
BMS

Procedura
Norme generali per l'esecuzione di
prove di caratterizzazione
sperimentale di ponti esistenti

PR.PS.01
vers. 4.120 Marzo 2013

SOMMARIO

Il presente documento descrive le procedure e le linee guida relative alle più diffuse prove di caratterizzazione sperimentale. Sono riportate prove di caratterizzazione geometrica, meccanica e globale delle strutture.

RIFERIMENTI

MA.GG.01	UNI EN 1435
	UNI EN 1712
DM 14/09/2005	UNI EN 1713
	UNI EN 1714
UNI 6131	UNI EN 1043-1/2
UNI 9513	UNI EN 1052-1/2/3/4
UNI 9916	UNI EN 10002-1
UNI 9944	UNI EN 12390-3/7
UNI 10157	UNI EN 12504-1/2
UNI 10766	UNI EN 12517
UNI 10985	UNI EN ISO 377
UNI EN 196-2	UNI EN ISO 3059
UNI EN 444	UNI EN ISO 6506-1/2/3
UNI EN 571-1	UNI EN ISO 6507-1/2/3
UNI EN 583-1/3/6	UNI EN ISO 6508-1/2/3
UNI EN 772-1/2/3/4/5/6	UNI ENV 583-6
7/9/11/16/18	UNI ISO 5348
UNI EN 1289	
UNI EN 1290	ASTM Standard E837
UNI EN 1291	ASTM Standard C1196
UNI EN 1330-3	

SGS/SOSF
PAT

Sistema per la gestione dei manufatti stradali della Provincia Autonoma di Trento.
Gestione del sistema a cura del Servizio Gestione Strade / Servizio Opere Stradali e Ferroviarie e del Dipartimento di Ingegneria Civile Ambientale e Meccanica dell'Università di Trento.

SOMMARIO

1	GENERALITÀ	5
1.1	PREMESSA	5
1.2	OGGETTO DELLA PROCEDURA.....	6
1.3	RIFERIMENTI	6
1.4	UNITÀ DI MISURA.....	6
1.5	TERMINI E DEFINIZIONI	6
1.6	ATTREZZATURA E PRECAUZIONI	6
2	SCOPI DELLA CARATTERIZZAZIONE	7
3	CARATTERIZZAZIONE GEOMETRICA	8
3.1	RILIEVO GEOMETRICO	8
3.1.1	Attrezzatura necessaria.....	8
3.2	SCARIFICA	9
3.2.1	Attrezzatura necessaria.....	9
3.3	PACOMETRO	9
3.4	ENDOSCOPIA	9
3.5	MISURA DEGLI SPESSORI MEDIANTE ULTRASUONI.....	10
3.6	VERIFICA GEOMETRICA DELLE SALDATURE	10
3.7	ESECUZIONE DI SCASSI NELLE MURATURE.....	10
4	CARATTERIZZAZIONE DEL MATERIALE: CALCESTRUZZO, CEMENTO ARMATO E CEMENTO ARMATO PRECOMPRESSO	11
4.1	PROVE DI RIMBALZO	11
4.1.1	Normativa di riferimento	12
4.2	PROVE DI ESTRAZIONE (PULL OUT).....	12
4.2.1	Attrezzatura e modalità di prova.....	12
4.2.2	Normativa di riferimento	12
4.3	PROFONDITÀ DI CARBONATAZIONE	12
4.3.1	Normativa di riferimento	13
4.4	DETERMINAZIONE DELLO STATO DI COMPRESSIONE.....	13
4.4.1	Carotaggio ed analisi della variazione nello stato deformativo	13
4.4.2	Applicazione di martinetti piatti.....	13
4.5	PRELIEVO DI CAMPIONI DI CLS.....	14
4.5.1	Attrezzatura e modalità di prova.....	14
4.5.2	Normativa di riferimento	15
4.6	PRELIEVO DI CAMPIONI DI ARMATURA.....	15
4.6.1	Modalità di prova	15
4.6.2	Normativa di riferimento	15

4.7	PROVE DI COMPRESSIONE SUI CAMPIONI DI CLS.....	16
4.7.1	Normativa di riferimento	16
4.8	DETERMINAZIONE DELLA MASSA VOLUMICA DEL CLS.....	16
4.8.1	Normativa di riferimento	16
4.9	ANALISI DEL CONTENUTO DI CLORURI NEI CAMPIONI DI CLS.....	16
4.9.1	Normativa di riferimento	16
4.10	PROVE DI TRAZIONE SUI CAMPIONI DELLE ARMATURE.....	17
4.10.1	Normativa di riferimento	17
4.11	ANALISI CHIMICA DEI CAMPIONI DELLE ARMATURE	17
5	CARATTERIZZAZIONE DEL MATERIALE: ACCIAIO.....	18
5.1	ULTRASUONI.....	18
5.1.1	Normativa di riferimento	18
5.2	LIQUIDI PENETRANTI	19
5.2.1	Normativa di riferimento	19
5.3	CONTROLLO MAGNETOSCOPICO.....	20
5.3.1	Normativa di riferimento	20
5.4	RADIOGRAFIA	20
5.4.1	Normativa di riferimento	21
5.5	CONTROLLO DELLA COPPIA DI SERRAGGIO	21
5.5.1	Normativa di riferimento	21
5.6	PRELIEVO DI CAMPIONI.....	21
5.6.1	Modalità di prova	21
5.6.2	Normativa di riferimento	22
5.7	ANALISI CHIMICA	22
5.8	PROVE DI DUREZZA.....	22
5.8.1	Normativa di riferimento	22
5.9	PROVE DI TRAZIONE.....	22
5.10	DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI RESIDUE	23
5.10.1	Modalità di prova	23
5.10.2	Normativa di riferimento	23
6	CARATTERIZZAZIONE DEL MATERIALE: MURATURA	24
6.1	MARTINETTI PIATTI: DETERMINAZIONE DELLA TENSIONE ESISTENTE.....	24
6.1.1	Attrezzatura e modalità di prova.....	24
6.1.2	Normativa di riferimento	24
6.2	MARTINETTI PIATTI: DETERMINAZIONE DELLA LEGGE COSTITUTIVA.....	25
6.2.1	Attrezzatura e modalità di prova.....	25
6.3	PRELIEVO DI CAMPIONI DI MURATURA	25
6.4	CARATTERIZZAZIONE DELLA MALTA	25

6.5	DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE FISICHE E DI DURABILITÀ DEGLI ELEMENTI	26
6.5.1	Normativa di riferimento	26
6.6	DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DI ELEMENTI E CAMPIONI DI MURATURA.....	26
6.6.1	Normativa di riferimento	27
7	CARATTERIZZAZIONE GLOBALE	28
7.1	PROVE DI CARICO STATICO	28
7.1.1	Normativa di riferimento	28
7.2	PROVE DINAMICHE	28
7.2.1	Normativa di riferimento	29

1 GENERALITÀ

1.1 PREMESSA

La presente procedura costituisce parte del sistema di gestione dei manufatti stradali della Provincia Autonoma di Trento (PAT).

Il funzionamento del sistema è basato su:

- Un sistema informatico;
- Un sistema di procedure, il cui elenco è riportato di seguito.
 - MA.GG.01: Guida generale - Sistema ispettivo
 - MA.GG.02: Schede elementi
 - MA.GG.03: Modelli di calcolo
 - MA.GG.04: Modalità operative per la gestione del sistema
 - PR.IS.01: Esecuzione ispezioni d'inventario
 - PR.IS.02: Esecuzione ispezioni superficiali
 - PR.IS.03: Esecuzione ispezioni principali
 - PR.IS.04: Esecuzione ispezioni principali approfondite
 - PR.IS.05: Esecuzione ispezioni speciali
 - PR.PS.01: Norme generali per l'esecuzione di prove di caratterizzazione sperimentale di ponti esistenti
 - PR.CE.01: Valutazione della capacità al transito di carichi eccezionali su ponti a travata: livelli 1, 2 e 3
 - PR.CE.02: Valutazione della capacità al transito di carichi eccezionali su ponti ad arco
 - PR.GS.01: Gestione dell'inventario

Il sistema è stato sviluppato dal Gruppo di Lavoro BMS del Dipartimento di Ingegneria Civile Ambientale e Meccanica dell'Università degli Studi di Trento nell'ambito di un rapporto di ricerca con la PAT, regolato da apposite convenzioni.

