera che il sistema di tiro sia perpendicolare alla superficie oggetto di prova; aumentare il carico in maniera continua e uniforme a incrementi di 0,025 MPa/s fino a che si verifica la rottura; catalogare i campioni estratti.

Eeguire la prova in almeno 5 punti, come da schema di normativa, per ottenere risultati statisticamente attendibili e non soggetti a fenomeni puntuali.

Procedere con l'esecuzione di una foto con la strumentazione installata.

Apparecchiatura

L'apparecchiatura utilizzata è costituita da un moltiplicatore di forza a funzionamento idraulico e da un dinamometro che memorizza la forza necessaria per strappare la parte di superficie intagliata e incollata al tassello di ancoraggio.

Sicurezza

Utilizzare sempre: scarpe antinfortunistiche, occhiali, guanti, mascherina.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dello sperimentatore;
- data e ora della prova;
- caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;
- caratteristiche geometriche dell'elemento in prova;
- identificazione inequivocabile delle posizioni di prova;
- età del calcestruzzo (se conosciuta);
- condizione di umidità superficiale del calcestruzzo al momento della prova;
- temperatura ambiente e del materiale in prova;
- schema esplicativo della sezione dell'elemento con indicazione di eventuali punti non rilevabili per le condizioni al contorno (ad es. presenza di impianti o tubature metalliche che falsano il segnale);
- tabella riassuntiva dei risultati.

Allegare la foto della strumentazione installata.

L'operazione va eseguita o diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

1.12 Indagini con pacometro – ferri d'armatura

Riferimento normativo: BS 1881-204

Lo scopo dell'indagine è di determinare la posizione delle armature, lo spessore del copriferro e il diametro dei ferri.

Questo tipo di rilevazione è particolarmente utile preventivamente all'esecuzione di altre prove come carotaggi, pull-out, ultrasuoni o sclerometro che necessitano di evitare le armature.

Condizioni operative

Pulire la superficie e se necessario rimuovere le asperità in modo che si presenti la più possibile liscia al fine di non ostacolare lo scivolamento della sonda.

Procedura

Posizionare la sonda con l'asse longitudinale nella direzione ricercata dell'asse delle armature principali; procedere facendola scorrere lungo la superficie dell'elemento da indagare in direzione perpendicolare alle armature ricercate (la strumentazione emette un segnale di diversa intensità secondo la vicinanza ai tondini); segnata la posizione delle armature principali ricercare le staffe scorrendo la sonda parallelamente alla direzione delle stesse tracciando, man mano che si scansiona la superficie, la mappatura dei ferri di armatura rilevati tramite matita o gesso colorato; settare lo strumento per ripassare gli stessi punti segnati al fine determinare lo spessore del copriferro e il diametro delle armature.

Apparecchiatura

L'apparecchiatura utilizzata è costituita da una sonda trasmittente/ricevente di campo elettromagnetico collegata a un'unità di elaborazione con display digitale e segnalatore acustico.

Sicurezza

Normali dotazioni di sicurezza di cantiere.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dello sperimentatore;
- data e ora della prova;
- caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;
- caratteristiche geometriche dell'elemento in prova;
- identificazione inequivocabile della zona indagata;
- schema delle armature rilevate con indicazione dello spessore di copriferro e del diametro con indicazione della precisione presunta.

L'operazione va eseguita o diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

2. ACCIAIO

2.1 Prelievo di armature – ferri d'armatura

Riferimento normativo: Norma ASTM C876

L'obiettivo del prelievo di campioni di ferro d'armatura è l'esecuzione dei successivi test chimici, fisici e/o meccanici da eseguirsi in un Laboratorio ufficiale, autorizzato dal Ministero L.L. P.P..

Condizioni operative

Nell'individuazione del punto di estrazione del provino è necessario, preventivamente, individuare la presenza di ferri d'armatura con indagine pacometrica, segnandoli con gesso. Il prelievo deve essere eseguito in zone di scarsa sollecitazione indicate dal Tecnico Incaricato e condotto in modo da creare il minor disturbo possibile al manufatto e ai suoi elementi costitutivi. La rimozione del copriferro deve avvenire in maniera da non scalfire la superficie del tondino al fine di non influenzare il risultato delle prove di trazione in Laboratorio.

Procedura

Rimuovere il copriferro per un tratto di almeno 60 cm; per la demolizione del copriferro utilizzare un trapano demolitore per rimuovere il primo strato di cls; proseguire con martello e scalpello e liberare completamente con attenzione l'armatura facendo attenzione a non intaccare l'elemento da estrarre; tagliare il campione in due punti al fine di estrarre uno spezzone di almeno 50 cm; durante la fase di taglio raffreddare l'armatura con getti d'acqua per impedire alterazioni delle caratteristiche chimiche e meccaniche dell'acciaio; rilevare il diametro e la lunghezza precisa; apporre al provino un contrassegno e riportare in apposita scheda i dati relativi al punto di prelievo ed ai dati geometrici del provino.

Eseguire una foto sia del punto di prelievo sia del campione ponendo a fianco il metro.

Apparecchiatura

Martello e scalpello demolitore, martello e scalpello manuali, smerigliatrice o cesoia pneumatica, calibro, metro.

Sicurezza

Utilizzare sempre: scarpe antinfortunistiche, casco, occhiali, guanti e cuffie antirumore.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dell'operatore;
- data e ora dell'estrazione;
- identificazione inequivocabile della posizione di estrazione;
- caratteristiche geometriche del provino.

Allegare le foto sia del punto di prelievo sia del campione.

L'operazione va diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

2.2 Misura del potenziale di corrosione – ferri d'armatura

Riferimento normativo: UNI 10174 , D.M. del 14 gennaio 2008 (Cap. 11.3)

La prova ha lo scopo di valutare l'insorgenza di condizioni favorevoli all'innescare del fenomeno di corrosione delle armature, l'estensione e la localizzazione delle zone interessate, l'entità e il tipo di attacco ed in fine le cause che lo hanno innescato.

La differenza di potenziale riscontrata tra i due poli (elettrodo di riferimento e polo collegato all'armatura) permette di determinare un indice legato allo stato corrosivo dei ferri.

La tecnica prevede la misura del potenziale delle armature attraverso un elettrodo di riferimento (Cu/CuSO₄), appoggiato sulla superficie del calcestruzzo mediante una spugna umida per garantire il contatto elettrolitico.

Condizioni operative

I ferri d'armatura da sottoporre alla prova vanno individuati con un pacometro e segnalati sulla superficie del cls con un gesso. Il controllo consiste nel preparare l'elettrodo con un'apposita soluzione e inumidirlo almeno 12 ore prima della prova. Preliminarmente, sulla zona scelta per le misure, deve essere asportato l'intonaco o quant'altro non faccia parte integrante del materiale in esame.

Procedura

Tracciare un reticolo con spaziatura 25x25 cm al fine di rilevare sui nodi i valori del potenziale; scegliere il ferro d'armatura ed eliminare il copriferro per una lunghezza di circa 15 cm; collegare un polo del millivoltmetro alla barra d'armatura scoperta e l'altro polo ad un elettrodo di riferimento che viene trascinato sulla superficie del materiale seguendo il reticolo in precedenza tracciato; procedere con la misurazione del potenziale nei nodi del reticolato.

La superficie del cls deve essere di tanto in tanto bagnata con acqua per renderla umida.

Eseguire le foto delle zone di rilevazione delle misure.

Apparecchiatura

Millivoltmetro, elettrodo di riferimento, cavi di collegamento, pacometro, martello e scalpello demolitore, martello e scalpello manuali, smerigliatrice o cesoia pneumatica, calibro, metro.

Sicurezza

Utilizzare sempre: scarpe antinfortunistiche, casco, occhiali e guanti.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dell'operatore;
- data e ora della prova;
- descrizione della struttura da ispezionare;
- caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;
- la procedura di bagnamento della superficie del calcestruzzo;
- le condizioni atmosferiche prevalenti durante la rilevazione delle misure;
- le mappature del potenziale.

Allegare le foto delle zone di rilevazione delle misure.

L'operazione va diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

2.3 Misura dello stato di tensione tramite estensimetri – ferri d'armatura

Riferimento normativo: ASTM E 837-01

La prova consente di misurare la deformazione relativa, e di calcolare lo stato tensione locale preesistente in un elemento strutturale a causa delle azioni dirette (forze concentrate, carichi distribuiti, fissi o mobili) e indirette (spostamenti impressi, variazioni termiche e di umidità, ritiro, precompressione, cedimenti vincolari) cui esso è sottoposto. A tal fine si utilizzano gli estensimetri (strain-gauges) opportunamente incollati sulla superficie. L'individuazione della tensione preesistente avviene attraverso la misura della deformazione relativa ε dell'elemento a seguito del taglio parziale praticato nella zona d'interesse. La successiva trasformazione in tensione si ottiene attraverso la legge di Hooke: $\sigma = E \cdot \varepsilon = E \cdot (\Delta L / L)$ dove con E si indica il modulo elastico dell'acciaio.

Condizioni operative

La metodologia prevede il montaggio di una coppia di estensimetri alla stessa altezza e in posizione diametralmente opposta in modo tale da potere rilevare l'eventuale stato tensionale combinato di sforzo assiale e di momento flettente.

Procedura

Levigare con smerigliatrice e pulire con solvente la superficie dove va incollato l'estensimetro controllando che non vi siano solchi; porre del nastro isolante alla base vicino alle saldature dell'estensimetro e del nastro trasparente sopra per proteggerlo dalla colla; applicare prima il solvente e subito dopo la colla; comprimere con forza un paio di minuti; preparare l'altro sensore e prima di installarlo staccare delicatamente il nastro dal primo; posizionare un cavo in modo da poter collegare elettricamente i due estensimetri; testare il perfetto funzionamento degli estensimetri con l'unità di acquisizione; proteggerli con agente chimico e nastro adesivo. Procedere alle misure e alla memorizzazione dei dati alle fasi previste della prova.

Procedere eseguendo una foto agli estensimetri prima della copertura con gli adesivi di protezione.

Apparecchiatura

Estensimetri, prodotti per l'incollaggio dei sensori e la preparazione della superficie, smerigliatrice, carta abrasiva.

Sicurezza

Utilizzare sempre: scarpe antinfortunistiche, casco, mascherina, occhiali e guanti.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dell'operatore;
- data e ora della prova;
- descrizione dell'elemento da misurare;
- caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;
- la procedura di incollaggio dei sensori;
- la posizione dei sensori;
- le condizioni atmosferiche prevalenti durante la rilevazione delle misure;
- i valori di deformazione misurati.

Allegare le foto degli estensimetri incollati.

L'operazione va diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

2.4 Prove con microdurometro - acciaio per carpenteria metallica

Riferimento normativo: UNI EN ISO 18265, DIN 50157

L'indagine ha lo scopo di ottenere una stima della resistenza meccanica a trazione dell'acciaio eseguendo una stima della durezza superficiale mediante l'utilizzo di un microdurometro portatile. La valutazione dell'impronta Vickers è effettuata per via elettronica con il metodo UCI. La misura della durezza si ottiene premendo la punta dello strumento sulla superficie. Il penetratore è montato sull'estremità di una barretta metallica a sezione circolare che è eccitata a vibrare longitudinalmente con la sua frequenza di risonanza di circa 78 kHz. Nel contatto tra il diamante Vickers e il provino, la frequenza di risonanza subisce una variazione che dipende dalla superficie dell'impronta e che costituisce a sua volta una misura della durezza del materiale preso in esame.

Condizioni operative

Preparare l'area d'indagine eliminando, con una smerigliatrice, l'eventuale vernice o zincatura presente. Lucidare la superficie con varie carte abrasive iniziando a scalare con una a grana grossa sino ad arrivare a quella più fine per ottenere una superficie più liscia possibile.

Procedura

Posizionandosi con lo strumento in posizione ortogonale alla superficie in prova, eseguire una serie di battute scartando automaticamente i valori estremi e mediando i 15 valori intermedi di durezza.

Convertire i valori di durezza *Vickers* nei corrispettivi *Brinell* e da questi ricavare i valori di resistenza a trazione seguendo le indicazioni della norma UNI EN ISO 18625.

Procedere eseguendo una foto della zona di prova.

Apparecchiatura

Durometro portatile professionale Vickers con metodo UCI (Ultrasonic Contact Impedance), carta abrasiva di varie granature, smerigliatrice.

Sicurezza

Utilizzare sempre: scarpe antinfortunistiche, casco, occhiali, guanti, cuffie antirumore.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dell'operatore;
- data e ora della prova;
- descrizione della struttura da ispezionare;
- caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;
- la procedura di preparazione delle superfici;
- la posizione delle aree di misura;
- le condizioni atmosferiche prevalenti durante la rilevazione delle misure;
- i valori di durezza rilevati;
- le conversioni in accordo alla norma UNI EN ISO 18625.

Allegare le foto delle zone di rilevazione delle misure.

L'operazione va diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

2.5 Controllo delle saldature con metodo visivo (VT)

Riferimento normativo: UNI EN ISO 9712, UNI EN ISO 5817, UNI EN ISO 17637

L'esame visivo (VT) di una saldatura permette di rilevare un vasto numero di difetti quali: cricche, corrosioni, alterazioni di colore dovuti a surriscaldamenti, erosioni, deformazioni, irregolarità della finitura superficiale, errori di montaggio di sistemi meccanici, variazioni dimensionali. Tale esame, come definito dal D.M. 14 gennaio 2008, va eseguito sul 100% delle saldature e deve essere eseguito da personale qualificato. L'esame è condotto secondo le direttive della norma UNI EN ISO 17637 che stabilisce le condizioni per l'effettuazione del controllo delle saldature per fusione di materiali metallici. Nel controllo non distruttivo con esame visivo (VT) l'interpretazione e la valutazione dei risultati deve essere effettuata oggettivamente dall'operatore in base a specifici parametri di accettabilità previsti nella norma UNI EN ISO 5817.

Condizioni operative

Pulire la superficie da residui, che possano sminuire il risultato del controllo, con spazzola metallica, solventi o smerigliatrice. L'illuminazione della zona d'esame è di particolare importanza ed è ottenuta con lampade che permettono una luminosità compresa tra i 150 e i 600 lux.

Procedura

Accertarsi che le condizioni di luce siano quelle previste dalla normativa di riferimento; eseguire il controllo su tutte le superfici accessibili del giunto saldato con marcatura di tutte le zone che presentano dei difetti.

Valutare l'accettabilità del difetto in base ai limiti indicati nelle tabelle presenti nella norma UNI EN ISO 5817.

Procedere eseguendo le foto dei difetti riscontrati sull'elemento ispezionato.

Apparecchiatura

Calibro da saldatura, calibro a corsoio, lenti di ingrandimento, lampada portatile, spazzola metallica, smerigliatrice, prodotti per la pulizia della superficie.

Sicurezza

Normali dotazioni di sicurezza di cantiere.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dell'operatore;
- data e ora della prova;
- identificazione del componente ispezionato;
- materiale del componente;
- tipo di giunzione;
- spessore del materiale;
- procedimento di saldatura adottato;
- livelli di accettabilità;
- apparecchiatura utilizzata;
- risultati dell'ispezione con riferimento ai criteri di accettabilità.

Allegare le foto dei difetti riscontrati sull'elemento ispezionato.

L'esecuzione e l'interpretazione dei risultati deve essere effettuata da personale qualificato e certificato secondo la UNI EN 9712 di almeno II livello per il metodo visivo.

2.6 Controllo delle saldature con liquidi penetranti (PT)

Riferimento normativo: UNI EN ISO 9712, UNI EN ISO 3452-1, UNI EN ISO 23277

L'ispezione con i liquidi penetranti è impiegata per evidenziare e localizzare sul materiale esaminato eventuali discontinuità affioranti in superficie. Questo metodo è utilizzato per la ricerca di difetti nelle saldature quali cricche e porosità. Le indicazioni di difettosità devono essere interpretate da un operatore esperto e valutate secondo la norma UNI EN ISO 23277.

Condizioni operative

L'operazione di controllo deve essere eseguita con temperature del materiale compreso tra 10 e 40 °C (esistono comunque prodotti specifici per alte temperature) per consentire la migliore capacità penetrativa del liquido. La superficie da indagare deve trovarsi allo stato "come saldato" altrimenti va preparata mediante sabbiatura o solventi o detergenti appositi.

Procedura

Spruzzare il liquido penetrante rosso a elevata sensibilità e ad alto contenuto di pigmenti colorati in bomboletta spray (o applicarlo manualmente sulla superficie con un pennello), il penetrante deve essere lavabile con acqua o rimovibile con il liquido pulitore; attendere 10-30' e rimuovere il liquido penetrante dalla superficie utilizzando un'idropulitrice ad acqua o manualmente; lasciare che la superficie si asciughi naturalmente oppure accelerare il processo mediante aria compressa filtrata e/o pulendo manualmente con degli stracci puliti e asciutti; applicare uno sviluppatore bianco sulla superficie al fine di assorbire ed attirare verso la superficie il penetrante rimasto nelle discontinuità dopo il lavaggio e di espanderlo in superficie con conseguente ingrandimento anche delle indicazioni relative a piccolissime discontinuità.

È possibile anche utilizzare liquidi fluorescenti, con relativi emulsificatori e sviluppatori, e ispezionare la superficie con luce ultravioletta di intensità minima 1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$.

Procedere effettuando le foto dei difetti riscontrati sull'elemento ispezionato.

Apparecchiatura

Liquido penetrante; rivelatore; sgrassante / solvente; spazzola metallica; panni, calibro a corsoio, lenti di ingrandimento, lampada portatile, spazzola metallica, smerigliatrice.

Sicurezza

Normali dotazioni di sicurezza di cantiere.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dell'operatore;
- data e ora della prova;
- identificazione del componente ispezionato;
- materiale del componente;
- tipo di giunzione;
- spessore del materiale;
- procedimento di saldatura adottato;
- livelli di accettabilità;
- prodotti utilizzati nel controllo (liquido penetrante, rivelatore...)
- risultati dell'ispezione con riferimento ai criteri di accettabilità.

Allegare le foto dei difetti riscontrati sull'elemento ispezionato.

L'esecuzione e l'interpretazione dei risultati deve essere effettuata da personale qualificato e certificato secondo la UNI EN 9712 di almeno II livello per il metodo dei liquidi penetranti.

2.7 Controllo delle saldature con particelle magnetiche (MT)

Riferimento normativo: UNI EN ISO 9712, UNI EN ISO 17638, UNI EN ISO 23278

L'esame con particelle magnetiche (MT) consente di rilevare difetti superficiali e subsuperficiali nelle saldature.

Condizioni operative

Il controllo può essere eseguito esclusivamente su materiali ferromagnetici. La superficie deve essere pulita da residui che possano sminuire il risultato del controllo. Il controllo deve essere condotto nelle condizioni di luce previste dalla normativa di riferimento su tutte le superfici accessibili del giunto saldato con marcatura di tutte le zone che presentano dei difetti.

Procedura

Preparare, se necessario, la superficie per mezzo di spazzolatura meccanica al fine di asportare gli ossidi e la vernice distaccata; spruzzare sul pezzo da controllare la lacca bianca di contrasto; magnetizzare la superficie con il giogo elettromagnetico seguendo le indicazioni della norma UNI EN ISO 17638; verificare il campo magnetico e le direzioni di magnetizzazione con una piastrina Asme ottagonale contenente dei difetti campione; applicare sul pezzo la polvere magnetica. Ripetere l'operazione per le opportune direzioni di magnetizzazione.

Ispezionare e valutare le indicazioni, se rilevate, confrontandole con le norme di riferimento e i criteri di accettabilità del difetto rilevato.

Se necessario smagnetizzare il pezzo.

Procedere effettuando le foto dei difetti riscontrati sull'elemento ispezionato.

Apparecchiatura

Giogo elettromagnetico, lacca di contrasto, polveri magnetiche, sgrassante / solvente; spazzola metallica; piastrina di verifica Asme, panni, calibro a corsoio, lenti di ingrandimento, lampada portatile, spazzola metallica, smerigliatrice.

Sicurezza

Normali dotazioni di sicurezza di cantiere.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dell'operatore;
- data e ora della prova;
- identificazione del componente ispezionato;
- materiale del componente;
- tipo di giunzione;
- spessore del materiale;
- procedimento di saldatura adottato;
- livelli di accettabilità;
- prodotti utilizzati nel controllo (lacca di contrasto, polveri magnetiche);
- apparecchiatura utilizzata per la magnetizzazione;
- risultati dell'ispezione con riferimento ai criteri di accettabilità.

