

Pietro Salomone

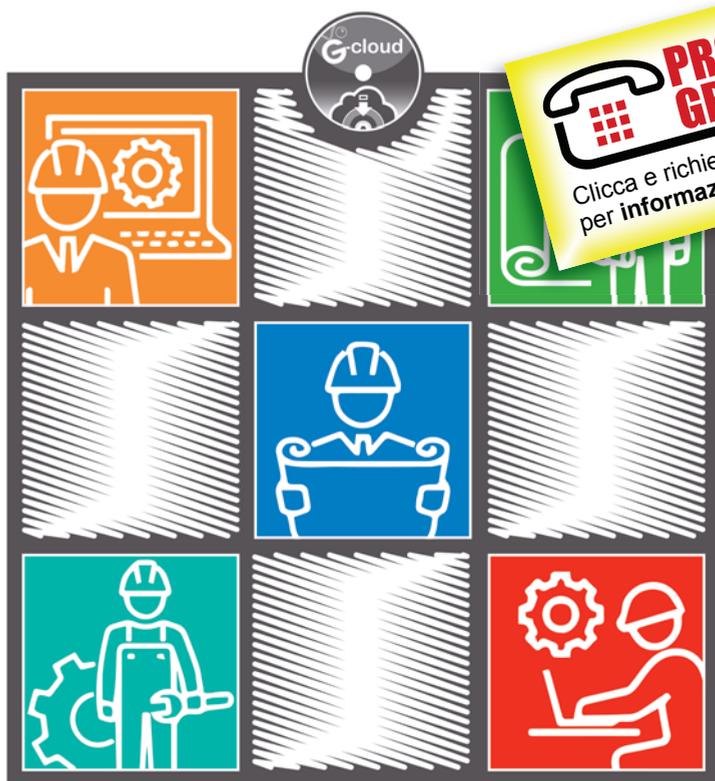
PROVE DIAGNOSTICHE SU EDIFICI ESISTENTI

INDICAZIONI OPERATIVE E CONTENUTI MINIMI PER L'ANALISI
E LA DIAGNOSI DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE ALLA LUCE DELLE NTC 2018

SOFTWARE INCLUSO

FOGLI EXCEL PER I CONTROLLI CLS-ACCIAIO E LE PROVE SCLEROMETRICHE
CHECK LIST E MODELLI DI RIFERIMENTO

Glossario (termini più ricorrenti sull'argomento), **FAQ** (risposte alle domande più frequenti),
Test base / Test avanzato (verifiche sulla conoscenza dell'argomento)



**PRONTO
GRAFILL**
Clicca e richiedi di essere contattato
per **informazioni** e **promozioni**

 **GRAFILL**

Pietro Salomone

PROVE DIAGNOSTICHE SU EDIFICI ESISTENTI

Ed. I (9-2018)

ISBN 13 978-88-277-0018-1

EAN 9 788827 700181

Collana **Manuali** (232)

Salomone, Pietro <1987->

Prove diagnostiche su edifici esistenti / Pietro Salomone.

– Palermo : Grafill, 2018.

(Manuali ; 232)

ISBN 978-88-277-0018-1

1. Strutture edilizie – Verifica.

624.171 CDD-23

SBN PaI0308845

CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Il volume è **disponibile anche in eBook** (formato *.pdf) compatibile con **PC, Macintosh, Smartphone, Tablet, eReader.**

Per l'acquisto di eBook e software sono previsti pagamenti con c/c postale, bonifico bancario, carta di credito e PayPal.

Per i pagamenti con carta di credito e PayPal è consentito il download immediato del prodotto acquistato.

Per maggiori informazioni inquadra con uno Smartphone o un Tablet il Codice QR sottostante.



I lettori di Codice QR sono disponibili gratuitamente su Play Store, App Store e Market Place.

© **GRAFILL S.r.l.** Via Principe di Palagonia, 87/91 – 90145 Palermo

Telefono 091/6823069 – Fax 091/6823313

Internet <http://www.grafill.it> – E-Mail grafill@grafill.it

Finito di stampare nel mese di settembre 2018

presso **Officine Tipografiche Aiello & Provenzano S.r.l.** Via del Cavaliere, 93 – 90011 Bagheria (PA)

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore. Ogni riproduzione non autorizzata sarà perseguita a norma di legge. Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.



**CLICCA per maggiori informazioni
... e per te uno SCONTO SPECIALE**

SOMMARIO

PREMESSA	p.	7
1. LE NTC 2018	"	9
1.1. La valutazione della sicurezza nelle NTC 2018	"	9
1.2. Classificazione degli interventi.....	"	10
1.2.1. Riparazione o intervento locale.....	"	11
1.2.2. Intervento di miglioramento.....	"	11
1.2.3. Intervento di adeguamento.....	"	12
1.3. Durabilità nelle NTC 2018	"	12
2. DIAGNOSTICA E MANUTENZIONE	"	14
2.1. La diagnostica e la progettazione della manutenzione	"	14
2.2. Analisi geotecnica.....	"	14
2.3. Rilievi analisi fotogrammetrica	"	14
2.4. Rilievi e analisi umidità.....	"	14
2.4.1. Risalita capillare.....	"	15
2.4.2. Condensazione	"	15
2.4.3. Meteorica	"	15
2.5. Rilievo: analisi e studio quadro fessurativo.....	"	16
2.6. Analisi meccaniche e caratterizzazioni strutturali	"	16
2.7. Analisi magnetometrica.....	"	17
2.8. Analisi critico-architettonica sotto intonaci e/o rivestimenti	"	17
2.9. Intonaci: mappatura dei distacchi	"	18
2.10. Analisi diagnostiche su strutture lignee.....	"	18
2.11. Analisi diagnostiche su strutture ed elementi lapidei	"	19
2.12. Monitoraggi	"	19
2.13. Controlli non distruttivi convenzionali.....	"	19
2.14. Prove di laboratorio	"	20
3. IL CALCESTRUZZO	"	21
3.1. La nascita del calcestruzzo	"	21
3.2. Fattori che influenzano la resistenza del calcestruzzo	"	23
3.3. Il degrado del calcestruzzo	"	24
3.4. Durabilità del calcestruzzo.....	"	24
3.4.1. La carbonatazione	"	25
3.5. Le indagini diagnostiche.....	"	26
3.6. La documentazione fotografica.....	"	28

3.7.	Il metodo dei carotaggi	p.	28
3.7.1.	Indebolimento delle strutture in conseguenza delle operazioni di carotaggio	"	29
3.7.2.	Microcarotaggio	"	29
3.8.	Prova sclerometrica.....	"	30
3.9.	La prova ultrasonica.....	"	32
3.10.	Prova di resistenza alla penetrazione: sonda Windsor	"	34
3.11.	Pull-out test	"	34
3.12.	Pull-out con inserti post-inserti.....	"	36
3.13.	Pull-off test	"	36
3.14.	Il break-off test.....	"	37
3.15.	Metodi combinati.....	"	37
3.16.	Metodo SONREB	"	38
3.17.	Misura della profondità di carbonatazione	"	38
3.18.	Prova pacometrica.....	"	39
3.19.	Termografia	"	40
3.19.1.	Analisi termografica di edifici a struttura leggera	"	41
3.20.	Prove di carico	"	42
3.20.1.	Prove di carico e collaudi su ponti e viadotti	"	43
3.20.2.	Prove di carico speciali	"	44
3.20.3.	Applicazione delle sollecitazioni	"	45
3.20.4.	Misura delle frecce.....	"	46
3.20.5.	Misura della forza	"	46
3.21.	Monitoraggio delle lesioni e fessurazioni	"	47
3.21.1.	Trasduttori a variazione di induttanza o di mutua induttanza	"	49
3.21.2.	Trasduttori resistivi (potenziometri)	"	49
3.21.3.	Deformometri	"	49
3.21.4.	Inclinometri	"	50
3.21.5.	Fessurimetri	"	50
3.21.6.	Estensimetri.....	"	50
3.21.7.	Accelerometri	"	52
3.21.8.	Accelerometri piezometrici	"	52
3.21.9.	Accelerometro capacitivo	"	53
3.21.10.	Sismometri	"	53
3.22.	Magnetometria	"	53
3.23.	Gammagrafia.....	"	53
3.24.	Prove chimiche	"	54
3.25.	Prove chimico-fisiche	"	54
3.26.	Prove fisiche.....	"	54
4.	LA MURATURA	"	56
4.1.	La muratura portante.....	"	56
4.2.	Le malte	"	57
4.3.	Indagini non distruttive	"	58
4.3.1.	Prove soniche	"	58
4.3.2.	Caratterizzazione della malta	"	60
4.3.3.	Prove penetrometriche	"	61