Il Gruppo di Lavoro BMS è composto da: Prof. R. Zandonini, Prof. P. Zanon, Dr. D. Zonta, Dr. F. Bortot, Ing. D. Capraro, Ing. A. Lanaro, Ing. E. Debiasi. Questo manuale è stato sviluppato dagli ingegneri Capraro, Lanaro e Debiasi con la supervisione del Dr. Zonta.

Il documento è stato approvato dal Servizio Gestione Strade e dal Servizio Opere Stradali e Ferroviarie della PAT.

Questa procedura è stata sviluppata dagli ingegneri Capraro e Lanaro con la supervisione del Dr. Zonta e dal Dr. Bortot.

1.2 OGGETTO DELLA PROCEDURA

Il presente documento descrive le procedure e le linee guida relative alle più diffuse prove di caratterizzazione sperimentale. Sono riportate prove di caratterizzazione geometrica, meccanica e globale di strutture realizzate in calcestruzzo (non armato, armato e precompresso), in acciaio, in muratura.

L'analisi sperimentale è un campo in continua evoluzione e, considerata la varietà di situazioni e di obiettivi, non è possibile fornire una descrizione di tutte le tecniche disponibili. Per questo motivo si riportano nel seguito solo le principali tecniche di indagine. Si demanda al lettore la responsabilità di verificare l'esattezza dei riferimenti normativi riportati.

1.3 RIFERIMENTI

Questa procedura fa riferimento alle seguenti procedure del sistema di gestione della PAT:

MA.GG.01

La procedura fa inoltre riferimento alle seguenti norme:

DM 14/09/2005	UNI EN 1712
	UNI EN 1713
UNI 6131	UNI EN 1714
UNI 9513	UNI EN 1043-1/2
UNI 9916	UNI EN 1052-1/2/3/4
UNI 9944	UNI EN 10002-1
UNI 10157	UNI EN 12390-3/7
UNI 10766	UNI EN 12504-1/2
UNI 10985	UNI EN 12517
UNI EN 196-2	UNI EN ISO 377
UNI EN 444	UNI EN ISO 3059
UNI EN 571-1	UNI EN ISO 6506-1/2/3
UNI EN 583-1/3/6	UNI EN ISO 6507-1/2/3
UNI EN 772-1/2/3/4/5/6 7/9/11/16/18	UNI EN ISO 6508-1/2/3
	UNI ENV 583-6
UNI EN 1289	UNI ISO 5348
UNI EN 1290	
UNI EN 1291	ASTM Standard E837
UNI EN 1330-3	ASTM Standard C1196
UNI EN 1435	

Nel seguito sono riportati i riferimenti completi.

1.4 UNITÀ DI MISURA

Se non diversamente specificato si utilizzano le unità di misura del Sistema Internazionale (SI).

1.5 TERMINI E DEFINIZIONI

Vedere il Glossario in MA.GG.01.

1.6 ATTREZZATURA E PRECAUZIONI

L'elenco dell'attrezzatura che può essere necessaria e le principali precauzioni da adottare durante le ispezioni sono riportati in MA.GG.01.

2

SCOPI DELLA CARATTERIZZAZIONE

Le prove di caratterizzazione possono essere divise in tre gruppi, in funzione dell'obbiettivo per cui vengono eseguite. E' quindi possibile avere:

1. Prove di caratterizzazione geometrica, il cui scopo è la verifica delle dimensioni degli elementi strutturali sia in termini di dimensioni esterne che in termini di posizione e dimensione degli elementi di armatura (normale e di precompressione). Vedi punto 3.
2. Prove di caratterizzazione meccanica dei materiali, che possono essere divise in prove eseguite in loco (es: prove di estrazione o di rimbalzo) e prove eseguite in laboratorio su campioni prelevati dalla struttura (es: prove a rottura e analisi chimiche) e vengono trattate separatamente per i differenti materiali considerati:
 - nel punto 4 per gli elementi in cls, c.a. o c.a.p.;
 - nel punto 5 per gli elementi in acciaio;
 - nel punto 6 per gli elementi in muratura.
3. Prove di caratterizzazione del comportamento globale della struttura, il cui scopo è la verifica sperimentale del comportamento globale della struttura. Si tratta di prove di carico statico o prove di tipo dinamico. Vedi punto 7.

3

CARATTERIZZAZIONE GEOMETRICA

Si considerano le seguenti tipologie di indagine per la caratterizzazione geometrica delle strutture:

- rilievo geometrico delle dimensioni esterne (punto 3.1);
- scarifica degli elementi per la valutazione delle armature presenti (punto 3.2);
- individuazione delle armature tramite campo magnetico (pacometro) (punto 3.3);
- verifica dello stato dei cavi di precompressione mediante endoscopia (punto 3.4);
- misura degli spessori mediante ultrasuoni (punto 3.5);
- verifica geometrica delle saldature (punto 3.6);
- esecuzione di scassi nelle murature (punto 3.7).

Alcune prove che possono essere necessarie, ma che non si descrivono in dettaglio in quanto presentano un complessità tale da richiedere la realizzazione da parte di personale appositamente preparato, sono le seguenti:

- radiografia e radioscopia;
- Ground Penetration Radar (GPR).

3.1

RILIEVO GEOMETRICO

Il rilievo geometrico della struttura può essere finalizzato alla verifica delle principali dimensioni della stessa rispetto ai dati di progetto (luce delle campate, altezza delle travi, ...) oppure alla realizzazione di un rilievo dettagliato dell'intera struttura quando non siano disponibili gli elaborati di progetto o gli stessi risultino incompleti o non corrispondenti alla realtà.

3.1.1

Attrezzatura necessaria

Oltre agli strumenti di misura (corda metrica, distanziometro, metro pieghevole, calibro, ...) e di registrazione dei dati possono essere necessari, data la tipologia dell'oggetto del rilievo, attrezzature o mezzi che permettano di raggiungere i diversi punti della struttura; si utilizzeranno, ad esempio:

- scale;
- elevatori e piattaforme mobili;
- imbarcazioni.

Durante l'impiego di queste attrezzature, ed in generale durante tutto il rilievo, si devono adottare tutte le precauzioni necessarie ad uno svolgimento in piena sicurezza delle operazioni.

Possono essere inoltre utilizzate attrezzature per le misure topografiche o procedure quali la fotogrammetria.

3.2

SCARIFICA

In molti casi l'unico modo per verificare la dimensione e la disposizione delle armature presenti in un elemento di cemento armato è rappresentato dalla scarifica dell'elemento stesso effettuata in modo tale da scoprire le barre di armatura.

Nell'effettuare questa operazione, e soprattutto nella scelta delle posizioni di ispezione, bisogna tenere in considerazione i seguenti fattori:

- sicurezza strutturale;
- sicurezza degli operatori;
- impatto visivo dell'eventuale ripristino;
- significatività della posizione scelta.

3.2.1

Attrezzatura necessaria

Oltre all'attrezzatura necessaria per effettuare la scarifica (demolitore, gruppo elettrogeno, ...) è indispensabile avere a disposizione l'attrezzatura ed il materiale necessario per il ripristino del cls:

- malta antiritiro da ripristino;
- prodotti aggrappanti;
- attrezzatura per la lavorazione e l'applicazione dei materiali.

Quando le barre di armatura risultino soggette a corrosione è necessario, prima di effettuare il ripristino del cls, procedere alla sabbiatura delle barre stesse per asportare lo strato ossidato e alla eventuale applicazione di prodotti protettivi. Interventi di rinforzo possono essere necessari nei casi in cui lo spessore dello strato corroso risulti tale da compromettere la sicurezza strutturale dell'elemento.

3.3

PACOMETRO

La prova permette di eseguire una mappatura delle armature all'interno degli elementi strutturali. Lo strumento utilizzato è il pacometro; esso si basa sul principio dell'induzione magnetica o sul principio della conducibilità elettrica (correnti parassite).