Allegare le foto dei difetti riscontrati sull'elemento ispezionato.

L'esecuzione e l'interpretazione dei risultati deve essere effettuata da personale qualificato e certificato secondo la UNI EN 9712 di almeno il livello per il metodo magnetoscopico.

2.8 Controllo delle saldature con ultrasuoni (UT)

Riferimento normativo: UNI EN ISO 9712, UNI EN ISO 17640, UNI EN ISO 11666

L'esame con ultrasuoni (UT) è un controllo di tipo volumetrico, consente la ricerca di difetti interni al materiale. Una delle applicazioni fondamentali di questa metodologia è il controllo di giunti saldati a piena penetrazione.

Condizioni operative

Le superfici interessate dal controllo a ultrasuoni devono essere sufficientemente lisce in modo tale da permettere una buona scorrevolezza del trasduttore.

Per ottenere un buon accoppiamento tra la sonda e il materiale da esaminare è necessario eliminare l'aria che vi si interpone, cosa che viene ottenuta mediante l'utilizzo di un mezzo di accoppiamento da interporre tra la sonda e la superficie da esaminare. Il mezzo di accoppiamento deve avere buone caratteristiche di bagnabilità e una buona trasparenza agli ultrasuoni.

Procedura

Preparare, se necessario, la superficie per mezzo di spazzolatura meccanica al fine di asportare gli ossidi e la vernice distaccata; verificare la strumentazione ed eseguire la taratura dell'asse dei tempi e della sensibilità sui blocchi campione previsti da normativa e sui difetti di riferimento (fori trapanati lateralmente, fori piani, intagli, ecc....).

Il controllo deve essere eseguito su tutto il volume del pezzo in modo da non lasciare aree inesplorate, nel caso in cui ciò non sia possibile, a causa della configurazione del particolare da esaminare o per altre motivazioni, deve essere segnalato nel rapporto di prova. La sonda deve essere spostata sulla superficie di controllo con una sovrapposizione fra una passata e l'altra non inferiore al 50% della larghezza della sonda.

Apparecchiatura

Rilevatore di difetti a ultrasuoni, trasduttori, gel accoppiante, sgrassante / solvente; spazzola metallica; blocchi campione previsti dalla normativa, calibro a corsoio, spazzola metallica, smerigliatrice.

Sicurezza

Normali dotazioni di sicurezza di cantiere.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dell'operatore;
- data e ora della prova;
- identificazione del componente ispezionato;
- materiale del componente;
- tipo di giunzione;
- spessore del materiale;
- procedimento di saldatura adottato;
- livelli di accettabilità;
- prodotti utilizzati nel controllo (gel di accoppiamento);
- apparecchiatura utilizzata (rilevatore di difetti e trasduttori);
- posizioni dei trasduttori adottate e schema di controllo;
- risultati dell'ispezione con riferimento ai criteri di accettabilità.

L'esecuzione e l'interpretazione dei risultati deve essere effettuata da personale qualificato e certificato secondo la UNI EN 9712 di almeno II livello per il metodo ultrasonoro.

2.9 Prelievo – acciaio per carpenteria metallica

Riferimento normativo: D.M. del 14 gennaio 2008 (C8A.1.B.3)

L'obiettivo del prelievo di campioni di acciaio da carpenteria (spezzoni di profilati, bulloni, ecc.) è l'esecuzione dei successivi test chimici, fisici e/o meccanici da eseguirsi in un Laboratorio ufficiale prove materiali. Con riferimento ai *Livelli di Conoscenza* di una struttura esistente, nel caso di *Verifiche Limitate* è richiesto 1 provino di acciaio e 1 campione di bullone o chiodo per piano dell'edificio. Con *Verifiche Estese* 2 provini di acciaio e 2 campioni di bullone o chiodo per piano dell'edificio. Nel caso di *Verifiche Esaustive* 3 provini di acciaio e 3 campioni di bullone o chiodo per piano dell'edificio. Per le nuove costruzioni ai fini del raggiungimento del numero di prove necessarie al collaudo è opportuno tener conto dei diametri (nelle strutture in c.a.) e degli spessori minimi e massimi dei profili (nelle strutture di acciaio) nell'ambito di ciascun lotto di spedizione.

Condizioni operative

Nel caso di spezzoni di profilato il prelievo deve essere eseguito in zone di scarsa sollecitazione indicate dal Tecnico incaricato e condotto in modo da creare il minor disturbo possibile al manufatto e ai suoi elementi costitutivi.

Procedura

Eeguire il taglio mediante smerigliatrice provvedendo a raffreddare l'elemento con getti d'acqua per impedire alterazioni delle caratteristiche chimiche e meccaniche dell'acciaio.

Fotografare il provino dopo il prelievo su un piano di colore neutro insieme a un cartellino (indicante la sigla del campione) e a un metro semirigido per attestarne la lunghezza.

Il campione deve essere confezionato e inviato prima in officina per la preparazione delle idonee provette ed infine in Laboratorio per le prove.

Apparecchiatura

Smerigliatrice o cesoia pneumatica, calibro, metro.

Sicurezza

Utilizzare sempre: scarpe antinfortunistiche, casco, occhiali e guanti, cuffie antirumore.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dell'operatore;
- data e ora dell'estrazione;
- identificazione inequivocabile della posizione di estrazione;
- caratteristiche geometriche del provino.

Allegare le foto sia del punto di prelievo sia del campione.

L'operazione va diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

2.10 Analisi con spettrometro sulla composizione chimica

Riferimento normativo: ASTM E 415 99, D.M. del 14 gennaio 2008

L'analisi in spettrometria a emissione permette di verificare la composizione chimica della lega metallica. Lo spettrometro funziona grazie a una sorgente radioattiva che emette particelle alfa (nuclei di elio) che colpiscono la superficie che si vuole studiare, penetrando al suo interno di 5-10 millesimi di millimetro. Gli atomi colpiti dalla radiazione emettono a loro volta raggi X, in modo caratteristico a seconda dell'elemento chimico in gioco e permettono di risalire alla composizione chimica della superficie, analizzando lo spettro di emissione. Scegliere il tipo di analisi da eseguire in base al campione da analizzare (Fe-Cr-Ni Steel o Fe-Low Alloy Steel); ciò consente l'analisi di tutti gli elementi chimici caratteristici di ogni materiale.

Condizioni operative

Per eseguire l'analisi deve essere prelevato e inviato al Laboratorio di prova un campione di forma regolare di almeno 9 cm.

Procedura

Pulire e rettificare la superficie del campione da analizzare; inserire il provino all'interno dell'alloggiamento; disporre il provino il più possibile aderente alla superficie di contatto della sonda; eseguire l'analisi assicurandosi di aver bloccato bene il provino e successivamente chiuso il coperchio di sicurezza.

I dati sono inseriti automaticamente in tabelle.

Il risultato è dato dalla media delle letture di tre analisi successive del campione.

Apparecchiatura

Smerigliatrice o cesoia pneumatica per il prelievo, calibro.

Sicurezza

Normali dotazioni di sicurezza di Laboratorio.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dell'operatore;
- data e ora dell'estrazione;
- identificazione inequivocabile della posizione di prelievo del campione;
- caratteristiche geometriche del provino;
- caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;
- Valori (%peso) dei componenti chimici rilevati.

L'operazione va diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

2.11 Misure di spessore con ultrasuoni

Riferimento normativo: UNI EN 14127

Lo scopo della prova consiste nella misura dello spessore (ad esempio per la verifica dello stato di usura o corrosione) di elementi ai quali si può accedere da un solo lato, senza necessità di smontare le parti oggetto dell'indagine. Il controllo prevede l'utilizzo di un misuratore di spessori digitale a ultrasuoni.

Condizioni operative

Pulire la superficie da indagare. In caso di pezzi verniciati o zincati è necessaria la pulitura meccanica tramite smerigliatrice o carta abrasiva.

Procedura

Tarare lo strumento su un blocco campione di caratteristiche analoghe al materiale oggetto dell'indagine; ottenere il perfetto accoppiamento tra la superficie e il pezzo; interporre un sottile velo di olio o gel accoppiante per ultrasuoni tra la sonda e la superficie di contatto; leggere sul display e registrare il valore rilevato.

Apparecchiatura

Misuratore di spessore a ultrasuoni, sonde, gel accoppiante, blocchi campione di taratura, calibro. La scelta del tipo di sonda è fondamentale e dipende dalle caratteristiche del pezzo e dal tipo di tecnica applicata. Utilizzando sonde piane e la tecnica a eco multiplo è possibile eseguire misure anche su superfici verniciate rilevando il solo spessore dello strato di metallo.

Sicurezza

Normali dotazioni di sicurezza di cantiere.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dell'operatore;
- data e ora dell'estrazione;
- identificazione inequivocabile delle posizioni di misura;
- caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;
- Valori di spessore rilevati.

L'operazione va diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

3. MURATURA

3.1 Indagini tramite endoscopio – muratura

L'indagine tramite endoscopio, mediante l'osservazione visiva, ha lo scopo di verificare visivamente la consistenza e la natura del materiale costituente evidenziando eventuali anomalie. La restituzione fotografica, o video dell'ispezione, permette di osservare in maggiore dettaglio le anomalie e cavità interne alla muratura.

Condizioni operative

Individuare il punto di esecuzione del foro scegliendo, ove possibile, una condizione operativa comoda per l'operazione di foratura.

Procedura

Procedere all'esecuzione del foro di diametro 20÷30 mm fino a raggiungere la profondità desiderata; pulire il foro mediante immissione di aria (se foro passante) o acqua al fine di evitare che il pulviscolo causato dalla perforazione offuschi le immagini; inserire la sonda endoscopica facendola avanzare in profondità con intervalli di 5 cm ispezionando visivamente le quattro direzioni (0°-90°-180°-270°); documentare la visione interna degli elementi indagati mediante memorizzazione di immagini e filmati e riportando, su apposito modulo, l'ubicazione delle anomalie riscontrate col commento; eseguire una foto dell'area della muratura con inserito l'endoscopio.

Apparecchiatura

Utilizzare una sonda endoscopica rigida per lunghezze fino a 1 m e, preferibilmente, una sonda flessibile per lunghezze superiori, dotata in punta di gruppo ottico con sorgente luminosa e testa snodabile telecomandata tramite joystick. Le immagini devono essere trasmesse a un monitor a colori dotato di memoria di registrazione. Lo strumento deve essere dotato di un riferimento metrico indicante in maniera continua la posizione della porzione inquadrata.

Sicurezza

Utilizzare sempre: scarpe antinfortunistiche, casco, occhiali, oltre a guanti e mascherina durante l'esecuzione del foro.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

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

Allegare le foto del punto di esecuzione e le immagini fotografiche, e/o filmati, dell'endoscopia.

L'operazione va diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

3.2 Indagini con martinetto piatto singolo – muratura

Riferimento normativo: ASTM C1196 - C1197

L'indagine con martinetto piatto singolo ha l'obiettivo di determinare lo stato di sollecitazione a compressione esistente su una porzione di muratura. Il risultato permette il confronto con la resistenza massima della muratura derivante dalla prova con martinetto piatto doppio o attraverso prove di Laboratorio su porzioni di muratura.

L'indagine consiste nell'eseguire un taglio mediante una troncatrice circolare eccentrica ad anello diamantato per poi applicare sulle superfici interne del taglio una pressione nota che porti al ripristino delle condizioni iniziali.

L'esecuzione di un taglio piano in direzione normale alla superficie di un elemento provoca una richiusura dei lembi della fessura; introducendo un martinetto piatto all'interno della fessura (ossia introducendo un elemento metallico piano di forma semicircolare in cui si può iniettare olio a una pressione nota) è possibile riportare i lembi della fenditura nelle condizioni iniziali. Dalla forza esercitata dal martinetto, per ripristinare la situazione iniziale, è possibile individuare lo stato tensionale originariamente presente nella muratura con la seguente formula:

$$\sigma_e = p_o * K_m * A_m / A_t$$

Dove:

σ_e = tensione di esercizio della muratura [Mpa]

p_o = pressione di ripristino delle condizioni di deformazione [Mpa]

K_m = coefficiente di taratura del martinetto

A_m = area del martinetto [cm²]

A_t = area della superficie del taglio [cm²]

Condizioni operative

Liberare dall'intonaco una porzione muraria di almeno 100x100 cm facendo attenzione a non danneggiare il paramento murario sottostante. Verificare con un'indagine endoscopica preliminare, o con l'esecuzione di un carotaggio, la stratigrafia orizzontale del muro; la prova non è eseguibile in caso di murature "a sacco".

Procedura

Posizionare 3 sensori elettronici di misura, simmetricamente alla mezzeria, sopra la zona dove si effettuerà il taglio.

Un'ulteriore sensore di misura è essere posto sotto il taglio.

Collegare i trasduttori di spostamento all'unità d'acquisizione per la lettura in tempo reale durante il taglio.

Applicare sopra la porzione muraria da indagare un foglio di polietilene trasparente al fine di proteggere il muro e i trasduttori durante la fase di taglio.

Azzerare i sensori; procedere all'esecuzione del taglio mediante una sega circolare eccentrica ad anello diamantato.

Nel caso di murature regolari il taglio è fatto lungo il corso di mattoni.

Ispezionare l'interno del taglio e procedere, con apposito utensile, alla rimozione di eventuali residui.

Inserire il martinetto piatto collegato all'apposita centralina oleodinamica; aumentare gradualmente la pressione, con step da 1 bar, fino ad azzerare le deformazioni misurate dai trasduttori.

Vanno eseguiti almeno due cicli di carico e scarico.

Tutte le deformazioni vanno registrate su nastro cartaceo o supporto informatico.

Eseguire una foto della strumentazione applicata ed una durante l'esecuzione del taglio.

Apparecchiatura

Martinetto piatto di forma semicircolare con larghezza di 35 cm e profondità di 25 cm.

Centralina oleodinamica o pompa manuale che consenta di mantenere una pressione costante entro l'1%. Manometro di precisione classe 1 o trasduttore di pressione opportunamente calibrato con accuratezza dell'1%.

Il martinetto piatto deve essere corredato da certificato di taratura che attesti il coefficiente di rigidità da utilizzare nella formula che consente la stima della tensione di esercizio.

Sicurezza

Utilizzare sempre: scarpe antinfortunistiche, casco, occhiali, cuffie e guanti.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dell'operatore;
- data e ora dell'esecuzione;
- identificazione inequivocabile della posizione di esecuzione;
- restituzione con tabella e grafico delle pressioni esercitate e delle deformazioni misurate;
- calcolo della tensione di esercizio della muratura.

Allegare le foto della strumentazione applicata ed una eseguita durante l'esecuzione del taglio.

L'operazione va condotta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

3.3 Indagini con martinetto piatto doppio – muratura

Riferimento normativo: ASTM C1196 - C1197

L'indagine con martinetto piatto doppio ha lo scopo di determinare il valore della resistenza a rottura di una porzione di muratura compresa tra i due martinetti piatti e di stimare il Modulo Elastico. L'indagine è eseguita successivamente alla prova con martinetto piatto nella stessa porzione muraria, in modo da associare alla tensione locale di esercizio quella massima a rottura.

L'esecuzione dei tagli avviene mediante troncatrice circolare eccentrica ad anello diamantato. L'indagine consiste nell'eseguire due tagli paralleli nella muratura a debita distanza, all'interno dei quali si inseriscono due martinetti piatti. In alcuni casi può rendersi necessaria l'esecuzione di due ulteriori tagli verticali a delimitare ulteriormente la zona di prova.

Mandando contemporaneamente in pressione i due martinetti si provoca uno stato di tensione monoassiale nella porzione di muratura in esame, riproducendo una prova in condizioni simili a quelli di un test uniassiale convenzionale.

La misura degli spostamenti verticali va effettuata con trasduttori di deformazione collocati nella zona compresa tra i due martinetti. E' necessaria anche la misura dello spostamento orizzontale tra due punti nella zona a metà tra un taglio e l'altro.

Dalla forza esercitata dai martinetti per portare a collasso la muratura è possibile individuare la tensione di rottura con la seguente formula:

$$\sigma_r = p_r * \Sigma(K_m * A_m / A_t) / 2$$

Dove:

σ_r = tensione rottura [Mpa]

p_r = pressione di collasso [Mpa]

K_m = coefficiente di taratura del martinetto

A_m = area del martinetto [cm²]

A_t = area della superficie del taglio [cm²]

Condizioni operative

Liberare dall'intonaco una porzione muraria di almeno 100x100 cm facendo attenzione a non danneggiare il paramento murario sottostante. Verificare con un'indagine endoscopica preliminare, o con l'esecuzione di un carotaggio, la stratigrafia orizzontale del muro; la prova non è eseguibile in caso di murature "a sacco". L'esecuzione dei tagli avviene mediante troncatrice circolare eccentrica ad anello diamantato.

Procedura

Eseguire due tagli paralleli nella muratura a debita distanza, indicativamente da 40 a 80 cm, a seconda della muratura; inserire all'interno i due martinetti piatti (in alcuni casi può rendersi necessaria l'esecuzione di due ulteriori tagli verticali a delimitare ulteriormente la zona di prova). Ispezionare l'interno dei tagli e procedere, con apposito utensile, alla rimozione di eventuali residui.

Posizionare 3 sensori elettronici di misura, simmetricamente alla mezzeria, collocati nella zona compresa tra i due martinetti. Un'ulteriore sensore di misura è essere posto sotto il taglio.

Collegare i trasduttori di spostamento all'unità d'acquisizione per la lettura in tempo; azzerare i sensori; aumentare gradualmente la pressione, con step da 1 bar.

La prova deve essere condotta con almeno due cicli di carico/scarico e spinta fin tanto che i sensori non identificano un cedimento repentino, o un andamento continuo di deformazione a carico costante, oppure la muratura non presenti segni di rottura riscontrabili con ispezione visiva.

Eseguire una foto della strumentazione applicata ed una durante l'esecuzione del taglio.

Apparecchiatura

Due martinetti piatti di forma semicircolare con larghezza di 35 cm e profondità di 25 cm.

Centralina oleodinamica o pompa manuale che consenta di mantenere una pressione costante entro l'1%.

Manometro di precisione classe 1 o trasduttore di pressione opportunamente calibrato con accuratezza dell'1%.

I martinetti piatti devono essere corredati da certificato di taratura che attesti il coefficiente di rigidità da utilizzare nella formula che consente la stima della tensione di collasso.

Sicurezza

Utilizzare sempre: scarpe antinfortunistiche, casco, occhiali, cuffie e guanti.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dell'operatore;
- data e ora dell'esecuzione;
- identificazione inequivocabile della posizione di esecuzione;
- restituzione con tabella e grafico delle pressioni esercitate e delle deformazioni misurate;
- calcolo della tensione di rottura della muratura e del modulo elastico.

Allegare le foto della strumentazione applicata ed una eseguita durante l'esecuzione del taglio.

L'operazione va condotta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

3.4 Indagini soniche – muratura

Riferimento normativo: Norma UNI EN 12504-4

Tali indagini permettono di stimare le caratteristiche meccaniche della muratura, in particolar modo densità e omogeneità. Il controllo consiste nel valutare la velocità di propagazione di onde soniche (onde elastiche longitudinali di compressione con frequenza dell'ordine di qualche centinaio di Hz) all'interno della muratura, essendo tale parametro correlato alle caratteristiche del materiale quali densità, omogeneità, presenza di vuoti e fessurazioni.

La misura della velocità di penetrazione di un'onda di frequenza medio-bassa all'interno della muratura consente di ricavare informazioni sulla densità media del materiale esaminato e sulla presenza di eventuali zone di densità bassa.

Le prove soniche permettono di stimare il Modulo Elastico Dinamico che in genere, per il bassissimo sforzo generato nel test, sovrastima del 10% circa il normale Modulo Elastico misurato su provini o carotaggi.

La prova sonica diventa uno strumento di natura quantitativa se applicata prima e dopo l'intervento di consolidamento delle murature mediante iniezioni di miscela, in quanto riesce a proporre una valutazione comparativa tra le velocità soniche pre e post intervento. Permette di determinare l'efficacia dell'intervento stesso in relazione alla diffusione della miscela di iniezione all'interno del corpo murario.

