

**Regione Toscana - Giunta Regionale  
Settore - Servizio Sismico Regionale**

**INTERVENTI SPERIMENTALI  
DI PREVENZIONE PER LA  
RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO**

***PROGRAMMA REGIONALE  
VULNERABILITA' SISMICA  
EDIFICI IN CEMENTO ARMATO  
(VSCA)***

**ISTRUZIONI TECNICHE**

***CRITERI PER LO SVOLGIMENTO DI INDAGINI DIAGNOSTICHE  
FINALIZZATE ALLA VALUTAZIONE DELLA QUALITA' DEI  
MATERIALI IN EDIFICI ESISTENTI  
IN CEMENTO ARMATO***

**DIREZIONE GENERALE DELLE POLITICHE  
TERRITORIALI E AMBIENTALI**

LUGLIO 2004

Legge Regionale n° 56 del 30 luglio 1997 – *“Interventi sperimentali di prevenzione per la riduzione del rischio sismico”*

DELIBERA n°797 del 30/07/2002 – *“Programma delle attività d’indagini su edifici pubblici in cemento armato in zona sismica – vulnerabilità e diagnostica”*

## **ISTRUZIONI TECNICHE**

***Criteria per lo svolgimento di indagini diagnostiche finalizzate alla valutazione della qualità dei materiali in edifici esistenti in cemento armato***

A cura di: M. Ferrini<sup>(1)</sup>

con il contributo di: N. Signorini<sup>(1)</sup>  
F. Papini<sup>(2)</sup>,  
F. Barni<sup>(3)</sup>, G.De Pasquale<sup>(3)</sup>, V. Prestifilippo<sup>(3)</sup>, G. Sabia<sup>(3)</sup>, A. Tonelli<sup>(3)</sup>, L. Tovazzi<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup>REGIONE TOSCANA – Servizio Sismico Regionale

<sup>(2)</sup>REGIONE TOSCANA – Tempo Determinato presso il S.S.R.

<sup>(3)</sup>REGIONE TOSCANA – Borse di Studio presso il S.S.R.

L. 730/86

*Prima edizione:* Febbraio '90

*Aggiornamenti:* Aprile '94 e Marzo '95

L. 74/96 (ex D.L. 560/95)

*Prima edizione:* Marzo '96

*I Aggiornamento:* Marzo '96

*II Aggiornamento:* Aprile '96

L.R. 56/97

*Prima edizione:* Dicembre '98

*Seconda edizione:* Marzo 2001

*Terza edizione:* Luglio 2003

Delibera 797/02

*Prima edizione:* Luglio '02

Delibera 796/03

*Prima edizione:* Agosto '03

Stampa Litografia della Giunta Regionale  
Via di Novoli, 73/a - 50127 Firenze  
Luglio 2004

# INDICE

## 1. INTRODUZIONE

- 1.1. OGGETTO DELLE ISTRUZIONI: PROGRAMMA REGIONALE DI VULNERABILITÀ SISMICA CEMENTO ARMATO (VSCA)
- 1.2. LE INDAGINI CONDOTTE SUL TERRITORIO NAZIONALE
- 1.3. LE INDAGINI CONDOTTE SUL TERRITORIO REGIONALE
- 1.4. MODALITÀ DI EROGAZIONE DEI CONTRIBUTI REGIONALI AGLI ENTI LOCALI

## 2. PARTE GENERALE

- 2.1. GENERALITÀ SUI MECCANISMI DI COLLASSO DELLE STRUTTURE IN C.A.
- 2.2. VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA IN EDIFICI ESISTENTI IN C.A.  
LA METODOLOGIA R.T.
- 2.3. CRITERI GENERALI PER L'INDIVIDUAZIONE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI SIGNIFICATIVI DA INDAGARE
- 2.4. INDAGINI CONOSCITIVE SUL CEMENTO ARMATO: ASPETTI METODOLOGICI
  - 2.4.1. PROVE NON DISTRUTTIVE O INDIRECTE
  - 2.4.2. PROVE DISTRUTTIVE
    - 2.4.2.1. PROVE DISTRUTTIVE SUL CALCESTRUZZO
    - 2.4.2.2. PROVE DISTRUTTIVE SULL'ACCIAIO
- 2.5. ELABORAZIONE E INTERPRETAZIONE DEI DATI DI PROVA
  - 2.5.1. PROVE NON DISTRUTTIVE O INDIRECTE
  - 2.5.2. PROVE DISTRUTTIVE O DIRETTE
- 2.6. CONCLUSIONI

## 3. ISTRUZIONI TECNICHE PER LA PROGRAMMAZIONE DELLE INDAGINI SUL CALCESTRUZZO E PER L'ELABORAZIONE DEI DATI DI PROVA

### 3.1. FASE DI PROGRAMMAZIONE

- ALL. A DESCRIZIONE STRUTTURALE DELL'EDIFICIO
- ALL. B RUOLI E COMPETENZE DEI SOGGETTI COINVOLTI
- ALL. C CRITERI GENERALI PER L'INDIVIDUAZIONE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI DA INDAGARE
- ALL. D DATI CONTENUTI NEL CERTIFICATO

- ALL. E** MODALITÀ D'ESECUZIONE DELLE PROVE - PREPARAZIONE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI DA INDAGARE: A CURA DEL PERSONALE DELL'AMMINISTRAZIONE COMUNALE E/O PROVINCIALE O DELL'IMPRESA EDILE DA ESSA INCARICATA
- ALL. E.1** PROVE NON DISTRUTTIVE - A CURA DEI TECNICI DEL LABORATORIO INCARICATO  
METODO SONREB: SCLEROMETRO E ULTRASUONI  
METODOLOGIA R.T. PER LA LETTURA DEGLI ULTRASUONI NEL METODO SONREB
- ALL. E.2** PROVE DISTRUTTIVE - A CURA DEI TECNICI DEL LABORATORIO INCARICATO  
METODO CAROTAGGIO
- ALL. E.3** PROVE PROFONDITÀ DI CARBONATAZIONE - A CURA DEI TECNICI DEL LABORATORIO INCARICATO
- ALL. .F** TABELLA RIASSUNTIVA DELLE PROVE PREVISTE
- ALL. G** PIANTE DELL'EDIFICIO CON PROVE PREVISTE
- ALL. H** SCHEDA R. T. "PROVE QUALITÀ CALCESTRUZZO" E ISTRUZIONI PER LA COMPILAZIONE
- ALL. I** TASSI DI LAVORO DEGLI ELEMENTI DA CAROTARE

### **3.2. FASE DI INTERPRETAZIONE DEI DATI**

- ALL. L** COPIA DEL CERTIFICATO EMESSO DAL LABORATORIO INCARICATO DELL'ESECUZIONE DELLE PROVE
- ALL. M** INTERPRETAZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI DI PROVA
- ALL. M.1** METODO INDIRETTO E TABELLA PER L'ELABORAZIONE DEI DATI RELATIVI (SONREB)
- ALL. M.2** METODO DIRETTO E TABELLA PER L'ELABORAZIONE DEI DATI RELATIVI (CAROTAGGIO)
- ALL. M.3** TABELLA RIASSUNTIVA DEI DATI DI PROVA
- ALL. M.4** PIANTE DELL'EDIFICIO CON DATI DI PROVA

## 1. INTRODUZIONE

In seguito agli eventi sismici del 1995 nei comuni della Lunigiana e della Garfagnana la Regione Toscana ha avviato una campagna d'indagini diagnostiche nell'ambito della progettazione degli interventi di riparazione dei danni e di adeguamento e/o miglioramento sismico degli edifici pubblici, ai sensi dell'art. 8 della L. 74/96 di cui alle delibere di G.R.T. n. 1209 e n. 1210 del 23.09.96 del Piano Operativo Regionale e successive rimodulazioni.

Tali attività sono state poi estese a tutti gli edifici pubblici strategici e rilevanti dei 67 Comuni a maggior rischio sismico del territorio regionale e recentemente a ulteriori 28 Comuni delle zone limitrofe.

Scopo principale delle indagini compiute dalla Regione Toscana sul proprio territorio è lo sviluppo delle conoscenze di base sulla qualità dei materiali e loro comportamento d'insieme e l'acquisizione di dati relativi alla vulnerabilità sismica del patrimonio edilizio degli Enti Locali.

Le indagini compiute fino ad oggi dalla Regione Toscana sul proprio territorio sono state condotte sulla base di uno specifico indirizzo metodologico elaborato dal competente ufficio regionale della Direzione Generale delle Politiche Territoriali e Ambientali sulla base dei riferimenti scientifici esistenti e in mancanza di una normativa specifica di riferimento.