Lo strumento viene fatto scorrere sulla superficie dell'elemento mentre la variazione dell'indice di misurazione permette di individuare la posizione e la direzione delle barre. Queste informazioni sono necessarie non solo per la verifica della geometria dell'elemento ma anche per la realizzazione di prove quali quelle di estrazione o i prelievi di materiale.

3.4

ENDOSCOPIA

Le ispezioni visuali interne sono usate in alcuni casi particolari, generalmente nelle strutture in c.a.p. dove vuoti nei condotti o altri difetti sono stati scoperti o sono sospettati. La realizzazione di una foratura di 25 mm di diametro è normalmente sufficiente per accedere ai condotti dei cavi. Attraverso il foro, dopo un'accurata pulizia dello stesso mediante soffiatura, viene inserito un endoscopio flessibile a fibre ottiche per esaminare i cavi, i condotti e la malta, in cerca di corrosione metallica, pitting, rotture dei fili metallici, o riempimenti di malta difettosi. L'ispezione si estende fino a che le dimensioni dei vuoti permettono alla sonda di passare.

L'esecuzione di ispezioni con l'endoscopio richiede una particolare attenzione nella fase di realizzazione del foro, per evitare di danneggiare le armature, e nella fase di ripristino del foro stesso, per non favorire i fenomeni di degrado dell'elemento.

L'ispezione con endoscopio può fornire informazioni utili anche nel caso di strutture in muratura o legno ed in generale in tutte le situazioni in cui sia necessario verificare la presenza e l'estensione di cavità. Un'altra possibile applicazione è l'ispezione dell'interno di elementi metallici cavi; in questo caso particolare attenzione deve essere posta al ripristino del foro e della protezione superficiale.

In tutti i casi in cui l'ispezione richiede la realizzazione di fori negli elementi strutturali, le posizioni in cui questi verranno eseguiti devono essere scelte in funzione dei seguenti fattori: significatività della prova, sicurezza degli operatori, influenza sulla resistenza e sulla funzionalità dell'elemento, necessità e fattibilità del ripristino dell'elemento, influenza sulla velocità di degrado dell'elemento.

Gli endoscopi, in particolare quelli rigidi, possono essere impiegati anche per l'ispezione di punti esterni ma non direttamente visibili, come nel caso dei sistemi di supporto.

3.5 MISURA DEGLI SPESSORI MEDIANTE ULTRASUONI

La misura del tempo necessario ad un onda di lunghezza e frequenza adeguate (ultrasuoni) per attraversare un elemento o per tornare al sensore/generatore, permette di determinare lo spessore di un elemento e dell'eventuale strato di protezione. Questa tecnica permette di verificare lo spessore di elementi cavi o di cui sia visibile solo una faccia. A seconda delle caratteristiche delle onde utilizzate, è possibile indagare sia elementi di cls che di acciaio.

La prova permette inoltre di verificare la presenza di difetti e imperfezioni come riportato al punto 5.1.

3.6 VERIFICA GEOMETRICA DELLE SALDATURE

Nelle strutture in acciaio con collegamenti saldati può essere opportuno verificare a campione la geometria dei cordoni di saldatura e in particolare le altezze di gola. Questo può richiedere, soprattutto nei casi di saldatura a completa penetrazione, la realizzazione di piccoli fori passanti nel cordone di saldatura; naturalmente la realizzazione di questo tipo di indagine deve essere preceduta da una analisi delle parti interessate al fine di escludere il rischio di diminuire la sicurezza strutturale (diminuzione di sezione resistente) o di favorire la nascita di problemi di fatica (intensificazione locale degli sforzi, inizio di fessure, ...). Se necessario le saldature alterate dovranno essere ripristinate dopo l'ispezione. Lo strato di protezione deve essere sempre ripristinato.

3.7 ESECUZIONE DI SCASSI NELLE MURATURE

Il rilievo delle sezioni murarie può essere effettuato utilizzando scassi già esistenti o con piccoli scassi che siano in seguito facilmente ripristinabili.

Anche in questo caso è fondamentale valutare i seguenti fattori prima di procedere: significatività della prova, sicurezza degli operatori, influenza sulla resistenza e sulla funzionalità della struttura, fattibilità ed efficacia del ripristino, influenza sulla velocità di degrado, influenza sull'estetica della struttura.

4 CARATTERIZZAZIONE DEL MATERIALE: CALCESTRUZZO, CEMENTO ARMATO E CEMENTO ARMATO PRECOMPRESSO

Prove di caratterizzazione del materiale in loco:

- prove di rimbalzo (sclerometro) (punto 4.1);
- prove di estrazione di tasselli (pull-out) (punto 4.2);
- determinazione della profondità di carbonatazione del cls (punto 4.3).

Oltre a queste prove possono essere utilizzati procedimenti per determinare la tensione nel materiale che prevedono l'impiego di sensori per monitorare le variazioni di deformazione nel materiale in seguito all'esecuzione di fori, tagli o carotaggi.

Prelievo di campioni di materiale:

- prelievo di campioni di cls (punto 4.5);
- prelievo di campioni di armatura (punto 4.6).

Prove di caratterizzazione del materiale in laboratorio:

- prove di compressione sui campioni di cls (punto 4.7);
- determinazione della massa volumica del cls (punto 4.8);
- determinazione della profondità di carbonatazione del cls (punto 4.3);
- analisi del contenuto di cloruri nei campioni di cls (punto 4.9);
- prove di trazione sui campioni delle armature (punto 4.10);
- analisi chimica dei campioni delle armature (punto 4.11).

4.1 PROVE DI RIMBALZO

L'attrezzatura di prova consiste in una massa collegata con una molla ed uno scatto che rilascia improvvisamente la massa che va a sbattere sulla superficie di calcestruzzo rimbalzando e spostando un indice che viene bloccato sul valore massimo di rimbalzo.

Lo sclerometro "Schmidt tipo N" è lo strumento di più comune impiego per la valutazione della durezza superficiale del calcestruzzo e la stima della resistenza a compressione (valutazione indiretta).

La resistenza a compressione determinata attraverso l'indice sclerometrico può essere utilizzata per la valutazione dell'uniformità del calcestruzzo in sito, per delineare le zone o aree di calcestruzzo di scarsa qualità o deteriorato presenti nelle strutture. E' importante notare come il metodo di prova non sia inteso come una alternativa per la determinazione della resistenza alla compressione del calcestruzzo. E' invece possibile, tramite una opportuna correlazione con le poche prove di resistenza eseguite, fornire una stima della resistenza in sito in molte posizioni differenti; le zone verificate con lo sclerometro devono presentare caratteristiche simili (stesso getto di cls, ...) alle zone in cui sono state eseguite, mediante il prelievo di campioni, le prove di resistenza diretta.

In ogni posizione indagata deve essere eseguito un numero significativo di prove (normalmente 15) ad una distanza di pochi centimetri una dall'altra; questo serve per eliminare l'influenza della disuniformità superficiale degli elementi.

La prova sclerometrica trova impiego principalmente per la verifica di calcestruzzi non troppo invecchiati. Per calcestruzzi di strutture realizzate da molti anni la prova deve essere impiegata valutando con attenzione l'alterazione della parte corticale del materiale. La carbonatazione è un fenomeno che, indurendo la parte superficiale del calcestruzzo, può provocare un'alterazione dei risultati forniti dalla prova.

4.1.1 Normativa di riferimento

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

4.2 PROVE DI ESTRAZIONE (PULL OUT)

La prova si basa sulla determinazione della forza necessaria per estrarre con un martinetto un tassello inserito nel calcestruzzo. I parametri forniti dalle prove sono:

- la forza di estrazione del tassello;
- la stima della resistenza a compressione del calcestruzzo (valore indiretto).

4.2.1 Attrezzatura e modalità di prova

L'apparecchiatura di prova è costituita da un trapano dotato di una punta in grado di svasare il foro. I tasselli, inseriti nel foro praticato con il trapano e fatti espandere nel foro stesso, vengono successivamente estratti con un idoneo martinetto idraulico; un manometro collegato al martinetto permette di misurare la pressione massima di estrazione.