4.3.4.	Martinetti piatti	p.	62
4.3.4.1.	La prova con martinetto piatto singolo	"	62
4.3.4.2.	La prova con martinetto piatto doppio	"	62
4.3.4.3.	Caratteristiche tecniche	"	63
4.3.4.4.	Attrezzatura per il taglio	"	63
4.3.4.5.	Misure delle deformazioni	"	63
4.3.4.6.	Pompa idraulica manuale	"	64
4.3.4.7.	Esecuzione di martinetto piatto singolo	"	64
4.3.4.8.	Esecuzione di martinetto piatto doppio	"	65
4.3.5.	Carotaggi della muratura	"	66
4.3.6.	Endoscopia	"	67
4.3.7.	Indagini radar	"	67
4.3.8.	Taglio diretto in sito (Shave Test)	"	69
4.3.8.1.	Prova secondo il metodo A	"	69
4.3.8.2.	Prova secondo il metodo B	"	70
4.3.9.	Prova indiretta di pull-out su malta	"	72
4.3.10.	Caratterizzazione chimico-fisica della muratura	"	73
5.	L'ACCIAIO	"	76
5.1.	L'utilizzo nelle costruzioni	"	76
5.1.1.	Acciai per calcestruzzo armato	"	76
5.1.2.	Acciai per calcestruzzo armato precompresso	"	76
5.1.3.	Acciai per strutture metalliche	"	77
5.2.	Prova Vickers	"	77
5.3.	Liquidi penetranti	"	78
5.4.	Controllo ultrasonoro	"	79
5.5.	L'esame con particelle magnetiche	"	81
6.	IL LEGNO	"	83
6.1.	Indagini su strutture lignee	"	83
6.2.	Difetti ed alterazioni del legno	"	84
6.3.	Controlli non distruttivi	"	87
6.3.1.	Analisi resistografica	"	87
6.3.2.	Sistema ad ultrasuoni	"	88
6.3.3.	Metodo penetrometrico	"	89
6.3.4.	Metodo igrometrico ed audiometrico	"	89
6.3.5.	Endoscopia	"	90
7.	INDAGINI GEOTECNICHE	"	93
7.1.	Definizione del modello geotecnico	"	93
7.2.	Scavi	"	96
7.3.	Sondaggi geognostici	"	96
7.4.	Sondaggi a distruzione di nucleo	"	97
7.5.	Sondaggi a carotaggio continuo	"	98
7.5.1.	Cassette catalogatrici	"	98
7.5.2.	Profili stratigrafici	"	99
7.6.	Sismica in foro	"	99

7.7.	Prelievo campioni	p.	100
7.8.	Prove di laboratorio	"	101
7.9.	Prova SPT	"	103
7.10.	Indagini down hole (DH).....	"	105
7.11.	Prove penetrometriche statiche (CPT).....	"	108
	7.11.1. Prove penetrometriche dinamiche a cono (SCPT).....	"	110
	7.11.2. Prove penetrometriche dinamiche leggere.....	"	111
7.12.	Prove scissometriche.....	"	111
7.13.	Prove pressiometriche.....	"	112
7.14.	Prove dilatometriche.....	"	113
	7.14.1. Prova Dilatometrica Sismica (SDMT).....	"	115
7.15.	Indagini geofisiche (SASW – MASW).....	"	116
7.16.	Indagini di sismica passiva	"	119
7.17.	Georadar.....	"	122
7.18.	Metodo ecometrico	"	125
7.19.	Metodo del cross-hole.....	"	129
7.20.	Metodo dell'ammiettenza meccanica	"	134
8.	INDAGINI SUI PONTI.....	"	139
8.1.	I ponti.....	"	139
8.2.	Ponti stradali	"	140
	8.2.1. Metodologia di controllo.....	"	141
8.3.	Prove non distruttive.....	"	142
	8.3.1. Prove non distruttive sul calcestruzzo.....	"	142
	8.3.2. Prove non distruttive sull'acciaio d'armatura	"	143
	8.3.3. Prove non distruttive sulle murature	"	143
	8.3.4. Prove non distruttive sulla struttura	"	143
8.4.	Prove di carico statiche	"	144
8.5.	Prove di carico dinamiche.....	"	144
8.6.	Caratterizzazione dinamica.....	"	145
	CHECK LIST E MODELLI	"	147
	INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE INCLUSO	"	195
–	Note sul software incluso	"	195
–	Requisiti hardware e software.....	"	196
–	Download del software e richiesta della password di attivazione.....	"	196
–	Installazione ed attivazione del software	"	196
	BIBLIOGRAFIA.....	"	198

PREMESSA

Il presente testo ha lo scopo di fornire indicazioni operative e definire dei contenuti minimi per l'analisi e diagnosi dei materiali da costruzione alla luce delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni aggiornate con il Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018. L'opera nasce con l'idea di fornire ai tecnici uno strumento per illustrare le diverse attività connesse all'indagine diagnostica di edifici.

Esistono diverse tecniche diagnostiche da applicare su edifici esistenti. Le tecniche non distruttive sono il complesso di indagini diagnostiche, esami, rilievi condotti impiegando metodi che non alterano il materiale, non ne richiedono la distruzione o tanto meno il prelievo di campioni. Mentre le tecniche non invasive sono il complesso di indagini diagnostiche, esami, rilievi condotti su piccoli campioni prelevati dal manufatto.

Lo studio del costruito può porsi obiettivi diversi e condurre ad altrettanti risultati quali favorire un progresso della conoscenza e portare ad un miglioramento della capacità di intervenire in modo corretto sul patrimonio costruito.

Attualmente il patrimonio si gestisce per lo più con misure di emergenza dopo essere giunti a condizioni di estremo degrado, condizione che si traduce spesso nella realizzazione di interventi irrispettosi del valore culturale del bene. È importante intervenire il più correttamente possibile alla luce delle attuali conoscenze sul patrimonio per valorizzarlo. A tal fine è necessario operare scelte non solo tecniche, impiantistiche, strutturali o architettoniche, ma anche di gestione e utilizzo delle strutture.

Le indagini diagnostiche sul costruito spesso vengono realizzate con l'obiettivo dell'intervento di conservazione dal punto di vista della riabilitazione strutturale cioè garantire la sicurezza, preservando oltre che il bene materiale anche il funzionamento strutturale.

Di fondamentale importanza infatti è il tema della messa in sicurezza anche sismica di manufatti esistenti mediante l'indagine delle caratteristiche dei materiali da costruzione. L'attività d'indagine prevede lo sviluppo delle conoscenze sulla qualità dei materiali e sul loro comportamento d'insieme attraverso prove sperimentali in situ ed in laboratorio di tipo sia indiretto (come ad esempio il metodo Sonreb, ovvero combinazione di indagini sclerometriche ed ultrasoniche) che diretto (prelievo di campioni di calcestruzzo da sottoporre a compressione), così da consentire l'acquisizione di dati necessari per una valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici e, conseguentemente, alla definizione dei criteri e delle strategie preventive per la riduzione del rischio sismico.

Con l'entrata in vigore delle NTC 2018, il professionista delle strutture ha ricevuto nuove indicazioni circa le procedure standard basate sulle metodologie sperimentali innovative per il controllo delle fasi costruttive e della verifica della affidabilità in esercizio delle strutture.

Le metodologie riportate nelle NTC 2018, fanno riferimento ai temi della verifica sul patrimonio edilizio esistente e sulle nuove costruzioni. I temi riguardano la conoscenza delle caratte-

ristiche dei materiali in maniera più razionale rispetto al passato e soprattutto il controllo di essi e dell'intera struttura tramite il monitoraggio strutturale. I metodi di osservazione per il controllo e il monitoraggio sia in fase costruttiva che in fase di esercizio, potranno essere riportati nel piano di manutenzione redatto in fase di progettazione.

Nelle costruzioni esistenti le situazioni concretamente riscontrabili sono le più diverse ed è quindi impossibile prevedere regole specifiche per tutti i casi. Di conseguenza, il modello per la valutazione della sicurezza dovrà essere definito e giustificato dal progettista (tramite indagine diagnostica con le diverse strumentazioni), caso per caso, in relazione al comportamento strutturale attendibile della costruzione, tenendo conto delle indicazioni generali di seguito esposte.

Generalmente, quando si trattano costruzioni esistenti, può essere difficile disporre dei disegni originali di progetto necessari a ricostruirne la storia progettuale e costruttiva. Per le costruzioni, e in particolare per gli edifici a valenza culturale, storico-architettonica, è talvolta possibile, attraverso una ricerca archivistica, raccogliere una documentazione sufficientemente completa sulla loro storia edificatoria per ricostruire ed interpretare le diverse fasi edilizie.

Fondamentale è il rilievo geometrico-strutturale dovrà essere riferito sia alla geometria complessiva dell'organismo che a quella degli elementi costruttivi, comprendendo i rapporti con le eventuali strutture in aderenza. Nel rilievo dovranno essere rappresentate le modificazioni intervenute nel tempo, come desunte dall'analisi storico-critica. Il rilievo deve individuare l'organismo resistente della costruzione, tenendo anche presente la qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costitutivi.

Dovranno altresì essere rilevati i dissesti, in atto o stabilizzati, ponendo particolare attenzione all'individuazione dei quadri fessurativi e dei meccanismi di danno. Per conseguire un'adeguata conoscenza delle caratteristiche dei materiali e del loro degrado, ci si baserà su documentazione già disponibile, su verifiche visive in sito e su indagini sperimentali. Le indagini dovranno essere motivate, per tipo e quantità, dal loro effettivo uso nelle verifiche. Nel caso di beni culturali e nel recupero di centri storici, si dovrà considerare l'impatto in termini di conservazione del bene. I valori delle resistenze meccaniche dei materiali vengono valutati sulla base delle prove effettuate sulla struttura e prescindono dalle classi discretizzate previste nelle norme per le nuove costruzioni.