Condizioni operative

Liberare dall'intonaco una porzione muraria di almeno 100x100 cm sui due lati opposti del muro facendo attenzione a non danneggiare il paramento murario sottostante. Tracciare su entrambe i lati del muro una griglia di punti di emissione e punti di ricezione dell'onda, generalmente 15 ÷ 20 punti, possibilmente in corrispondenza dei laterizi. I punti d'indagine devono essere puliti e levigati, interponendo inoltre dell'apposito accoppiante tra la faccia dell'elemento strutturale e la sonda ricevente

Procedura

Le indagini devono essere effettuate preferibilmente in modalità di "trasparenza", misura diretta, ponendo la sonda ricevente sul lato opposto della struttura indagata rispetto al punto di impatto del martello trigger strumentato (c'è anche la possibilità di effettuare le misure in modalità "superficiale", misura indiretta, con trasmettitore e ricevitore sullo stesso lato della struttura muraria ma spesso i risultati sono di difficile interpretazione).

Contrassegnare con precisione i punti opposti alla superficie da indagare o, nel caso di unica superficie, quelli lungo una direttrice a distanze predefinite; gli impulsi sonici emessi dall'impatto del martello, dopo aver attraversato l'elemento strutturale in indagine, sono captati dalla sonda ricevente e registrati dall'apparecchiatura.

Nota la distanza tra punto d'impatto e di ricezione e misurato il tempo di percorrenza si ricava la velocità di propagazione delle onde come rapporto spazio/tempo.

Eseguire una foto della strumentazione applicata ed una durante l'esecuzione della prova.

Apparecchiatura

L'attrezzatura è costituita da un emettitore sonico (martello strumentato), da una sonda ricevente e da una centralina per l'acquisizione e l'elaborazione dei dati.

Sicurezza

Utilizzare sempre: scarpe antinfortunistiche, casco, occhiali e guanti.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dell'operatore;
- data e ora dell'esecuzione;
- identificazione inequivocabile della posizione di esecuzione;
- allegati fotografici;
- tabella delle velocità misurate e calcolo del valore medio per ogni zona d'indagine.

L'operazione va condotta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

3.5 Prelievo di mattoni, pietre, malte e prove di Laboratorio - muratura

Riferimento normativo: UNI EN 772-1: 2011 determinazione della resistenza a compressione degli elementi per muratura

Riferimento normativo: Norma UNI 11176:2006 caratterizzazione petrografica di una malta

Condizioni operative

Liberare dall'intonaco una porzione muraria di almeno 50x50 cm facendo attenzione a non danneggiare il paramento murario sottostante.

Procedura

La metodologia di campionamento dipende direttamente dalle caratteristiche del singolo materiale. Vanno seguiti alcuni principi guida.:

- prelievo condotto nel rispetto dell'integrità dell'opera;
- la quantità di materiale prelevato deve essere compatibile con lo scopo della prova di Laboratorio e le richieste in termini di affidabilità della tecnica sperimentale;
- se il fine delle prove è la caratterizzazione e la verifica dell'estensione del danno, il prelievo di materiale deve essere effettuato su diverse parti dell'opera; in questo modo è possibile individuare l'eventuale presenza di vari tipi di degrado;
- il campionamento deve riguardare porzioni dell'opera non soggette all'azione della pioggia o a precedenti riparazioni, specialmente se il fine dell'indagine è la caratterizzazione dei leganti e degli aggregati delle malte;
- il numero di campioni deve essere sufficientemente alto, perché il risultato sia statisticamente significativo e rappresentativo della condizione della muratura.

Sui campioni di mattoni e pietre estratti in situ e successivamente lavorati (provini) devono essere effettuate prove di schiacciamento in Laboratorio per la determinazione del carico di rottura a compressione secondo la norma UNI EN 772-1: 2011.

Per caratterizzare i campioni di malta deve essere effettuato lo studio petrografico quantitativo al microscopio polarizzatore (MPOM) su preparato in sezione sottile secondo la norma UNI 11176:2006.

Apparecchiatura

Martello e scalpello demolitore elettrico, martello e scalpello manuali.

Sicurezza

Utilizzare sempre: scarpe antinfortunistiche, casco, occhiali e guanti.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dell'operatore;
- data e ora dell'esecuzione;
- identificazione inequivocabile della posizione di esecuzione;
- allegati fotografici;
- certificati e/o rapporti di prova del Laboratorio Prove Materiali.

L'operazione va condotta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

3.6 Prelievo di campioni cilindrici di muratura – muratura

Il prelievo consiste nell'estrazione dalle strutture di campioni cilindrici di muratura tramite carotatrici. Tali campioni, opportunamente sagomati, sono sottoposti in Laboratorio a prove per la determinazione di massa volumica, prove meccaniche, di permeabilità, di gelività, ecc. Per l'esecuzione delle prove per murature di laterizio o pietra si può fare riferimento a prescrizioni della norma UNI 6131 anche se questa è specifica per strutture in calcestruzzo. Secondo la norma la profondità e la dimensione del carotaggio sono stabilite in relazione allo spessore degli elementi da indagare e agli scopi dell'indagine. Inoltre il criterio comune da seguire durante i prelevamenti deve essere la riduzione al minimo del danneggiamento provocato dall'estrazione sul campione.

Condizioni operative

Liberare dall'intonaco una porzione muraria di almeno 50x50 cm facendo attenzione a non danneggiare il paramento murario sottostante.

Procedura

L'avanzamento del carotiere deve essere lento per recare il minore disturbo alla carota e continuamente raffreddato con acqua per lubrificare le superfici di contatto carotiere/muratura in modo da evitare attrito fra i due materiali e il possibile trasferimento di momento torcente alla carota.

Una volta terminato il prelievo occorre fotografare la carota su un piano di colore neutro insieme a un cartellino con la relativa sigla ed una fettuccia metrica affiancata alla carota per registrarne la lunghezza.

Apparecchiatura

Utilizzare una carotatrice professionale con sistema di avanzamento automatico e raffreddata ad acqua. La corona deve essere a filo diamantato.

Sicurezza

Utilizzare sempre: scarpe antinfortunistiche, casco, occhiali e guanti.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dell'operatore;
- data e ora dell'esecuzione;
- identificazione inequivocabile della posizione di esecuzione;
- allegati fotografici;
- certificati del Laboratorio Prove Materiali.

L'operazione va condotta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

3.7 Prelievo di campioni di muratura – muratura

Riferimento normativo: UNI EN 1052-1

Il prelievo di un campione permette di ottenere un elemento significativo del materiale, costituito dall'elemento mattone e malta di allettamento, sul quale eseguire delle prove di Laboratorio volte a caratterizzare dal punto di vista fisico-chimico e meccanico i materiali, valutarne il degrado, la resistenza a compressione e ad individuare la tipologia di materiale utilizzare per risanare la muratura. Per le dimensioni dei provini si veda la norma UNI EN 1052-1.

Condizioni operative

Liberare dall'intonaco una porzione muraria di almeno 100x100 cm facendo attenzione a non danneggiare il paramento murario sottostante. Verificare con un'indagine endoscopica preliminare o con l'esecuzione di un carotaggio la stratigrafia orizzontale del muro.

Procedura

Gli elementi prelevati, rappresentativi della tessitura muraria, devono essere comprensivi di almeno tre corsi di malta e devono essere spianati sulle superfici di contatto al fine di garantire la corretta distribuzione del carico in fase di compressione.

Per l'esecuzione del prelievo utilizzare un demolitore a percussione o sega circolare a disco diamantato per rimuovere una parte della muratura attorno al campione da esaminare tale da permettere l'accesso con la punta al retro dello stesso. Indebolire il retro della muratura da estrarre con il demolitore prestando attenzione a non danneggiarla.

Apparecchiatura

Martello e scalpello demolitore elettrico, martello e scalpello manuali; sega circolare a disco diamantato.

Sicurezza

Utilizzare sempre: scarpe antinfortunistiche, casco, occhiali, guanti e cuffie antirumore.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dell'operatore;
- data e ora dell'esecuzione;
- identificazione inequivocabile della posizione di esecuzione;
- allegati fotografici;
- certificati del Laboratorio Prove Materiali.

L'operazione va condotta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

3.8 Sclerometro a pendolo per malte – muratura

Riferimento normativo: indicazioni RILEM 127 D.7

La prova permette di determinare la durezza di giunti di malta, esprimendola in termini di classi (0, A, B, C, D, E).

Il metodo è impiegato in situ sia per verificare l'omogeneità del materiale all'interno di una struttura, sia per il controllo della qualità della malta. La prova non consente la valutazione della resistenza assoluta della malta.

Lo strumento è costituito da un pendolo incernierato al centro di un semicerchio graduato che ne costituisce il misuratore; il pendolo può scorrere su di esso fino a impattare il corso di malta attraverso un'apertura circolare al piede dello strumento.

Condizioni operative

Individuare i corsi di malta di spessore adeguato, almeno 1 cm, dove effettuare le battute, levigando la superficie con pietra abrasiva in particolare nelle porzioni dove è stato tolto l'intonaco e possono essere presenti residui di materiale diverso. I corsi di malta devono essere sufficientemente complanari alla superficie dei laterizi.

Il test non è significativo se eseguito su materiale troppo umido.

Procedura

Rimuovere eventuale intonaco o altri materiali di ricoprimento su aree di dimensioni tali da mettere a vista almeno tre corsi di malta orizzontali e verticali e procedere alla levigatura delle superfici di impatto. Posizionare lo sclerometro a pendolo verticalmente verificando che l'apertura circolare nel piede dello strumento sia centrata sul corso di malta.

A questo punto si esegue il test facendo cadere e rimbalzare il pendolo contro il corso da provare. Il principio della prova consiste nell'assorbimento di parte dell'energia potenziale della massa battente in deformazione plastica del letto di malta; la rimanente aliquota di energia si traduce in un "rimbalzo" della massa. Il valore letto è quello del rimbalzo (IR).

La prova va eseguita con almeno 9 rimbalzi, distribuiti nell'area investigata su corsi orizzontali e verticali.

Apparecchiatura

Sclerometro a pendolo tipo SCHMIDT-HAMMER.

Sicurezza

Utilizzare sempre: scarpe antinfortunistiche, casco, occhiali, guanti e cuffie antirumore.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dell'operatore;
- data e ora dell'esecuzione;
- identificazione inequivocabile della posizione di esecuzione;
- allegati fotografici;
- restituzione con tabella degli indici di rimbalzo misurati e calcolo del valore medio per ogni zona d'indagine; mediante la curva di correlazione dello sclerometro si risale alla stima della resistenza a compressione delle malte.

L'operazione va condotta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

3.9 Penetrometro per malte – muratura

Riferimento normativo: ASTM C 803

Il sistema PIN System prevede di far penetrare un ago d'acciaio in una superficie per rilevare la relativa resistenza alla penetrazione; la resistenza così determinata è inversamente proporzionale alla resistenza del metodo a compressione. Il PIN System si rivela un veloce ed efficace sistema per determinare in situ le caratteristiche meccaniche di alcuni materiali da costruzione: malta legante, laterizi, malte da intonaco e da restauro.

Condizioni operative

Rimuovere eventuale intonaco o altri materiali di ricoprimento su aree di dimensioni tali da mettere a vista almeno tre corsi di malta orizzontali e verticali e procedere alla levigatura delle superfici di impatto con la pietra abrasiva in dotazione con lo strumento. Il test non è significativo se eseguito su materiale troppo umido.

Procedura

Posizionare il penetrometro ortogonalmente alla muratura e rilasciare l'ago di acciaio premendo il grilletto dello strumento.

Per ogni zona d'indagine si eseguono almeno sette penetrazioni sulle malte e sette penetrazioni sui mattoni, poi tramite la pompetta in dotazione si puliscono i fori dai residui di materiale e con il micrometro si misura la profondità di infissione dell'ago nella superficie sottoposta a prova.

Apparecchiatura

Penetrometro da malta tipo PIN System.

Sicurezza

Utilizzare sempre: scarpe antinfortunistiche, casco, occhiali e guanti.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dell'operatore;
- data e ora dell'esecuzione;
- identificazione inequivocabile della posizione di esecuzione;
- allegati fotografici;
- restituzione con tabella delle profondità di penetrazione misurate, scarto del valore massimo e minimo, calcolo del valore medio per ogni zona d'indagine;
- stima della resistenza a compressione del materiale mediante la curva di correlazione fornita dal costruttore dello strumento si risale alla

L'operazione va condotta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

3.10 Shave test – muratura

Riferimento normativo: indicazioni RILEM 127 D.6

La prova di taglio diretto è finalizzata alla determinazione del valore medio di resistenza a taglio della muratura in situ. La prova consiste nel far scorrere orizzontalmente un elemento di laterizio, mediante la spinta di un idoneo martinetto idraulico, isolato lateralmente dal resto della muratura.

E' prevista l'estrazione di uno o più mattoni per allocare il martinetto, l'inserimento di due piastre di base per la ripartizione in modo uniforme del carico applicato, l'inserimento di un martinetto, la rimozione del giunto di testa dell'elemento di prova dalla parte opposta per consentire lo scorrimento e infine il posizionamento dei trasduttori millesimali per la misura degli spostamenti orizzontali. La forza applicata al martinetto dipende dallo stato di compressione presente sull'elemento provato.

Condizioni operative

Rimuovere eventuale intonaco o altri materiali di ricoprimento su aree di interesse.

Procedura

Montare almeno due trasduttori di spostamento davanti e dietro al martinetto con fissaggio tra due corsi di malta; azionando il martinetto con una pompa oleodinamica manuale, procedere all'applicazione graduale della forza orizzontale di spinta.

La prova prosegue fino a raggiungere la rottura per scorrimento dell'elemento a livello di giunto.

La resistenza a taglio è calcolata sulla base dell'area lorda dei giunti superiore e inferiore attraverso la relazione:

$$T = F/2A.$$

Dove:

T = valore del taglio [N/cm²]

F = forza applicata [N]

A = area della malta sottoposta a taglio [cm²]

Ipotizzando il coefficiente d'attrito e conoscendo lo stato di compressione del provino al momento della prova (stimato o misurato mediante prova con martinetto piatto singolo) è possibile calcolare la resistenza a taglio caratteristica T_0 .

Apparecchiatura

Martello e scalpello demolitore elettrico, martello e scalpello manuali. Pompa oleodinamica manuale, martinetto oleodinamico per l'applicazione del carico, manometro di precisione classe 1, trasduttori elettronici collegati a unità di acquisizione dati.

Sicurezza

Utilizzare sempre: scarpe antinfortunistiche, casco, occhiali e guanti.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dell'operatore;
- data e ora dell'esecuzione;
- identificazione inequivocabile della posizione di esecuzione;
- allegati fotografici;
- restituzione con tabella delle forze e degli spostamenti misurati;
- calcolo della resistenza a taglio e della resistenza a taglio caratteristica.

L'operazione va condotta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

3.11 Prova in diagonale su pannelli - muratura

Riferimento normativo: ASTM E519-2 "Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages"

La prova ha lo scopo di determinare la resistenza a compressione in diagonale di un campione isolato di muratura delle dimensioni di 120x120 cm. E' possibile determinare il valore ultimo della Resistenza tangenziale, il Modulo di Rigidezza ed il Fattore di Duttilità.

Sul campione devono essere installati degli appositi elementi di acciaio che consentono di applicare il carico lungo la diagonale dell'elemento. Il carico sarà applicato con 1 o 2 martinetti oleodinamici controllati da una centralina a compensazione automatica di pressione.

Condizioni operative

La preparazione del campione avviene tagliando una porzione di muratura per l'intero spessore, isolando un blocco di dimensioni finali pari a 120x120 cm.

Procedura

Applicare il carico sui martinetti visualizzando e registrando in continuo attraverso un trasduttore di pressione collegato a una unità di acquisizione con frequenze di campionamento di almeno 10 Hz. Le deformazioni del pannello è misurata lungo le diagonali su entrambe le facce utilizzando almeno 4 trasduttori di misura di spostamento millesimali che, collegati all'unità di visualizzazione e memorizzazione, devono registrare in continuo i cedimenti fino alla rottura del campione.

Apparecchiatura

Martinetto oleodinamico per l'applicazione del carico, centralina oleodinamica con compensazione automatica di pressione, trasduttore di pressione, trasduttori elettronici di deformazione, unità di acquisizione dati.

Sicurezza

Utilizzare sempre: scarpe antinfortunistiche, casco, occhiali e guanti.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dell'operatore;
- data e ora dell'esecuzione;
- identificazione inequivocabile della posizione di esecuzione;
- allegati fotografici;
- restituzione con tabella delle forze e delle deformazioni misurate;
- calcolo della Resistenza a taglio, Modulo di Rigidezza, Fattore di Duttilità.

L'operazione va condotta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

3.12 Prova Sheppard (o prova di taglio-compressione in situ) - muratura

Riferimento normativo: non normata.

La prova Sheppard è equiparabile alla prova in diagonale con la differenza che non è necessario isolare completamente un blocco di muratura, ma è possibile eseguire la prova su pannelli ricavati all'interno della parete eseguendo i soli tagli verticali (ideale per murature in pietra o murature con legante di scarsa qualità). Le informazioni che si possono ottenere sono: il valore ultimo della Resistenza Tangenziale, il Modulo di Rigidezza ed il fattore di duttilità.

Condizioni operative

Isolare un pannello di muratura dalla struttura circostante mediante due tagli verticali. Il pannello deve avere larghezza di 80-90 cm e altezza circa doppia della larghezza. Il pannello precedentemente isolato è soggetto all'azione di taglio trasmessa dal martinetto oleodinamico e alla compressione verticale dovuta al carico presente (peso murature, solai...).

Procedura

Eseguire due tagli verticali passanti per isolare un pannello di muratura delle dimensioni di circa 80-90 cm di larghezza e 160-180 cm di altezza; rimuovere una porzione di 5 cm di muratura sul lato opposto a quello di spinta per consentire libertà di deformazione/scorrimento del pannello; installare il sistema di spinta e il sistema di ripartizione del carico sull'intero spessore della muratura; installare i sensori per la misura delle deformazioni/spostamenti.

Il martinetto è posto a un'altezza di 90 cm ed il carico applicato è distribuito sull'intero spessore del pannello mediante un profilato metallico HEB100 di lunghezza 100 cm opportunamente rinforzato.

Realizzare una serie di cicli di carico/scarico fino alla comparsa delle prime fessurazioni e successivamente alla rottura del pannello.

Apparecchiatura

Martinetto oleodinamico per l'applicazione del carico, centralina oleodinamica con compensazione automatica di pressione, trasduttore di pressione, trasduttori elettronici di deformazione, unità di acquisizione dati.

Sicurezza

Utilizzare sempre: scarpe antinfortunistiche, casco, occhiali e guanti.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dell'operatore;
- data e ora dell'esecuzione;
- identificazione inequivocabile della posizione di esecuzione;
- allegati fotografici;
- restituzione con tabella delle forze e delle deformazioni;
- calcolo della resistenza a taglio.

L'operazione va condotta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

4. LEGNO

Premessa – ispezione visiva

Le indagini diagnostiche applicate al legno in opera fanno riferimento alle UNI 11035 e UNI 11119. Le indagini in sito assumono un ruolo fondamentale nello studio delle patologie lignee ai fini della determinazione dello stato di conservazione e delle loro capacità prestazionali in rapporto alla sicurezza statica. Allo scopo, facendo riferimento alle normative vigenti, si evidenzia una procedura di lavoro che consente la valutazione dello stato di conservazione e la stima della resistenza di elementi lignei in opera attraverso ispezioni in situ e mediante l'impiego di metodologie di prova non distruttive.

Oltre alle indagini è necessaria un'attenta ispezione visiva che permetta l'individuazione della geometria, di descrivere l'ubicazione ed estensione dei difetti e le sezioni critiche. L'ispezione dovrà essere supportata dal rilievo della temperatura ambiente e il livello di umidità del singolo elemento oggetto di verifica.

Condizione essenziale per l'ispezione è l'accessibilità, la pulizia e l'illuminazione degli elementi lignei.

Va valutata l'utilità di un prelievo di campione con sonda incrementale (succhiello di Pressler) per la stima dell'età e/o per la verifica in Laboratorio del tipo di essenza. Inoltre sarà possibile con l'analisi microbiologica di Laboratorio definire la "classe di rischio" come prevenzione di un trattamento preservante.