L'indirizzo metodologico avviato dalla R.T. permette l'acquisizione di un consistente numero di elementi necessari alla valutazione dell'edilizia esistente in cemento armato come contemplato dall'Ordinanza P.C.M. n°3274 del 20.03.2003 e seguenti.

Il procedimento permette di reperire il progetto originario troppo spesso perso in qualche archivio; permette di rilevare la consistenza dei solai, dei tamponamenti esterni e interni, dei tetti. Vengono verificate la presenza, la disposizione e la dimensione delle armature delle strutture verticali e orizzontali. Viene svolta una verifica dell'analisi dei carichi delle strutture avvalendosi dell'analisi ai tassi di lavoro.

Queste informazioni assieme ad altre sulla storia dell'edificio e le sue trasformazioni divengono un corpo unico propedeutico per lo sviluppo delle verifiche sismiche richieste dalla nuova normativa nazionale

L'attività d'indagine della R.T. 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 (metodo Sonreb, ovvero combinazione di indagini sclerometriche ed ultrasoniche) che diretto (prelievo di campioni di cls da sottoporre a compressione), così da consentire l'acquisizione di dati necessari per una valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici in cemento armato e, conseguentemente, alla definizione dei criteri e delle strategie preventive per la riduzione del rischio sismico.

Il Servizio Sismico Regionale ha predisposto un'apposita scheda da compilarsi a cura dei laboratori ufficiali prove materiali che costituisce un importante riferimento nella definizione di un quadro diagnostico generale.

L'obiettivo di questa norma resta la definizione di una metodologia generale e univoca per la raccolta delle informazioni, per l'esecuzione delle diverse prove da parte dei laboratori autorizzati e per l'elaborazione dei dati delle prove.

## **1.1 OGGETTO DELLE ISTRUZIONI:**

### **PROGRAMMA REGIONALE VSVA PER LA VULNERABILITÀ SISMICA DEGLI EDIFICI IN CEMENTO ARMATO**

L'attività d'indagine in oggetto è stata definita nel *Programma di Tutela Ambientale 2002-03*, approvato con deliberazione di Consiglio Regionale n. 24 del 30.01.02 ed intrapresa operativamente con il *Programma delle attività d'indagini su edifici pubblici in cemento armato in zona sismica – vulnerabilità e diagnostica*, di cui alla Delibera di G.R.T. n° 797 del 29.07.02 e successive integrazioni e modificazioni (delibera di GRT n. 1235 del 24.11.03, n° 219 del 08.03.04).

Tale Programma prevede per gli edifici strategici e rilevanti in c.a. delle zone della Toscana a maggior rischio sismico la programmazione e l'esecuzione di prove sperimentali di tipo distruttivo e non distruttivo su un campione di elementi strutturali, da eseguire sia in situ sia in laboratorio, e la successiva elaborazione dei dati così ottenuti.

Con delibera di G.R.T. n° 219 del 08.03.2004 le attività previste dal Programma Regionale VCA sono state estese anche ai comuni classificati in zona 2 e 3 limitrofi ai comuni a maggior rischio sismico (Lunigiana, Garfagnana, Mugello, Valtiberina, Casentino, Amiata) o a completamento delle aree geografiche suddette.

I risultati di tali indagini, finalizzati alla determinazione della qualità del calcestruzzo, hanno evidenziato nella maggior parte dei casi e soprattutto in edifici costruiti prima dell'entrata in vigore della L.64/74, un elevato stato di degrado dei conglomerati cementizi e parallelamente problematiche strutturali connesse principalmente ai seguenti fattori:

- scarso controllo sulla qualità dei materiali
- errori progettuali
- mancata corrispondenza tra gli elaborati di progetto e stato di fatto
- inadeguata duttilità del sistema resistente
- mancanza di manutenzione
- prescrizioni normative sul cls vigenti all'epoca di costruzione meno restrittive delle attuali

Visto il carattere ancora sperimentale dell'interpretazione dei dati acquisiti con tale tipologia d'indagini e l'assenza di una normativa specifica di riferimento per operare nel campo dell'esistente, le valutazioni sono state condotte secondo uno specifico indirizzo metodologico elaborato, sulla base dei riferimenti scientifici esistenti, dal competente ufficio regionale della Direzione Generale Politiche Territoriali e Ambientali e codificato nelle presenti Istruzioni Tecniche come normativa tecnica regionale.

Le analisi condotte sugli edifici oggetto d'indagine e i risultati relativi alle prove sui materiali, potranno essere utilizzati anche per monitorare, attraverso la predisposizione di appositi *Libretti dei Fabbricati*, lo stato di salute del patrimonio edilizio regionale.

## **1.2 LE INDAGINI CONDOTTE SUL TERRITORIO NAZIONALE**

L'affidabilità delle strutture esistenti in cemento armato e la valutazione delle effettive prestazioni statiche, specie per gli edifici costruiti prima della normativa sulle costruzioni in zona sismica L.64/74, è un argomento di recente interesse e di conseguenza oggetto di continui approfondimenti.

La fiducia riposta in questo materiale all'epoca del grande boom edilizio erano pressoché illimitate, questo ha determinato un fenomeno di edificazione incontrollata che ha manifestato le proprie

deficienze solo nel tempo, sia per il progredire di gravi stati di degrado delle strutture, che in seguito ad eventi calamitosi che ne hanno messo a dura prova la resistenza.

Ne è stato esempio il verificarsi di crolli improvvisi e progressivi di interi fabbricati. Questi avvenimenti e la constatazione che i primi anni '50 e '60 furono caratterizzati da un minor livello di controllo sulla qualità dei materiali e sulle differenti fasi del processo costruttivo (trasporto del calcestruzzo, getto) hanno sollecitato la necessità di verifica dello stato di funzionalità strutturale del patrimonio edilizio nazionale e l'individuazione delle criticità degli edifici a rischio.

Recenti analisi compiute su edifici in c.a. gravemente danneggiati hanno messo in luce carenze progettuali e costruttive e stati di degrado dei materiali, caratteristiche queste probabilmente comuni a molti degli edifici costruiti in Italia nel ventennio 1955-1975.

*Oltre a quanto detto, si evidenzia come la normativa di riferimento per gran parte delle opere edificate nel dopoguerra (R.D. 16 novembre 1939 n° 2229) prevedesse un valore minimo da assumersi per la resistenza cubica del conglomerato a 28 giorni di maturazione di 120 Kg/cmq, valore questo inferiore sia a quello di 150 Kg/cmq prescritto nel D.M. 27 luglio 1985 n. 37 relativo alla legge n. 1086 del 05.11.1971, sia al valore di 250 Kg/cmq richiesto dalle recenti norme tecniche per le costruzioni in zona sismica relative all'Ordinanza P.C.M. 3274 del 20/03/03. E' quindi molto probabile trovarsi nella situazione di edifici pubblici a pieno regime di utilizzo che offrono prestazioni statiche inferiori a quelle di sicurezza previste dalla normativa attuale.*

La diffusa presenza di edifici con calcestruzzo in condizioni non ottimali, riscontrata anche fra strutture meno datate, contribuisce a rendere poco affidabili in termini di sicurezza e di esposizione al rischio sismico parte delle strutture in c.a. presenti sul territorio nazionale.

E' noto che l'iniziale speranza che il cemento armato potesse essere il materiale "risolutivo", dalle eccezionali prestazioni e dalla durabilità pressoché illimitata, si è rivelata infondata, e già da tempo la ricerca scientifica è stata stimolata all'approfondimento delle caratteristiche prestazionali del calcestruzzo delle strutture costruite fino alla metà degli anni '80, al fine di determinare in maniera univoca la resistenza caratteristica effettiva delle strutture esistenti.

L'individuazione di tale valore di resistenza è quindi indispensabile anche per il tecnico professionista incaricato di condurre una verifica su un edificio esistente, per la corretta stima dell'eventuale progettazione degli interventi.

Ancor più critica appare la situazione per gli edifici in c.a. costruiti in zone che solo classificazioni più recenti hanno reso sismiche.

Solamente dal 1982, infatti, è intervenuta una nuova classificazione sismica che ha interessato gran parte del territorio nazionale, recentemente superata dalla nuova classificazione proposta dall'Ordinanza PCM n° 3274 del 20.03.03.