Sulla base degli approfondimenti effettuati nelle fasi conoscitive sopra riportate, saranno individuati i *livelli di conoscenza* dei diversi parametri coinvolti nel modello (geometria, dettagli costruttivi e materiali), e definiti i correlati fattori di confidenza, da utilizzare come ulteriori coefficienti parziali di sicurezza che tengono conto delle carenze nella conoscenza dei parametri del modello. Nelle costruzioni esistenti in muratura soggette ad azioni sismiche, particolarmente negli edifici, si possono manifestare meccanismi locali e meccanismi d'insieme. I meccanismi locali interessano singoli pannelli murari o più ampie porzioni della costruzione, e sono favoriti dall'assenza o scarsa efficacia dei collegamenti tra pareti e orizzontamenti e negli incroci murari. I meccanismi globali sono quelli che interessano l'intera costruzione e impegnano i pannelli murari prevalentemente nel loro piano (*indagine diagnostica con le diverse strumentazioni*). La sicurezza della costruzione deve essere valutata nei confronti di entrambi i tipi di meccanismo.

LE NTC 2018

1.1. La valutazione della sicurezza nelle NTC 2018

La valutazione della sicurezza di una struttura esistente è un procedimento quantitativo, volto a determinare l'entità delle azioni che la struttura è in grado di sostenere con il livello di sicurezza minimo richiesto dalla presente normativa. L'incremento del livello di sicurezza si persegue, essenzialmente, operando sulla concezione strutturale globale con interventi, anche locali.

La valutazione della sicurezza, argomentata con apposita relazione, deve permettere di stabilire se:

- l'uso della costruzione possa continuare senza interventi;
- l'uso debba essere modificato (declassamento, cambio di destinazione e/o imposizione di limitazioni e/o cautele nell'uso);
- sia necessario aumentare la sicurezza strutturale, mediante interventi.

La valutazione della sicurezza deve effettuarsi quando ricorra anche una sola delle seguenti situazioni:

- riduzione evidente della capacità resistente e/o deformativa della struttura o di alcune sue parti dovuta a: significativo degrado e decadimento delle caratteristiche meccaniche dei materiali, deformazioni significative conseguenti anche a problemi in fondazione;
- danneggiamenti prodotti da azioni ambientali (sisma, vento, neve e temperatura), da azioni eccezionali (urti, incendi, esplosioni) o da situazioni di funzionamento ed uso anomali;
- provati gravi errori di progetto o di costruzione;
- cambio della destinazione d'uso della costruzione o di parti di essa, con variazione significativa dei carichi variabili e/o passaggio ad una classe d'uso superiore;
- esecuzione di interventi non dichiaratamente strutturali, qualora essi interagiscano, anche solo in parte, con elementi aventi funzione strutturale e, in modo consistente, ne riducano la capacità e/o ne modifichino la rigidezza;
- ogni qualvolta si eseguano gli interventi strutturali;
- opere realizzate in assenza o difformità dal titolo abitativo, ove necessario al momento della costruzione, o in difformità alle norme tecniche per le costruzioni vigenti al momento della costruzione.

Qualora le circostanze di cui ai punti precedenti riguardino porzioni limitate della costruzione, la valutazione della sicurezza potrà essere effettuata anche solo sugli elementi interessati e su quelli con essi interagenti, tenendo presente la loro funzione nel complesso strutturale, posto che le mutate condizioni locali non incidano sostanzialmente sul comportamento globale della struttura. Nella valutazione della sicurezza, da effettuarsi ogni qual volta si eseguano interventi strutturali di miglioramento o adeguamento, il progettista dovrà esplicitare in un'apposita relazione, esprimendoli in termini di rapporto fra capacità e domanda, i livelli di sicurezza precedenti all'intervento e quelli raggiunti con esso.

Qualora sia necessario effettuare la valutazione della sicurezza della costruzione, la verifica del sistema di fondazione è obbligatoria solo se sussistono condizioni che possano dare luogo a fenomeni di instabilità globale o se si verifica una delle seguenti condizioni:

- nella costruzione siano presenti importanti dissesti attribuibili a cedimenti delle fondazioni o dissesti della stessa natura si siano prodotti nel passato;
- siano possibili fenomeni di ribaltamento e/o scorrimento della costruzione per effetto: di condizioni morfologiche sfavorevoli, di modificazioni apportate al profilo del terreno in prossimità delle fondazioni, delle azioni sismiche di progetto;
- siano possibili fenomeni di liquefazione del terreno di fondazione dovuti alle azioni sismiche di progetto. Allo scopo di verificare la sussistenza delle predette condizioni, si farà riferimento alla documentazione disponibile e si potrà omettere di svolgere indagini specifiche solo qualora, a giudizio esplicitamente motivato del professionista incaricato, sul volume di terreno significativo e sulle fondazioni sussistano elementi di conoscenza sufficienti per effettuare le valutazioni precedenti.

La valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sulle costruzioni esistenti potranno essere eseguite con riferimento ai soli SLU, salvo che per le costruzioni in classe d'uso IV, per le quali sono richieste anche le verifiche agli SLE; in quest'ultimo caso potranno essere adottati livelli prestazionali ridotti. Per la combinazione sismica le verifiche agli SLU possono essere eseguite rispetto alla condizione di salvaguardia della vita umana (SLV) o, in alternativa, alla condizione di collasso (SLC).

Nelle verifiche rispetto alle azioni sismiche il livello di sicurezza della costruzione è quantificato attraverso il rapporto tra l'azione sismica massima supportabile dalla struttura e l'azione sismica massima che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione; l'entità delle altre azioni contemporaneamente presenti è la stessa assunta per le nuove costruzioni, salvo quanto emerso riguardo ai carichi verticali permanenti a seguito delle indagini condotte e salvo l'eventuale adozione di appositi provvedimenti restrittivi dell'uso della costruzione e, conseguentemente, sui carichi verticali variabili. La restrizione dell'uso può mutare da porzione a porzione della costruzione e, per l'*i*-esima porzione, è quantificata attraverso il rapporto tra il valore massimo del sovraccarico variabile verticale supportabile da quella parte della costruzione e il valore del sovraccarico verticale variabile che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione. È necessario adottare provvedimenti restrittivi dell'uso della costruzione e/o procedere ad interventi di miglioramento o adeguamento nel caso in cui non siano soddisfatte le verifiche relative alle azioni controllate dall'uomo, ossia prevalentemente ai carichi permanenti e alle altre azioni di servizio.

1.2. Classificazione degli interventi

Si individuano le seguenti categorie di intervento:

- *interventi di riparazione o locali*: interventi che interessino singoli elementi strutturali e che, comunque, non riducano le condizioni di sicurezza preesistenti;
- *interventi di miglioramento*: interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente, senza necessariamente raggiungere i livelli di sicurezza fissati al paragrafo 8.4.3 delle NTC 2018;
- *interventi di adeguamento*: interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente, conseguendo i livelli di sicurezza fissati al paragrafo 8.4.3 delle NTC 2018.

DIAGNOSTICA E MANUTENZIONE

2.1. La diagnostica e la progettazione della manutenzione

La situazione di crisi economica recentemente creatasi in molti dei paesi economicamente sviluppati, impone interventi di spesa pubblica e privata sempre meno onerosi e più trasparenti.

Ovviamente tale atteggiamento troverà immediata ripercussione anche nel settore edilizio dove i lavori di riconversione del patrimonio edilizio, recupero, restauro e manutenzione sono soggetti a troppe variabili che spesso fanno lievitare notevolmente il costo globale delle opere previste. A tale proposito è giusto far ricadere l'attenzione sull'importanza della diagnostica e della progettazione, intesa come prima vera e propria fase di intervento.

Anche se si manifesta nei diversi settori con caratteri distinti, la fase progettuale rappresenta il principale fattore che influenza direttamente le scelte operative e quindi, in ultima analisi, la spesa dell'intervento.

2.2. Analisi geotecnica

Comprende uno studio geologico della zona, una serie di perforazioni, prelievi di campioni indisturbati, prove penetrometriche, analisi geotecniche di laboratorio e la relazione geologica firmata da professionista. Il tutto per valutare quantitativamente le caratteristiche meccaniche del suolo su cui è appoggiato l'edificio da restaurare e/o consolidare.

In caso di problematiche come la presenza di un grave fenomeno fessurativo, è prevista l'installazione di piezometro e il monitoraggio delle variazioni di livello della falda acquifera.

2.3. Rilievi analisi fotogrammetrica

Incluse i rilievi eseguiti in forma tradizionale, mista e fotogrammetrici nelle loro numerose forme (fotopiano, con camera, ecc.).

Il rilievo, le tavole, le planimetrie sono la base su cui ubicare qualunque campagna di analisi diagnostiche.

2.4. Rilievi e analisi umidità

L'umidità presente sulle murature dei nostri edifici ha tre generatrici fondamentali:

- risalita capillare;
- condensazione;
- meteorica.

La mappatura del fenomeno e la quantificazione numerica delle bande di umidità sono importanti per definire il fenomeno e per progettare gli adeguati interventi di bonifica.

2.4.1. *Risalita capillare*

Per la giusta valutazione della risalita capillare, il modo di operare più corretto è quello di effettuare una serie di misure a diverse altezze e profondità su tutto il perimetro dell'edificio analizzato.