4.1 Indagini ultrasoniche – legno

Lo scopo di questa prova è quello di caratterizzare l'omogeneità del legno esaminato o, se eseguita parallelamente alle fibre, dare un'indicazione sulla densità. Questa metodologia prevede di attraversare il materiale con treni di impulsi mediante l'uso di apparecchi a ultrasuoni che utilizzano sonde con frequenze comprese tra i 15 ed i 20 kHz, e calcolare la velocità di trasmissione. La sua utilizzazione è preferita nella valutazione dell'omogeneità del materiale di un elemento strutturale caratterizzato preventivamente attraverso l'estrazione di un provino mediante carotaggio. Il principio di misura si basa sull'emissione dell'ultrasuono di una sonda emettitrice che produce onde elastiche longitudinali che attraversano il materiale e sono captate dalla sonda ricevente e registrate da una apparecchiatura. Si misura il tempo di transito delle onde dalla sonda emettitrice e quella ricevente e si calcola la velocità in base alla distanza delle sonde.

Condizioni operative

Scelte le posizioni di misura, dove applicare le sonde, devono essere accuratamente puliti e levigati utilizzando attrezzi meccanici e carta abrasiva.

Procedura

Contrassegnare con precisione i punti opposti alla superficie da indagare; interporre dell'apposito accoppiante tra le facce dell'elemento strutturale e le sonde; porre la sonda emettitrice e la sonda ricevente a cavallo dell'elemento da indagare; effettuare la misurazione del tempo di transito dell'impulso rilevando il valore medio delle acquisizioni con valori all'interno di una variabilità di 200÷300 m/s. La velocità si calcola attraverso il rapporto tra la distanza delle due sonde e il tempo di volo. La resistenza a compressione può essere stimata in base alla velocità di trasmissione ipotizzando la validità di una relazione di proporzionalità con resistenza a compressione e modulo elastico. Si deve tener presente che le onde elastiche subiscono, all'interno dell'elemento esaminato, rifrazioni e riflessioni dovute alle dimensioni degli aggregati e alla presenza di fessure o vuoti. Procedere a una foto del punto di prova.

Apparecchiatura

E' preferibile utilizzare apparecchiature con possibilità di "controllo di guadagno proporzionale" ovvero la possibilità di variazione del segnale tramite l'amplificatore di misura. Verificare la taratura dell'apparecchiatura utilizzata mediante apposito provino fornito direttamente della casa produttrice.

Sicurezza

Normali dotazioni di sicurezza di cantiere.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dello sperimentatore;
- data e ora della prova;
- caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;
- caratteristiche geometriche dell'elemento in prova;
- identificazione inequivocabile delle posizioni di prova;
- condizione di umidità superficiale al momento della prova;
- temperatura ambiente e del materiale in prova;
- tabella dei risultati di prova relativamente ai tempi misurati e alla velocità calcolata;
- data di taratura degli strumenti utilizzati.

Allegare la foto del punto di prova.

L'operazione va eseguita o diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

4.2 Determinazione del profilo resistografico - legno

Lo scopo di questa prova è quello di individuare le variazioni di densità tra legno sano e quello decomposto ed effettuare una diagnosi delle aree di decadimento interno dell'elemento sottoposto ad indagine. Il metodo è indicato per indagare le zone degli elementi lignei non ispezionabili visivamente come ad esempio l'incastro delle travi all'interno delle murature. Per questo tipo di prova si utilizza uno strumento che misura la resistenza alla penetrazione di una punta, di lunghezza 40 cm con diametro 3 mm, che avanza con un movimento combinato di rotazione e velocità costante.

Condizioni operative

Scegliere un idoneo punto di prova in un'area rappresentativa e importante dal punto di vista statico per gli sforzi di taglio e momento.

Procedura

Appoggiare la punta all'elemento in misura; regolare la sensibilità dello strumento in base alla durezza per garantire una velocità compresa all'interno del range prestabilito per quel tipo di legno; eseguire un foro fino al raggiungimento della profondità stabilita; invertire senso di rotazione e rimuovere la punta dall'elemento in esame.

Assicurarsi di rimanere ben fermi durante la fase di penetrazione.

I risultati non dipendono dall'orientamento del penetrometro.

Il grafico risultante, prodotto in forma cartacea o digitale a seconda dello strumento, deve riportare sull'asse delle ascisse la posizione l'avanzamento della punta e sull'asse delle ordinate la resistenza alla penetrazione espressa in percentuale rispetto alla resistenza massima.

Procedere a una foto del punto di prova.

Apparecchiatura

Selezionare uno strumento resistografico che presenti valida esperienza in materia.

Sicurezza

Normali dotazioni di sicurezza di cantiere.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dello sperimentatore;
- data e ora della prova;
- caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;
- caratteristiche geometriche dell'elemento in prova;
- identificazione inequivocabile delle posizioni di prova;
- condizione di umidità superficiale al momento della prova;
- temperatura ambiente e del materiale in prova;
- il grafico resistografico;
- data di taratura degli strumenti utilizzati.

Allegare la foto del punto di prova.

L'operazione va eseguita o diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

4.3 Determinazione del modulo elastico tramite Pilodyn - legno

Lo scopo della prova è di stimare il Modulo Elastico del legno in base ad opportune correlazioni con la profondità di penetrazione di un punzone di forma cilindrica che viene infisso ad energia costante. Questa tecnica, applicabile sulle parti esterne di elementi lignei, è influenzata dalle condizioni locali del legno nelle zone superficiali, va quindi scelta solo in condizioni ottimali del materiale da indagare. L'indice del Pilodyn, essendo in funzione della durezza superficiale, è influenzato dai fattori climatici, dall'esposizione agli agenti atmosferici e da attacchi di funghi o insetti; tende pertanto a sottostimare gli elementi con forti degradi superficiali.

Condizioni operative

Scegliere un idoneo punto di prova in un'area rappresentativa e importante dal punto di vista statico per gli sforzi di taglio e momento. Assicurarsi che la superficie di prova sia ben liscia. Nel caso la superficie di impatto sia eccessivamente scabrosa non potrà essere utilizzato.

Procedura

Appoggiare la punta del Pilodyn all'elemento in misura; posizionarsi di fronte alla superficie in misura facendo attenzione di tenere lo strumento perpendicolare rispetto alla superficie stessa; azionare il meccanismo a molla aumentando gradualmente la pressione di contatto fino a provocare l'impatto meccanico; infiggere il chiodo calibrato azionando lo strumento almeno tre volte prima di iniziare a effettuare le letture.

Devono essere prodotte almeno 9 misure per singolo punto di analisi. La distanza dei singoli impatti, tra loro e dai bordi dell'elemento, non deve essere inferiore ai 25 mm.

Il risultato della prova risulta dalla media dei valori rilevati, successivamente interpretati in resistenza stimata R_s in base ad orientamento e curve di taratura riportate sullo strumento.

Procedere a una foto del punto di prova.

Apparecchiatura

Selezionare uno strumento che presenti valida esperienza in materia.

Sicurezza

Normali dotazioni di sicurezza di cantiere.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dello sperimentatore;
- data e ora della prova;
- caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;
- caratteristiche geometriche dell'elemento in prova;
- identificazione inequivocabile delle posizioni di prova;
- condizione di umidità superficiale al momento della prova;
- temperatura ambiente e del materiale in prova;
- tabella dei risultati;
- data di taratura degli strumenti utilizzati.

Allegare la foto del punto di prova.

L'operazione va eseguita o diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

4.4 Indagini tramite endoscopio - legno

L'indagine tramite endoscopio, mediante l'osservazione visiva, ha lo scopo di verificare visivamente la consistenza e la natura del materiale costituente evidenziando eventuali anomalie. La restituzione fotografica o video dell'ispezione permette di osservare in maggiore dettaglio le anomalie e cavità interne.

Condizioni operative

Individuare il punto di esecuzione del foro scegliendo, ove possibile, una condizione operativa comoda per l'operazione di foratura.

Procedura

Procedere all'esecuzione del foro di diametro 20÷30 mm fino a raggiungere la profondità desiderata; pulire il foro mediante immissione di aria (se foro passante) o acqua al fine di evitare che il pulviscolo causato dalla perforazione offuschi le immagini; inserire la sonda endoscopica facendola avanzare in profondità con intervalli di 5 cm ispezionando visivamente le quattro direzioni (0°-90°-180°-270°); documentare la visione interna degli elementi indagati mediante memorizzazione di immagini e filmati e riportando, su apposito modulo, l'ubicazione delle anomalie riscontrate col commento; eseguire una foto dell'area di prova con inserito l'endoscopio.

Apparecchiatura

Utilizzare una sonda endoscopica rigida per lunghezze fino a 1 m e, preferibilmente, una sonda flessibile per lunghezze superiori, dotata in punta di gruppo ottico con sorgente luminosa e testa snodabile telecomandata tramite joystick. La trasmissione delle immagini deve essere trasmessa, mediante fibre ottiche, a un monitor a colori dotato di memoria di registrazione. Lo strumento deve essere dotato di un riferimento metrico indicante in maniera continua la posizione della porzione inquadrata.

Sicurezza

Utilizzare sempre: scarpe antinfortunistiche, casco, occhiali, oltre a guanti e mascherina durante l'esecuzione del foro.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

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

Allegare le foto del punto di esecuzione e le immagini fotografiche, e/o filmati, dell'endoscopia.

L'operazione va diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

5. PROVE SU STRUTTURE

5.1a Prova di carico statica con martinetti idraulici

La prova di carico si esegue su elementi strutturali orizzontali da collaudare o su cui è necessario misurare la capacità portante. La prova consiste nell'applicazione graduale di forze concentrate attraverso uno o più martinetti oleodinamici opportunamente contrastati alle strutture superiori al fine di determinare, attraverso delle forze concentrate su una superficie limitata di spinta, lo stesso momento massimo dovuto al carico distribuito. La prova consiste nell'applicazione del carico con modalità crescente, con la rilevazione, in tempo reale, in almeno 8 punti dell'elemento in prova. La prova va ripetuta almeno due volte per valutare gli aspetti di ripetibilità delle deformazioni. I tempi di stazionamento dei carichi devono essere tali da garantire la stabilizzazione delle frecce. Nel caso di tempi lunghi di stazionamento o di variazione della temperatura ambiente per ΔT superiori a 3°C è necessario prevedere 1 sensore di riferimento termico, con lunghezza delle aste di sostegno analoghe a quelle in prova. Il valore rilevato dal sensore di riferimento termico dovrà essere sommato depurato dalle misure di freccia in proporzione alle singole lunghezze delle aste di sostegno.

Condizioni operative

Vanno predisposte le apposite putrelle di base, di dimensioni di spinta pari a 100x20 cm, sul solaio, posizionandole ortogonalmente alla longitudine nella posizione decisa dal professionista incaricato all'analisi dei dati.

Le posizioni consuete sono:

- 1 forza → in mezzeria
- 3 forze → in mezzeria e quarti luce

Vanno inseriti i martinetti idraulici negli appositi innesti delle putrelle di base. I martinetti devono portare superiormente una putrella di distribuzione del carico, di dimensioni minime 100x10 cm, montate su apposito snodo sferico che garantisca la perfetta aderenza col solaio superiore.

Al martinetto posto in mezzeria va inserita la cella di carico che consente l'esatta misura della forza applicata.

Vanno poste 8 aste telescopiche a contrasto sul solaio inferiore con predisposto, sulla punta, i sensori elettronici di misura, posizionandone 5 in direzione longitudinale, 2 agli appoggi, 1 in mezzeria e 2 ai quarti luce, oltre a 2 in direzione perpendicolare all'asse principale, su un solo lato, al fine di misurare la collaborazione trasversale; il sensore di riferimento termico va posto in un punto non deformabile dalle forze applicate.

I martinetti vanno collegati in parallelo con la centralina oleodinamica.

I sensori vanno collegati via cavo, o con trasmissione wireless, all'unità di acquisizione e visualizzazione dei dati.

Procedura

Assicurarsi preventivamente della perfetta corrispondenza tra posizioni, e/o numerazione dei sensori, riportate nell'unità di acquisizione, con le posizioni poste in essere; l'operazione va eseguita in contatto tra l'addetto al movimento di verifica dei sensori e l'addetto alla acquisizione dei dati; azzerare tutti gli strumenti, sensori di misura e cella di carico; procedere alla applicazione del carico seguendo lo schema che prevede una applicazione graduale con step del 25% del carico atteso; ogni step, va ripetuto due volte prima di passare allo step superiore; ad ogni incremento di carico vanno verificati i valori di linearità, ripetibilità e residuo allo scarico; se positivi si procede allo step superiore; completati i cicli fino al massimo desiderato si procede a ripetere la prova al solo carico massimo al fine di valutare il residuo allo scarico già depurato degli eventuali assestamenti.

Procedere all'esecuzione di una foto del piano di carico coi martinetti e del piano di misura coi sensori di freccia.

Apparecchiatura

La centralina oleodinamica di controllo del carico deve essere gestibile con una regolazione fine delle pressioni esercitate in modo da garantire step minimi di 0,1 kN.

La rilevazione delle frecce deve essere effettuata con una attrezzatura computerizzata che consenta la visualizzazione in tempo reale dei dati e la memorizzazione degli stessi.

I sensori elettronici di misura delle frecce devono avere un'escursione minima di 10 mm, una sensibilità almeno di 0,001 mm, una linearità minima del 99,6%.

La cella di carico, collegata all'unità di acquisizione, per una visione continua del carico applicato, deve garantire, nella catena di collegamento strumento– cavo–unità, un errore massimo pari a $\pm 1,5\%$.

Tutte le attrezzature indicate devono possedere un certificato di taratura entro un anno dall'esecuzione della prova

Sicurezza

Tutte le normali dotazioni di sicurezza di cantiere: scarpe antinfortunistiche, casco e guanti.

Durante l'esecuzione della prova è necessario cautelarsi che nessuno sia all'interno dell'area di prova costituita dalla zona di carico o dalle zone potenzialmente cedenti in caso di rottura dell'elemento in prova.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome degli sperimentatori e dei presenti;
- data e ora della prova;
- caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;
- caratteristiche geometriche dell'elemento in prova;
- identificazione inequivocabile delle posizioni di carico e misura;
- temperatura ambiente;
- andamento temporale dei valori rilevati sottoforma di tabella e grafico.

Allegare le foto della zona di carico e di misura.

L'operazione va eseguita o diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

5.1b Prova di carico statica sacconi o contenitori d'acqua

La prova di carico si esegue su elementi strutturali orizzontali da collaudare o su cui è necessario misurare la capacità portante. La prova consiste nell'applicazione graduale del carico attraverso il riempimento di acqua di specifici sacconi, o appositi contenitori rigidi. La prova consiste nell'applicazione del carico con modalità crescente fino al raggiungere il momento massimo atteso o il taglio massimo in caso di verifica degli appoggi. Le rilevazioni delle frecce vanno effettuate in tempo reale, in almeno 8 punti dell'elemento in prova. La prova va ripetuta almeno due volte per valutare gli aspetti di ripetibilità delle misure. I tempi di stazionamento dei carichi devono essere tali da garantire la stabilizzazione delle frecce. Nel caso di tempi lunghi di stazionamento o di variazione della temperatura ambiente per ΔT superiori a 3°C è necessario prevedere 1 sensore di riferimento termico, con lunghezza delle aste di sostegno analoghe a quelle in prova. Il valore rilevato dal sensore di riferimento termico dovrà essere sommato algebricamente alle misure di freccia in proporzione alle singole lunghezze delle aste di sostegno.

Condizioni operative

Vanno posizionati i sacconi o i contenitori nella zona di prova posizionando il centro delle forze applicate al centro del solaio.

Vanno poste 8 aste telescopiche a contrasto sul solaio inferiore con predisposto, sulla punta, i sensori elettronici di misura, posizionandone 5 in direzione longitudinale, 2 agli appoggi, 1 in mezzzeria e 2 ai quarti luce, oltre ai 2 in direzione perpendicolare all'asse principale, su un solo lato, al fine di misurare la collaborazione trasversale; il sensore di riferimento termico va posto in un punto non deformabile dalle forze applicate.

I sensori vanno collegati via cavo, o con trasmissione wireless, all'unità di acquisizione e visualizzazione dei dati.

Procedura

Assicurarsi preventivamente della perfetta corrispondenza tra posizioni, e/o numerazione dei sensori, riportate nell'unità di acquisizione, con le posizioni poste in essere; l'operazione va eseguita in contatto tra l'addetto al movimento di verifica dei sensori e l'addetto alla acquisizione dei dati; azzerare gli strumenti di misura; procedere alla applicazione del carico inserendo l'acqua nei o nei sacconi o contenitori seguendo lo schema che prevede una applicazione graduale con step del 25% del carico atteso; ad ogni incremento di carico vanno verificati i valori di linearità, se positivi si procede allo step superiore; l'incremento del carico va misurato attraverso l'altezza d'acqua rilevata in vari punti per consentire una misura precisa anche nel caso di uso dei sacconi; va misurata la quantità di acqua immessa attraverso un contatore di litri; completati i cicli fino al massimo desiderato si procede a ripetere la prova al solo carico massimo al fine di valutare la ripetibilità ed il residuo allo scarico già depurato degli eventuali assestamenti.

Procedere all'esecuzione di una foto del piano di carico e del piano di misura coi sensori di freccia.

Apparecchiatura

I sacconi d'acqua o i contenitori devono prevedere delle apposite bocche di accesso per garantire la non fuoriuscita dell'acqua durante le fasi di riempimento.

La rilevazione delle frecce deve essere effettuata con un'attrezzatura computerizzata che consenta la visualizzazione in tempo reale dei dati e la memorizzazione degli stessi.

I sensori elettronici di misura delle frecce devono avere un'escursione minima di 10 mm, una sensibilità almeno di 0,001 mm, una linearità minima del 99,6%.

Tutte le attrezzature indicate devono possedere un certificato di taratura entro un anno dall'esecuzione della prova.

Sicurezza

Tutte le normali dotazioni di sicurezza di cantiere: scarpe antinfortunistiche, casco e guanti. Durante l'esecuzione della prova è necessario cautelarsi che nessuno sia all'interno dell'area di prova costituita dalla zona di carico o dalle zone potenzialmente cedenti in caso di rottura dell'elemento in prova.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome degli sperimentatori e dei presenti;
- data e ora della prova;
- caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;
- caratteristiche geometriche dei sacconi o dei contenitori;
- caratteristiche geometriche dell'elemento in prova;
- identificazione inequivocabile delle posizioni di carico e misura;
- temperatura ambiente;
- andamento temporale dei valori rilevati sottoforma di tabella e grafico.

Allegare le foto della zona di carico e di misura.

L'operazione va eseguita o diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

5.2a Caratterizzazione dinamica di un edificio

Lo scopo della caratterizzazione dinamica di un edificio è di individuare sperimentalmente le frequenze libere di vibrazione e le forme modali.

La rilevazione di questi parametri, legati a tutte le caratteristiche geometriche, meccaniche e di vincolo della struttura, consente di fornirsi di valori sperimentali riconfrontabili nel tempo. Questa condizione permette una verifica, in tempi lunghi, delle condizioni generali dell'opera particolarmente utile in caso di evento sismico.

I valori rilevati rappresentano un fondamentale supporto per la calibrazione dei modelli numerici, ottenuta facendo corrispondere, attraverso la modifica dei parametri di input (moduli elastici, gradi di vincolo...) forme e frequenze modali tra risultati sperimentali e valori teorici.

Consente una corretta predisposizione delle campagne di indagini sui materiali, come prevista dal TU per i vari Livelli di Conoscenza, distribuendo le quantità di prova più sugli elementi maggiormente sollecitati in caso sismico.

La sollecitazione è dovuta al solo microtremore di fondo.

Per l'esecuzione di questa misurazione vanno impiegate almeno 4 terne microsismiche contemporaneamente. La posizione va individuata in base a una prima valutazione delle forme teoriche predisponendosi nei piani di maggiore deformazione e nei punti di flesso.

Sono necessari i rilievi su ogni angolo esterno dei singoli blocchi posizionando gli strumenti nei pressi dei nodi. Gli strumenti saranno posti almeno ogni due/tre piani ed in accoppiamento in caso di giunti. Tenuto conto della grande quantità di punti di misura devono essere sempre conservate due posizioni fisse, questo permette una sincronizzazione virtuale di tutte le rilevazioni da effettuare in fase di analisi.

La misura va completata con le vibrazioni rilevate al terreno circostante in modo da consentire la depurazione degli effetti antropici.