### **1.3 LE INDAGINI CONDOTTE SUL TERRITORIO REGIONALE**

Le attività previste dal " *Programma delle attività d'indagini su edifici pubblici in cemento armato in zona sismica – vulnerabilità e diagnostica*", di cui alla delibera di G.R.T. n. 797/02, prevedono lo sviluppo delle conoscenze sulla qualità dei materiali e sul loro comportamento d'insieme attraverso prove sperimentali in situ ed in laboratorio, così da consentire l'acquisizione di dati utili alla valutazione della vulnerabilità sismica e necessari per la definizione dei criteri e delle strategie di intervento preventive per la riduzione del rischio sismico.

Il Programma d'Indagine promosso dalla R.T. è finalizzato alla definizione di una metodologia generale e univoca per la raccolta delle informazioni e per l'esecuzione delle diverse prove, utile alla Pubblica Amministrazione per la formazione di un database relativo allo "stato di salute" degli edifici pubblici strategici e rilevanti, ma utile anche al libero professionista che trova in questa

metodologia, seppur ancora sperimentale, una guida in un campo ancora non regolato da riferimenti normativi nazionali.

L'iniziativa regionale si colloca all'interno di una più vasta attività d'indagine che la Regione Toscana ha avviato a partire dal 1996 in seguito all'evento sismico che ha colpito i comuni della Lunigiana e della Garfagnana nell'ottobre 1995.

I risultati delle ricerche di vulnerabilità condotte dal 1996 ad oggi hanno evidenziato nella maggior parte dei casi analizzati un elevato stato di degrado dei conglomerati cementizi, soprattutto per gli edifici di età superiore ai 40 anni e problematiche simili a quelle riscontrate a livello nazionale in edifici simili per età e modalità costruttive, ovvero:

- a) problemi di resistenza della struttura dovuti ai bassi valori dell' $R_{ck}$  del calcestruzzo;
- b) problemi di duttilità della struttura dovuti alla insufficiente presenza di staffature in acciaio e/o alla non accurata realizzazione delle stesse;
- c) bassa resistenza al taglio degli elementi strutturali;
- d) espulsione del copriferro per l'aumento di volume delle armature colpite dalla ruggine a causa dei fenomeni di carbonatazione;
- e) errori progettuali o di messa in opera;
- f) prescrizioni normative vigenti all'epoca di costruzione meno restrittive delle attuali;
- g) mancato rispetto delle normative vigenti all'epoca della costruzione e carenza di controlli sul cantiere;
- h) mancata corrispondenza tra gli elaborati di progetto e lo stato di fatto dell'immobile.

Gli edifici pubblici strategici in c.a. gettato in opera, costruiti prima del 1996 e segnalati dagli Enti locali all'Ufficio Servizio Sismico della Regione Toscana, sono stati oggetto di sopralluoghi da parte dei tecnici regionali ai fini della valutazione della vulnerabilità sismica e definizione della effettiva resistenza del conglomerato cementizio.

Le informazioni raccolte nel corso dei sopralluoghi relativamente alle tipologie di fondazione, alle caratteristiche strutturali e costruttive, verificate sempre mediante saggi, consentono di procedere ad una schedatura tecnica dei fabbricati indagati, contenente tutte le informazioni sul reale stato di fatto dell'edificio, indispensabili per una corretta valutazione della risposta dell'edificio ad un'azione sismica.

Alla definizione della resistenza del calcestruzzo si perviene valutando i risultati ottenuti da una campagna di prove dirette (carotaggi) e prove indirette combinate (metodo Sonreb).

Le verifiche effettuate hanno dato esito positivo per tutti gli edifici per i quali i valori di resistenza del calcestruzzo sono risultati superiori a  $150 \text{ Kg/cm}^2$ , valore minimo previsto dalla normativa vigente al momento delle indagini per i materiali strutturali (D.M. 16.01.96).

Per gli edifici caratterizzati da un valore di resistenza caratteristica  $R_{ck} < 150 \text{ Kg/cm}^2$  è stata prevista inizialmente un'estensione delle indagini, al fine di accertare il risultato ottenuto e così escludere la possibilità di aver indagato zone di calcestruzzo particolarmente deteriorate o non rappresentative della qualità media dei getti. Successivamente, nel caso di conferma dei dati ottenuti nella prima fase, la Regione Toscana ha proposto all'ente locale proprietario dell'immobile la temporanea chiusura dell'edificio, ravvisando la necessità di procedere tempestivamente ad una verifica sismica dello stesso, in modo da valutarne il comportamento sotto sisma e così intervenire adeguatamente.

Il provvedimento di demolizione è stato previsto esclusivamente per quegli edifici per i quali i valori di resistenza del calcestruzzo risultavano sensibilmente inferiori ai minimi previsti dalla normativa (ovvero  $R_{ck} < 120 \text{ Kg/cm}^2$ , e per i quali l'Amministrazione Comunale sulla base di elaborazioni tecniche del progettista incaricato, rilevava la scarsa convenienza economica nell'approntare un progetto di adeguamento.

In alcuni casi le indagini sui materiali sono state condotte su edifici già oggetto di verifica sismica finalizzata ad un progetto per l'adeguamento o il miglioramento sismico. In alcuni casi le caratteristiche strutturali emerse nel corso dei sopralluoghi e il valore dell'effettiva resistenza del

calcestruzzo determinato dalle prove sui materiali sono risultati discordanti rispetto a quelli desunti dagli elaborati originali ed assunti in fase di verifica. Ciò ha comportato la revisione del progetto in itinere e, in base ai risultati ottenuti, una più corretta scelta degli interventi necessari.

Nel caso invece, di indagini effettuate solo dopo la redazione di un progetto di intervento sulla struttura, frequentemente si è resa necessaria una revisione delle soluzioni progettuali proposte per l'adeguamento o miglioramento sismico, quando queste erano state elaborate sulla base delle tavole originali di progetto non adeguatamente verificate con approfonditi saggi sulla struttura e quindi in contrasto con quanto realmente emerso nel corso delle indagini.

#### **1.4 MODALITÀ DI EROGAZIONE DEI CONTRIBUTI REGIONALI AGLI ENTI LOCALI**

La Regione Toscana procede in favore degli Enti Locali (Comuni, Province, Comunità Montane) al finanziamento dell'attività d'indagine di cui alle presenti direttive, secondo le modalità e le fasi di seguito descritte, variabili in funzione dell'ambito di applicazione.

1. DELIBERA DI G.R.T. N° 797 DEL 29.07.2002

approva il *Programma Regionale VCA per la Valutazione del Cemento Armato*, previsto nella scheda-progetto n° 6 dell'allegato 2 del Programma di Tutela Ambientale 2002-03, definendo:

- Ambito territoriale di applicazione: edifici pubblici strategici e rilevanti ubicati nei comuni classificati sismici siti nei territori della Lunigiana, Garfagnana e Media Valle del Serchio, ai sensi della L.R. n° 56 del 30.07.97 "*Interventi sperimentali di prevenzione per la riduzione del rischio sismico*"
- Criteri di finanziamento: è prevista l'erogazione di un contributo regionale massimo pari all'80% della somma necessaria per l'esecuzione delle indagini ed una quota di co-finanziamento minima del 20% a carico dell'Amministrazione proprietaria dell'immobile indagato, secondo le seguenti modalità:
  - a) impegno e liquidazione di almeno il 50% dell'importo di spesa presunto per ogni edificio sulla base delle esperienze maturate dall'Ufficio Regionale nelle precedenti campagne d'indagine;
  - b) impegno e liquidazione a saldo della quota in avanzo, fino al raggiungimento del 100% della somma di co-finanziamento prevista, a conclusione dei lavori, in seguito a verifica di corretta e regolare esecuzione degli stessi secondo quanto prescritto nelle presenti direttive, da parte della competente struttura regionale.

Le risorse utilizzate sono quelle rese disponibili dalla citata scheda-progetto n° 6 dell'allegato 2 del Programma di Tutela Ambientale 2002-03, per indagini sperimentali su elementi strutturali e tecniche d'interventi preventive per edifici in cemento armato.

Con decreto dirigenziale n° 6938 del 21.11.02 le suddette quote di co-finanziamento, impegnate e contestualmente liquidate, sono fissate rispettivamente nella misura del 75% e 25% del costo delle indagini.

2. DELIBERA DI G.R.T. N° 822 DEL 04.08.2003

approva il *Programma Preliminare* per l'esecuzione di indagini finalizzate alla valutazione della qualità dei materiali e delle caratteristiche dei terreni su edifici pubblici strategici o rilevanti ai fini di un loro collasso, con lo scopo di fornire agli enti locali elementi utili ad una verifica sismica degli edifici.