Le misure sono eseguite con diverse tecniche:

- analisi termografica all'infrarosso su tutte le pareti esterne e interne;
- misura delta resistenza tra due elettrodi introdotti nel muro (acqua boilprotimeter, ecc.) con lettura di dati includenti un lieve errore nelle zone in cui siano presenti concentrazioni saline;
- prelievo di carota e/o materiale e misura percentuale umidità col metodo ponderale, previo cottura in fornello;
- prelievo di polvere di intonaco/pietra/mattone a misura umidità con strumenti di cantiere al carburo.

È molto importante valutare:

- la distribuzione dei livelli minimi, medi e massimi dell'umidità;
- la mappatura della presenza salina per le correzioni sui valori misurati col metodo elettrico;
- le varie concentrazioni saline evidenziate da un'accurata analisi di laboratorio.

In alcuni casi, quando la risalita altera in maniera vistosa le condizioni dei manufatti interni, è importante effettuare in parallelo un monitoraggio del movimento della falda acquifera tramite piezometrico.

2.4.2. *Condensazione*

Il processo della produzione di condensazione avviene in particolari condizioni termogrometriche per cui, a causa di determinate condizioni climatiche, su una data superficie a bassa temperatura e particolare umidità dell'aria, si produce condensazione di vapore (punto di rugiada).

Il processo si ripete e continua alle stesse condizioni ambientali, fino alla totale saturazione del muro (imbibimento totale di acqua).

A quel punto l'acqua generata si diffonde sui pavimenti e sulle pareti in maniera diffusa e visibile, producendo danni alle strutture e alle persone che vi vivono.

Per rilevare le condizioni termogrometriche di musei e locali impiegati alla conservazione di opere artistiche vengono utilizzati:

- analisi termografica all'infrarosso a diverse condizioni climatiche (rilievi stagionali);
- monitoraggio microclimatico con sonde temperatura/umidità in aria e a contatto con le superfici *sospette*;
- monitoraggio con anemometro per valutare le correnti d'aria indotte nel locale nelle varie condizioni climatiche.

2.4.3. *Meteorica*

Di solito viene localizzata con un'attenta analisi visiva dei prospetti esterni ed è imputabile o ad acqua piovana trasversale, che imbibisce le pareti, o a infiltrazioni e perdite delle coperture. Viene rilevata oltre il visibile, nel caso di intonaci pesanti, con dettagliata analisi all'infrarosso, certificata e mappata con termogrammi ed elaborati computerizzati a colori.

IL CALCESTRUZZO

3.1. La nascita del calcestruzzo

Il calcestruzzo è un conglomerato artificiale costituito da una miscela di legante, acqua e aggregati (sabbia e ghiaia) e con l'aggiunta, secondo le necessità, di additivi, e/o aggiunte minerali che influenzano le caratteristiche fisiche o chimiche del conglomerato sia fresco che indurito. Attualmente il legante utilizzato per confezionare calcestruzzi è il cemento, ma in passato sono stati realizzati calcestruzzi che utilizzavano leganti differenti come la calce aerea o idraulica. Il cemento, idratandosi con l'acqua, indurisce e conferisce alla miscela una resistenza tale da renderlo simile ad una roccia. È oggi utilizzato per realizzare le parti strutturali di un edificio ed è uno dei materiali da costruzione più impiegato nel mondo.

Dal latino *calcis structio*, struttura a base di calce, in seguito *calcestrutto* e infine *calcestruzzo*, risulta essere l'etimologia del termine che identifica questo materiale lapideo artificiale ottenuto dalla combinazione di inerti di varie granulometrie (aggregati lapidei), legati tra loro mediante il cemento (legante idraulico) che, a contatto con l'acqua, attiva la reazione chimica che ne permette la presa ed indurimento. Proprio per gestire i fenomeni chimici di presa e indurimento, nel calcestruzzo sono quindi aggiunti additivi in grado di permettere di rallentare o accelerare le reazioni al fine di ottenere caratteristiche ben definite.

Da quanto si deduce dagli scritti di Plinio il Vecchio e di Vitruvio, il calcestruzzo (*denominato opus caementitium*) era costituito da rottami di pietra o mattoni, mescolati con calce, acqua e pozzolana vulcanica o cocchiopesto in sostituzione parziale o totale della comune sabbia fluviale. Il rottame di pietra usato per confezionare il calcestruzzo, veniva indicato in latino, anche da Livio e Cicerone, con il termine di *caementum*. Perciò, il calcestruzzo moderno non è un materiale nuovo bensì il perfezionamento di una sostanza già presente nell'antichità. Infatti, già nel *De architettura* (13 a.C.), Vitruvio descrive per la prima volta la fabbricazione della malta idraulica ottenuta mediante l'uso della pozzolana di Baia o di Cuma.

La scoperta della pozzolana, infatti, segnò un rivoluzionario progresso nelle antiche costruzioni in calcestruzzo poiché permetteva non solo di indurire all'interno di casseforme impenetrabili all'aria, ma anche e soprattutto sott'acqua. Il cemento utilizzato dai romani era costituito da sabbie non marine e povere di impurità. Il calcestruzzo era costituito da calcare puro CaO da cuocere per produrre la calce (*calcis coctores*). Per la confezione del calcestruzzo Vitruvio suggeriva: pezzi di tufo con una malta costituita da pozzolana (2 parti) e calce (1 parte). In seguito, nel 27 a.C., Agrippa intraprende l'edificazione del Pantheon, struttura di 43,4 m coperta da una cupola in calcestruzzo portante.

Vi sono ulteriori prove dell'esistenza nel passato di calcestruzzo di pozzolana che, nella maggior parte dei casi, veniva utilizzato come riempimento tra paramenti esterni in mattoni o in pietra che fungevano da casseri permanenti (murature a sacco). Infatti, lo spazio tra i paramenti in mattoni veniva riempito di malta ed aggregati quali pietre o rottami di mattoni. Cicerone scrive-

va: *Concretum corpus ex elementis* che comprende il significato di conglomerato spesso utilizzato per sostituire la parola calcestruzzo.

Nonostante siano molteplici le opere in cemento risalenti ai secoli precedenti, non tutte sono stimate come un bene da tutelare e restaurare. Nella comune percezione, infatti, il termine *cemento armato* ha spesso un'implicita connotazione negativa, in quanto, oggi è comunemente utilizzato per la messa in opera delle parti strutturali di un edificio e perché risulta difficile integrare strutture moderne in cemento con le circostanti strutture di importanza storica presenti sul territorio. L'idea ostile nei riguardi del calcestruzzo scaturisce anche dal fatto che non rispecchia le aspettative di alta durabilità, duttilità ed utilizzabilità nella realizzazione di forme particolari, infatti, è possibile riscontrarne un rapido degrado se si trascura la manutenzione. In realtà, nato convenzionalmente nel 1898, il calcestruzzo risulta di fatto essere un materiale storico, pertanto, sono molteplici gli edifici in cemento armato considerati *monumentali*. Di conseguenza, i problemi correlati al restauro, conservazione e sicurezza dei manufatti in cemento armato, costituiscono uno dei problemi più sentiti del nostro secolo.

Occorre sottolineare, tuttavia, le notevoli diversità che caratterizzano le opere realizzate tra la fine del XIX secolo e i primi decenni del XX. Le prime, invero, sono state perlopiù progettate e costruite con minuziosa cura e reverenziale attenzione per il nuovo materiale. Le ultime, invece, edificate negli anni del grande sviluppo edilizio (anni '50-'70) risultano essere quelle che dimostrano le maggiori problematiche dovute all'utilizzo di calcestruzzi di scarsa qualità, con insufficienza di ferri e con dimensioni esigue.

Il primo passo per sapere quali siano le problematiche da affrontare è quello di eseguire opere di verifica che potrebbero essere più veloci e significative se l'edificio fosse dotato di un *fascicolo del fabbricato* contenente tutte le caratteristiche identificative delle strutture e le prescrizioni per gli interventi di manutenzione.

In passato, i provvedimenti sui manufatti in calcestruzzo erano attuati secondo l'intuito dei progettisti, oggi, invece, la tecnica delle costruzioni in cemento armato ha definito le regole fondamentali di calcolo e di esecuzione dei vari elementi strutturali.

I principali difetti riscontrati nei vecchi edifici in cemento armato, edificati tra il 1900 e 1960, ovvero per tutto il periodo di validità del Regio Decreto del 16 novembre 1939, sono dovuti alla inosservanza di norme sismiche, in quanto inesistenti, che ha dunque permesso una realizzazione di esigue sezioni resistenti con una scarsa quantità di cemento negli impasti che ha portato a rapidi fenomeni di degrado, quali:

- ossidazione delle armature per insufficiente copriferro;
- maggiore porosità degli impasti;
- eccessive deformazioni per fenomeni di fluage in travi e solai, con conseguenti danni a pavimenti e murature sovrastanti;
- cedimenti strutturali.