Condizioni operative

Per l'effettuazione di questa indagine è necessario che all'interno della struttura siano annullate tutte le sollecitazioni derivanti da lavorazioni, funzionamento di macchine, movimento di persone.

Anche la riduzione dei fenomeni antropici è utile alla buona riuscita della rilevazione, per questo vanno preferite le giornate o gli orari utili allo scopo.

Procedura

Posizionare le terne microsismiche nei punti selezionati, scelti in base a un preventivo studio del modello numerico teorico; verificare il loro perfetto appoggio; verificare il loro collegamento radio con la terna master; procedere alla sincronizzazione di tutti gli strumenti; verificare che le condizioni di "silenzio" interno alla struttura siano reali; procedere alla memorizzazione dei dati con uno scansionamento di 128 Hz ed un tempo minimo di 8 minuti; ripetere la misura per almeno 3 volte con tempi di intermezzo di almeno 30 minuti; alla fine delle prove verificare che gli strumenti abbiano realmente acquisito i dati trasferendoli per una prima visualizzazione in un computer.

Eeguire la misurazione al terreno in almeno due punti distinti.

Effettuare la foto della struttura e di tutti i sensori applicati.

Apparecchiatura

Tromografi digitali Microsismic 6S, costituiti ciascuno da 1 terna accelerometrica e 2 terne geofoniche. Le caratteristiche dei sensori sono: fondo scala accelerometri: ± 3 g nella banda 0.5 Hz-1600 Hz per gli assi X e Y e 0.5 Hz- 550 Hz per l'asse Z; densità di potenza spettrale del rumore è $280 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ rms per gli assi X e Y e $350 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ rms per l'asse Z. Le apparecchiature devono essere collegabili tra loro via radio per consentire la sincronizzazione del segnale.

Tutte le attrezzature indicate devono possedere un certificato di taratura entro un anno dall'esecuzione della prova.

Sicurezza

Tutte le normali dotazioni di sicurezza di cantiere.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome degli sperimentatori e dei presenti;
- data e ora della prova;
- caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;
- schema strutturale dell'edificio in esame;
- identificazione delle posizioni degli strumenti e delle direzioni di misura delle terne;
- temperatura ambiente;
- analisi dei dati nel dominio dei tempi e delle frequenze;
- ricostruzione delle forme modali principali in forma tridimensionale;
- valutazione delle percentuali di accelerazioni per le singole direzioni X, Y, X per ogni forma modale.

Allegare le foto di tutte le posizioni di misura e dell'edificio.

L'operazione va eseguita o diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

5.2b Modello geometrico dinamico di un edificio

Sulla base della storia temporale dei segnali acquisiti attraverso le modalità indicate nella prova 5.2a, caratterizzazione dinamica di un edificio, devono essere elaborate le forme modali attraverso la costruzione di un modello geometrico dinamico ai cui nodi saranno applicate le storie temporali delle acquisizioni sperimentali effettuate nelle diverse configurazioni. Tale modello, nel suo insieme, è sottoposto ad analisi EFDD (Enhanced Frequency Domain Decomposition): sfruttando la natura aleatoria della sollecitazione ambientale, tale analisi deve essere eseguita sia per ogni singola configurazione che per l'insieme delle configurazioni, anche se acquisite in momenti diversi. Il modello geometrico dinamico dovrà fornire le forme modali almeno fino al III° modo di vibrare. Per garantire il confronto con successive verifiche di altre strutture o sugli stessi edifici nel tempo il software di elaborazione dei modelli geometrici dovrà essere ARTEMIS o analogo software in grado di eseguire un'analisi EFDD.

5.2c Caratterizzazione dinamica del terreno

Riferimento normativo: SESAME 2005

Lo scopo dell'indagine dinamica del terreno è di individuare sperimentalmente le frequenze del terreno mediante la tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) o dei rapporti spettrali H/V; dalle registrazioni del rumore sismico ambientale su terreno vengono ricavate le curve H/V, secondo la procedura classica descritta nel progetto denominato SESAME - *Site EffectS Assessment using Ambient Excitations* - (2005) che si è occupato di stabilire delle linee guida per la corretta esecuzione delle misure di microtremore ambientale in stazione singola e array, dove si è certificata l'affidabilità delle misure spettrali per la ricostruzione sismica del sottosuolo.

La misura va effettuata in almeno due punti del contorno dell'edificio e in caso di risultati diversi procedere all'analisi di più punti.

Condizioni operative

Per l'effettuazione di questa indagine è necessario che all'interno della struttura, intorno alla quale si procede alla caratterizzazione del terreno, siano annullate tutte le sollecitazioni derivanti da lavorazioni e funzionamento di macchine. Anche la riduzione dei fenomeni antropici è utile alla buona riuscita della rilevazione, per questo vanno preferite le giornate o gli orari utili allo scopo.

Procedura

Posizionare le terne microsismiche nei punti selezionati facendo attenzione che il terreno su cui è posto lo strumento sia, possibilmente, quello naturale senza successive manipolazioni; verificare il loro perfetto ancoraggio attraverso l'infissione degli appositi piedini; verificare il loro collegamento radio con la tema master; procedere alla sincronizzazione degli strumenti; verificare che le condizioni di "silenzio" interno alla struttura siano reali; procedere alla memorizzazione dei dati con uno scansionamento di 128 Hz e un tempo minimo di 8 minuti; ripetere la misura per almeno 3 volte con tempi di intermezzo di almeno 30 minuti; alla fine delle prove verificare che gli strumenti abbiano realmente acquisito i dati trasferendoli per una prima visualizzazione in un computer.

Effettuare la foto della struttura e dell'area di terreno con le terne in misura.

Apparecchiatura

Tromografi digitali Microsismic 6S, costituiti ciascuno da 1 terna accelerometrica e 2 terne geofoniche. Le caratteristiche dei sensori sono: fondo scala accelerometri: ± 3 g nella banda 0.5 Hz-1600 Hz per gli assi X e Y e 0.5 Hz- 550 Hz per l'asse Z; densità di potenza spettrale del rumore $280 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ rms per gli assi X e Y e $350 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ rms per l'asse Z. Le apparecchiature devono essere collegabili tra loro via radio per consentire la sincronizzazione del segnale.

Tutte le attrezzature indicate devono possedere un certificato di taratura entro un anno dall'esecuzione della prova.

Sicurezza

Tutte le normali dotazioni di sicurezza di cantiere.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome degli sperimentatori e dei presenti;
- data e ora della prova;
- caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;
- schema strutturale dell'edificio in esame;
- identificazione delle posizioni degli strumenti e delle direzioni di misura delle terne;
- temperatura ambiente;
- analisi dei dati nel dominio dei tempi e delle frequenze;
- ricostruzione delle forme modali principali in forma tridimensionale.

Allegare le foto di tutte le posizioni di misura e dell'edificio.

L'operazione va eseguita o diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

5.3 Movimento delle fessurazioni con sistema multicanale in linea - monitoraggio

Lo scopo del monitoraggio è il controllo costante dell'andamento delle fessure nel tempo. Le misure sono effettuate con sensori potenziometrici centesimali posti a cavallo delle fessure. Sono associabili a sensori di rotazione, di vibrazione, di spostamento relativo, di movimento verticale assoluto, di forza, di livello della falda, di temperatura dell'ambiente e di temperatura del materiale. Il monitoraggio vuole esercitare un'opera di prevenzione allo scopo di limitare gli interventi postumi mantenendo intatto il grado di sicurezza dell'opera e la continuità del servizio. Il sistema di monitoraggio consiste in un'unità di acquisizione computerizzata che controlla e gestisce una serie di sensori collegati via cavo o in forma wireless. L'unità remota memorizza i dati a tempi programmati ed è collegata telematicamente agli utenti abilitati. Allarma automaticamente, al superamento di soglie prefissate, inviando sms e/o accendendo spie luminose o acustiche. Collegandosi in linea si può procedere a una verifica del perfetto funzionamento di tutti gli strumenti e si può procedere al trasferimento dei dati al proprio supporto informatico. La procedura di trasferimento dei dati deve essere programmabile con cadenze settimanali. Semestralmente è necessaria una verifica manutentiva sul sito. I sistemi di acquisizione vanno collegati alla linea elettrica o a celle fotovoltaiche.

5.4 Cedimenti assoluti con tazze livellometriche - monitoraggio

Lo scopo del monitoraggio con livellometri è il controllo costante dell'eventuale cedimento delle fondazioni. Sono impiegati degli strumenti, livellometri, collegati tra loro da un tubo idraulico che permette il conseguimento del fenomeno dei vasi comunicanti. I livellometri, pertanto, vanno posti su una stessa linea orizzontale. Va sempre posto almeno un livellometro in una posizione ritenuta "non cedevole" per rilevare la differenza. Se questa condizione non è a distanze accettabili si dovrà procedere con una misura topografica, saltuaria, su un livellometro preso di riferimento. I livellometri hanno al loro interno uno strumento di misura elettronica del livello del liquido (liquido anticongelante). I Livellometri sono associabili a sensori di rotazione, di vibrazione, di spostamento relativo, di movimento verticale assoluto, di forza, di livello della falda, di temperatura dell'ambiente e di temperatura del materiale.

Il monitoraggio vuole esercitare un'opera di prevenzione allo scopo di limitare gli interventi postumi mantenendo intatto il grado di sicurezza dell'opera e la continuità del servizio.

Il sistema di monitoraggio consiste in un'unità di acquisizione computerizzata che controlla e gestisce una serie di livellometri collegati via cavo o in forma wireless. L'unità remota memorizza i dati a tempi programmati ed è collegata telematicamente agli utenti abilitati. Allarma automaticamente, al superamento di soglie prefissate, inviando sms e/o accendendo spie luminose o acustiche. Collegandosi in linea si può procedere a una verifica del perfetto funzionamento di tutti gli strumenti e si può procedere al trasferimento dei dati al proprio supporto informatico. La procedura di trasferimento dei dati deve essere programmabile con cadenze settimanali. Semestralmente è necessaria una verifica manutentiva sul sito. I sistemi di acquisizione vanno collegati alla linea elettrica o a celle fotovoltaiche.

5.5 Indagine tramite georadar - monitoraggio

L'indagine con Georadar, attraverso l'utilizzo di onde radar, consente di esaminare i materiali indagati senza interferire nelle loro caratteristiche fisiche, meccaniche e chimiche, in particolare, è possibile identificare interfacce tra livelli dotati di differente resistività e costante dielettrica. Un impulso elettromagnetico della durata di pochi nanosecondi, inviato nel mezzo tramite un'antenna trasmittente, viene in parte riflesso dalle interfacce tra livelli in contrasto elettromagnetico e in parte trasmesso nei livelli sottostanti. I segnali riflessi sono captati in superficie tramite un'antenna ricevente che può essere la stessa utilizzata per la trasmissione (configurazione monostatica). L'acquisizione dei dati è effettuata spostando in linea retta l'antenna trasmittente/ricevente (adagiata sulla superficie da scansionare) ed eventuali oggetti puntuali presenti al di sotto della superficie scansionata generano delle immagini radar ("o radargrammi") con le caratteristiche forme ad iperbole. Per l'individuazione degli oggetti e/o delle stratificazioni si deve procedere a più scansioni parallele e perpendicolari tra loro tali da creare un reticolo. La scansione deve permettere la restituzione di sezioni tomografiche esplicative delle zone indagate. Se necessario deve essere possibile utilizzare sistemi georadar dotati di array fino a quattro antenne, che permettono di acquisire contemporaneamente fino a otto sezioni radar, con un'unica scansione.

5.6 Rilievo tramite laser-scanner - monitoraggio

Lo scopo del rilievo Laser Scanner è di rilevare con precisione le forme trigonometriche delle strutture in esame consentendo una trasposizione successiva in disegno CAD e una misurazione semplice delle distanze tra i punti. Il Laser Scanner produce una nuvola di punti 3D (a ogni pixel corrisponde una coordinata polare e una cartesiana) all'interno della quale si possono eseguire analisi, misurazioni e inoltre devono essere possibile generare degli oggetti 3D, e al successivo modello CAD. L'acquisizione prevede il posizionamento dello strumento sul treppiede telescopico la cui base è disposta orizzontalmente mediante un controllo con bolla sferica. Il rilievo tridimensionale avviene attraverso la memorizzazione delle misure sul computer collegato al laser scanner impostato con i parametri di acquisizione tra cui l'area e la risoluzione richiesta. Il risultato è una nuvola di punti a ognuno dei quali sono associate le coordinate spaziali e le informazioni sul colore. Dalla nuvola di punti si devono ricavare le sezioni o gli interi modelli tridimensionali degli spazi analizzati. Per una completa visualizzazione spaziale della struttura analizzata si dovranno eseguire più postazioni per eliminare tutte le zone d'ombra.

5.7 Indagine termografica

Normativa di riferimento: UNI EN 13187:2000 "Prestazione termica degli edifici – Rivelazione qualitativa delle irregolarità termiche negli involucri edilizi – Metodo all'infrarosso"

L'indagine termografica è un tipo di rilievo dalle molteplici applicazioni sia nell'ambito dell'Ingegneria Civile che Industriale.

Si utilizzano telecamere sensibili nel campo dell'infrarosso IR, comunemente dette termocamere, riprendendo la superficie da esaminare sollecitata termicamente o sfruttando sorgenti naturali quali ad esempio il soleggiamento, ovvero utilizzando sorgenti artificiali quali stufe, convogliatori d'aria calda a cannone etc.

E' necessario che esista un flusso termico fra la superficie ripresa e l'ambiente nel quale è posizionato l'operatore con la termocamera.

Da tali riprese, definite termografie, si procede, con appositi software alla realizzazione di mappe termografiche il cui andamento delle bande di colore corrisponde a linee isoterme.

Principali applicazioni pratiche possono essere:

- analisi di omogeneità di paramenti murari (superfici verticali oppure orizzontali) con particolare attenzione all'individuazione di zone di distacco delle superfici di rivestimento (intonaci in particolare);
- individuazione di zone umide e di zone preferenziali per la dispersione del calore;
- individuazione di cavità;
- lettura dell'organismo strutturale nascosto dai rivestimenti.

Il principio di funzionamento si basa sul fatto ogni oggetto avente temperatura al di sopra dello zero assoluto emette raggi infrarossi che sono invisibili all'occhio umano. La termocamera è in grado di intercettare i raggi infrarossi e da questi calcola la temperatura dell'oggetto. Il calcolo tiene conto di alcune costanti fisiche quali l'emissività ε ed il fattore di riflessione ρ che devono a priori essere impostati sulla termocamera.

La termografia è un metodo di misura passivo cioè senza contatto con l'oggetto. L'immagine termica mostra la temperatura sulla superficie dell'oggetto, ciononostante, se elementi collocati sotto la superficie influenzano la distribuzione della temperatura sulla superficie dell'oggetto di misura tramite conduzione, può essere individuato il design della struttura interna all'oggetto.

Area di misura

Occorre considerare tre variabili per individuare la distanza di misura appropriata e l'oggetto di misura massimo visibile o misurabile:

- Il campo visivo FOV (che dipende dalla lente usata);
- Il più piccolo oggetto identificabile IFOV_{geo};
- Il più piccolo oggetto/area di misura misurabile IFOV_{meas}.

Condizioni operative

Impostare sulla termocamera l'emissività del materiale (ricavabile sperimentalmente oppure in letteratura) prima di iniziare la ripresa.

Le condizioni di rilevazione ideali sono:

- se all'aperto condizioni atmosferiche stabili;
- cielo nuvoloso;
- assenza di luce solare diretta e di precipitazioni;
- superfici asciutte;
- assenza di vento e di correnti d'aria.

E' inoltre opportuno:

- mantenere la distanza di misura quanto più piccola possibile;
- per i dettagli usare la termocamera montata su un cavalletto;
- usare una termocamera con integrata una fotocamera digitale in modo da potersi meglio orientare nell'analisi successiva.

Sicurezza

- Tutte le normali dotazioni di sicurezza di cantiere: scarpe antinfortunistiche, casco e guanti.

Resoconto di prova

- Nome degli sperimentatori e dei presenti;
- Data ed ora della prova/misura;
- Caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;
- Identificazione dell'oggetto di prova ed orientamento rispetto ai punti cardinali.

Allegare le foto della zona di prova sia nel campo dell'IR che del visibile.

L'operazione va eseguita o diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

6. PROVE SU TERRENI E PALI DI FONDAZIONE

6.1 Prova di carico statica su palo di fondazione

La prova di carico su pali si esegue per determinare la capacità portante di un palo singolo. Sebbene possa essere dedotta per via analitica è tuttavia necessario avere informazioni effettive sul comportamento del palo in sito. Per ottenere la portata di una palificata è comunque necessaria un'extrapolazione in quanto la prova di carico può essere condotta su un palo singolo. Le prove possono essere eseguite con due finalità distinte: prove pilota e prove di collaudo. Le prove pilota sono test su pali appositamente costruiti che servono al progettista a verificare la reale capacità portante e che dovrebbero essere condotte fino all'infissione del palo. Le prove di collaudo sono quelle previste dalla norma e si spingono a un valore superiore a quello di progetto (generalmente superiore del 50%). La prova consiste nell'applicare un carico progressivo mediante martinetti apposti sulla testa del palo opportunamente attrezzata solitamente con un dado e comunque livellata. La misura del carico applicato può essere effettuata con un manometro di precisione o una cella di carico. Solitamente la prova di collaudo è condotta mediante due cicli di carico. Il primo dovrà raggiungere il carico di progetto mentre il secondo il carico di prova. Le deformazioni vanno misurate da appositi strumenti in numero di almeno 3 posti a 120° tra loro e vanno letti preferibilmente da centralina di acquisizione che potrà essere impostata anche per letture automatizzate. Gli strumenti vanno collocati su apposito castelletto in modo da non risentire delle deformazioni del terreno nell'area circostante il palo in prova.

Condizioni operative

Deve essere predisposto il palo di prova costruendo un dado in cls armato in modo di trasmettere il carico al palo e comunque la testa di quest'ultimo deve essere livellata; va inoltre costruito il contrasto che dovrà essere adeguato al carico da applicare. Può essere realizzato mediante una zavorra oppure mediante una struttura di contrasto solitamente ancorata a pali adiacenti quindi sottoposti a trazione. I pali di contrasto devono essere distanti almeno 4 volte il diametro dal palo in prova. Deve essere inoltre costruito un castelletto per il collocamento dei comparatori in modo che non siano influenzati dal carico quindi appoggiata al terreno distante sia dal palo in prova sia dal contrasto. L'apparato dovrà essere protetto dagli agenti atmosferici.

Procedura

Collocare il martinetto o i martinetti sul dado in corrispondenza del contrasto; collocare i comparatori in modo che misurino il cedimento del palo rispetto al castelletto realizzato; eseguire un ciclo di prova con carico pari a $\cong 1/10$ del carico di prova per verificare il funzionamento complessivo dell'apparato; iniziare il 1° ciclo con gradini di carico pari massimo almeno a 1/4 del carico previsto; passare al gradino successivo alla stabilizzazione dei cedimenti e comunque quando il cedimento è $< 0,1$ mm nell'intervallo di 30 minuti.

Apparecchiatura

Centralina oleodinamica per applicazione del carico tramite appositi martinetti con lettura pressione tramite manometro di precisione 0 – 600 Bar o in alternativa cella di carico da pali; Acquisitore dati da trasduttori di cedimento collegato a PC con dati letti in tempo reale con memorizzazione manuale ed automatica (i valori dovranno essere memorizzati contestualmente al carico e all'orario di lettura);

Sicurezza

Tutte le normali dotazioni di sicurezza di cantiere; durante l'esecuzione della prova è vietato accedere in prossimità dell'apparato di prova (martinetti, palo, contrasto) in quanto eventuali possibili rotture soprattutto del contrasto potrebbero proiettare frammenti in prossimità di esso.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome degli sperimentatori e dei presenti;
- data e ora della prova;
- caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;
- caratteristiche del palo in prova (ϕ e lunghezza di progetto);
- identificazione inequivocabile del palo in prova (preferibilmente su planimetria fornita);
- temperatura inizio e fine prova;
- valori rilevati sottoforma di tabella e grafici, in particolare vanno forniti diagramma carico – tempo, tempo – cedimenti e carico – cedimenti;

Allegare le foto del palo in prova e dell'apparato di contrasto.