Il numero minimo di prove per ottenere un valore medio deve essere di 3, lo spessore minimo del calcestruzzo deve essere pari a 3 volte la profondità dell'inserito.

Le posizioni di prova devono essere distanti almeno 5 volte la profondità dell'inserito e trovarsi lontano dalle armature del calcestruzzo.

Si deve prestare particolare attenzione nel posizionare i tasselli ad una distanza dalle armature tale da evitare che queste intersechino la superficie di rottura del cls; è quindi necessario utilizzare un pacometro per individuare l'esatta posizione delle barre. Deve essere inoltre verificata la perpendicolarità del tassello rispetto alla superficie dell'elemento.

4.2.2 Normativa di riferimento

UNI 10157: Calcestruzzo indurito. Determinazione della forza di estrazione mediante inserti post-inseriti ad espansione geometrica e forzata.

4.3 PROFONDITÀ DI CARBONATAZIONE

La profondità a cui si estende la carbonatazione del cls può essere determinata direttamente sui provini cilindrici di calcestruzzo estratti dal manufatto oppure praticando dei fori sul calcestruzzo.

La prova consiste nell'applicare sulle superfici un indicatore acido-base colorato. Generalmente si utilizza una soluzione al 1% di fenolftaleina in alcol etilico in quanto questa soluzione vira al rosso in presenza di un materiale il cui pH sia maggiore di 9.2; questo vuol dire che se appare sulle superfici trattate un colore rosso, non si è in presenza di carbonatazione.

4.3.1 Normativa di riferimento

UNI 9944: Corrosione e protezione dell'armatura del calcestruzzo. Determinazione della profondità di carbonatazione e del profilo di penetrazione degli ioni cloruro nel calcestruzzo.

4.4 DETERMINAZIONE DELLO STATO DI COMPRESSIONE

Nelle strutture precomprese, sia pre-tese che post-tese, la determinazione della forza di precompressione realmente presente nella struttura ha una notevole importanza nella valutazione della sicurezza strutturale.

Nelle strutture post-tese la forza di presollecitazione può essere valutata applicando un martinetto all'estremità dei cavi di precompressione. Quando questo non sia operativamente realizzabile e nel caso di strutture pre-tese, è necessario ricorrere ad altre tecniche di valutazione quali:

- l'analisi della variazione nello stato deformativo in una carota;
- la valutazione mediante l'applicazione di martinetti piatti.

4.4.1 Carotaggio ed analisi della variazione nello stato deformativo

Questa tecnica di indagine consiste nel misurare la deformazione superficiale di una carota di cls e prevede:

- l'applicazione di uno strain gauge in corrispondenza della carota che verrà estratta e nella direzione delle tensioni che si vogliono valutare;
- la lettura del valore misurato;
- l'isolazione e la protezione del sensore;
- il prelievo del campione;
- il ricollegamento del sensore all'apparecchiatura di acquisizione e la lettura del valore attuale.
- la differenza tra il valore finale e quello iniziale fornisce la deformazione originaria del materiale.

L'esecuzione della prova è complicata dalla necessità di proteggere i sensori durante la realizzazione del foro (che non sempre può essere realizzato a secco) e dalla possibile presenza di autotensioni superficiali. La lunghezza della griglia di lettura dei sensori deve essere pari ad almeno 3 volte il diametro massimo dell'inerte.

4.4.2 Applicazione di martinetti piatti

Il principio su cui si basa questa tecnica è il seguente: praticando un taglio in un elemento di cls si verifica un annullamento delle tensioni che si trasmettevano all'interfaccia tra le due superfici che sono state sezionate e si produce una deformazione. Per ripristinare la situazione di deformazione iniziale si deve applicare alle due superfici una tensione pari a quella esistente prima del taglio. Questa tensione viene applicata introducendo nel foro, rettangolare o semicircolare, un martinetto piatto delle stesse dimensioni (costituito essenzialmente da due sottili lamine metalliche saldate ai bordi e tra le quali viene pompato olio in pressione).

Operativamente si procede come descritto nel seguito: si misura la distanza tra due punti fissati sull'elemento, si procede quindi al taglio della parte superficiale dello stesso, si inserisce nel taglio praticato un martinetto piatto e quindi si mette in pressione fino a quando non si ritrova la deformazione iniziale. La pressione letta, a meno di una costante di taratura del martinetto, rappresenta lo stato tensionale nel materiale prima di praticare il taglio. La principale limitazione all'applicazione di questa tecnica è la possibile incompatibilità tra le dimensioni dei martinetti reperibili in commercio e la distanza tra i cavi di precompressione dell'elemento indagato.

4.5 PRELIEVO DI CAMPIONI DI CLS

Il prelievo di campioni di cls viene generalmente effettuato utilizzando una carotatrice; i provini che si ottengono in questo modo presentano forma cilindrica. Campioni di materiale possono essere estratti anche mediante sega a disco o martello perforatore.

In funzione del diametro del campione prelevato si distinguono:

- il carotaggio: diametro della carota maggiore o uguale a 3 volte il diametro massimo dell'inerte;
- il microcarotaggio: diametro nominale del campione 2,8 cm con diametro massimo dell'inerte 31,5 mm.

Le prove possono essere considerate debolmente distruttive poiché la foratura localizzata della struttura, generalmente, non ne compromette l'insieme. Il microcarotaggio viene definito dalla norma UNI 10766 come "prova non distruttiva". Anche se presenta una minore invasività rispetto al carotaggio, questa tecnica di prelievo mostra dei limiti nella dispersione dei risultati che si ottengono dai campioni.

Il prelievo di campioni di cls può essere utilizzato anche per ottenere informazioni sulla geometria della struttura: l'esecuzione di carotaggi passanti nelle solette di impalcato permette infatti di verificare lo spessore delle stesse e della sovrastante pavimentazione.

4.5.1 Attrezzatura e modalità di prova

La carotatrice è formata da un motore elettrico che fa ruotare un cilindro dotato di corona diamantata. Il raffreddamento del cilindro è generalmente realizzato con acqua e il diametro del carotaggio può variare da pochi centimetri a qualche decina di centimetri.

Nell'individuare le posizioni di prelievo devono essere tenuti in considerazione i seguenti fattori:

- sicurezza strutturale;
- sicurezza degli operatori;
- impatto visivo dell'eventuale ripristino;
- significatività della posizione scelta.

Per quanto possibile è inoltre preferibile evitare le barre di armatura.

Le posizioni di prelievo devono essere ripristinate con particolare cura e utilizzando prodotti specifici al fine di:

- garantire un'efficace collaborazione statica del materiale di ripristino;
- evitare di favorire i fenomeni di degrado dell'elemento.

4.5.2

Normativa di riferimento

UNI 6131: Prelevamento campioni di calcestruzzo indurito

UNI 10766: Calcestruzzo indurito - Prove di compressione su provini ricavati da microcarote per la stima delle resistenze cubiche locali del calcestruzzo in situ.

UNI EN 12504-1: Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Carote - Prelievo, esame e prova di compressione.

4.6

PRELIEVO DI CAMPIONI DI ARMATURA

Il prelievo di campioni di armatura deve essere pianificato con molta attenzione: mentre la fase di prelievo non presenta normalmente particolari problemi, il ripristino degli elementi di armatura può essere molto difficoltoso o addirittura non realizzabile.

4.6.1

Modalità di prova

Il principale vincolo al prelievo dei campioni è rappresentato, normalmente, dalla saldabilità del materiale: il ripristino delle barre risulta infatti realizzabile in presenza di un acciaio saldabile mentre diventa difficilmente realizzabile in presenza di un materiale che non possa essere saldato utilizzando tecniche applicabili in cantiere. Quando non è possibile saldare gli elementi è infatti necessario ricorrere:

- a mezzi di unione di tipo meccanico (es: manicotti filettati, ...);
- alla trasmissione delle forze tra barre in loco e barre di ripristino attraverso la malta di ripristino.

Nel primo caso si possono presentare problemi di esecuzione legati al ridotto spazio disponibile per applicare i mezzi di trasmissione, nel secondo si deve considerare la possibilità di avere una trasmissione degli sforzi attraverso la malta di ripristino ridotta rispetto a quella teorica.