Per intervenire sulle problematiche riscontrate occorre conoscere il comportamento del calcestruzzo e degli elementi che lo costituiscono per poi attuare azioni migliorative sulle strutture. Il calcestruzzo moderno, oltre che sulla disponibilità del cemento Portland, si basa sulla disponibilità di un mezzo meccanico (betoniera) capace di mescolare la miscela plastica di acqua, cemento, sabbia e ghiaia (o pietrisco) che viene successivamente gettata all'interno delle casseforme. La betoniera non era disponibile all'epoca del calcestruzzo antico dei Romani. Il modo di edificare un muro in calcestruzzo romano, è schematicamente illustrato in cinque fasi:

LA MURATURA

4.1. La muratura portante

La conoscenza della costruzione storica in muratura è un presupposto fondamentale sia ai fini di una attendibile valutazione della sicurezza sismica attuale sia per la scelta di un efficace intervento di miglioramento. Le problematiche sono quelle comuni a tutti gli edifici esistenti, anche se nel caso del patrimonio culturale tutelato, ancora più importante risulta conoscere le caratteristiche originarie della fabbrica, le modifiche intercorse nel tempo dovute ai fenomeni di danneggiamento derivanti dalle trasformazioni antropiche, all' invecchiamento dei materiali e agli eventi calamitosi; inoltre tuttavia, in relazione alla necessità di impedire perdite irrimediabili, l' esecuzione di una completa campagna di indagini può risultare troppo invasiva sulla fabbrica stessa. Si ha pertanto la necessità di affinare tecniche di analisi ed interpretazione dei manufatti storici mediante fasi conoscitive dal diverso grado di attendibilità, anche in relazione al loro impatto. La conoscenza può infatti essere conseguita con diversi livelli di approfondimento, in funzione dell' accuratezza delle operazioni di rilievo, delle ricerche storiche, e delle indagini sperimentali.

La conoscenza della geometria strutturale di organismi esistenti in muratura deriva di regola da operazioni di rilievo. Il rilievo dovrà essere riferito sia alla geometria complessiva dell' organismo che a quella degli elementi costruttivi, comprendendo i rapporti con gli eventuali edifici in aderenza.

Le difficoltà del rilievo geometrico sono legate all' accessibilità di alcuni spazi, quali sottotetti, volumi tra false volte o controsoffitti e coperture, oppure all' eccessiva altezza degli elementi, come nel caso di campanili, torri, volte in una navata; tuttavia, sono disponibili strumenti che consentono un rapido rilievo e una restituzione accurata anche nel caso di elementi complessi, e tecniche di indagine diretta (endoscopia) o indiretta (termografia, georadar, ecc.) per gli spazi non accessibili.

Il rilievo materico costruttivo deve permettere di individuare completamente l' organismo resistente della fabbrica, tenendo anche presente la qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costitutivi. Tale riconoscimento richiede l' acquisizione di informazioni spesso nascoste (sotto intonaco, dietro a controsoffitti, ecc.), che può essere eseguita grazie a tecniche di indagine non distruttive di tipo indiretto (termografia, georadar, tomografia sonica, endoscopia, ecc.) o ispezioni dirette debolmente distruttive (endoscopie, scrostamento di intonaci, saggi, piccoli scassi, ecc.). Un aspetto rilevante è la scelta del numero, della tipologia e della localizzazione delle prove da effettuare.

Il rilievo visivo ed alcune indagini possono consentire di giungere ad una buona conoscenza e ad un giudizio sulla qualità dei materiali e del loro degrado. Tuttavia, in alcuni casi la modellazione del comportamento strutturale, specie nei riguardi dell' azione sismica, richiede la conoscenza di parametri meccanici di deformabilità e resistenza dei materiali, ed in particolare della muratura. Tecniche diagnostiche non distruttive di tipo indiretto, quali prove soni-

che ed ultrasoniche, consentono di valutare l'omogeneità dei parametri meccanici nelle diverse parti della costruzione, ma non forniscono stime quantitative attendibili dei loro valori, in quanto essi vengono desunti dalla misura di altre grandezze (ad esempio, la velocità di propagazione di onde di volume).

La misura diretta dei parametri meccanici della muratura, in particolare di quelli di resistenza, non può essere eseguita, quindi, se non attraverso prove debolmente distruttive o distruttive, anche se su porzioni limitate. Le calibrazioni di prove non distruttive con prove distruttive possono essere utilizzate per ridurre l'invasività delle indagini di qualificazione.

La caratterizzazione degli elementi costituenti (malta; mattoni o elementi lapidei) può essere eseguita in sito o su campioni di piccole dimensioni, prelevati e successivamente analizzati in un laboratorio, di cui all'art. 59 del D.P.R. n. 380/2001.

Per quanto riguarda le malte possono essere eseguite, tra le altre:

- prove sclerometriche e penetrometriche;
- analisi chimiche, su campioni prelevati in profondità in modo da non essere soggetti al degrado superficiale, per la caratterizzazione della malta.

Sui mattoni, oltre a determinarne le caratteristiche fisiche, è possibile valutare il modulo elastico e le resistenze a trazione e compressione attraverso prove meccaniche in laboratorio, di compressione e flessione. Per quanto riguarda gli elementi lapidei, possono essere eseguite una caratterizzazione litologica.

Le caratteristiche meccaniche della muratura possono essere desunte dalle proprietà degli elementi costituenti solo nel caso della muratura di mattoni o di elementi naturali squadri ed a tessitura regolare; in questo caso è possibile fare riferimento alle indicazioni contenute nelle NTC 2018 o in altri documenti di riconosciuto valore scientifico e tecnico.

In merito alla muratura portante il collaudatore in corso d'opera in collaborazione con il direttore dei lavori, verifica che gli elementi in muratura portante siano conformi alla pertinente norma europea armonizzata della serie UNI EN 771 e marcatura CE.

Le NTC 2018 prevedono due categorie: la *categoria I* in cui gli elementi hanno una resistenza alla compressione dichiarata, determinata tramite il valore medio o il valore caratteristico, e una probabilità di insuccesso nel raggiungerla non maggiore del 5%, mentre la *categoria II* non soddisfano tale requisito. Pertanto nel caso in cui il fabbricante abbia dichiarato la resistenza media, il controllo sarà effettuato su almeno un campione per ogni 350 m³ di fornitura per elementi di *categoria II*, e per ogni 650 m³ per elementi di *categoria I*.

Se il fabbricante il fabbricante abbia dichiarato la sola resistenza caratteristica, il controllo di accettazione in cantiere sarà effettuato su almeno un campione per ogni 350 m³ di fornitura per elementi di Categoria II, innalzabili a 650 m³ per elementi di Categoria I.

4.2. Le malte

Per le malte le NTC 2018 prevedono che il direttore dei lavori consegna al collaudatore la documentazione attestante i controlli di accettazione effettuati durante l'esecuzione dell'opera.

Secondo le NTC 2018 il controllo di accettazione va eseguito su miscele omogenee e prevede il campionamento di almeno 3 provini prismatici 40×40×160 mm ogni 350 m³ di muratura realizzata con la stessa miscela nel caso di malte a composizione prescritta o prodotte in cantiere, oppure ogni 700 m³ di muratura realizzata con la stessa miscela nel caso di malte a prestazio-

L'ACCIAIO

5.1. L'utilizzo nelle costruzioni

Acciaio è il nome dato ad una lega composta principalmente da ferro e carbonio, quest'ultimo in percentuale non superiore al 2,11%. Oltre tale limite, le proprietà del materiale cambiano e la lega assume la denominazione di ghisa e nella realizzazione della lega, oltre al carbonio, possono essere presenti degli ulteriori elementi alliganti.

Con acciaio strutturale o acciaio da costruzione si indica il tipo di acciaio utilizzato come materiale da costruzione nel campo dell'ingegneria civile e adoperato per la realizzazione di:

- *Costruzioni metalliche*: travi reticolari, tralicci, utilizzato come elemento strutturale portante;
- *Opere in calcestruzzo armato ordinario*: acciaio da armatura ordinaria o lenta;
- *Opere in calcestruzzo armato precompresso*: acciaio da carpenteria per la cosiddetta *armatura lenta* ed acciaio da precompressione per cavi, barre, trefoli (pre-tesi e post-tesi).

In particolare la resistenza meccanica, la duttilità, la fragilità, la resistenza fisico-chimica e la durabilità dell'acciaio influenzano pesantemente lo specifico settore di impiego ideale.

5.1.1. Acciai per calcestruzzo armato

L'acciaio per costruzione in calcestruzzo armato è costituito principalmente da barre tonde, della lunghezza standard di 12 m.

In merito all'acciaio da cemento armato normale, o acciaio per armatura lenta, il D.M. 17 gennaio 2018 (*Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»*) prevede l'utilizzo solo delle seguenti classi di acciaio nervato (ad aderenza migliorata):

- B450C (*acciaio laminato a caldo*): caratterizzato da una tensione di rottura non inferiore a 540 N/mm²; da una tensione di snervamento non inferiore a 450 N/mm² e da un allungamento totale a carico massimo non inferiore al 7%;
- B450A (*acciaio trafilato a freddo*): caratterizzato da una tensione di rottura non inferiore a 540 N/mm²; da una tensione di snervamento non inferiore a 450 N/mm² e da un allungamento totale a carico massimo non inferiore al 3% (minore duttilità rispetto al precedente).

5.1.2. Acciai per calcestruzzo armato precompresso

L'acciaio per costruzione in calcestruzzo armato precompresso può essere fornito nelle seguenti forme:

- filo;
- barra;
- treccia;
- trefolo.

Le caratteristiche meccaniche degli acciai per armature di precompressione possono variare a seconda della tecnologia produttiva, della composizione chimica dell'acciaio, delle dimensioni e della geometria. Di norma le tensioni di rottura sono da 1,9 a 3,3 volte maggiori a quelle fornite da un B450C (precedenti FeB44k).