L'operazione va eseguita o diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

6.2 Prova di carico dinamica su palo di fondazione – Metodo Case

La prova consiste nell'applicazione di un carico dinamico con una forza assiale fino al raggiungimento di 1,5 volte l'azione di progetto (o 2,5 volte per pali campione) e determinazione della portata statica assiale allo stato ultimo dei pali di fondazione mediante la conoscenza di forza e velocità indotte da un sistema di sollecitazione impulsivo, generata da una massa in caduta libera, rilevando l'andamento della deformazione e dell'accelerazione indotta alla testa del palo.

La sollecitazione avverrà tramite una massa di caduta di peso superiore al 1% del carico di progetto e dovrà essere gestita da un sistema meccanico o oleodinamico che garantisca la perfetta assialità della linea di caduta con l'asse del palo.

La massa di caduta dovrà essere confinata, nel suo percorso di caduta, all'interno di un telaio o tubo che ne garantisca il movimento senza oscillazioni e con un contatto perfettamente parallelo alla superficie di contatto del palo.

La procedura di rilascio della massa, per motivi di sicurezza, dovrà avvenire da una altezza variabile fino al massimo 120 cm.

La massa sarà lasciata cadere sulla testa del palo da diverse altezze, a passi crescenti di 20 cm, fino al raggiungimento dell'energia necessaria a far entrare in gioco tutte le resistenze del sistema palo-terreno.

Strumentazione della testa del palo con 2 coppie di sensori costituite ognuna da un estensimetro ed un accelerometro. Gli strumenti saranno posizionati ad una distanza dalla testa di almeno 1,5 volte il diametro del palo.

Una prima elaborazione, in tempo reale, dovrà fornire tutta una serie di risposte, forza applicata, deformazione della testa, accelerazione della testa, eventuali difetti lungo il palo, che consentano di gestire l'avanzamento della prova fino al raggiungimento del carico voluto.
capacità portante.

Condizioni operative

Il palo va predisposto con un dado di calcestruzzo che garantisca una perfetta superficie di contatto tra massa in caduta e palo. Il palo va liberato per una altezza che permetta agli operatori di installare i sensori che vanno posti ad una distanza dalla testa pari a 1,5 volte il diametro del palo. Vanno predisposte, attraverso scarifica, due superfici piane di circa 20 x 20 cm, diametralmente opposte nella posizione dove andranno fissati i sensori.

Procedura

Si procede al fissaggio dei 4 sensori, due accelerometri e due estensimetri, nelle finestre scapitozzate già predisposte.

Si procede a porre la massa di caduta sopra il palo interponendo l'apposita gomma di contatto.

Si procede inserendo la camicia del maglio capace di sollevare autonomamente le masse fino alle altezze di cadute previste.

Si procede al collegamento tra Unità di acquisizione ed elaborazione ai sensori.

Si procede all'esecuzione della prova con altezze via via più grandi fino al raggiungimento del carico previsto

Apparecchiatura

L'apparecchiatura è composta da:

- 2 accelerometri;
- 2 estensimetri;
- una unità di acquisizione ed elaborazione;
- da un maglio con autonomia di gestione della caduta della massa che garantisce la perfetta linearità della caduta senza oscillazioni;
- da una serie di masse componibili fino al raggiungimento di almeno 1% del carico di progetto.

Sicurezza

Tutte le normali dotazioni di sicurezza di cantiere: scarpe antinfortunistiche, casco e guanti.

Durante l'esecuzione della prova è necessario cautelarsi che nessuno sia all'interno dell'area di prova costituita dalla zona di prova per un raggio di almeno 3 metri.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome degli sperimentatori e dei presenti;
- data e ora della prova;
- caratteristiche geometriche dell'elemento in prova;
- identificazione inequivocabile delle posizioni di carico e misura;
- caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;
- temperatura ambiente;
- andamento temporale dei valori rilevati sottoforma di tabella e grafico.

Allegare le foto della zona di carico e di misura.

L'operazione va eseguita o diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

6.3 Rilevazione delle caratteristiche meccaniche di un palo – Cross Hole

Lo scopo di questa tecnica d'indagine è la verifica dell'integrità dei pali di fondazione con l'obiettivo di individuare eventuali anomalie lungo il fusto relative a variazioni repentine di diametro, inclusioni interne alla gabbia d'armatura o interruzioni lungo la sezione.

La prova, descritta nelle UNI EN 12504 - 4:2005, è eseguita per mezzo di particolari sonde che sono inserite all'interno di tubi posti nelle strutture fondali anche fino a sezioni molto profonde. Nei pali usualmente i tubi sono 3, disposti a triangolo equilatero mentre per i diaframmi variano da 4 a 6 distanti non più di 1 m. I tubi sono in acciaio o PVC, di diametro 50 mm, e tali che al proprio interno, le sonde possono scorrere liberamente per tutta la loro lunghezza. A tal proposito nel collegamento fra i vari spezzoni di tubo si presti la massima attenzione affinché eventuali ringrossi interni non ostacolino lo scorrere delle sonde.

I tubi vanno preventivamente collegati alla gabbia d'armatura e ad essa vanno legati in modo tale che mantengano, durante la fase di discesa della stessa nel foro, immutata la loro distanza. Tali tubi devono essere otturati al fondo e riempiti con acqua poco prima dell'esecuzione delle misure.

I tubi d'ispezione devono fuoriuscire dal fusto del palo per consentire un comodo aggancio dei sostegni degli argani utilizzati per filare le sonde.

Procedura

Le sonde vanno inserite all'interno dei tubi e, per mezzo di un sistema ad argani sono portate a fondo foro e successivamente richiamate verso la superficie avendo cura di verificare continuamente il loro allineamento in quota; durante la risalita verranno eseguite le misure del tempo di volo (tempo necessario perchè il segnale emesso dalla sonda Trasmittente venga ricevuto dalla sonda Ricevente) ad esempio una ogni 5 cm di risalita e comunque con un passo adeguato alla lunghezza complessiva del palo/diaframma. Attraverso questa misura di tempo, conoscendo la distanza tra i tubi, si potrà calcolare la velocità di transito che dipende oltre che dalle caratteristiche fisiche del materiale interposto anche dalla presenza di difetti quali ad esempio cavità, intrusioni terrose, decadimenti localizzati.

E' importante che la prova venga eseguita avendo cura di verificare che il calcestruzzo abbia almeno una settimana di maturazione; nell'interpretazione dei risultati si tenga presente che le informazioni ottenute si riferiscono al materiale interposto fra i tubi.

Apparecchiatura

L'apparecchiatura da utilizzare consiste in un generatore d'impulsi elettrici, una coppia di trasduttori, un amplificatore e un dispositivo elettronico per la misurazione dell'intervallo di tempo che intercorre tra la partenza di un impulso generato dal trasduttore emittente e il suo arrivo al trasduttore ricevente. La presenza di una barra di calibrazione fornisce le linee di riferimento per la misurazione della velocità.

Devono essere disponibili due distinti sistemi di misura dei tempi:

- un oscilloscopio sul quale il primo fronte di impulso è visualizzato in relazione ad una scala di tempo idonea;
- un contatore dei tempi con un display digitale a lettura diretta.

L'apparecchiatura deve essere conforme ai requisiti prestazionali seguenti:

- deve essere in grado di misurare tempi di transito sulla barra di calibrazione fino a uno scostamento limite di $\pm 0,1 \mu s$ e una accuratezza del 2%;

- l'impulso di eccitazione elettronica applicato al trasduttore emittente deve avere un tempo di salita non maggiore di un quarto del suo periodo naturale. Ciò consente di garantire una forte pendenza del fronte d'onda di partenza;
- la frequenza di ripetizione degli impulsi deve essere sufficientemente bassa per assicurare che il fronte del segnale ricevuto sia privo di interferenze da riverberi;
- la frequenza naturale dei trasduttori dovrebbe essere compresa nell'intervallo da 20 kHz a 150 kHz.

Normativa di riferimento

UNI 1250404_2005 – Prove sul calcestruzzo nelle strutture “Determinazione della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici”

ASTM D6760-8

D.M. del 14 gennaio 2008 (Art. 6.4.3.6)

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive. - Febbraio 2008

Sicurezza

Tutte le normali dotazioni di sicurezza di cantiere: scarpe antinfortunistiche, casco e guanti e, svolgendosi tali misure frequentemente in campo aperto anche il giubino di alta visibilità.

Durante l'esecuzione della prova è necessario che tutti i cablaggi vengano opportunamente raccolti e segnalati onde evitare il rischio di inciampo; è comunque preferibile che nessuno sia all'interno dell'area di d'interesse.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome degli sperimentatori e dei presenti;
- data e ora della prova;
- caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;
- caratteristiche geometriche dell'elemento in prova;
- identificazione inequivocabile delle posizioni di carico e misura;
- temperatura ambiente ed assenza o presenza di vento;
- andamento temporale dei valori rilevati sottoforma di tabelle e grafici.

Andranno allegate le foto della zona di intervento e, se disponibili, delle planimetrie con l'ubicazione delle singole prove eseguite.

L'operazione va eseguita o diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

6.4 Prova di integrità del palo a bassa energia di impatto, PIT

Riferimento normativo: ASTM D 5882-07 - "Standard Test Method for Low Strain Impact Integrity Testing of Deep Foundations"

L'impiego principale di questa tecnica d'indagine è la verifica dell'integrità dei pali di fondazione, allo scopo di individuare eventuali anomalie lungo il fusto relative a variazioni repentine di diametro, inclusioni interne o interruzioni lungo la sezione e fornire una stima della lunghezza effettiva del palo in opera.

L'indagine si esegue sollecitando la testa del palo con un martello e registrando l'impulso di risposta attraverso un accelerometro posto in sommità del palo.

Non sono necessarie predisposizioni particolari sui pali al momento della realizzazione, se non un'accurata scapitozzatura prima dell'esecuzione delle prove stesse.

Le anomalie riscontrabili sono relative a difetti macroscopici che potrebbero indicare una riduzione della capacità portante del palo o relative a una lunghezza rilevata difforme da quella di progetto.

L'individuazione di eventuali difetti di piccola entità presenta maggiori difficoltà ed è legata soprattutto all'esperienza dell'operatore.

Analisi d'integrità e stima della lunghezza del palo: nell'uso comune, i segnali ottenuti vanno analizzati nel dominio dei tempi (PEM).

Si possono genericamente utilizzare le seguenti denominazioni:

SIT (Sonic Integrity Test), PIT (Pile Integrity Test), Prova ecometrica a bassa energia d'impatto, Echo Test, Sonic Test, Integrity Test.

Analisi d'integrità, stima della lunghezza e valutazione qualitativa delle caratteristiche del palo: in questo caso è necessario utilizzare durante la prova un martello strumentato con una cella di carico, che consente di quantificare l'entità dell'impulso applicato al momento della sollecitazione del palo. L'analisi dei segnali viene eseguita anche nel dominio delle frequenze (TRM), eseguendo la Trasformata di Fourier (FFT) del segnale e utilizzando sia i valori di forza ottenuti dall'uso del martello strumentato, sia i valori di velocità ottenuti integrando i valori di accelerazione registrati dall'accelerometro.

Condizioni operative

L'esecuzione dell'indagine è possibile dopo almeno 8/10 giorni di maturazione.

Il palo deve essere scapitozzato fino al calcestruzzo consistente e coerente, utilizzando nell'ultima parte un martello demolitore di piccole dimensioni per evitare fessurazioni della testa.

La superficie della testa deve essere asciutta, piana, non regolata con malta ma scabra per l'affiorare degli inerti e pulita con un getto d'aria compressa.

La testa del palo deve essere svincolata da solette, travi, libera da acqua stagnante e ben accessibile dall'operatore.

Nel caso resti scoperta la gabbia d'armatura, si dovranno eventualmente piegare alcuni ferri per accedere al nucleo del palo.

Nel caso la gabbia d'armatura crei un effetto di risonanza al momento dell'impatto del martello, ben visibile sull'acquisitore con un segnale armonico, si dovranno legare le barre d'armatura rendendole solidali e cercando di annullare la vibrazione.

Procedura

Scegliere il martello con massa adeguata alla massa del palo da testare.

Testare con il martello la testa del palo per verificare se ci sono zone incoerenti, distaccate, fessurate o di calcestruzzo non buono.

Preparare l'accelerometro con l'accoppiante.

Impostare i parametri di input sull'acquisitore, collegare l'accelerometro e eventualmente il martello strumentato (per prova di Ammettenza Meccanica).

Posizionare l'accelerometro e eseguire la serie di battute fino al completamento dell'acquisizione (con un minimo di tre battute).

Verificare a display se l'acquisizione è valida e il segnale ben leggibile. In caso contrario ripetere la prova spostando sia l'accelerometro sia il punto d'impatto del martello.

Ripetere più volte l'acquisizione nel caso ci siano dubbi sulla validità del segnale acquisito o dubbi sull'integrità del palo.

Apparecchiatura

Unità di acquisizione.

Accelerometro cablato o wireless.

Materiale accoppiante per l'accelerometro.

Serie di martelli semplici di almeno tre masse differenti.

Serie di martelli strumentati, cablati o wireless.

Sicurezza

Tutte le normali dotazioni di sicurezza di cantiere: scarpe antinfortunistiche, casco e guanti.

Nel caso non si sia liberata fino a quota campagna tutta la palificata, assicurarsi che lo scavo di ogni singolo palo di prova consenta l'accesso in sicurezza rispetto a possibili crolli di terreno.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome degli sperimentatori e dei presenti;
- data della prova;
- caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;
- tipologia, caratteristiche geometriche e meccaniche degli elementi in prova;
- richiamo alla relazione geologica e geotecnica con la stratigrafia del terreno;
- identificazione inequivocabile in planimetria dei pali indagati;
- n. 3 grafici coerenti di ogni acquisizione relativa agli elementi indagati;
- tabella riassuntiva di tutte le indagini effettuate con i risultati essenziali;
- commento tecnico finale.

Allegare le foto della zona di prova e di un'indagine tipo.

L'operazione va eseguita o diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

6.5 Prova di integrità del palo con Sonda termica, metodo TIP

Riferimento normativo: ASTM Standard D7949-14 - "Standard Test Methods for Thermal Integrity Profiling of Concrete Deep Foundations"

Lo scopo di questa tecnica d'indagine è la verifica dell'integrità dei pali di fondazione con l'obiettivo di individuare eventuali anomalie lungo il fusto relative a variazioni repentine di diametro, inclusioni o interruzioni lungo la sezione. Il metodo TIP consente la valutazione dei difetti anche nella parte corticale del palo, all'esterno della gabbia di armatura oltre ad individuare le eventuali caratteristiche scadenti del materiale costituente la punta del palo.

Il metodo TIP può essere impiegato attraverso l'uso della Sonda termica o attraverso l'impiego dei Cavi termici (par. 6.6).

L'esecuzione della prova di integrità con Sonda termica, Thermal Probe Method, prevede l'uso di una sonda termica composta da quattro sensori ad infrarossi disposti ortogonalmente tra loro. La sonda deve essere collegata ad una unità di acquisizione e a una unità di elaborazione. I dati di temperatura devono essere raccolti calando la sonda in tubi di ispezione standard da 40-50 mm, pre-annegati nel calcestruzzo, ad una velocità compresa tra 0,2-0,4 m/s. I tubi possono essere in plastica o in acciaio. Possono anche venire impiegati i tubi usati per la prova Cross-hole, assicurandosi di svuotarli dal liquido prima di eseguire il TIP (per eliminare problemi di distorsione del segnale infrarosso). Il profilo termico deve essere osservato in tempo reale dall'operatore attraverso l'unità di elaborazione man mano che la sonda cala nel tubo. Un encoder dovrà registrare con precisione la posizione della sonda correlandola, attraverso l'unità di elaborazione, con la temperatura misurata. Il TIP test va eseguito tra le 12 e le 36 ore successive alla realizzazione del palo. La misura va ripetuta almeno due volte, e con almeno 4 ore di differenza tra le misure, per assicurarsi di eseguirla in prossimità del picco di temperatura. I dati acquisiti saranno elaborati con un software specifico che permette un'analisi attenta, sezione per sezione, con l'individuazione di eventuali difetti.

Condizioni operative

Vanno installati sulla gabbia d'armatura, equidistanti sulla circonferenza, un numero di tubi d'acciaio o di plastica di diametro tra i 40-50 mm, pari ad una quantità di almeno uno ogni 25 cm di diametro. Se si utilizzano i tubi del Cross-hole, vanno preventivamente svuotati dall'acqua attraverso l'emissione di aria compressa sul fondo del tubo; di seguito il tubo va ben asciugato, in particolare sul fondo, calando un cilindro metallico con avvolta una spugna che determini una leggera aderenza alle pareti.

Procedura

Calare la Sonda termica collegata con l'unità di acquisizione e di elaborazione lungo un tubo di ispezione alla velocità compresa tra 0,2-0,4 m/sec. L'operazione va eseguita su ogni tubo registrando l'andamento della temperatura. La misura va eseguita prima del raggiungimento del picco di temperatura, presumibilmente entro le prime 36 ore dal getto, e va ripetuta se non sufficientemente prossimi al picco di temperatura. Si procede ad una prima elaborazione in campo, attraverso l'unità di elaborazione, per valutare l'eventuale presenza di difetti macroscopici. I dati sono elaborati successivamente, attraverso lo specifico software TIP, per l'individuazione degli eventuali difetti e la costruzione del modello 3D.

Apparecchiatura

Sonda termica con 4 sensori ad infrarossi collegata con l'unità di acquisizione. Unità di elaborazione per scaricare ed elaborare i dati. Software TIP di elaborazione.

Sicurezza

Tutte le normali dotazioni di sicurezza di cantiere: scarpe antinfortunistiche, casco e guanti.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome degli sperimentatori e dei presenti;
- data e ora della prova;
- caratteristiche geometriche dell'elemento in prova;
- caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;
- risultati della elaborazione.

Allegare le foto dell'elemento in prova durante l'esecuzione dell'inserimento della sonda.

L'operazione va eseguita o diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

6.6 Prova di integrità del palo con Cavi termici, metodo TIP

Riferimento normativo: ASTM Standard D7949-14 - "Standard Test Methods for Thermal Integrity Profiling of Concrete Deep Foundations"

Lo scopo di questa tecnica d'indagine è la verifica dell'integrità dei pali di fondazione con l'obiettivo di individuare eventuali anomalie lungo il fusto relative a variazioni repentine di diametro, inclusioni o interruzioni lungo la sezione. Il metodo TIP consente la valutazione dei difetti anche nella parte corticale del palo, all'esterno della gabbia di armatura oltre ad individuare le eventuali caratteristiche scadenti del materiale costituente la punta del palo.

Il metodo TIP può essere impiegato attraverso l'uso della Sonda termica (par. 6.5) o attraverso l'impiego dei Cavi termici.

L'esecuzione della prova di integrità con Cavi termici, Thermal Wire Method, prevede l'uso di cavi strumentati con una serie di sensori termici posti ogni 30,5 cm (1 foot) e una stessa quantità di unità di acquisizione chiamate TAP (Thermal Acquisition Port) che permettono la memorizzazione dei dati derivanti dai sensori posti lungo il cavo. I cavi termici vengono fissati alla gabbia d'armatura, a fianco o al posto dei tubi di ispezione per il Cross-hole. Ogni cavo termico viene collegato ad una unità di acquisizione posta sulla testa del palo, la quale memorizza i dati di temperatura ad intervalli regolari (solitamente 15 minuti), almeno fino a quando non si raggiunge la temperatura di picco.

I dati acquisiti possono venire raccolti in qualsiasi momento dopo la fine della prova, sconnettendo le unità di acquisizione dai cavi e connettendole all'unità di elaborazione che permette una prima valutazione del profilo termico. Successivamente i dati vengono rielaborati con un software specifico che permette un'analisi, sezione per sezione, e l'individuazione di eventuali difetti.

L'elaborazione ha lo scopo di determinare la forma del palo in formato 3D, evidenziando ingrossamenti, restringimenti, cavità, interruzioni di profilo ecc. In aggiunta sarà individuata la posizione esatta della gabbia d'armatura e di conseguenza lo spessore di copriferro lungo il fusto. Particolare attenzione sarà posta sulla punta del palo individuando potenziali mescolamenti tra terreno e calcestruzzo.

Condizioni operative

I cavi termici vanno installati sulla gabbia d'armatura, equidistanti sulla circonferenza, in numero pari ad una quantità di almeno uno ogni 25 cm di diametro.