- Ambito territoriale di applicazione: edifici pubblici strategici e rilevanti ubicati nei territori della Valtiberina e del Casentino, danneggiati dall'evento sismico che ha colpito la Provincia di Arezzo in data 26.11.2001 e pertanto inseriti nel Piano Generale e nel Piano Stralcio degli Interventi (approvati con delibera di G.R.T. n° 424 del 05.05.2003).
- Criteri di finanziamento: è prevista l'erogazione di un contributo regionale pari al 100% del costo totale delle indagini secondo le seguenti modalità:

- a) impegno e liquidazione del 70% del costo presunto delle indagini per ogni edificio, stimato sulla base delle esperienze maturate dall'Ufficio Regionale nelle precedenti campagne d'indagine;
- b) impegno e liquidazione del restante 30% a saldo, a conclusione dei lavori, in seguito a verifica di corretta e regolare esecuzione degli stessi secondo quanto prescritto nelle presenti direttive, da parte della competente struttura regionale.

Le risorse utilizzate sono quelle rese disponibili dal p.to 7.4 del Piano Stralcio, che autorizza la spesa fino ad un massimo del 4% delle somme assegnate come contributi a i comuni per la realizzazione di indagini di microzonazione sismica sui centri interessati e di vulnerabilità sismica sugli edifici .

3. DELIBERA DI G.R.T. N° 963 DEL 29.09.2003

approva il *Programma Preliminare* per l'esecuzione di indagini finalizzate alla valutazione della qualità dei materiali e delle caratteristiche dei terreni su edifici pubblici strategici o rilevanti ai fini di un loro collasso, con lo scopo di fornire agli enti locali elementi utili ad una verifica sismica degli edifici.

- Ambito territoriale di applicazione: edifici pubblici strategici e rilevanti ubicati nei territori dell'Amiata, danneggiati dall'evento sismico che ha colpito la Provincia di Siena e Grosseto in data 01.04.2000 e pertanto inseriti nel Piano Generale e nel Piano Stralcio degli Interventi (approvati con delibera di G.R.T. n° 424 del 05.05.2003).
- Criteri di finanziamento: è prevista l'erogazione di un contributo regionale pari al 100% del costo totale delle indagini secondo le seguenti modalità:
  - a) impegno e liquidazione del 70% del costo presunto delle indagini per ogni edificio, stimato sulla base delle esperienze maturate dall'Ufficio Regionale nelle precedenti campagne d'indagine;
  - b) impegno e liquidazione del restante 30% a saldo, a conclusione dei lavori, in seguito a verifica di corretta e regolare esecuzione degli stessi secondo quanto prescritto nelle presenti direttive, da parte della competente struttura regionale.

Le risorse utilizzate sono quelle rese disponibili dal p.to 5.1.5 del Piano degli Interventi, che autorizza la spesa fino ad un massimo del 4% delle somme assegnate come contributi a i comuni per la realizzazione di indagini di microzonazione sismica sui centri interessati e di vulnerabilità sismica sugli edifici .

4. DELIBERA DI G.R.T. N° 1235 DEL 24.11.2003

approva l'*Estensione del Programma Regionale VCA per la Valutazione del Cemento Armato*, già prevista al p.to 4.a dell'allegato 1 alla delibera di G.R.T. n° 797 del 29.07.02

- Ambito territoriale di applicazione: edifici pubblici strategici e rilevanti dei comuni ad elevato rischio sismico del Mugello ed edifici pubblici strategici e rilevanti non danneggiati a seguito di eventi sismici dei comuni della Valtiberina, del Casentino e dell'Amiata.
- Criteri di finanziamento: è prevista l'erogazione di un contributo regionale pari al 75% della somma necessaria per l'esecuzione delle indagini ed una quota di co-finanziamento del 25% a carico dell'Amministrazione proprietaria dell'immobile indagato, secondo le seguenti modalità:
  - a) impegno e liquidazione del 75% del costo presunto delle indagini per ogni edificio, stimato sulla base delle esperienze maturate dall'Ufficio Regionale nelle precedenti campagne d'indagine;
  - b) impegno e liquidazione a saldo dell'eventuale avanzo, fino al raggiungimento del 100% della quota di co-finanziamento suddetta, a conclusione dei lavori, in seguito a verifica di corretta e regolare esecuzione degli stessi secondo quanto prescritto nelle presenti direttive, da parte della competente struttura regionale.

Le risorse utilizzate sono quelle rese disponibili dalla ripartizione delle risorse di cui alla scheda-progetto n° 6 dell'allegato 2 del Programma di Tutela Ambientale 2002-03, per indagini sperimentali su edifici in cemento armato.

5. DELIBERA DI G.R.T. N° 1131 DEL 03.11.2003

approva il *Programma Preliminare* per l'esecuzione di indagini finalizzate alla valutazione della qualità dei materiali e delle caratteristiche dei terreni su edifici pubblici strategici o rilevanti ai

fini di un loro collasso, quale elemento propedeutico alla definizione del Piano degli Interventi relativo all'evento sismico che ha colpito il territorio del Mugello in data 14.09.03.

- Ambito territoriale di applicazione: edifici pubblici strategici e rilevanti ubicati nei comuni di Firenzuola, Barberino del M.Ilo, Borgo San Lorenzo e Vicchio e danneggiati dall'evento sismico del 14.09.03
- Criteri di finanziamento: è prevista l'erogazione di un contributo regionale pari al 100% del costo totale delle indagini, secondo le modalità e le procedure già definite ed adottate dal competente ufficio regionale, ovvero:
  - a) impegno e liquidazione del 70% del costo presunto delle indagini per ogni edificio, stimato sulla base delle esperienze maturate dall'Ufficio Regionale nelle precedenti campagne d'indagine;
  - b) impegno e liquidazione del restante 30% a saldo, a conclusione dei lavori, in seguito a verifica di corretta e regolare esecuzione degli stessi secondo quanto prescritto nelle presenti direttive, da parte della competente struttura regionale.

Le risorse utilizzate sono quelle rese disponibili dal Fondo Regionale di Protezione Civile per l'anno 2003 per fronteggiare, tra il resto, eventi di tipo b) ai sensi dell'art. 2 della legge n° 225/92, tra i quali è stato classificato anche l'evento sismico in oggetto.

6. DELIBERA DI G.R.T. N° 204 DEL 08.03.2004

approva la modifica ai criteri di erogazione dei contributi previsti nelle delibere di G.R.T. n° 797/02 e n° 1235/03 per lo svolgimento del Programma Regionale VCA.

- Ambito territoriale di applicazione: edifici pubblici strategici e rilevanti ubicati nei *piccoli comuni* classificati tra quelli a maggior rischio sismico in base alle delibere di G.R.T. n° 604 del 16.06.2003 e n° 751 del 28.07.2003 ed individuati sulla base dei seguenti criteri:
  - a) comuni classificati di montagna in base alla ricerca IRPET e Accademia dei Georgofili e con popolazione residente inferiore a 3300 abitanti (su base ISTAT aggiornata al 31.12.2002);
  - b) comuni con popolazione residente inferiore a 2500 abitanti (su base ISTAT aggiornata al 31.12.2002);
- Criteri di finanziamento: è previsto l'innalzamento del contributo regionale dal 75% al 100% della somma necessaria per l'esecuzione delle indagini, secondo le modalità e le procedure già definite ed adottate dal competente ufficio regionale, ovvero:
  - a) impegno e liquidazione del 70% del costo presunto delle indagini per ogni edificio, stimato sulla base delle esperienze maturate dall'Ufficio Regionale nelle precedenti campagne d'indagine;
  - b) impegno e liquidazione del restante 30% a saldo, a conclusione dei lavori, in seguito a verifica di corretta e regolare esecuzione degli stessi secondo quanto prescritto nelle presenti direttive, da parte della competente struttura regionale.

Le risorse utilizzate sono quelle rese disponibili dalla ripartizione delle risorse del Programma di Azione Ambientale 2004-06, approvato con delibera di Consiglio Regionale n° 29 del 02.03.04.

7. DELIBERA DI G.R.T. N° 219 DEL 08.03.2004

approva l'*Estensione del Programma Regionale VCA per la Valutazione del Cemento Armato*.