5.1.3. Acciai per strutture metalliche

Gli acciai prodotti finiti laminati a caldo utilizzati in edilizia sono prodotti in:

- fogli/lamiere;
- sbarre/profilati.

Gli acciai per strutture metalliche si distinguono, a loro volta, in:

- prodotti piatti ai quali appartengono le lamiere, i piatti, i larghi piatti ed i nastri;
- prodotti lunghi ai quali appartengono i profilati e le barre;
- prodotti cavi ai quali appartengono i tubi prodotti a caldo;
- prodotti derivati ai quali appartengono le travi saldate, i profilati a freddo, i tubi saldati e le lamiere grecate.

Vediamo di seguito le prove che possono essere effettuate sull'acciaio.

5.2. Prova Vickers

La prova con microdurometro Vickers permette di ottenere una valutazione della resistenza meccanica dell'acciaio in sito. Per la sua semplicità consente di estendere la prova ad una grande quantità di elementi permettendo una efficace valutazione statistica. L'area d'indagine deve preventivamente essere preparata eliminando la vernice e lucidandola con carta abrasiva di grana almeno 400. La misura della durezza si ottiene premendo la punta di diamante dello strumento sulla superficie dell'acciaio e producendo un'impronta; in questo modo si carica progressivamente una molla elicoidale contenuta nel corpo della sonda. Quando il carico ha raggiunto un valore corrispondente a quello di taratura lo strumento rileva automaticamente la misura dell'impronta e la memorizza. Un segnale acustico avverte che il processo di misura è completato.

Per ogni area di indagine si eseguono 15 misure che sono mediate scartando il valore più alto e quello più basso.

Lo strumento ha le seguenti caratteristiche:

- valutazione dell'impronta con metodo UCI (*Ultrasonic Contact Impedance*);
- carico di prova: 49,0 N;
- diamante piramidale con angolo: 136°;
- campo di misura da 20 HV a 1700 HV;
- risoluzione: 1 HV.

Il valore medio di durezza Vickers (HV) ottenuto per singolo elemento è convertito nella scala Brinell secondo la norma UNI EN ISO 18265. Per la valutazione della tensione si prendono come riferimento i valori ricavati dalle indagini sperimentali sul materiale, dai quali, in base alla norma, si può ricavare la resistenza a rottura per trazione caratteristica:

$$R_{tk} = R_{tm} - 1,64 SQ$$

dove R_{tm} è il valore medio di tutti i risultati, ed SQ è lo scarto quadratico

IL LEGNO

6.1. Indagini su strutture lignee

Le strutture costituite da elementi in legno possono essere soggette a degrado causato da:

- **Fattori abiotici:**
 - condizioni ambientali sfavorevoli;
 - eccesso di umidità;
 - fenomeni di combustione.
- **Fattori biotici:**
 - muffe e funghi parassiti del legno;
 - microorganismi ed insetti xilofagi.

Spesso questi agenti degradanti agiscono in sinergia sottoponendo gli elementi della struttura alla progressiva perdita delle caratteristiche meccaniche tipiche della specie legnosa di appartenenza. Attraverso un accurato controllo visivo degli elementi lignei e all'utilizzo di opportuni esami diagnostici strumentali è possibile definire lo stato di salute della struttura.

Come primo approccio per le strutture in legno è bene effettuare un'indagine visiva per l'individuazione dei macro difetti quali attacchi da xilofagi, marcescenze, fessurazioni, nodi ecc.. In base a quanto emerge da questa prima indagine che deve essere fatta da un esperto si potrà stendere un programma di indagini sperimentali di tipo non distruttivo o minimamente invasivo, esemplificando su una singola trave: controllo dello stato di conservazione delle due testate all'interno della muratura. In questo caso viene usato il Resistograph, strumento che misura indirettamente la densità del legno penetrando nella trave in diagonale per una quarantina di centimetri. Questa penetrazione viene eseguita per rotazione da una piccola punta con tagliente a scalpello (\varnothing 3 mm) e registrazione di un diagramma delle resistenze incontrate dall'attrezzo durante la perforazione.

Tanto la verifica statica della struttura quanto la progettazione vera e propria degli interventi di restauro presuppongono la conoscenza quanto più possibile completa e dettagliata dello stato di fatto. Da questa infatti dipendono sostanzialmente la affidabilità e la probabilità di successo della progettazione. La diagnostica applicata alle strutture lignee ha lo scopo di conferire certezza ed affidabilità alla progettazione del restauro attraverso la determinazione oggettiva dello stato di conservazione e della funzionalità strutturale, fornendo informazioni utili ad eliminare una serie di fattori di incertezza tra i quali:

- la qualità resistente del legno (specie legnosa, tipo, dimensioni e distribuzione dei difetti e delle anomalie);
- la presenza eventuale di degrado biologico (tipo di degrado, sua distribuzione e possibile evoluzione nel tempo, sezione resistente residua);
- la presenza eventuale di danni di tipo meccanico (rotture, sconnessioni, deformazioni eccessive).

L'indagine diagnostica si esegue su ogni singolo elemento strutturale ed è articolata in tre fasi:

- **Fase 1:** ispezione visiva, con descrizione particolareggiata di ciascun elemento della struttura, identificazione della specie legnosa, valutazione dei difetti e delle anomalie presenti, localizzazione e quantificazione delle alterazioni subite nel corso del tempo, valutazione dello stato dei collegamenti. L'ispezione visiva viene effettuata osservando direttamente la superficie esterna degli elementi e mettendo in evidenza tutte le particolarità che hanno importanza ai fini dell'indagine (caratteri macroscopici, caratteri morfologici, difetti e anomalie varie). Nel caso che attraverso la osservazione dei soli caratteri macroscopici sia impossibile o dubbia l'identificazione della specie legnosa, viene prelevato un campione per la successiva analisi microscopica in laboratorio. I difetti presi in considerazione sono quelli che condizionano le proprietà meccaniche del legno (nodi, fessurazioni, deviazione della fibratura, ecc.). Di questi viene valutata la localizzazione e l'estensione. Per quanto riguarda il degrado biologico si fa riferimento principalmente agli attacchi da parte degli insetti xilofagi e dei funghi della carie, responsabili di gravi diminuzioni della resistenza del legno.
- **Fase 2:** analisi strumentale, eseguita mediante tecniche diagnostiche non distruttive applicate *in situ*, ha lo scopo di integrare le analisi condotte visivamente, con particolare riferimento alle parti non visibili o non accessibili della struttura (tipicamente gli appoggi sulle murature e le parti interne o nascoste degli elementi); tra queste, l'analisi cosiddetta *resistografica* costituisce allo stato attuale la tecnica meglio rispondente ai requisiti di affidabilità, praticità di uso ed economicità richiesti per essere realmente utile ed applicabile ai fini diagnostici.
- **Fase 3:** elaborazione dei risultati e predisposizione della relazione tecnica comprendente: classificazione secondo la qualità resistente e stima della sezione resistente residua di ogni elemento, identificazione e localizzazione delle sezioni di minima resistenza, stima dello stato e della efficienza dei collegamenti, visualizzazione grafica sintetica dei risultati.

Condizioni necessarie per la fattibilità di una indagine diagnostica sono l'accessibilità della struttura in ogni sua parte visibile nel rispetto delle norme sulla sicurezza e la prevenzione degli infortuni, la pulizia e la visibilità delle superfici, la adeguata illuminazione dell'ambiente di lavoro, la disponibilità di disegni o rilievi al fine di permettere una adeguata restituzione dei risultati.

6.2. Difetti ed alterazioni del legno

Difetti e alterazioni propri del legno sono fessurazioni da ritiro, fessurazioni da cipollature, fibratura deviata, nodi, mentre le cause esterne possono essere attacchi biologici.

Fessurazioni da ritiro

Le fessurazioni da ritiro sono l'espressione della caratteristica anisotropica dei ritiri del legno quando nel pezzo è presente il midollo. Si tratta di un fenomeno insito alla struttura del materiale, ossia del tutto naturale, non dipendente quindi né da un'erronea lavorazione, né da una stagionatura insufficiente o condotta in modo non corretto.

INDAGINI GEOTECNICHE

7.1. Definizione del modello geotecnico

La definizione del modello geotecnico di sottosuolo per l'esecuzione di studi di risposta sismica locale (RSL) e per le verifiche agli stati limite ultimi (SLU) e di esercizio (SLE) di opere che interagiscono con il terreno richiede l'uso di metodi di indagine convenzionali e/o propri della dinamica dei terreni quali:

- sondaggi;
- prove in sito tradizionali (CPT, SPT, DMT, ecc.);
- installazione di piezometri e misura delle pressioni interstiziali;
- prove geofisiche in situ (*down-hole*, *cross-hole*, conosismico, SDMT, SASW-MASW, ecc.);
- prove geotecniche di laboratorio (determinazione di proprietà indice e di stato; prove edometriche, triassiali, RCTS; ecc.).

La quantità e la tipologia delle indagini geotecniche, in accordo con le NTC 2018, sono definite dal progettista, che se ne assume la responsabilità, in funzione del tipo di intervento e tenendo conto del modello geologico riportato nella relazione geologica. Le indagini devono permettere la definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo necessari alla progettazione ed alle relative verifiche allo SLU e allo SLE. Esse sono legate alla classe di prestazione richiesta dall'opera e quindi alla metodologia di analisi da adottare.