Quando non si posseggano informazioni relative alla saldabilità del materiale è necessario procedere al prelievo di una piccola porzione di materiale (tale da non compromettere la sicurezza strutturale del manufatto) su cui eseguire le analisi chimiche. La valutazione del contenuto dei differenti elementi e del valore del Carbonio Equivalente permette di determinare se il materiale è saldabile (DM 14/09/2005).

Campioni di armatura possono essere prelevati anche da posizioni tali da non alterare in modo significativo il comportamento statico della struttura; ad esempio è possibile prelevare:

- spezzoni di barre utilizzati come distanziatori tra il cassero inferiore di una trave e la gabbia di armatura della stessa;
- prolungamenti di barre oltre la lunghezza di ancoraggio.

4.6.2

Normativa di riferimento

UNI EN ISO 377: Acciaio e prodotti di acciaio - Prelievo e preparazione dei saggi e delle provette per prove meccaniche.

DM 14/09/2005: Norme tecniche per le costruzioni.

4.7

PROVE DI COMPRESSIONE SUI CAMPIONI DI CLS

L'obiettivo di queste prove è la valutazione della resistenza a compressione dei campioni di cemento armato prelevati dalla struttura. Considerata la natura distruttiva o debolmente distruttiva dei prelievi, questi possono essere realizzati solo in un numero limitato di posizioni. I risultati ottenuti dalle prove di compressione possono comunque servire per tarare delle tipologie di prova che risultano applicabili su più larga scala ma con una maggiore incertezza quali le prove di rimbalzo e quelle di estrazione.

Benché le prove di compressione siano semplici e convenzionali, i provini di calcestruzzo raramente hanno qualità e dimensioni di cilindri standard. I risultati possono perciò trarre in inganno soprattutto se si dispone di poche prove; è pertanto fondamentale prendere in considerazione tutti gli effetti e le grandezze che possono influenzare il risultato.

4.7.1

Normativa di riferimento

UNI 10766: Calcestruzzo indurito - Prove di compressione su provini ricavati da microcarote per la stima delle resistenze cubiche locali del calcestruzzo in situ.

UNI EN 12390-3: Prova sul calcestruzzo indurito - Resistenza alla compressione dei provini.

UNI EN 12390-7: Prova sul calcestruzzo indurito - Massa volumica del calcestruzzo indurito.

UNI EN 12504-1: Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Carote - Prelievo, esame e prova di compressione.

4.8

DETERMINAZIONE DELLA MASSA VOLUMICA DEL CLS

Volendo determinare la massa volumica di un campione di cls si deve considerare la seguente avvertenza: la procedura di determinazione richiede l'immersione del campione in acqua e questo può alterare il risultato di altri tipi di prove quali l'analisi del contenuto di cloruri e della profondità di carbonatazione. Questi tipi di prova andranno quindi eseguiti prima della determinazione della massa volumica del campione oppure su campioni differenti.

4.8.1

Normativa di riferimento

EN 12390-7: Prova sul calcestruzzo indurito - Massa volumica del calcestruzzo indurito.

4.9

ANALISI DEL CONTENUTO DI CLORURI NEI CAMPIONI DI CLS

Nell'esecuzione di questo tipo di analisi si deve evitare di esaminare porzioni di materiale del campione che possano risultare compromesse dal procedimento di prelievo. Durante il prelievo con carotatrice, l'acqua utilizzata come liquido di raffreddamento può alterare il contenuto di cloruri nello strato superficiale della carota; è quindi opportuno eseguire l'analisi su porzioni di materiale ottenute dalla parte più interna della carota. L'analisi può essere effettuata anche sui pezzi di provino che rimangono dopo aver eseguito prove di tipo meccanico quali quelle di compressione.

4.9.1

Normativa di riferimento

UNI EN 196-2: Metodi di prova dei cementi - Parte 2: Analisi chimica dei cementi.

UNI 9944: Corrosione e protezione dell'armatura del calcestruzzo. Determinazione della profondità di carbonatazione e del profilo di penetrazione degli ioni cloruro nel calcestruzzo.

4.10 PROVE DI TRAZIONE SUI CAMPIONI DELLE ARMATURE

Le informazioni ottenibili da questa prova sono le seguenti:

- modulo elastico del materiale;
- tensione di snervamento superiore;
- tensione di snervamento inferiore;
- tensione di rottura;
- allungamento a rottura.

4.10.1 Normativa di riferimento

UNI EN ISO 377: Acciaio e prodotti di acciaio - Prelievo e preparazione dei saggi e delle provette per prove meccaniche.

UNI EN 10002-1: Materiali metallici. Prova di trazione. Metodo di prova (a temperatura ambiente).

4.11 ANALISI CHIMICA DEI CAMPIONI DELLE ARMATURE

L'analisi chimica dei campioni di acciaio permette di ottenere delle informazioni sulle proprietà meccaniche, di durabilità e di saldabilità del materiale.

5

CARATTERIZZAZIONE DEL MATERIALE: ACCIAIO

Prove di caratterizzazione del materiale e della struttura in loco:

- ultrasuoni (punto 5.1);
- liquidi penetranti (punto 5.2);
- magnetoscopia (punto 5.3);
- radiografia (punto 5.4);
- verifica della coppia di serraggio dei bulloni (punto 5.5).

Oltre a queste prove possono essere utilizzati procedimenti per determinare la tensione nel materiale che prevedono l'impiego di sensori per monitorare le variazioni di deformazione nel materiale in seguito all'esecuzione di fori e tagli o al prelievo di campioni di materiale. L'analisi dello stato tensionale può essere effettuata in sito utilizzando la procedura normalmente adottata per la determinazione delle tensioni residue (punto 5.10).

Prelievo di campioni di materiale:

- prelievo di campioni per le analisi chimiche o per l'esecuzione di prove meccaniche (punto 5.6).

Prove di caratterizzazione del materiale in laboratorio:

- analisi chimica (punto 5.7);
- prove di durezza (punto 5.8);
- prove di trazione (punto 5.9);
- determinazione delle tensioni residue (punto 5.10).

5.1

ULTRASUONI

Le prove con ultrasuoni trovano impiego nel controllo delle saldature, delle fusioni di metallo, delle inclusioni negli elementi laminati e nella misura degli spessori.

Le onde ultrasonore vengono generate e misurate utilizzando materiali piezoelettrici (caratterizzati dalla proprietà di espandersi e contrarsi se sottoposti ad un campo elettrico alternato e di generare un campo elettrico se sottoposti a deformazioni). La procedura di prova consiste nell'inviare nel materiale da esaminare delle onde ultrasonore e nel misurare le onde che attraversano l'elemento o che tornano riflesse sulla stessa superficie. La presenza di difetti comporta infatti un'alterazione nelle onde ultrasonore e l'analisi di questa alterazione può permettere di individuare la tipologia, la posizione e la dimensione dei difetti stessi.

5.1.1

Normativa di riferimento

UNI EN 583-1: Prove non distruttive - Esame ad ultrasuoni - Principi generali.

UNI EN 583-3: Prove non distruttive - Esame ad ultrasuoni - Tecnica per trasmissione.

UNI ENV 583-6: Prove non distruttive - Esame ad ultrasuoni - Tecnica a diffrazione del tempo di volo come metodo di rilevamento e dimensionamento delle discontinuità.

UNI EN 1712: Controllo non distruttivo delle saldature - Controllo mediante ultrasuoni dei giunti saldati - Livelli di accettabilità.

UNI EN 1713: Controllo non distruttivo delle saldature - Controllo mediante ultrasuoni - Caratterizzazione delle indicazioni nelle saldature.

UNI EN 1714: Controllo non distruttivo delle saldature - Controllo mediante ultrasuoni dei giunti saldati.

5.2

LIQUIDI PENETRANTI

L'ispezione con liquidi penetranti è un metodo particolarmente idoneo per evidenziare e localizzare discontinuità superficiali in modo veloce ed economico. Contrariamente ai controlli magnetici, i liquidi penetranti possono essere applicati con successo su qualsiasi componente, indipendentemente dalla geometria o dal materiale dello stesso ma richiedono un'accurata pulizia dell'elemento e quindi, se presente, la rimozione della protezione superficiale. L'indagine con i liquidi penetranti non può essere effettuata su elementi porosi o con superfici particolarmente rugose.