- Ambito territoriale di applicazione: edifici pubblici strategici e rilevanti dei comuni classificati in zona 2 e 3 limitrofi ai comuni a maggior rischio sismico (Lunigiana, Garfagnana, Media Valle del Serchio, Mugello, Valtiberina, Casentino ed Amiata) o a completamento delle aree geografiche in oggetto (per l'individuazione dei quali si rimanda all'allegato 1 della delibera in oggetto).
- Criteri di finanziamento: è prevista l'erogazione dei contributi regionali secondo i criteri già definiti ed adottati dal competente ufficio regionale, ovvero: erogazione di un contributo regionale pari al 75% della somma necessaria per l'esecuzione delle indagini ed una quota di co-finanziamento del 25% a carico dell'Amministrazione proprietaria dell'immobile indagato, secondo le seguenti modalità:
  - c) impegno e liquidazione del 75% del costo presunto delle indagini per ogni edificio, stimato sulla base delle esperienze maturate dall'Ufficio Regionale nelle precedenti campagne d'indagine;

- d) impegno e liquidazione a saldo dell'eventuale avanzo, fino al raggiungimento del 100% della quota di co-finanziamento suddetta, a conclusione dei lavori, in seguito a verifica di corretta e regolare esecuzione degli stessi secondo quanto prescritto nelle presenti direttive, da parte della competente struttura regionale.

Le risorse utilizzate sono quelle rese disponibili dalla ripartizione delle risorse del Programma di Azione Ambientale 2004-06, approvato con delibera di Consiglio Regionale n° 29 del 02.03.04.

**Si evidenzia come i contributi regionali in oggetto siano da computarsi esclusivamente in riferimento ai costi del Laboratorio incaricato delle esecuzione delle indagini, risultando pertanto escluse le spese di preparazione e di ripristino sia degli elementi strutturali che del cantiere, che rimangono a carico della stessa Amministrazione locale.**

**Risulta pertanto obbligo dell'Amministrazione interessata la trasmissione della rendicontazione delle spese effettivamente sostenute, ovvero dei consuntivi presentati dal Laboratorio, al preposto ufficio regionale.**

**In seguito alla valutazione dei tecnici regionali riguardo la corretta e regolare esecuzione delle indagini, secondo quanto prescritto nelle presenti direttive, il Servizio Sismico Regionale provvederà ad autorizzare o meno l'Amministrazione committente al pagamento delle medesime al Laboratorio.**

## 2 PARTE GENERALE

### 2.1 GENERALITÀ SUI MECCANISMI DI COLLASSO DELLE STRUTTURE IN C.A.

Il comportamento di una struttura durante un terremoto dipende oltre che dalle caratteristiche dell'azione sismica anche dalla qualità della struttura stessa, che determina il comportamento duttile dell'edificio e la capacità di trasferire a terra le forze orizzontali senza eccessive deformazioni.

Il buon comportamento sismico di una struttura sotto sisma può essere raggiunto seguendo i seguenti principi:

- semplicità strutturale
- uniformità e simmetria
- iperstaticità
- resistenza e rigidezza flessionale secondo due direzioni ortogonali
- resistenza e rigidezza torsionale
- resistenza e rigidezza dei solai nel piano
- fondazioni adeguate

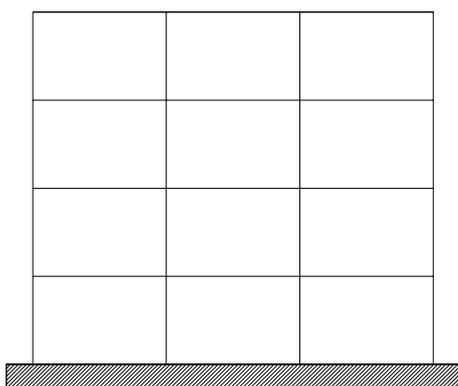
Il soddisfacimento di tali requisiti permette di realizzare strutture che sotto l'azione di sismi di media ed elevata intensità hanno resistenza inferiore alla domanda corrispondente ad una risposta elastica a fronte di una capacità di deformazione anelastica e dissipazione di energia tali da permettere alla struttura di mantenere anche dopo l'evento sismico la propria capacità portante, pur avendo ammesso danni agli elementi strutturali e non.

I principali sistemi strutturali che presentano un'adeguata rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali indotte dal sisma sono:

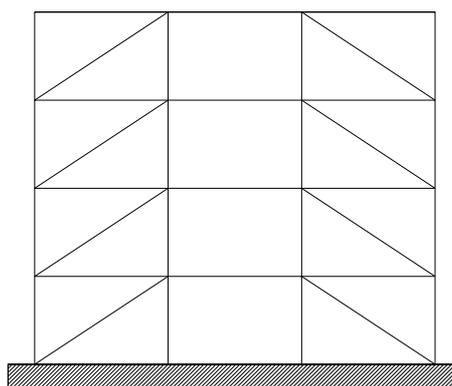
- telai resistenti a momento
- telai con controventi concentrici o eccentrici
- sistemi a parete singola o accoppiate
- sistemi telaio-parete

Nello specifico i telai resistenti a momento, costituiti da travi connesse rigidamente ai pilastri, costituiscono una delle tipologie maggiormente utilizzate per la realizzazione di edifici in cemento armato.

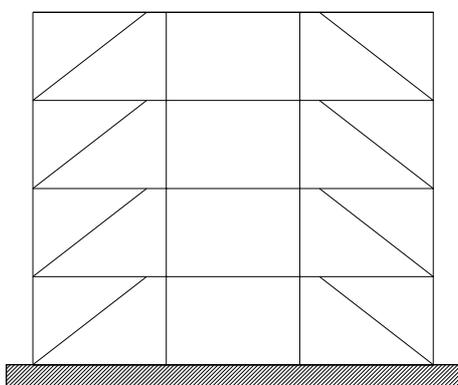
Le strutture intelaiate in c.a. sono caratterizzate da un comportamento sotto sismi violenti in cui le deformazioni in campo anelastico si concentrano alle estremità dei pilastri e delle travi, con formazione di cerniere plastiche, con un eventuale coinvolgimento del nodo in relazione ai quantitativi di armature longitudinali degli elementi strutturali che convergono verso il nodo stesso. La presenza di un'eccessiva quantità di armatura longitudinale rispetto alla disponibilità di armatura trasversale (staffe) può determinare negli elementi strutturali il verificarsi di una rottura fragile a taglio prima o contemporaneamente alla plasticizzazione duttile a flessione.