Le indagini devono, quindi, essere programmate non solo per lo studio della risposta sismica locale ma, in generale, anche per la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni al fine delle verifiche di stabilità e di esercizio delle opere che interagiscono con essi. Quale che sia la metodologia impiegata, la caratterizzazione geotecnica deve essere estesa a un volume significativo legato alla natura delle sollecitazioni e al problema oggetto di studio.

Riepilogando, la caratterizzazione geotecnica deve avere come obiettivi minimi, quindi:

- la caratterizzazione stratigrafica del sottosuolo;
- la conoscenza del regime delle pressioni interstiziali (superficie libera della falda, condizioni di quiete o di moto dell'acqua);
- la conoscenza delle proprietà fisiche e meccaniche dei diversi terreni ricadenti nel volume significativo;
- la valutazione dell'analisi della risposta sismica locale del sito, con particolare attenzione alla quota di riferimento del manufatto.

I lavori relativi all'esecuzione delle indagini dovranno essere eseguiti a perfetta regola d'arte ed in conformità alle speciali prescrizioni che la direzione dei lavori (DL) darà all'atto esecutivo, impiegando tutte le cautele necessarie a non danneggiare qualsiasi opera o altro.

Rimane convenuto che la ditta aggiudicataria dovrà, a sua cura e spesa, provvedere al ripristino di tutte quelle parti che rimanessero danneggiate per mancanza di provvedimenti atti alla salvaguardia delle stesse e per negligenza. Eventuali danni, in fase di preparazione ed esecuzione

ne dei sondaggi, saranno a completo carico della ditta appaltatrice per il ripristino funzionale di quanto danneggiato. La ditta aggiudicataria, inoltre, dovrà provvedere ad ottenere, a propria cura e spese, presso i privati e le competenti Autorità tutti i permessi necessari per gli accessi nelle proprietà di terzi e per l'esecuzione dei lavori, ivi inclusa l'eventuale bonifica da residuati bellici; nonché ad assumere la responsabilità dei danni derivanti dall'esecuzione dei lavori stessi e al ripristino della situazione esistente. Nei prezzi previsti nei computi metrici di solito si intendono sempre compresi e compensati anche i lavori e gli oneri dell'appaltatore per ripristinare i terreni alle condizioni preesistenti alle esecuzioni dei sondaggi.

Salvo impedimenti temporanei, tutti i lavori di indagine e le prove realizzate in campagna saranno diretti e sorvegliati dal personale tecnico abilitato per legge.

Per assicurare una regolare condotta dei lavori l'impresa dovrà affidare la direzione tecnica del cantiere a persona dotata di adeguata e documentata esperienza nel campo delle indagini geognostiche. Il Direttore Tecnico del cantiere è responsabile dell'andamento del cantiere e della qualità del lavoro.

Le indagini in sito hanno le seguenti finalità:

- ricostruire la struttura stratigrafica del sottosuolo attraverso il prelievo della campionatura rimaneggiata o attraverso correlazioni tra grandezze misurate (ad esempio la resistenza penetrometrica alla punta) e la stratigrafia;
- prelevare, se possibile, campioni indisturbati, da sottoporre successivamente a prove di laboratorio;
- eseguire prove in sito per la determinazione delle proprietà meccaniche e fisiche;
- installare strumenti per il rilievo del regime delle pressioni neutre, delle deformazioni, ecc..

L'interpretazione dei risultati delle indagini in sito, unitamente a quella dei risultati delle indagini di laboratorio conduce alla formulazione del modello geotecnico del sottosuolo.

L'ampiezza del programma delle indagini è commisurata all'importanza dell'opera ed alla sua fase di progettazione. Per opere di importanza non rilevante le indagini sono sviluppate in una sola fase, al contrario, per le opere molto impegnative e di grande rilevanza le indagini sono sviluppate in diverse fasi e finalità.

Facendo riferimento alla attuale normativa sui lavori pubblici si possono distinguere i seguenti livelli di progetto e quindi di indagini:

- *Progetto di fattibilità tecnica ed economica*: si verifica la fattibilità dell'opera sia dal punto di vista tecnico sia da quello economico, per quanto riguarda le indagini geotermiche ci si limita ad acquisire i risultati di indagini eseguite con altre finalità nella zona con l'eventuale approfondimento.
- *Progetto definitivo*: l'opera è definita in tutte le sue parti e quindi necessita di indagini specifiche per lo sviluppo di un modello di sottosuolo affidabile tale da consentire le necessarie analisi di stabilità e di comportamento in esercizio.
- *Progetto esecutivo*: nel progetto si definiscono i particolari costruttivi, le modalità di esecuzione, ecc..

Le ulteriori indagini sono in genere limitate all'approfondimento di situazioni particolari. In fase di costruzione realizzazione dell'opera può risultare necessario sviluppare ulteriori indagini per la risoluzione di problemi specifici o la verifica delle ipotesi progettuali.

INDAGINI SUI PONTI

8.1. I ponti

Lo studio delle opere d'arte stradali, allo scopo di determinarne l'idoneità statica, deve innanzitutto partire da una ricerca storica che consenta di conoscere le modalità e l'epoca della costruzione. Sulla base di queste informazioni preliminari e di una attenta ispezione visiva, si potrà procedere alla diagnosi delle condizioni generali attraverso le indagini sperimentali.

Le indagini in campo si dividono in due categorie:

- 1) la prima relativa a tutte le metodologie di prova in sito, che consentono di conoscere al meglio le caratteristiche meccaniche dei materiali costituenti;
- 2) la seconda necessaria per valutare il comportamento d'insieme della struttura.

Da questa serie di indagini si potrà procedere alla calibrazione di un modello numerico per ottenere le tensioni e/o deformazioni massime di esercizio, al fine di confrontarle con quelle ammissibili o valutate agli stati limite.

Sulla base di queste risposte ed attraverso la valutazione oggettiva dello stato di degrado, si potranno decidere gli eventuali interventi di recupero e/o consolidamento anche in base alle esigenze di carattere sismico. Il progetto di consolidamento potrà essere verificato prioritariamente dal modello calibrato e successivamente da una caratterizzazione dinamica sperimentale che ne accerti la corrispondenza con i parametri teorici post intervento.

Il processo di analisi strutturale vede un percorso ben definito consistente in ispezione visiva, indagini sperimentali, modellazione calibrata e progetto di ripristino. Ognuna di queste fasi è fondamentale per la salvaguardia del costruito. Ne sono di insegnamento i crolli ed i gravi dissesti di ponti avvenuti in questi ultimi anni. Fenomeni che vanno via via aumentando a causa dei processi degenerativi del calcestruzzo e corrosivi delle armature.

Tra i fenomeni di dissesto più evidenti si può citare la deformazione permanente, fenomeno frequente, spesso trascurato, che porta in sé dei gravi errori costruttivi che arrivano a provocare il cedimento definitivo.

In questi casi è indispensabile monitorare con costanza l'evoluzione del fenomeno, possibilmente con sistemi permanenti che consentano una facile rilevazione e memorizzazione della deformata con l'eventuale automatico allarme (telefonico e semaforico) per un incremento repentino.

La corretta gestione del patrimonio dei manufatti stradali, quali i ponti, è strettamente correlata alla prevenzione ed alla tempestiva rilevazione dell'insorgere di eventuali dissesti statici e degrado dei materiali.

Interventi tardivi e/o non programmati per tempo, possono portare ad un notevole incremento dei costi dell'intervento di recupero ed in qualche raro caso anche ad una situazione di degrado tanto importante da rendere competitiva la ricostruzione del manufatto. È perciò necessario un monitoraggio continuo e programmato non solo nei confronti della sicurezza al collasso della

struttura ma soprattutto in relazione alle condizioni di servizio affinché la struttura possa conservare la funzionalità per tutta la sua vita utile.

Il monitoraggio dei ponti può essere eseguito per mezzo di:

- ispezioni di routine (frequenza mensile o annuale, ad es. analisi visiva, pavimentazione, barriere, segnalazione di anomalie);
- ispezioni generali (frequenza biennale, secondo un programma standard con prove strumentali);
- ispezioni speciali (a carattere eccezionale, dopo terremoti, carichi eccezionali, condizioni di degrado).

Nel caso di ponti nuovi è necessario redigere, già in fase progettuale, anche i piani di controllo (monitoraggi) e la manutenzione programmata, con previsione di costi e di tempi. È ovvio che devono essere previsti adeguati accorgimenti costruttivi, quali scale di accesso, botole d'ispezione, che rendano possibili ed agevoli le ispezioni.

Il quadro normativo oggi presente in Italia prescrive l'obbligatorietà della sorveglianza e dei controlli periodici. Questa obbligatorietà si è spesso scontrata con due aspetti non trascurabili e collegati tra loro:

- la mancanza di mezzi finanziari adeguati;
- insufficienza di personale, per cui, in genere in Italia, la tendenza operativa è stata, in passato, caratterizzata da condizioni di emergenza piuttosto che da interventi programmati e si è preferito spesso il *nuovo* al recupero del costruito.