L'applicazione dei liquidi penetranti può essere effettuata tramite spray, pennello o immersione.

Dopo l'applicazione e la penetrazione del liquido, il liquido penetrante eccedente è normalmente rimosso dalla superficie mediante lavaggio con acqua corrente fredda. Dal momento che l'acqua presenta tensione superficiale più elevata e bagnabilità peggiore rispetto al penetrante, non è in grado di rimuovere lo stesso dalle fessure nelle quali è penetrato per capillarità. Dopo il lavaggio, il liquido penetrante rimasto all'interno delle difettosità viene estratto stendendo sulla superficie del pezzo uno strato di polvere rivelatrice di opportuno spessore (o applicando un secondo tipo di spray). Il liquido penetrante risale per capillarità e lascia nel rivelatore un segnale avente dimensioni molto maggiori rispetto al difetto che lo ha generato. A seconda della tecnica applicata il difetto potrà essere evidenziato in vari modi: o come una macchia di colore rosso o come macchia fluorescente facilmente rilevabile mediante irradiazione con luce di Wood.

5.2.1

Normativa di riferimento

UNI EN 571-1: Prove non distruttive - Esame con liquidi penetranti - Principi generali.

UNI EN 1289: Controllo non distruttivo delle saldature - Controllo delle saldature mediante liquidi penetranti - Livelli di accettabilità.

UNI EN ISO 3059: Prove non distruttive - Esame con liquidi penetranti e controllo magnetoscopico - Condizioni di visione.

5.3

CONTROLLO MAGNETOSCOPICO

La magnetoscopia è particolarmente adatta per la ricerca di difetti superficiali (come le cricche) e anche subsuperficiali (come le inclusioni); queste ultime non sono rivelabili con i liquidi penetranti mentre possono essere individuate con il controllo magnetoscopico se la perturbazione del campo magnetico nei loro dintorni è tale da giungere fino alla superficie da esaminare. Questa tipologia di indagine risulta invece assolutamente inefficace per i difetti interni; anche la sensibilità ai difetti tondeggianti è piuttosto scarsa.

Questa tipologia di prova sfrutta il comportamento paramagnetico o ferromagnetico di molti materiali metallici per evidenziare le anomalie delle linee di flusso del campo magnetico nei pressi di un difetto superficiale. Nei pressi di una discontinuità, quale per esempio una microcricca, le linee di flusso del campo magnetico deviano localmente e creano, ai bordi del difetto, un'anomalia del campo magnetico e, se il difetto interessa la superficie dell'elemento, parte delle linee di flusso del campo magnetico vengono disperse oltre la superficie stessa.

L'alterazione del campo magnetico viene evidenziata utilizzando apposite polveri ferromagnetiche, colorate o fluorescenti, che vengono applicate sulla superficie dell'elemento a secco, in sospensione oleosa o in sospensione acquosa (additivata con tensioattivi per migliorarne la bagnabilità e, se necessario, con inibitori di corrosione per evitare che i pezzi si ossidino). Le particelle si concentrano allineandosi lungo le linee di flusso del campo magnetico e sono rese visibili mediante l'esposizione ad una lampada di Wood.

5.3.1

Normativa di riferimento

UNI EN 1290: Controllo non distruttivo delle saldature - Controllo magnetoscopico con particelle magnetiche delle saldature.

UNI EN 1291: Controllo non distruttivo delle saldature - Controllo magnetoscopico con particelle magnetiche delle saldature - Livelli di accettabilità.

UNI EN ISO 3059: Prove non distruttive - Esame con liquidi penetranti e controllo magnetoscopico - Condizioni di visione.

5.4

RADIOGRAFIA

Questa tecnica trova normalmente applicazione nel controllo di saldature, getti, microfusioni. Ha il pregio di fornire immagini di più facile interpretazione che non gli echi degli ultrasuoni, ma non può dare indicazioni sulla profondità del difetto rivelato, se non con due proiezioni ortogonali fra loro.

Quando i raggi X (onde elettromagnetiche), passano attraverso l'oggetto da esaminare, essi vengono assorbiti in funzione dello spessore e della densità della materia attraversata.

I raggi X che riescono ad attraversare il materiale, impressionano una lastra fotografica posta dietro l'oggetto da esaminare.

A seguito dello sviluppo fotografico la lastra risulterà più o meno annerita nelle sue diverse zone, in funzione della dose di radiazione assorbita. In pratica se nell'oggetto esaminato esistono difetti quali cavità, fessure, grosse inclusioni meno assorbenti della matrice o discontinuità di materiale più denso e quindi più assorbente, sulla lastra si formeranno macchie più scure o più chiare, d'intensità proporzionale allo spessore del difetto, il quale apparirà delimitato dalla sua proiezione prospettica.

La radiografia industriale è proficua per l'esame di pezzi di geometria semplice la cui proiezione dia luogo a sfondi relativamente omogenei; ogni piccola variazione d'intensità d'annerimento (o di luminosità) risulta infatti facilmente osservabile ed interpretabile. Diventa una tecnica che richiede una grande esperienza quanto più complessa è la geometria dei pezzi.

Il metodo non consente d'eseguire facilmente rapide sequenze di altre proiezioni del pezzo da esaminare, se non attraverso la radioscopia (irraggiamento in continuo), che però deve necessariamente operare con potenze limitate, per ragioni di sicurezza dell'operatore, o con attrezzature estremamente costose.

I raggi X anche più potenti non superano spessori d'acciaio superiori a circa 70 mm; l'impiego di raggi γ permette invece di operare su spessori fino a 180 mm.

Le limitazioni del metodo sono dunque legate allo spessore massimo ed alla complessità geometrica dei pezzi da esaminare, alla forma e giacitura dei difetti e soprattutto all'elevato costo delle attrezzature e della loro manutenzione.

5.4.1 Normativa di riferimento

UNI EN 444: Prove non distruttive. Principi generali per l'esame radiografico di materiali metallici mediante raggi X e gamma.

UNI EN 1330-3: Prove non distruttive - Terminologia - Termini utilizzati nel controllo radiografico industriale.

UNI EN 1435: Controllo non distruttivo delle saldature - Controllo radiografico dei giunti saldati.

UNI EN 12517: Controllo non distruttivo delle saldature - Controllo radiografico dei giunti saldati - Livelli di accettabilità.

5.5 CONTROLLO DELLA COPPIA DI SERRAGGIO

Nelle strutture con collegamenti realizzati con bulloni può essere opportuno verificare la coppia di serraggio degli stessi. Questa verifica è particolarmente indicata per i collegamenti resistenti ad attrito, quando la struttura sia soggetta a vibrazioni e quando i bulloni siano privi di rondella di bloccaggio o di controdado.

5.5.1 Normativa di riferimento

CNR UNI 10011: Costruzioni di acciaio. Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione.

DM 14/09/2005: Norme tecniche per le costruzioni.

5.6 PRELIEVO DI CAMPIONI

Il prelievo di campioni di acciaio deve essere pianificato con molta attenzione: mentre la fase di prelievo non presenta normalmente particolari problemi, il ripristino degli elementi può essere molto difficoltoso o addirittura non realizzabile.

5.6.1 Modalità di prova

Il principale vincolo al prelievo dei campioni è rappresentato, normalmente, dalla saldabilità del materiale.

Quando non si posseggano informazioni relative alla saldabilità del materiale è necessario procedere al prelievo di una piccola porzione di materiale (tale da non compromettere la sicurezza strutturale del manufatto) su cui eseguire le analisi chimiche. La valutazione del contenuto dei differenti elementi e del valore del Carbonio Equivalente permette di determinare se il materiale è saldabile (DM 14/09/2005). In alternativa è possibile prelevare il campione di materiale da zone di elementi strutturali non sollecitate e la cui alterazione non influisca sulla capacità portante e sulla funzionalità della struttura. Naturalmente, anche nei casi in cui gli elementi possano essere ripristinati mediante saldatura, è preferibile intervenire sulle zone meno sollecitate della struttura e comunque in modo tale da non alterare in modo significativo il comportamento statico della struttura stessa.