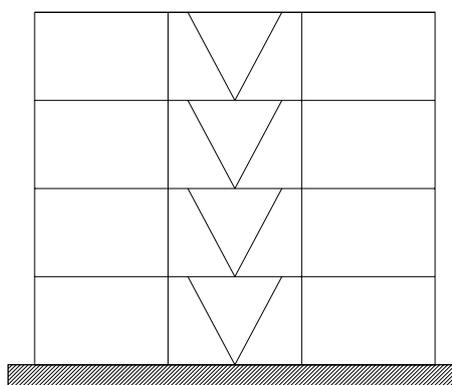
Telaio resistente a momento



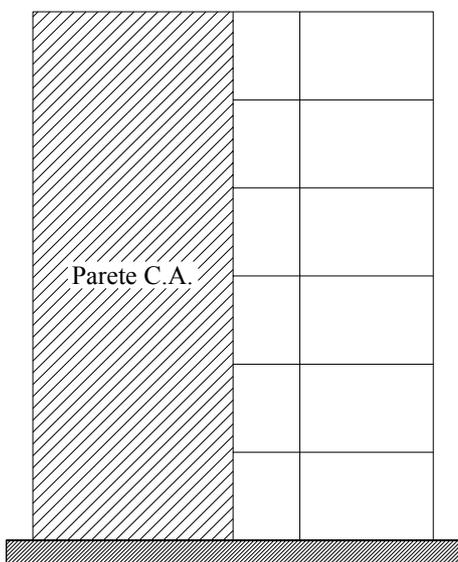
Telaio con controventi concentrici



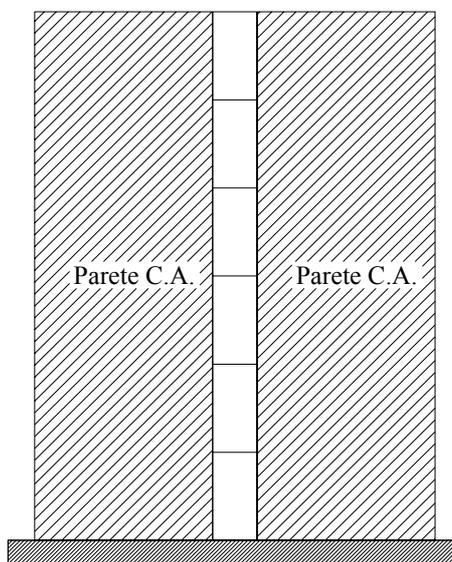
Telaio con controventi eccentrici



Telaio con controventi eccentrici



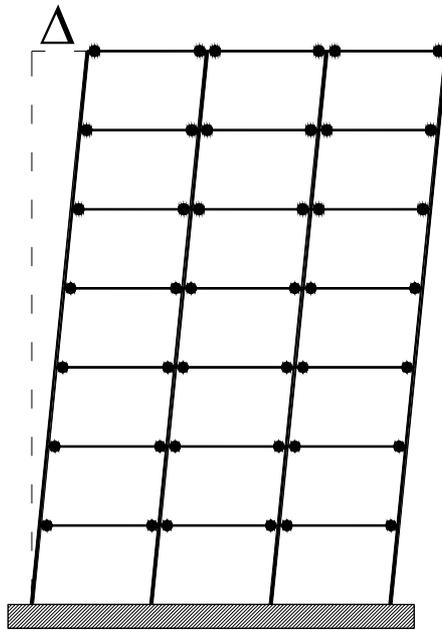
Sistema telaio -parete



Sistema a pareti accoppiate

Si ricorda che i meccanismi di rottura più favorevoli per le strutture in c.a. sono quelli in cui vengono evitate rotture fragili dei nodi e degli elementi strutturali per taglio, dunque meccanismi

determinati dalla plasticizzazione delle travi a tutti i piani ed alla base dei pilastri al solo piano terra (**travi deboli e colonne forti**), che coinvolgono il maggior numero possibile di cerniere plastiche. Le strutture che rispondono a tale cinematismo presentano una buona regolarità nella distribuzione di rigidezze e resistenza lungo l'altezza, che garantisce l'assorbimento delle forze laterali da parte dell'intera struttura, con una distribuzione uniforme del danno e conseguente minimizzazione delle deformazioni locali.



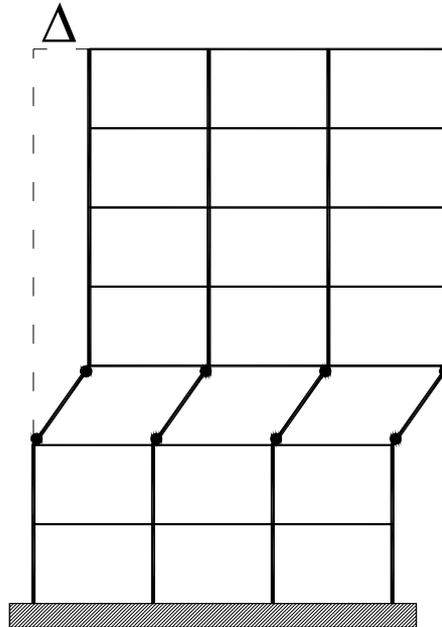
Meccanismo di deformazione di un telaio a “travi deboli-colonne forti”

La realizzazione di un tale meccanismo richiede però un'accurata progettazione basata sul principio di gerarchia delle resistenze o *Capacity Design* (EC8), esplicitato in Italia solo nelle Norme Tecniche allegate alla recente Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20/03/03, sebbene a livello normativo introdotto implicitamente nelle “Indicazioni costruttive per strutture in calcestruzzo armato” contenute nell'Allegato 1 della Circolare del Ministeriale n°65/AA. GG. del 10.04.1997, di cui al D.M. 16.01.96.

Per un edificio esistente è quindi più probabile ipotizzare la formazione un meccanismo di collasso di piano (telai *shear type*), con formazione di cerniere plastiche in testa ai pilastri di un piano, salvo sporadiche plasticizzazioni in alcune travi ed in alcuni pilastri di altri piani (**travi forti e colonne deboli**).

Il coinvolgimento di un numero ridotto di elementi strutturali di un unico piano alla dissipazione di energia ed in particolare di pilastri soggetti, per la funzione che svolgono, a sforzi di compressione che ne riducono la duttilità, determina limitate capacità dissipative d'insieme della struttura e la possibilità di rotture fragili per schiacciamento.

Questo tipo di meccanismo può essere accelerato ed aggravato dalla presenza dei cosiddetti “**piani soffici**”. Le tamponature, infatti, per quanto non considerate a fini sismici in fase di calcolo, svolgono una funzione di dissipazione dell'energia, come delle pareti di taglio anche se di rigidezza decisamente inferiore. In questo caso si formeranno delle cerniere plastiche al piede e in testa ai pilastri del piano in oggetto rendendo la struttura estremamente vulnerabile: gli spostamenti ai piani alti saranno più grandi e le sollecitazioni al piede insostenibili, fino al raggiungimento del collasso per rottura dei pilastri.



Meccanismo di deformazione di un telaio con presenza di "piani soffici"

I più recenti criteri di progettazione hanno introdotto il concetto di **duttilità dei nodi trave-pilastro**, con l'obiettivo di determinare la seguente gerarchia di danno nel meccanismo di collasso di una struttura intelaiata sottoposta ad azioni taglianti:

1. formazione di cerniere plastiche in corrispondenza delle estremità delle travi; ciò non comporta il crollo dei solai e la maglia strutturale rimane iperstatica. La formazione di cerniere plastiche alle estremità delle travi e non sui pilastri assicura la stabilità della struttura per carichi verticali e di conseguenza l'incolumità delle persone.
2. formazione di cerniere plastiche alle estremità dei pilastri; ciò rende la struttura labile per forze orizzontali e, conseguentemente, il crollo dell'edificio per rottura dei pilastri.

Per ottenere questo tipo di gerarchia nel meccanismo di danno di una struttura occorre armare i nodi trave - pilastro in maniera che risultino duttili.

Esempi di armature progettate in modo da conseguire le desiderate caratteristiche di duttilità locale e globale sono riportati in varie fonti bibliografiche e sono espressamente richieste dalla vigente normativa italiana, che con la Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici del 10 aprile 1997, n. 65/AA.GG., attuativa del DM 16/01/96, e le Norme Tecniche d'attuazione dell'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20/03/03, fissa i quantitativi e le dimensioni minime di armatura da utilizzare per le strutture in c. a.

## 2.2 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA IN EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

### LA METODOLOGIA R.T.

La valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi in edifici esistenti è affetta normalmente da un grado di incertezza maggiore rispetto a quello di edifici di nuova progettazione. Risulta pertanto fondamentale l'assunzione di diverse informazioni, reperibili attraverso l'acquisizione del progetto originario o copia di esso, in modo tale da poter valutare l'età di costruzione dell'edificio e potere così distinguere tra edifici che dovrebbero essere stati progettati con criteri antisismici o meno, verificare i criteri ed i metodi di calcolo utilizzati per la progettazione, le dimensioni geometriche degli elementi strutturali, la disposizione delle armature e delle staffe, le

proprietà meccaniche dei materiali utilizzati e le caratteristiche dei collegamenti e dei particolari costruttivi.

La programmazione delle indagini su di un edificio in cemento si svolge secondo le seguenti fasi:

1. Reperimento degli elaborati progettuali originali presso le Amministrazioni Locali competenti: elaborati strutturali (di primaria importanza), disegni architettonici, relazioni di calcolo, documenti di cantiere (libretti delle misure e certificati di collaudo), notizie storiche sul progetto (normative vigenti all'epoca) e sulla costruzione (impresa costruttrice, varianti in corso d'opera), modifiche (distribuzione funzionale, destinazione d'uso) e condizioni di manutenzione.
2. Esecuzione di sopralluoghi finalizzati a:
  - a) verifica della corrispondenza tra lo stato attuale dell'edificio e gli elaborati strutturali di progetto, nel caso siano stati reperiti o, in caso contrario, esecuzione di un rilievo speditivo ex novo dell'organismo strutturale con:
    - verifica delle geometrie e dei dettagli costruttivi
    - verifica delle dimensioni degli elementi strutturali
    - verifica mediante pacometro e/o rimozione del copriferro della quantità e disposizione delle armature principali e delle staffe, della chiusura delle stesse e loro raffittimento ai nodi.  
Ciò costituisce una preliminare ed essenziale operazione da effettuare al fine di non incorrere nel taglio di porzioni di barre di armatura durante il prelievo dei campioni e consente, inoltre, di acquisire informazioni sulla duttilità dell'elemento strutturale.
  - b) esecuzione di saggi in situ per la caratterizzazione tipologica dei solai e dei tamponamenti, finalizzata alla determinazione dei pesi propri da computare nell'analisi dei carichi;
  - c) analisi dello stato di degrado delle strutture: qualità del calcestruzzo da esame visivo, espulsione del copriferro da parte di armature ossidate;
  - d) accertamento di eventuali quadri fessurativi;
  - e) rilevamento di danneggiamenti provocati da installazioni impiantistiche;
  - f) individuazione preliminare degli elementi strutturali indagabili (V. ALLEGATO C), in considerazione di vari fattori quali: l'accessibilità degli elementi (travi emergenti, pilastri con lati opposti liberi), il confinamento garantito da pareti di tamponamento e la disposizione di barre longitudinali e staffe per i pilastri da sottoporre a carotaggio.
3. Verifica ai tassi di lavoro per carichi verticali e per aree d'influenza dei pilastri da sottoporre a prelievo di campioni di calcestruzzo: viene effettuata attraverso un foglio di calcolo Excel che ha come input l'analisi dei carichi, i dati dimensionali degli elementi strutturali ed il valore di  $R_{ck}$  presunto per il calcestruzzo (che in via preliminare viene assunto pari al valore minimo previsto per il calcestruzzo strutturale dalla normativa vigente all'epoca di costruzione) e come output il tasso di lavoro espresso in percentuale rispetto alla tensione ammissibile. Vengono esclusi dalle operazioni di carotaggio gli elementi che presentano un valore del tasso di lavoro  $> 60\div 70\%$  della tensione ammissibile (V. ALLEGATO I).
4. Stesura del Programma delle Indagini: è costituita da una descrizione storico e strutturale dell'edificio, un allegato contenente un estratto delle *Istruzioni Tecniche*, in particolare la parte riguardante i ruoli e competenze delle varie figure coinvolte (V. ALLEGATO B), le modalità di esecuzione delle prove (V. ALLEGATO E) ed i dati che devono essere contenuti nel certificato emesso dal laboratorio incaricato dell'esecuzione delle prove (V. ALLEGATO D). Completano il documento tabelle e piante con l'indicazione degli elementi oggetto d'indagine ed una relazione tecnica con i tassi di lavoro per le varie combinazioni di carico esaminate.
5. Controllo in corso d'opera dell'attività del laboratorio autorizzato: esercitato dai tecnici regionali durante l'esecuzione delle prove per garantire il rispetto delle prescrizioni regionali, finalizzate all'acquisizione di dati tra loro confrontabili pur se derivanti da campagne d'indagine differenti. Si ricorda che l'attività in oggetto prevede l'esecuzione di prove sia di tipo diretto (distruttive) che di tipo indiretto (non distruttive). Nel primo caso si procede al prelievo mediante carotaggio di campioni di calcestruzzo da sottoporre a prova di compressione fino a rottura, nel secondo, tra le molteplici tipologie di prove presenti in letteratura, la R.T. prescrive l'utilizzo del metodo Sonreb, che prevede la combinazione di prove sclerometriche e di prove ad ultrasuoni.
6. Interpretazione dei dati di prova e stesura della Relazione Tecnica di valutazione della qualità del calcestruzzo (V. ALLEGATO M): i risultati delle prove in situ e di laboratorio vengono riportati

sul Certificato Prove Materiali da parte dei tecnici del laboratorio (V. ALLEGATO L) e trasmessi al Servizio Sismico Regionale per la successiva interpretazione. L'interpretazione è un problema che non trova soluzione in nessuna normativa in quanto non esiste attualmente uno standard nazionale di riferimento per operare nel campo dell'esistente, rendendo pertanto necessario il ricorso a formulazioni presenti in letteratura.

Sulla base dei dati contenuti nel certificato e delle informazioni raccolte durante i sopralluoghi, i tecnici regionali predispongono una relazione tecnica, successivamente trasmessa alle Amministrazioni competenti, ai fini di una valutazione finale sulla sicurezza dell'edificio per carichi verticali e sulla scelta dei provvedimenti tecnici più idonei da considerare nel caso di esito negativo.

Al fine di assicurare che le informazioni sugli edifici indagati siano raccolte in maniera univoca su tutto il territorio regionale, indipendentemente dalle tipologie edilizie e dalle scelte del tecnico rilevatore, così da consentire un successivo confronto dei dati e delle capacità strutturali delle tipologie costruttive impiegate nelle varie aree geografiche della Toscana, il Servizio Sismico Regionale ha predisposto un'apposita "*Scheda Prove Qualità Calcestruzzo*", da compilarsi in situ a cura dei tecnici del Laboratorio Ufficiale Prove Qualità Materiali in occasione dello svolgimento delle prove per ogni elemento strutturale indagato. (V. ALLEGATO H).

La corretta e completa compilazione di tale elaborato da parte dei tecnici del Laboratorio incaricato dell'esecuzione delle prove, risulta di fondamentale importanza per avere un quadro esauriente di tutti quegli elementi che concorrono nella definizione della resistenza del calcestruzzo.

Tale documento è composto da una prima parte per la notazione di informazioni sia di carattere generale (dimensioni dell'elemento strutturale indagato, quantità e disposizione delle barre d'armatura e delle staffe, passo delle staffe ai nodi e chiusura delle stesse, spessore copriferro e posizione dell'elemento nell'organismo strutturale) sia relative alla qualità del calcestruzzo da esame visivo; segue una seconda scheda per il rilevamento dei dati di prova ed infine le istruzioni per la compilazione della scheda stessa.

**La mancata e/o errata e/o confusa compilazione della scheda comporta il non pagamento delle indagini e delle prove di Laboratorio.**

**I Laboratori incaricati dell'esecuzione delle prove devono necessariamente essere in possesso della concessione del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, come previsto dall'art. 20 della legge 1086/61.**

## **2.3 CRITERI GENERALI PER L'INDIVIDUAZIONE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI SIGNIFICATIVI DA INDAGARE**

Nell'individuazione degli elementi strutturali da indagare si deve considerare innanzitutto quanto affermato al precedente p.to 2.1, ovvero che i meccanismi di rottura più favorevoli per le strutture in c.a. sottoposte ad un'azione sismica sono quelli in cui sono evitate rotture fragili dei nodi e degli elementi strutturali per taglio e che coinvolgono il maggior numero possibile di cerniere plastiche, dunque meccanismi determinati dalla plasticizzazione delle travi a tutti i piani ed al piede dei pilastri del solo piano terra (travi deboli e colonne forti). Per un edificio esistente, realizzato senza progettazione antisismica o con criteri antisismici non appropriati, è tuttavia più probabile che si inneschi un meccanismo di collasso di piano, ossia un meccanismo che coinvolge prevalentemente i pilastri di un piano, salvo sporadiche plasticizzazioni in alcune travi ed in alcuni pilastri di altri piani, provocando la formazione di cerniere plastiche alle loro estremità (travi forti e colonne deboli).

Nella scelta degli elementi strutturali da indagare la Regione Toscana ritiene pertanto opportuno privilegiare l'elemento pilastro rispetto all'elemento trave, sia nel numero delle indagini da eseguire sia nella scelta del tipo di prova, effettuando sugli elementi strutturali verticali prove sia distruttive che non distruttive mentre sulle travi prove preferibilmente di tipo indiretto (anche a causa delle difficoltà operative connesse all'esecuzione di carotaggi su ponteggi o trabattelli).

L'individuazione degli elementi strutturali da indagare deve essere effettuata in maniera tale da ottenere un campione significativo di elementi, in grado di rappresentare le caratteristiche medie dei getti di cls della struttura nella loro interezza, in termini di omogeneità, di qualità e di resistenza meccanica.

A tal proposito si ricorda quanto definito nelle *Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici*, allegate all'Ord. P.C.M. n° 3274 del 20.03.2003.