Procedura

Si fissano i cavi termici lungo l'armatura, a fianco di eventuali tubi per le prove Cross-hole.

Fatto il getto si collegano le unità di acquisizione, TAP, ai singoli cavi e si procede ad attivare la memorizzazione ogni 15 minuti. Dopo 48 ore si scollegano le unità per ricollegarle alla unità di elaborazione e scaricare i dati memorizzati.

Si procede ad una prima elaborazione in campo, attraverso l'unità di elaborazione, per valutare la perfetta esecuzione del palo. I dati saranno elaborati successivamente, attraverso lo specifico software TIP, per l'individuazione degli eventuali difetti e la costruzione del modello 3D.

Apparecchiatura

Serie di Cavi termici, lunghi quanto il palo, strumentati con una sonda ogni 30,5 cm. Stessa quantità di unità di acquisizione per la memorizzazione dei valori di temperatura. Unità di elaborazione per scaricare ed elaborare i dati. Software TIP di elaborazione.

Sicurezza

Tutte le normali dotazioni di sicurezza di cantiere: scarpe antinfortunistiche, casco e guanti.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome degli sperimentatori e dei presenti;
- data e ora della prova;
- caratteristiche geometriche dell'elemento in prova;
- metodo di fissaggio dei cavi e loro posizione;
- caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;
- risultati della elaborazione.

Allegare le foto sia della armatura con i cavi sia del palo finito con gli strumenti a monitoraggio.

6.7 Prova di carico su piastra – prove sui terreni

Riferimenti normativa: CNR B.U. n.146-1992 e SN 670317a

La prova su piastra consente una valutazione dello stato di compattazione del terreno. E' prevista l'effettuazione di due cicli di carico: il primo per la determinazione del modulo di deformazione (M_d) calcolato in corrispondenza di un incremento di carico Δp di $0,10 \text{ N/mm}^2$, il secondo per la determinazione del grado di costipamento attraverso il rapporto $M_d/M'_d (\leq 1)$ dove M'_d è il modulo di deformazione calcolato nel secondo ciclo.

Il modulo di deformazione (M_d) è la misura convenzionale della capacità portante di una superficie, sia essa sottofondo, strato di fondazione o strato di base espresso in N/mm^2 .

Condizioni operative

Preparare la superficie della zona da testare eliminando eventuali irregolarità superficiali mediante un sottile strato di sabbia di circa $1 \pm 5 \text{ mm}$.

Predisporre un contrasto fisso (ex parte posteriore di un autocarro carico di terra) pari ad un carico almeno doppio di quello massimo esercitato sulla piastra.

Procedura

Posizionare la piastra (da $\varnothing 300$ o $\varnothing 600 \text{ mm}$) sulla superficie dello strato di prova verificando che appoggi interamente sulla superficie e che sia in posizione orizzontale.

Predisporre il martinetto idraulico con snodo sferico posizionandolo al centro della piastra portando a contatto con il contrasto, se necessario si possono usare delle prolunghe.

La misura del cedimento può essere effettuata in due modi: con la Procedura A mediante 1 sensore centesimale o con la Procedura B usando 3 sensori centesimali.

Il braccio del sensore viene a sua volta fissato alla barra di riferimento i cui appoggi devono distare dai bordi delle aree caricate (piastra e ruote o altro supporto del contrasto) non meno di 1 m per la piastra e di $0,50 \text{ m}$ per le ruote. Il complesso di misura dei cedimenti (trave, braccio, sensore) deve essere riparato dai raggi diretti del sole, da scosse e da vibrazioni. Occorre evitare, inoltre, qualsiasi circolazione in prossimità del posto di misura.

Predisporre la barra di riferimento su cui sono installati nel caso della Procedura B 3 sensori centesimali posti a 120° sul perimetro della piastra, a circa 5 mm dal bordo, mentre per la Procedura A il sensore sarà posizionato centralmente alla piastra mediante struttura apposita.

Indipendentemente dalla procedura adottata, si libera la cerniera sferica e si applica, agendo sul martinetto, un carico di assetto di $0,02 \text{ N/mm}^2$ complessivamente, ossia compreso il carico dell'apparecchiatura gravante sulla superficie da provare e non misurata dal dinamometro.

Si attende che i cedimenti si siano esauriti (ossia quando la differenza di due letture consecutive del comparatore effettuate con intervallo di 1 minuto , in relazione alle deformazioni sotto carico o allo scarico, sia di $\pm 0,02 \text{ mm}$) e si azzerano i comparatori.

Si porta il carico al valore di $0,05 \text{ N/mm}^2$ e si effettua una prima lettura del comparatore (in caso di procedura A) o dei tre comparatori (in caso di procedura B), determinando in quest'ultimo caso la media dei tre cedimenti letti.

Vengono quindi applicati i seguenti incrementi di carico, effettuando ogni minuto le corrispondenti letture al/ai comparatore/i fino alla stabilizzazione dei cedimenti.

Primo ciclo: per i terreni di sottofondo e per gli strati di rilevato gli incrementi di carico di $0,05 \text{ N/mm}^2$ fino a raggiungere la pressione di $0,20 \text{ N/mm}^2$; per gli strati di fondazione e di base: incrementi di carico di $0,10 \text{ N/mm}^2$ fino a raggiungere rispettivamente la pressione di $0,35$ e $0,45 \text{ N/mm}^2$.

Si effettuano le letture dei cedimenti ad ogni incremento di carico, letto il cedimento relativo al carico massimo si effettua lo scarico completo, se interessa determinare solo il modulo M_d , mentre qualora occorra determinare anche il modulo M'_d , al fine di giudicare la qualità del costipamento, al termine del primo ciclo di carico, si effettua lo scarico fino alla pressione di $0,05 \text{ N/mm}^2$ e si rileva, dopo la stabilizzazione della deformazione il cedimento residuo. Partendo da queste condizioni, si inizia il secondo ciclo di carico, applicando gli incrementi di carico indicati in seguito.

Secondo ciclo: per i terreni di sottofondo e per gli strati di rilevato gli incrementi di carico di $0,05 \text{ N/mm}^2$ fino a raggiungere la pressione di $0,15 \text{ N/mm}^2$; per strati di fondazione e per strati di base

gli incrementi di carico di $0,10 \text{ N/mm}^2$ fino a raggiungere rispettivamente la pressione di $0,25$ e $0,35 \text{ N/mm}^2$.

Si misura la temperatura dell'aria più volte nel corso della prova per accertare che essa non abbia subito variazioni sensibili.

Eseguita la prova, si rimuove l'apparecchiatura e si effettua un prelievo di materiale in prossimità del punto di misura per stabilire l'umidità (CNR-UNI 10008) dello strato. Il prelievo deve interessare uno spessore di almeno 15 cm .

Qualora si eseguano prove su un sottofondo la cui struttura non è nota, si dovrà eseguire uno scavo nel terreno fino alla profondità di circa 50 cm , onde rilevare la stratigrafia del terreno e controllare che sotto la piastra non vi siano ciottoli o blocchi di dimensioni maggiori a $1/3$ del diametro della piastra. In tale eventualità la prova non è da considerarsi significativa e deve essere ripetuta in un altro posto opportunamente scelto.

Nel caso di prove eseguite su strati di fondazione o di base si dovrà aver cura che la dimensione massima dell'aggregato in corrispondenza della zona provata non superi $1/3$ del diametro della piastra.

Apparecchiatura

Piastra d'acciaio di spessore non minore di 20 mm e da $\varnothing 300 \pm 1$ o $\varnothing 600 \pm 1 \text{ mm}$.

Martinetto idraulico comandato da pompa manuale o elettrica.

Manometro di classe 1 per la lettura delle pressioni o trasduttore di pressione con apposita centralina di acquisizione e lettura.

Sensori centesimali meccanici o preferibilmente sensori elettronici.

Eventualmente un'unità di acquisizione e memorizzazione dei dati.

Sicurezza

Tutte le normali dotazioni di sicurezza di cantiere.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome degli sperimentatori;
- data e ora della prova;
- caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;
- identificazione della posizione di prova;
- temperatura ambiente;
- contenuto d'acqua del terreno;
- tipo di terreno;
- tabella dei risultati in forma tabellare e grafica;
- allegare immagini del sito e della prova.

L'operazione va eseguita o diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

6.8 Prova con piastra dinamica (LWD - Light Weight Deflectometer) – prove sui terreni

Riferimenti normativa: RVS 08.03.04 (Austria) e TP BF-StB sezione B 8.3 (Tedesca)

La prova su terreni eseguita con piastra dinamica consente una valutazione rapida dello stato di compattazione dei terreni da rullare.

Il metodo non sostituisce la prova di carico statica prevista nella normativa, ma consente di essere eseguita senza contrasto e rapidamente per permettere il monitoraggio delle operazioni di compattamento garantendo la qualità del risultato.

Le prove permettono di verificare rapidamente i terreni non sufficientemente compattati. Se infatti le 3 prove previste nello stesso punto determinano delle curve cedimento-tempo molto distanziate tra di loro, significa che il terreno ha uno stato di compattazione insufficiente.

Dai risultati della prova dinamica, che determinano un E_{vd} , modulo elastico dinamico, è possibile ricavare il modulo statico E_v attraverso le formule di normativa.

Condizioni operative

Predisporre la zona di prova procedendo alla livellazione tramite una semplice cazzuola.

Procedura

Si dispone la piastra sulla superficie dello strato di cui si vuol determinare il modulo di deformazione, curando che il contatto sia il più completo possibile; le eventuali irregolarità superficiali verranno livellate a mezzo di un sottile strato di sabbia o altro materiale incoerente, tutto passante al setaccio da 2 mm.

Inserire il cavo ed accendere la centralina.

Eseguire prima 3 colpi di assestamento e poi 3 misurazioni come indicato dalla centralina.

Sul display vengono visualizzati i dati delle misurazioni, le 3 curve di deflessione e il modulo E_{vd} .

Dopodiché si può stampare uno scontrino della prova.

Apparecchiatura

Piastra circolare in acciaio di spessore di 20 mm e del diametro di 300 ± 1 , dotata di accelerometro;

Dispositivo di carico con massa battente da 10 kg (o 15 kg) e impugnatura ergonomica;

Centralina elettronica di memorizzazione ed elaborazione dati;

Cavo di collegamento centralina/piastra;

Sabbia, Cazzuola.

Sicurezza

Tutte le normali dotazioni di sicurezza di cantiere.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dello sperimentatore;
- data e ora della prova;
- caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;
- identificazione della posizione di prova;
- temperatura ambiente;
- tabella dei risultati.

L'operazione va eseguita o diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

ALLEGATI

VERIFICA DI VULNERABILITÀ SISMICA, PIANO DELLE INDAGINI, IPOTESI SI ADEGUAMENTO

Premessa

Il recente sviluppo della tecnologia sperimentale permette di ottenere la caratterizzazione dinamica di un edificio senza l'ausilio di forzanti. Questo enorme passo avanti è stato ottenuto con lo sviluppo di particolari terne di sensori, in abbinamento tra accelerometri e velocimetri, con una sensibilità tale da percepire le vibrazioni indotte dal rumore sismico di fondo, detto microtremore.

Lo scopo della caratterizzazione dinamica è quello di individuare sperimentalmente le frequenze e le forme modali di una struttura. I parametri dinamici, essendo legati a tutti gli elementi geometrici e meccanici, sono un supporto fondamentale per la calibrazione dei modelli numerici e rappresentano un valido strumento di controllo nel tempo dell'eventuale variazione delle condizioni generali.

Va considerato che il modello numerico di una struttura è realizzato attraverso delle ipotesi teoriche estremamente difficili da valutare, come rigidità, moduli di elasticità dei materiali, gradi di vincolo. Valori che devono essere introdotti in maniera tale da realizzare teoricamente una struttura aderente al comportamento reale.

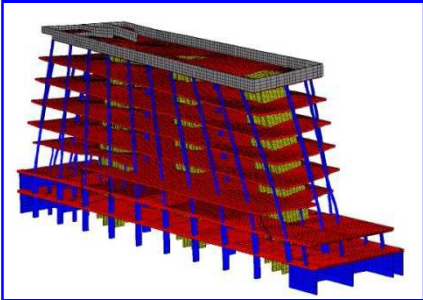
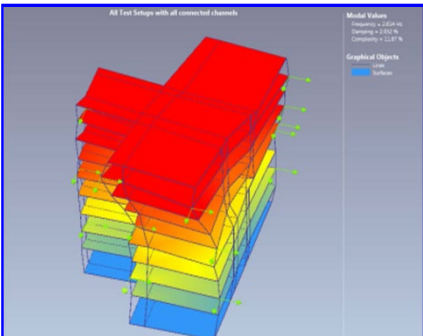
La calibrazione del modello si ottiene attraverso la variazione intelligente dei parametri di input in modo tale che la risposta teorica, statica e/o dinamica, abbia corrispondenza coi parametri ottenuti dalla sperimentazione.

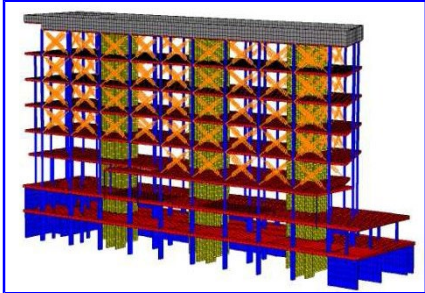
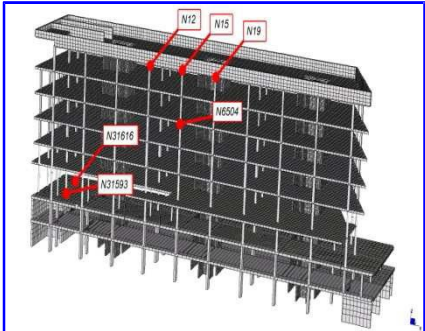
Sul modello calibrato, rappresentativo della struttura reale, si potranno effettuare tutte le simulazioni utili, in particolar modo quelle sismiche, per valutare il comportamento nella condizione di sollecitazione estrema. Queste simulazioni permetteranno di individuare gli elementi strutturali che si presentano carenti, permettendo così una progettazione di adeguamento estremamente mirata.

Il risultato sarà una progettazione che ottiene il migliore risultato al minor costo, limitando anche i disagi che un intervento edilizio comporta agli utilizzatori. Inoltre permetterà, ripetendo la caratterizzazione dopo l'esecuzione dei lavori, di verificare la corrispondenza tra il risultato atteso e quello realizzato.

Questo modo di operare parte dal presupposto di una conoscenza teorica molto affinata, attraverso lo strumento della modellazione, strumento che richiede una precisa conoscenza geometrica dell'edificio e una valutazione meccanica degli elementi posti in opera.

In ultima analisi, attraverso questo processo, si ottiene un risparmio rispetto a un intervento di recupero e consolidamento generalizzato e una conoscenza realistica delle capacità di resistenza al sisma.

EDIFICI		
Fase	Operazione	
1	<p>1.1 Definizione dello stato</p> <p>Definizione dello stato di fatto con analisi storico-critica e raccolta di tutti i dati di archivio e verifica dei disegni in campo.</p>	
	<p>1.2 Esecuzione di un'ispezione visiva</p> <p>Per la determinazione delle anomalie tecnologiche e strutturali.</p>	
	<p>1.3 Rilievo geometrico di dettaglio</p> <p>Rilievo geometrico ex novo se non esistente e trasformazione in formato CAD.</p>	
	<p>1.4 Costruzione di un modello numerico agli elementi finiti</p> <p>Sulla base dei rilievi e dei disegni di dettaglio deve essere realizzato il modello matematico dell'edificio, modello non ancora calibrato, ma in grado di fornire delle indicazioni di massima, quali la deformabilità della struttura e le frequenze proprie, utili in sede di programmazione dei rilievi dinamici sperimentali.</p> <p>Fornirà inoltre indicazione sugli elementi strutturali più sollecitati in modo da predisporre un Piano delle indagini corretto rivolto ad indagare prevalentemente sugli elementi strutturali che presentano le maggiori sollecitazioni rispetto ai carichi accidentali e sismici.</p>	
	<p>1.5 Piano delle indagini</p> <p>Sulla base delle conclusioni tratte dal modello strutturale preliminare, si potrà redigere un Piano delle indagini dettagliato approfondendo lo studio delle caratteristiche meccaniche dei materiali sui nodi o gli elementi più sollecitati ed al rilievo della presenza della quantità e posizione delle armature nei punti critici. Si seguiranno le norme tecniche quale livello di conoscenza seguire (LC1 limitato, LC2 adeguato, LC3 accurato) indicando con precisione il numero di prove sui materiali o dei rilievi da eseguire.</p>	
2	<p>2.1 Caratterizzazione dinamica sperimentale</p> <p>Caratterizzazione dinamica sperimentale di ogni blocco separato dell'edificio e dei giunti in modo da valutare le risposte in frequenza ed i modi di vibrare utili alla futura calibrazione del modello.</p> <p>La misura delle frequenze proprie della struttura verrà eseguita utilizzando dei tromografi digitali Microsismic 6S costituiti ognuno da 6 sensori di misura delle accelerazioni.</p> <p>Le apparecchiature sono collegate tra loro via radio (senza cavi) per consentire la sincronizzazione del segnale.</p> <p>Le caratteristiche dei sensori sono le seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> - f.s. accelerometri: ± 3 g nella banda 0.5 Hz-1600 Hz per gli assi X e Y e 0.5 Hz- 550 Hz per Z; - densità potenza spettrale del rumore 280 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ rms per gli assi X,Y e 350 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ rms per Z; - tipologia è MEMS®. <p>Sono necessari i rilievi su ogni angolo esterno dei singoli blocchi posizionando gli strumenti nei pressi dei nodi. Gli strumenti saranno posti almeno ogni due/tre piani ed in accoppiamento in caso di giunti. Tenuto conto della grande</p>	

	<p>quantità di punti di misura devono essere sempre conservate due posizioni fisse, questo permette una sincronizzazione virtuale di tutte le rilevazioni da effettuare in fase di analisi.</p> <p>L'elaborazione dei risultati sperimentali dovrà fornire le frequenze proprie, con una precisione di almeno il $\pm 0,01$ Hz, almeno fino al III modo di vibrare con elaborazioni grafiche sia nel dominio dei tempi, con il calcolo dei periodi, che delle frequenze con l'individuazione dello spettro.</p> <p>Le forme modali saranno individuate attraverso la costruzione di un modello geometrico ai cui nodi saranno applicate le storie temporali delle acquisizioni sperimentali effettuate nelle diverse configurazioni.</p> <p>Il modello geometrico sottoposto ad analisi EFDD (Enhanced Frequency Domain Decomposition) fornirà le forme modali che assieme alle frequenze proprie consentirà una precisa calibrazione del modello numerico.</p>	
	<p>2.2 Esecuzione delle indagini in campo ed in Laboratorio</p> <p>Esecuzione delle indagini previste nel Piano delle indagini con particolare attenzione al rilievo delle armature nei punti critici. Valutazione dei risultati per una individuazione statistica delle caratteristiche meccaniche dei materiali considerabile per l'intera sezione resistente dei singoli elementi strutturali.</p>	
<p>3</p>	<p>3.1 Costruzione del modello numerico calibrato</p> <p>Costruzione di un modello aderente al comportamento reale con la calibrazione ottenuta attraverso la variazione delle ipotesi di input fino alla migliore corrispondenza tra risposta teorica e risposta sperimentale.</p> <p>Il modello sarà sottoposto alle sollecitazioni dei carichi permanenti e accidentali previsti a norma ed allo spettro sismico corrispondente al sito.</p> <p>Saranno individuati gerarchicamente gli elementi strutturali più sollecitati confrontando le sollecitazioni con i parametri resistenti delle prove eseguite in campo ed in laboratorio.</p>	
	<p>3.2 Progetto di adeguamento</p> <p>Sulla base dei risultati del modello numerico calibrato e delle indagini sperimentali eseguite sugli elementi strutturali che si saranno individuati come critici, si procederà al progetto di adeguamento concentrando le operazioni sugli elementi inadeguati e/o più sollecitati.</p> <p>Dovrà essere preso in considerazione il consolidamento dei giunti che spesso produce una forte riduzione delle sollecitazioni senza particolari effetti a causa determinati dalle dilatazioni termiche. Fenomeno che in ogni modo può essere simulato nel modello calibrato</p>	
<p>4</p>	<p>4.1 Caratterizzazione dinamica sperimentale finale</p> <p>Eseguiti i lavori di adeguamento si procederà al rilievo delle caratteristiche dinamiche per confrontarle, allo scopo di collaudo, con quelle derivanti dal modello numerico adeguato.</p>	

Valutazione del comportamento dei giunti

L'analisi del comportamento dei giunti strutturali di un edificio è fondamentale per la corretta creazione del modello numerico e per la decisione strategica di consolidarli o di renderli realmente efficaci.