5.6.2 Normativa di riferimento

UNI EN ISO 377: Acciaio e prodotti di acciaio - Prelievo e preparazione dei saggi e delle provette per prove meccaniche.

DM 14/09/2005: Norme tecniche per le costruzioni.

5.7 ANALISI CHIMICA

Vedi punto 4.11: Analisi chimica dei campioni delle armature.

5.8 PROVE DI DUREZZA

La durezza è definibile come la resistenza dei metalli alla penetrazione e come tale è legata ai fenomeni di scorrimento plastico indotti dalla compressione localizzata. E' una condizione necessaria affinché il componente metallico abbia le caratteristiche di progetto, ma non sufficiente. Infatti se la durezza non è corretta il componente non sarà certamente idoneo, ma in caso contrario non è certo che le altre caratteristiche siano conformi al richiesto.

La durezza influenza la resistenza al taglio, all'incisione, all'usura e talvolta anche alla corrosione. Perciò i metodi per valutare la durezza di un componente sono molteplici.

5.8.1 Normativa di riferimento

UNI EN 1043-1: Prove distruttive di saldature su materiali metallici. Prova di durezza. Prova di durezza su giunti saldati ad arco.

UNI EN 1043-2: Prove distruttive sulle saldature di materiali metallici. Prova di durezza. Prove di microdurezza su giunti saldati.

UNI EN ISO 6506-1/2/3: Materiali metallici - Prova di durezza Brinell.

UNI EN ISO 6507-1/2/3: Materiali metallici - Prova di durezza Vickers.

UNI EN ISO 6508-1/2/3: Materiali metallici - Prova di durezza Rockwell.

5.9 PROVE DI TRAZIONE

Vedi punto 4.10: Prove di trazione sui campioni delle armature.

5.10

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI RESIDUE

La determinazione dello stato deformativo presente in un punto di un elemento di acciaio, e quindi della tensione dovuta ai carichi e/o delle tensioni residue dovute alla lavorazione, può essere effettuata realizzando un foro di piccolo diametro nell'elemento e controllando la deformazione in prossimità del foro stesso. L'analisi della deformazione in tre direzioni non parallele e passanti per il centro del foro permette infatti, attraverso coefficienti di correzione in funzione della distanza dal foro e della profondità del foro stesso, di determinare la deformazione preesistente in quel punto.

Questo tipo di prova viene normalmente impiegato per la valutazione delle tensioni residue negli elementi ma, se le condizioni operative lo consentono, può essere utilizzato anche nella valutazione delle tensioni in loco.

5.10.1

Modalità di prova

La prova viene eseguita nelle seguenti fasi:

- pulizia dell'area dell'elemento interessata;
- incollaggio di una rosetta di Strain Gauge (composta da tre o più griglie di misura orientate in direzione radiale);
- centraggio della punta sulla rosetta;
- esecuzione del foro;
- acquisizione dei dati prima, durante e dopo l'esecuzione del foro;
- valutazione dei risultati.

5.10.2

Normativa di riferimento

ASTM Standard E837: Determining Residual Stresses by the Hole-Drilling Strain-Gage Method.

6

CARATTERIZZAZIONE DEL MATERIALE: MURATURA

Prove di caratterizzazione del materiale in loco:

- prove con martinetti piatti, determinazione della tensione esistente (punto 6.1);
- prove con martinetti piatti, determinazione della legge costitutiva della muratura (punto 6.2).

Oltre a queste prove possono essere utilizzati procedimenti per determinare la tensione nel materiale che prevedono l'impiego di sensori per monitorare le variazioni di deformazione nel materiale in seguito all'esecuzione di fori o carotaggi. Altre possibili prove sulle murature sono l'estrazione di tasselli (pull-out) e la penetrazione con apposite sonde strumentate.

Prelievo di campioni di materiale di muratura (punto 6.3).

Prove di caratterizzazione del materiale in laboratorio:

- caratterizzazione della malta (punto 6.4);
- determinazione delle proprietà fisiche e di durabilità (punto 6.5);
- determinazione delle proprietà meccaniche (punto 6.6).

6.1

MARTINETTI PIATTI: DETERMINAZIONE DELLA TENSIONE ESISTENTE

La prova con i martinetti piatti si basa sulle seguenti constatazioni:

- eliminando la continuità strutturale su di un elemento di tessitura muraria si verifica un annullamento delle tensioni che si trasmettevano all'interfaccia delle due superfici che sono state sezionate e si produce una deformazione;
- per ripristinare la situazione di deformazione iniziale si deve applicare alle due superfici una tensione pari a quella esistente prima del taglio.

6.1.1

Attrezzatura e modalità di prova

Il martinetto piatto è costituito essenzialmente da due sottili lamine metalliche saldate ai bordi e tra le quali viene pompato olio in pressione; può avere forma rettangolare o a semicerchio e dimensioni variabili e dell'ordine di 20-40 cm in funzione delle dimensioni degli elementi che costituiscono il paramento murario.

Si misura la distanza tra due punti fissati sul paramento murario, si procede quindi al taglio della parte superficiale del paramento murario, si inserisce nel taglio praticato un martinetto piatto e quindi si mette in pressione fino a quando non si ritrova la deformazione iniziale. La pressione letta, a meno di una costante di taratura del martinetto, rappresenta lo stato tensionale nel materiale prima di praticare il taglio.

6.1.2

Normativa di riferimento

ASTM Standard C1196: Standard test method for in situ compressive stress within solid unit masonry estimated using the flat-jack method.

6.2 MARTINETTI PIATTI: DETERMINAZIONE DELLA LEGGE COSTITUTIVA

Le prove con due martinetti piatti permettono di rilevare, oltre allo stato tensionale presente, anche la legge costitutiva tensione-deformazione della muratura.

6.2.1 Attrezzatura e modalità di prova

Per la determinazione della legge costitutiva si devono praticare due tagli sovrapposti a distanza tale da coinvolgere un elemento significativo di muratura e utilizzare due martinetti. Con i martinetti si controlla la pressione e misurando la deformazione, con un opportuno deformometro, tra i due martinetti si riesce a ricostruire la legge costitutiva del materiale (legame carico-deformazione).

L'influenza del fatto che la muratura non è completamente svincolata dal resto della struttura risulta trascurabile e comunque può essere tenuta in considerazione per mezzo le prove di taratura in laboratorio dei martinetti.

La prova può essere spinta fino a rottura o, attraverso un attento controllo delle tensioni e delle deformazioni misurate, fino ad un valore di tensione sufficientemente inferiore per non compromettere l'elemento indagato.

6.3 PRELIEVO DI CAMPIONI DI MURATURA

In funzione delle prove che si vogliono effettuare in laboratorio è possibile eseguire i seguenti tipi di prelievo:

- prelievo di campioni di elementi;
- prelievo di campioni di malta.

E' inoltre possibile effettuare il prelievo di intere porzioni di muratura (più corsi di blocchi) da sottoporre a prove meccaniche; questo tipo di prelievo risulta però di difficile realizzazione sia per la complessità dell'intervento, sia per la difficoltà di riuscire a prelevare un campione inalterato.

Le posizioni di prelievo devono essere individuate in funzione dei seguenti fattori: significatività della prova, sicurezza degli operatori, influenza sulla resistenza e sulla funzionalità della struttura, necessità e fattibilità del ripristino, influenza sulla velocità di degrado, influenza sull'estetica della struttura.

6.4 CARATTERIZZAZIONE DELLA MALTA

Al momento, non esistono prove standardizzate per la definizione della composizione, delle caratteristiche chimico-fisiche e meccaniche di malte prelevate da strutture esistenti. Spesso è molto difficile prelevare campioni di dimensioni sufficienti per l'esecuzione di prove meccaniche; le uniche prove eseguibili riguardano la composizione della malta. Infatti, le analisi chimiche e petrografiche possono individuare il tipo di legante e di aggregato, il rapporto legante aggregato, il grado e l'estensione della carbonatazione, la presenza di reazioni chimiche e di sostanze di nuova formazione.