La *Legge del Cinque* offre una valutazione dei costi durante la vita della struttura, in funzione dei controlli e delle manutenzioni ordinarie e straordinarie:

«Assumendo che il degrado di un'opera si incrementi nel tempo con legge lineare, i costi degli interventi presentano una progressione geometrica, e che ad un extracosto del 1% nella fase di progetto equivale al 5% nella fase di manutenzione, se in seguito si trascura il manufatto, saranno necessari interventi di recupero stimati nel 25%. Se poi in una ulteriore fase sono necessarie riparazioni generalizzate il costo si attesta attorno al 125%, cioè il costo di manutenzione supera quello di costruzione.»

La presa di coscienza della situazione attuale ci porta, oggi, verso la corretta gestione del patrimonio dei ponti nuovi ed esistenti, tenendo nel giusto conto i costi diretti rappresentati dal costo dell'intervento di manutenzione ordinaria o straordinaria ed i costi indiretti dovuti all'interruzione del traffico o al suo rallentamento.

8.2. Ponti stradali

Per i ponti stradali le norme per l'effettuazione del collaudo statico sono contenute nel D.M. delle Infrastrutture e dei Trasporti 17 gennaio 2018. L'entrata in vigore del nuovo testo normativo ha portato alcune variazioni rispetto alla normativa precedente in particolare per quanto riguarda la disposizione ed il valore dei carichi di calcolo e di collaudo. L'ingombro della corsia è fissato in 3,0 m. Se però la carreggiata è compresa tra 5,4 e 6,0 m si ha un'ulteriore riduzione di larghezza. Questa regola influenza il valore del carico distribuito q_{1b} che è espresso in kN/m^2 .

Sono previste quattro forze concentrate, che per i ponti di I categoria, nella prima corsia, prevedono 150 kN su una superficie di $0,4 \times 0,4$ m, intese come due assi da 300 kN ed un carico distribuito, pari a 9 kN/m^2 .

CHECK LIST E MODELLI



**PRONTO
GRAFILL**

**CLICCA per maggiori informazioni
... e per te uno SCONTO SPECIALE**

↳ *Nomina del collaudatore statico da parte del committente*

.....
(Committente)

Al

Via n.

.....

NOMINA DEL COLLAUDATORE STATICO

(art. 7, legge 5 novembre 1971, n. 1086, e art. 67, c. 3, D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380)

Dati identificativi dell'opera:

Sito in comune di:

Committente:

Il sottoscritto ... in qualità di committente delle opere sopracitate, che verranno realizzate da:

Impresa:

conferisce l'incarico di effettuare il collaudo statico delle strutture al ... residente in ... via ... n. ... , iscritto all'ordine degli Ingegneri/Architetti della Provincia di ... n. ... , l'incarico di Collaudatore delle strutture.

Il committente

.....

↳ **Richiesta terna di nominativi per la scelta del collaudatore all'ordine provinciale degli architetti o degli ingegneri (art. 67, c. 4, D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380)**

.....
(Impresa)

All'Ordine degli
della Provincia di
Via ... n. ...

OGGETTO: lavori di

Richiesta di terna di nominativi per conferimento incarico di collaudatore statico ai sensi dell'art. 7, comma 4, legge 5 novembre 1971, n. 1086 e dell'art. 67, comma 4, D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380.

Il sottoscritto ... residente in ... Via ... n. ... , in qualità di costruttore in proprio dei lavori indicati in oggetto:

- Progettista delle opere ... residente in ... via ... iscritto all'ordine degli ... della provincia di ... al n. ...
- Progettista delle strutture ... residente in ... via ... iscritto all'ordine degli ... della provincia di ... al n. ...
- Direttore dei lavori ... residente in ... via ... iscritto all'ordine degli ... della provincia di ... al n. ...
- Strutture del tipo ...

chiede

a Codesto Ordine Professionale una terna di nominativi per la scelta del collaudatore statico delle opere in oggetto.

Si comunica che le operazioni di collaudo dovranno essere completate entro la data del ...

..... , li

L'impresa

INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE INCLUSO

Note sul software incluso

Il software incluso¹ installa le seguenti utilità:

- **Fogli Excel per i controlli cls-acciaio e le prove sclerometriche;**
- **Check list e modelli di riferimento:**
 - Nomina del collaudatore statico da parte del committente;
 - Richiesta terna di nominativi per la scelta del collaudatore all'ordine provinciale degli architetti o degli ingegneri (art. 67, c. 4, D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380);
 - Comunicazione di nomina del collaudatore statico tra la terna di nominati proposta dall'Ordine provinciale degli architetti o degli ingegneri (art. 67, c. 4, D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380);
 - Accettazione dell'incarico di collaudo statico;
 - Relazione a strutture ultimate;
 - Collaudo statico delle strutture in calcestruzzo armato (Legge 5 novembre 1971, n. 1086, legge 2 febbraio 1974, n. 64, D.M. 14 gennaio 2008; legge regionale ...);
 - Schema di certificato di collaudo statico – Lavori Pubblici;
 - Lettera di trasmissione dei provini in cls e barre di acciaio al laboratorio ufficiale prove;
 - Verbale di verifica delle tolleranze sulle masse e sulle sezioni dei tondini ad aderenza migliorata;
 - Richiesta al laboratorio ufficiale prove dell'esecuzione di prova di carico;
 - Certificato di idoneità sismica (ai sensi dell'art. 35, legge 28 febbraio 1985, n. 47 e della Legge 13 marzo 1988 e successive modifiche ed integrazioni);
 - Certificato di idoneità statica (ai sensi dell'art. 35, legge 28 febbraio 1985, n. 47 e della Legge 13 marzo 1988 e successive modifiche ed integrazioni);
 - Lettera di trasmissione provini per prove sui materiali impiegati;
 - Verbale di prelevamento campioni di calcestruzzo fresco;
 - Comunicazione all'Ufficio del Genio Civile di nomina del collaudatore;
 - Richiesta di conformità ai sensi dell'art. 28 della legge 2 febbraio 1974, n. 64;
 - Lettera di invito all'impresa appaltatrice della data di inizio del collaudo;
 - Lettera di incarico per collaudo in corso d'opera;
 - Lettera di incarico di collaudo;
 - Dichiarazione di accettazione di incarico di collaudo (art. 8 e 9 della L.R. 29 aprile 1985, n. 21);

¹ Il software incluso è parte integrante della presente pubblicazione e resterà disponibile nel menu **G-cloud** dell'area personale del sito www.grafill.it.

- Lettera di avviso all’ingegnere capo della data di inizio del collaudo;
- Invito all’appaltatore a firmare gli atti di collaudo (art. 112 del R.D. n. 350/1895);
- Verbale di visita di collaudo in corso d’opera;
- Verbale di collaudo provvisorio.
- **Glossario** (termini più ricorrenti sull’argomento);
- **FAQ** (risposte alle domande più frequenti);
- **Test base / Test avanzato** (verifiche sulla conoscenza dell’argomento).

Requisiti hardware e software

- Processore da 2.00 GHz;
- MS Windows Vista/7/8/10 (è necessario disporre dei privilegi di amministratore);
- MS .Net Framework 4 e vs. successive;
- 250 MB liberi sull’HDD;
- 2 GB di RAM;
- MS Word 2007 e vs. successive;
- MS Excel 2007 e vs. successive;
- Accesso ad internet e browser web.

Download del software e richiesta della password di attivazione

- 1) Collegarsi al seguente indirizzo internet:

https://www.grafill.it/pass/0018_1.php

- 2) Inserire i codici “A” e “B” (vedi ultima pagina del volume) e cliccare [**Continua**].
- 3) **Per utenti registrati** su www.grafill.it: inserire i dati di accesso e cliccare [**Accedi**], accettare la licenza d’uso e cliccare [**Continua**].
- 4) **Per utenti non registrati** su www.grafill.it: cliccare su [**Iscriviti**], compilare il form di registrazione e cliccare [**Iscriviti**], accettare la licenza d’uso e cliccare [**Continua**].
- 5) Un **link per il download del software** e la **password di attivazione** saranno inviati, in tempo reale, all’indirizzo di posta elettronica inserito nel form di registrazione.

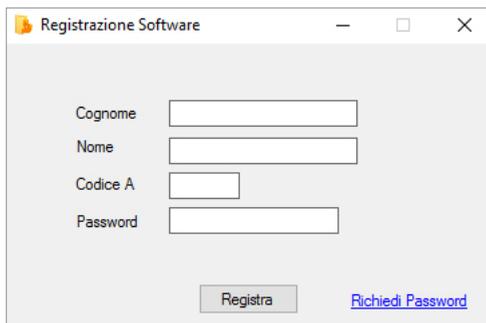
Installazione ed attivazione del software

- 1) Scaricare il setup del software (file *.exe) cliccando sul link ricevuto per e-mail.
- 2) Installare il software facendo doppio-click sul file **88-277-0019-8.exe**.
- 3) Avviare il software:

Per utenti MS Windows Vista/7/8: [**Start**] > [**Tutti i programmi**] > [**Grafill**]
 > [**Prove diagnostiche su Edifici Esistenti**] (cartella)
 > [**Prove diagnostiche su Edifici Esistenti**] (icona di avvio)

Per utenti MS Windows 10: [**Start**] > [**Tutte le app**] > [**Grafill**]
 > [**Prove diagnostiche su Edifici Esistenti**] (icona di avvio)

- 4) Compilare la maschera *Registrazione Software* e cliccare su [**Registra**].



5) Dalla finestra *Starter* del software sarà possibile accedere ai documenti disponibili.