Va innanzitutto segnalato che il loro studio deve essere indipendente dal processo di caratterizzazione dinamica sperimentale così come indicato precedentemente.

Per l'analisi dei giunti gli strumenti di misura vanno posti in due coppie allo stesso piano parallelamente di qua e di là del giunto. Lo studio va eseguito su ogni giunto strutturale almeno ogni due piani (vedi figura).

L'analisi nel dominio dei tempi permetterà l'immediata verifica del funzionamento del giunto che nel caso di giunto "chiuso", cioè poco efficace per piccole deformazioni, evidenzierà un comportamento perfettamente in fase (vedi grafico nel dominio dei tempi).

Ne deriva che le frequenze rilevate, ed i modi che si evidenzieranno con l'elaborazione EFDD del modello geometrico, deriveranno da un comportamento d'insieme dei blocchi, come se il giunto fosse inesistente.

Questa condizione è però apparente in quanto a fronte di deformazioni sostanziali, derivanti dal sisma, molto probabilmente il giunto consentirà i movimenti relativi dei singoli blocchi.

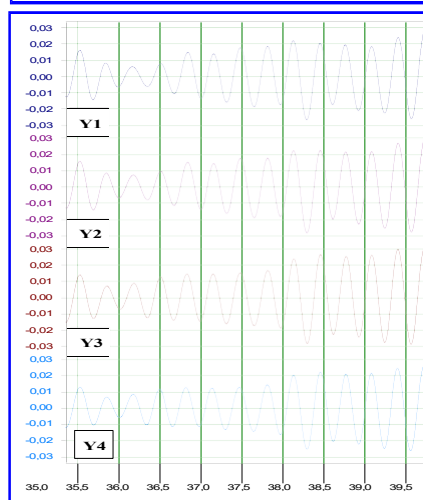
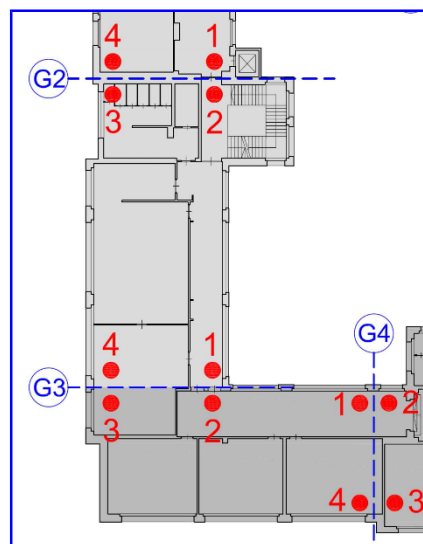
Questo fatto apparente deriva da una misura effettuata sulla base dei soli microtremori e può essere sfruttata teoricamente.

Il modello numerico di partenza sarà pertanto orientato a considerare i giunti come consolidati. Una volta raggiunta la

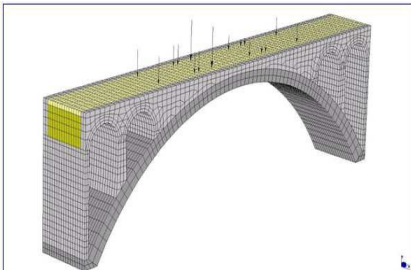
calibrazione si potrà procedere a rilasciare i giunti (di solito simulati attraverso molle ad elasticità variabile: infinita per il giunto consolidato, nulla per giunto attivo) calcolando le frequenze proprie dei blocchi distinti.

Su entrambi questi due modelli ipotetici si procederà a calcolare, sotto spettro sismico locale, le deformazioni massime e le massime sollecitazioni individuando gerarchicamente gli elementi strutturali più carichi. Si scoprirà, molto probabilmente, che in caso di giunto consolidato il livello di sollecitazione è inferiore rispetto al caso di blocchi separati. Questo fatto apre diversi scenari in funzione dell'entità di sollecitazione massima raggiunta e, in molti casi, arriva a concludere che il consolidamento reale del giunto produrrebbe già di per se un grande beneficio, eliminando il pericoloso fenomeno del "battimento" e riducendo il numero di elementi strutturali su cui intervenire per ottenere l'adeguamento sismico.

Se questa sarà la strada percorsa per la progettazione del migliore adeguamento (qualità/prezzo) sarà necessario fare le opportune verifiche dal punto di vista delle sollecitazioni derivanti dalla dilatazione termica impedita. Dilatazione che a giunto consolidato produce uno stato di sollecitazione che va analizzato separatamente.



S.M.

PONTI		
Fase	Operazione	
1	<p>1.1 Definizione dello stato</p> <p>Definizione dello stato di fatto con analisi storico-critica e raccolta di tutti i dati di archivio e verifica dei disegni in campo.</p>	
	<p>1.2 Esecuzione di un'ispezione visiva</p> <p>Esecuzione di una attenta Ispezione visiva con Valutazione Numerica dello stato di degrado. Permette di individuare eventuali punti di crisi degli elementi strutturali indirizzando la progettazione del Piano delle Indagini. Fornisce una Valutazione numerica dello stato di degrado, attraverso l'indice Dr (Indice di difettosità relativa) e Da (indice di difettosità assoluto) che potrà essere efficacemente confrontata con le Ispezioni successive.</p>	
	<p>1.3 Rilievo geometrico di dettaglio</p> <p>Rilievo geometrico ex novo se non esistente e trasformazione in formato CAD.</p>	
	<p>1.4 Costruzione di un modello numerico agli elementi finiti</p> <p>Sulla base dei rilievi e dei disegni di dettaglio deve essere realizzato il modello matematico del ponte, modello non ancora calibrato ma che sarà in grado di fornire delle indicazioni di massima, quali la deformabilità della struttura e le frequenze proprie, utili in sede di programmazione dei rilievi dinamici sperimentali. Fornirà inoltre indicazione sugli elementi strutturali più sollecitati in modo da predisporre un Piano delle indagini corretto.</p>	
	<p>1.4 Piano delle indagini</p> <p>Sulla base delle conclusioni tratte dal modello strutturale preliminare, si potrà redigere un Piano delle indagini dettagliato approfondendo lo studio delle caratteristiche meccaniche dei materiali sugli elementi più sollecitati ed al rilievo della presenza della quantità e posizione delle armature nei punti critici. Prevedendo un LC3, vanno eseguiti, se il ponte è in zona sismica, almeno 1 prelievo di armatura ed una carota sul 60% delle pile (ma non meno di 4 pile). Le prove distruttive possono essere sostituite, al massimo al 50%, da prove in situ purchè siano almeno il triplo e tarate sulla base delle prove distruttive.</p>	
	<p>2.1 Caratterizzazione dinamica sperimentale</p> <p>Caratterizzazione dinamica sperimentale in modo da valutare le risposte in frequenza ed i modi di vibrare utili alla futura calibrazione del modello.</p> <p>La misura delle frequenze proprie della struttura verrà eseguita utilizzando dei tromografi digitali Microsismic 6S costituiti ognuno da 6 sensori di misura delle accelerazioni.</p> <p>Le apparecchiature sono collegate tra loro via radio (senza cavi) per consentire la sincronizzazione del segnale.</p> <p>Le caratteristiche dei sensori sono le seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> - f.s. accelerometri: ± 3 g nella banda 0.5 Hz-1600 Hz per gli assi X e Y e 0.5 Hz- 550 Hz per Z; - densità potenza spettrale del rumore $280 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ rms per gli assi X,Y e $350 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ rms per Z; - tipologia è MEMS®. <p>Gli strumenti saranno posti almeno 4 per campata. Nel caso di strutture iperstatiche a più campate, tenuto conto della grande quantità di punti di misura, devono essere sempre conservate due posizioni fisse, questo permette una sincronizzazione virtuale di tutte le rilevazioni da effettuare in fase di analisi.</p>	

2	<p>L'elaborazione dei risultati sperimentali dovrà fornire le frequenze proprie, con una precisione di almeno il $\pm 0,01$ Hz, almeno fino al III modo di vibrare con elaborazioni grafiche sia nel dominio dei tempi, con il calcolo dei periodi, che delle frequenze con l'individuazione dello spettro.</p> <p>Le forme modali saranno individuate attraverso la costruzione di un modello geometrico ai cui nodi saranno applicate le storie temporali delle acquisizioni sperimentali effettuate nelle diverse configurazioni.</p> <p>Il modello geometrico sottoposto ad analisi EFDD (Enhanced Frequency Domain Decomposition) fornirà le forme modali che assieme alle frequenze proprie consentirà una precisa calibrazione del modello numerico.</p>
	<p>2.2 Esecuzione delle indagini in campo ed in Laboratorio</p> <p>Esecuzione delle indagini previste nel Piano delle indagini, possibilmente a livello LC3, con particolare attenzione al rilievo delle armature nei punti critici.</p> <p>Esecuzione delle prove di laboratorio sui provini e valutazione dei risultati per una individuazione statistica delle caratteristiche meccaniche dei materiali considerabile per l'intera sezione resistente dei singoli elementi strutturali.</p> <p>Esecuzione di una prova di carico a carichi ridotti onde rilevare le deformazioni sperimentali atte alla verifica della corrispondenza col modello calibrato sulla base della caratterizzazione dinamica sperimentale.</p>
3	<p>3.1 Costruzione del modello numerico calibrato</p> <p>Costruzione di un modello aderente al comportamento reale con la calibrazione ottenuta attraverso la variazione delle ipotesi di input fino alla migliore corrispondenza tra risposta teorica e risposta sperimentale.</p> <p>Il modello sarà sottoposto alle sollecitazioni dei carichi permanenti e accidentali previsti a norma ed allo spettro sismico corrispondente alla localizzazione del sito.</p> <p>Saranno individuati gerarchicamente gli elementi strutturali più sollecitati confrontando le sollecitazioni con i parametri resistenti delle prove eseguite in campo ed in laboratorio.</p> <p>3.2 Progetto di adeguamento</p> <p>Sulla base dei risultati del modello numerico calibrato e delle indagini sperimentali eseguite sugli elementi strutturali che si saranno individuati come critici, si procederà al progetto di adeguamento concentrando le operazioni sugli elementi inadeguati e/o più sollecitati.</p>
4	<p>4.1 Caratterizzazione dinamica sperimentale finale</p> <p>Eseguiti i lavori di adeguamento si procederà al rilievo delle caratteristiche dinamiche per confrontarle, allo scopo di collaudo, con quelle derivanti dal modello numerico adeguato.</p> <p>4.2 Prova di carico di collaudo</p> <p>Esecuzione della prova di carico per la verifica della corrispondenza tra deformazione teorica e sperimentale. La prova va eseguita col massimo carico consentito per determinare le massime sollecitazioni previste. Nel rilievi rilevare l'intero andamento della deformata di bordo in modo da valutare anche il comportamento del vincolo.</p>



Valutazione del transito dei carichi eccezionali

La valutazione della possibilità di transito dei carichi eccezionali può essere informatizzata permettendo l'analisi di tutti i ponti di un percorso stradale attraverso l'applicazione del Teorema di Appiano.

Il Teorema di Appiano consente un approccio semplificato tra sollecitazioni derivanti dal transito di un carico eccezionale con quelle derivanti dai carichi previsti a norma per quella categoria di ponte all'epoca della costruzione.

Va considerato infatti che una struttura sprovvista di segnalazione del limite di portata è di fatto una struttura che implicitamente ammette il transito dei carichi della normativa vigente all'epoca.

Si definisce come *Momento o Taglio di confronto* il Momento o Taglio generato dal transito del treno di carico previsto dalla normativa utilizzata all'epoca della costruzione. Costruito un modello di ponte di riferimento attraverso la condizione isostatica, indipendentemente dalla reale tipologia costruttiva, il confronto avviene tra l'andamento del Momento massimo di confronto $M_{m,c}$ ed il Taglio massimo di confronto $T_{m,c}$ con l'andamento del Momento massimo prodotto $M_{m,p}$ ed il Taglio massimo prodotto $T_{m,p}$ dal carico eccezionale sul modello di ponte di riferimento.

L'andamento del Momento massimo è rappresentato dalla curva d'involuppo di tutti i Momenti massimi creati dal transito dei carichi di confronto o prodotti. Si parlerà così di Momento Massimo di confronto riferendoci a quello ottenuto dal transito dei carichi previsti dalle norme e Momento massimo prodotto riferendoci a quello ottenuto dal transito del carico eccezionale.

Nel sistema informatizzato (www.ispezionePonti.it), l'andamento del Momento massimo, di confronto e prodotto, è calcolato con un avanzamento del treno di carico a passi di 1/100 della luce a partire dall'appoggio di sinistra e fino alla fuoriuscita completa del treno di carico dall'appoggio di destra.

Il Teorema di Appiano permette di trasformare una combinazione di carico complessa in un'unica forza dalla quale si ottengono degli indici di rapporto tra carico di confronto e carico eccezionale. Questi indici, derivando da un rapporto, escludono l'effetto di vincolo e si esprimono in percentuale di massimo Momento (o Taglio) raggiunto dal carico eccezionale rispetto al Massimo momento (o Taglio) raggiunto dal carico di riferimento. Se pertanto l'indice è inferiore a 100 avremo la dimostrazione che il carico eccezionale, per qualunque posizione di carico, non supera mai le sollecitazioni previste dal progetto.

A dimostrazione definiamo con $M(x)$ la funzione generica rappresentativa dell'andamento del Momento e con $F(x)$, Forza di Appiano, la funzione rappresentativa di una forza concentrata equivalente che transitando lungo la luce del ponte varia in intensità generando un Momento identico ad $M(x)$. Se con $R(x)$ definiamo la reazione all'appoggio di sinistra derivate da $F(x)$ si ha, nel caso isostatico, che:

$$R(x) = F(x) \frac{L - x}{L}$$

ed essendo

$$M(x) = R(x) \cdot x$$

sostituendo questa equazione alla prima si ottiene che

$$F(x) = M(x) \frac{L}{x(L - x)}$$

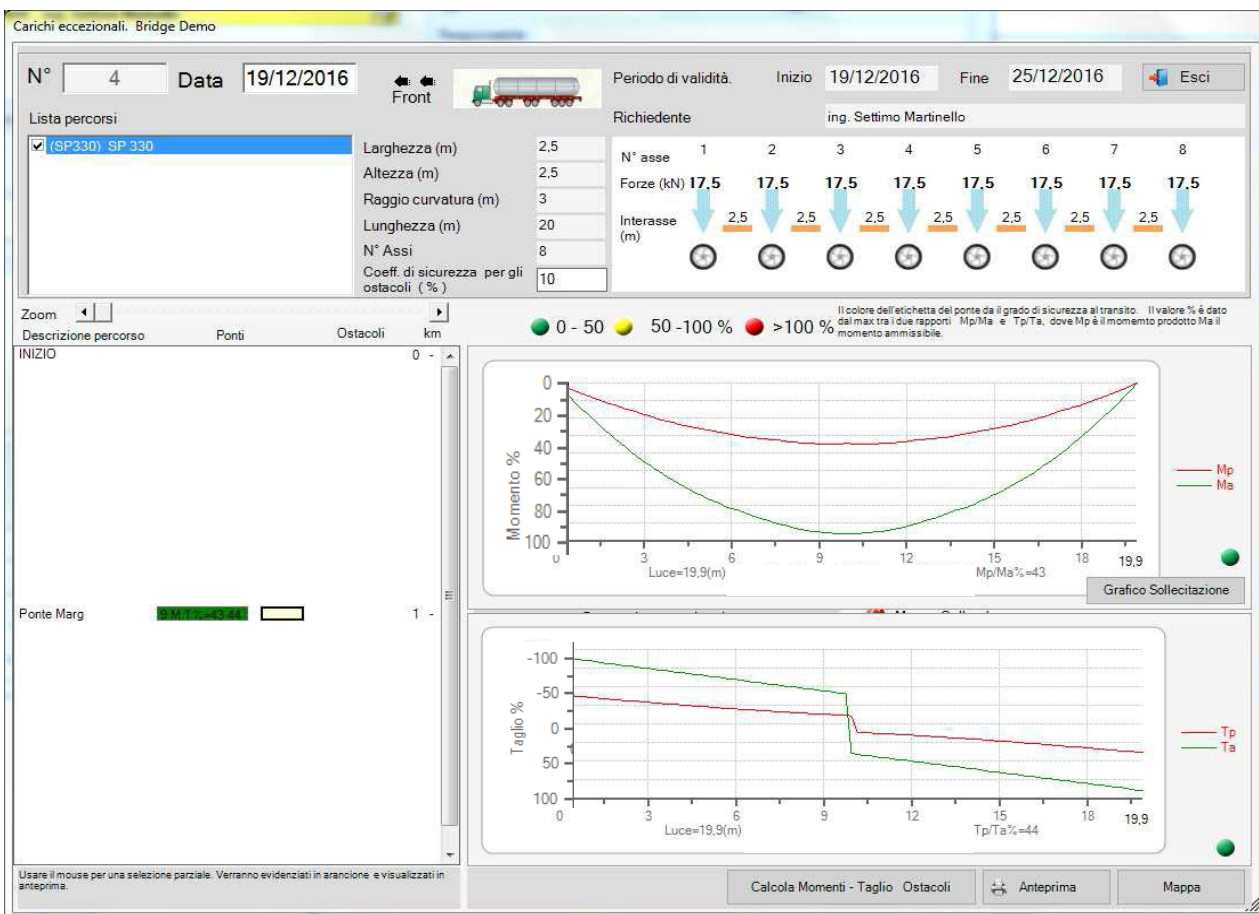
In altre parole, è sempre possibile sostituire un treno di carico complesso, formato da più forze concentrate e distribuite, con un'unica *Forza concentrata equivalente di intensità variabile* lungo la luce. Pertanto, se il Momento prodotto dal carico eccezionale $M_p(x)$ è inferiore a quello di confronto $M_c(x)$ allora anche la forza equivalente $F_p(x)$ è inferiore alla forza equivalente del Momento di confronto $F_c(x)$.

Infatti, dalla disequazione cercata $M_p(x) < M_c(x)$ semplificando il rapporto $x(L-x)/L$ si ottiene che:

$$F_p(x) < F_c(x)$$

Dato che le eventuali condizioni di vincolo all'appoggio o lungo la luce non modificano la forma del Momento e del Taglio, ma producono solo uno slittamento verso l'alto, se la Forza di Appiano del carico eccezionale è inferiore alla Forza di Appiano del carico di confronto, allora anche la sollecitazione da essa generata, lungo ogni sezione della luce, è inferiore a quella considerata nel progetto originale.

Si riporta un esempio di un confronto su un ponte da 20 m di luce a 2 corsie, di II categoria, costruito nel 1995, dove il carico eccezionale non supera i limiti consentiti raggiungendo solo il 43% del carico di confronto previsto nella normativa dell'epoca (C.M. 1991 n. 34233).



La verifica basata sul confronto puramente numerico delle sollecitazioni ammesse in progetto, non è sufficiente a garantire la transitabilità di un carico eccezionale. Va infatti considerato che nel tempo possono essersi sviluppati degli stati di degrado o delle lesioni/deformazioni strutturali che hanno prodotto una riduzione della capacità portante.

Pertanto la verifica del transito va abbinata ad una attenta Ispezione visiva che garantisca l'inesistenza di fenomeni fessurativi o di dissesto che possano limitare le caratteristiche resistenti. Va inoltre considerato l'eventuale insorgere di fenomeni corrosivi o altri fenomeni di degrado riduttivi delle capacità resistenti.

In questo senso può essere adottato il *Metodo della Valutazione Numerica* dello stato di degrado dei Ponti, che attraverso un procedura di valutazione oggettiva fornisce le risposte cercate.

S.M.

www.4emme.it www.ispezioneponti.it www.cias-italia.it

Si autorizza il trattamento dei dati personali ai sensi del Regolamento UE n. 679/2016

Bolzano, 25 maggio 2022

4 EMME Service Spa
 Via L. Zuegg 20
 39100 BOLZANO
 Tel. 0471 543111
 Partita I.V.A. 01288130212