La granulometria e la distribuzione degli aggregati può essere misurata attraverso la separazione degli aggregati stessi dal legante, mediante trattamenti termici o chimici, oppure con metodi ottici.

6.5 DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE FISICHE E DI DURABILITÀ DEGLI ELEMENTI

Queste sono alcune delle prove che si possono effettuare sugli elementi della muratura:

- prove fisiche: misura del peso specifico, dell'assorbimento d'acqua per immersione totale o per risalita capillare;
- prove di durabilità: prove di gelo e disgelo e di cristallizzazione salina;
- analisi chimiche: analisi del materiale costituente e dei sali presenti.

Per l'esecuzione di queste prove possono essere impiegate le normative previste per gli elementi nuovi. La sequenza delle prove effettuate deve essere studiata in modo che le prove non si alterino a vicenda (ad esempio il campione per l'analisi chimica deve essere prelevato prima di verificare l'assorbimento di acqua del materiale).

6.5.1 Normativa di riferimento

UNI EN 772-2: Metodi di prova per elementi di muratura - Determinazione dell'area percentuale dei vuoti in elementi di muratura in calcestruzzo (metodo dell'impronta su carta).

UNI EN 772-3: Metodi di prova per elementi di muratura - Determinazione del volume netto e della percentuale dei vuoti degli elementi di muratura di laterizio mediante pesatura idrostatica.

UNI EN 772-4: Metodi di prova per elementi di muratura - Determinazione della massa volumica reale ed apparente e della porosità aperta e totale degli elementi di muratura in pietra naturale.

UNI EN 772-5: Metodi di prova per elementi di muratura - Determinazione del tenore di sali solubili attivi degli elementi di muratura di laterizio.

UNI EN 772-7: Metodi di prova per elementi di muratura - Determinazione dell'assorbimento d'acqua di strati impermeabili all'umidità di elementi di muratura di laterizio mediante bollitura in acqua.

UNI EN 772-9: Metodi di prova per elementi di muratura - Determinazione del volume e della percentuale dei vuoti e del volume netto degli elementi di muratura in silicato di calcio mediante riempimento con sabbia.

UNI EN 772-11: Metodi di prova per elementi di muratura - Determinazione dell'assorbimento d'acqua degli elementi di muratura di calcestruzzo, di materiale lapideo agglomerato e naturale dovuto alla capillarità ed al tasso iniziale di assorbimento d'acqua degli elementi di muratura di laterizio.

UNI EN 772-18: Metodi di prova per elementi di muratura - Determinazione della resistenza al gelo/disgelo degli elementi di muratura di silicato di calcio.

6.6 DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DI ELEMENTI E CAMPIONI DI MURATURA

Principali prove meccaniche eseguibili sugli elementi:

- prove di compressione;
- prove di trazione indiretta;
- prove di durezza superficiale in diversi punti della superficie esterna e della sezione (in questo modo è possibile valutare la profondità del degrado).

Principali prove meccaniche eseguibili su campioni di muratura:

- prove di compressione;
- prove di flessione;
- prove di resistenza a taglio.

6.6.1

Normativa di riferimento

DM 14/09/2005: Norme tecniche per le costruzioni.

UNI EN 772-1: Metodi di prova per elementi di muratura - Determinazione della resistenza a compressione.

UNI EN 772-6: Metodi di prova per elementi di muratura - Determinazione della resistenza a trazione per flessione degli elementi di muratura di calcestruzzo.

UNI EN 772-16: Metodi di prova per elementi di muratura - Determinazione delle dimensioni.

UNI EN 1052-1: Metodi di prova per muratura - Determinazione della resistenza a compressione.

UNI EN 1052-2: Metodo di prova per muratura - Determinazione della resistenza a flessione.

UNI EN 1052-3: Metodi di prova per muratura - Determinazione della resistenza iniziale a taglio.

UNI EN 1052-4: Metodi di prova per muratura - Determinazione della resistenza al taglio inclusi gli strati impermeabili all'umidità.

7 CARATTERIZZAZIONE GLOBALE

Prove di caratterizzazione globale della struttura:

- prove di carico statico (punto 7.1);
- prove dinamiche (punto 7.2).

7.1 PROVE DI CARICO STATICO

Applicando un carico direttamente alla struttura si è in grado di verificare se la struttura è o meno in grado di reggere il carico di prova. La struttura soggetta ad un carico si deforma in modo "proporzionale" al carico applicato per cui può essere utile rilevare le deformazioni conseguenti all'applicazione del carico.

Le informazioni ottenibili da questo tipo di prova sono:

- la verifica della resistenza della struttura al carico di prova;
- la valutazione della deformabilità della struttura.

Prima, durante e dopo i test di carico, deve essere effettuata una dettagliata ispezione su tutto il ponte da uno staff qualificato. Inoltre dovrebbe essere previsto l'accesso a tutte le parti della struttura.

I carichi sono prima applicati sui supporti, vicino alle campate una per una e successivamente in differenti combinazioni in accordo con le specifiche.

Nel caso in cui un eventuale danno possa ridurre la resistenza strutturale, i carichi statici del test devono essere applicati prudentemente e solo dopo un calcolo preliminare e/o misurazioni dirette delle tensioni agenti.

Le deformazioni sono usualmente misurate a metà campata e sui supporti, ma anche altri punti possano essere inclusi in dipendenza dell'accuratezza dello strumento utilizzato e dei risultati che si vogliono ottenere. Le deformazioni indotte dal carico, le rotazioni e le curvature sono confrontate con i loro valori teorici, per determinare eventuali discontinuità di comportamento.

Vi sono varie tecniche di misurazione della deformazione; la scelta dipende dalla dimensione del ponte, dal range di deformazione, dalle condizioni di accesso e dalle procedure di carico. Per confermare i dati vengono normalmente utilizzate due o più tecniche in parallelo.

7.1.1 Normativa di riferimento

DM 14/09/2005: Norme tecniche per le costruzioni.

7.2 PROVE DINAMICHE

Scopo di questa tipologia di prove è ricavare le proprietà fisiche del sistema a partire dalla misura della risposta dinamica sperimentale del sistema; questa viene effettuata utilizzando test di vibrazione che possono o meno fare uso di metodi per l'induzione di forze o spostamenti artificiali.

Quando le forze sollecitanti sono note, la ricerca delle proprietà fisiche del sistema passa attraverso la misura sperimentale delle Funzioni di Risposta in Frequenza e la successiva estrazione delle proprietà modali.

Quando invece non è possibile conoscere le informazioni relative alle sollecitazioni indotte, si utilizzano tecniche che fanno uso delle risposte in condizione di input incognito definite nel dominio del tempo e della frequenza; queste tecniche sono definite come tecniche di identificazione modale.

Le proprietà dinamiche della struttura dipendono dalla distribuzione delle masse, delle rigidità e degli smorzamenti nella struttura stessa. L'analisi della risposta dinamica della struttura o delle caratteristiche modali che da essa si possono ottenere permette quindi di ricavare informazioni sui danneggiamenti presenti; infatti questi comportano, generalmente, variazioni nelle rigidità e nei meccanismi di smorzamento.

I principali vantaggi delle tecniche di localizzazione del danno attraverso l'analisi dei risultati delle prove dinamiche sono rappresentati da:

- rapidità delle prove in loco;
- economicità delle prove;
- possibilità di ottenere informazioni sullo stato di parti strutturali altrimenti non ispezionabili o comunque difficilmente raggiungibili.

Una importante caratteristica di queste tecniche di indagine è la possibilità di monitorare in modo continuo lo stato delle strutture attraverso una strumentazione predisposta in fase di realizzazione ed un'analisi della risposta alle vibrazioni ambientali.

7.2.1

Normativa di riferimento

UNI ISO 5348: Vibrazioni meccaniche ed urti - Montaggio meccanico degli accelerometri.

UNI 9513: Vibrazioni e urti – Vocabolario.

UNI 9916: Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici.

UNI 10985: Vibrazioni su ponti e viadotti - Linee guida per l'esecuzione di prove e rilievi dinamici.