Al p.to 11(edifici esistenti) tab. 11.3a, viene definita la misura del rilievo dei dettagli costruttivi e di prove da eseguire sugli edifici in c.a., per la determinazione delle caratteristiche meccaniche dei materiali in base al livello di conoscenza che si vuole raggiungere (LC1, LC2, LC3) ai fini della scelta del tipo di analisi e dei coefficienti parziali di sicurezza da adoperare in fase di verifica, e precisamente:

- **conoscenza limitata (LC1):**  
RILIEVO DEI DETTAGLI COSTRUTTIVI: la quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 15% degli elementi;  
PROVE SUI MATERIALI: 1 provino di cls ed 1 campione di armatura per piano dell'edificio;
- **conoscenza adeguata (LC2):**  
RILIEVO DEI DETTAGLI COSTRUTTIVI: la quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 35% degli elementi;  
PROVE SUI MATERIALI: 2 provini di cls e 2 campioni di armatura per piano dell'edificio;
- **conoscenza accurata (LC3):**  
RILIEVO DEI DETTAGLI COSTRUTTIVI: la quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 50% degli elementi;  
PROVE SUI MATERIALI: 3 provini di cls ed 3 campioni di armatura per piano dell'edificio;

ricordando che per elemento s'intende ogni tipo di elemento primario: trave, pilastro, setto...

La Regione Toscana, che conduce da tempo questo tipo d'attività d'indagine diagnostica prevede, tuttavia, che la scelta del numero di elementi da sottoporre ad indagine sia proporzionata alle dimensioni dell'edificio, effettuando quindi, se necessario, un numero di prove maggiore rispetto a quello indicato in normativa.

Quest'operazione può essere svolta anche per fasi successive, prevedendo una prima fase d'indagine per la valutazione del numero minimo d'elementi strutturali ed una seconda fase d'estensione per ampliare i dati ottenuti, soprattutto nel caso in cui questi fornissero valori incongruenti e dispersivi.

Nella scelta degli elementi è utile, inoltre, considerare sia gli aspetti più propriamente di tipo strutturale sia quelli di natura tecnico-economico, per una definizione puntuale dei quali si rimanda all'ALLEGATO C.

## **2.4 INDAGINI CONOSCITIVE SUL CEMENTO ARMATO: ASPETTI METODOLOGICI**

La metodologia R.T. per lo svolgimento di indagini diagnostiche finalizzate alla conoscenza della qualità del calcestruzzo in edifici in c.a. gettato in opera, fondamentale per la determinazione del valore di resistenza  $R_{ck}$  da assumere in fase di verifica sismica e di progettazione di eventuali interventi di adeguamento sismico, prevede l'esecuzione di due tipologie di prove, come di seguito illustrato.

Tale attività deve essere preceduta da una fase preliminare di preparazione degli elementi strutturali da indagare, individuati durante appositi sopralluoghi dai tecnici regionali mediante segnatura sugli elementi stessi delle zone in cui effettuare le prove, secondo una simbologia codificata nello stesso Programma d'indagine (v. ALLEGATO F tab. 2).

La preparazione degli elementi è a carico dell'Ente proprietario dell'immobile e deve essere effettuata prima della data prevista per le prove secondo le modalità indicate in ALLEGATO E.

La Regione Toscana, nell'ambito delle attività diagnostiche condotte sino ad oggi sul proprio territorio ed in seguito a sperimentazione, ha adottato le metodologie d'indagine ritenute maggiormente affidabili per la determinazione della qualità del calcestruzzo. Sussistono tuttavia dei limiti imposti sia dai costi, più elevati in relazione al livello di affidabilità della prova, sia dai margini di incertezza dei risultati.

Per questi motivi nel programma d'indagine si prevede l'esecuzione di prove sia distruttive o dirette che non distruttive o indirette. Si evidenzia che laddove vengano eseguite entrambe le metodologie di prove queste devono necessariamente essere effettuate nella stessa zona d'indagine, al fine di consentire il confronto e la conseguente correlazione dei risultati ottenuti.

#### **2.4.1 PROVE NON DISTRUTTIVE O INDIRETTE**

Il principio comune sul quale si basano le prove non distruttive è quello di non arrecare alcun danno alla struttura analizzandola dall'esterno con metodi di misurazione che ricavano in modo indiretto la qualità dei calcestruzzi indagati.

Si ricorda che tra le più comuni tipologie di prove di tipo indiretto da eseguire su strutture in c.a. al fine di ottenerne il relativo valore di resistenza vi sono: prove di estrazione pull-out con inserti pre-inseriti o post-inseriti; prove di estrazione con espansione e secondo il metodo Chabowski; prova di penetrazione Windsor Probe Test; pull-off e break-off.

Tali metodologie, tuttavia, non vengono utilizzate dalla Regione Toscana in quanto forniscono una misura della resistenza attraverso il valore della durezza superficiale dell'elemento indagato, che può risentire pertanto dell'influenza di fattori quali la carbonatazione e l'umidità superficiale, soprattutto trattandosi di edifici antecedenti agli anni '70.

La scarsa affidabilità delle prove non distruttive se usate come unico metodo d'indagine e le considerazioni, per talune prove, circa la compensazione degli effetti dei fattori d'influenza, hanno quindi suggerito la sperimentazione e la definizione di metodi d'indagine combinati.

La Regione Toscana prescrive l'utilizzo del solo *Metodo Sonreb*, che prevede l'uso combinato di due metodi di indagine indiretti, ovvero di prove sclerometriche e di prove ad ultrasuoni.

I margini d'incertezza derivanti dai fattori perturbativi intrinseci agli stessi metodi indiretti vengono in tal modo compensati, fornendo così risultati finali dotati di maggiore affidabilità.

Per la metodologia da utilizzare nell'esecuzione sia delle battute sclerometriche che delle letture ultrasoniche, si rimanda all'ALLEGATO E.1

**L'esecuzione delle indagini secondo modalità differenti da quelle prescritte dalla R. T., valutata da tecnici regionali appositamente incaricati, comporta la non accettazione dei risultati e la mancata corresponsione dei finanziamenti regionali previsti.**

#### **2.4.2 PROVE DISTRUTTIVE**

##### **2.4.2.1 PROVE DISTRUTTIVE SUL CALCESTRUZZO**

Questo tipo di prova mira a stimare la resistenza effettiva del conglomerato attraverso misurazioni di tipo diretto.

La prova si basa sul prelievo, in zone di modeste sollecitazioni flessionali, di campioni cilindrici con carotatrice ad acqua a sola rotazione senza percussione, con un sistema di fissaggio del fusto

della macchina direttamente sull'elemento strutturale, mediante un tassello di fissaggio ed una piastra d'appoggio dotata di viti di regolazione, al fine di ridurre lo stress del prelievo al minimo e limitare il più possibile le vibrazioni innescate. I campioni prelevati vengono quindi trasferiti in laboratorio per essere sottoposti a prova di compressione fino a rottura.

Il prelievo del campione deve essere effettuato rigorosamente in una delle due aree indagate precedentemente con il con metodo Sonreb, al fine di poter correlare i dati derivanti da entrambe le tipologie d'indagine.

Il carotaggio deve essere passante in modo da consentire il prelievo di un provino indisturbato, salvo i casi impreveduti di interruzione delle operazioni di carotaggio dovuti, ad esempio, a intercettazione di barre di armatura o altro (cavedi, pluviali inclusi, tracce di cavi elettrici etc.).

Al fine di garantire il controllo delle operazioni di prova la R.T. prescrive l'esecuzione di indagini ultrasoniche in laboratorio anche sulle carote estratte, così da verificare la coerenza tra le letture US in situ e quelle sulla carota prelevata.

Per la metodologia da utilizzare nell'esecuzione dei carotaggi si rimanda all'ALLEGATO E.2

**L'esecuzione delle indagini secondo modalità differenti da quelle prescritte dalla R. T., valutata da tecnici regionali appositamente incaricati, comporta la non accettazione dei risultati e la mancata corresponsione dei finanziamenti regionali previsti.**

#### **2.4.2.2 PROVE DISTRUTTIVE SULL'ACCIAIO**

La Regione Toscana non contempla l'esecuzione di prelievi di spezzoni di barre d'armatura, come invece attualmente previsto dalle Norme Tecniche allegate all'Ordinanza PCM N° 3274 del 20.03.03, a causa sia delle difficoltà operative connesse alle operazioni di prelievo e di ripristino, sia per l'eccessiva riduzione della capacità portante derivante dal prelievo stesso.

### **2.5 ELABORAZIONE E INTERPRETAZIONE DEI DATI DI PROVA**

I risultati delle prove in situ e di laboratorio riportati sul Certificato Prove Materiali e sulle Schede Prove Qualità Calcestruzzo, vengono elaborati dai tecnici del Servizio Sismico Regionale in una relazione tecnica finale sulla qualità del calcestruzzo e sullo stato di salute dell'edificio per carichi verticali.

L'interpretazione dei dati raccolti con le metodologie descritte precedentemente è un problema che non trova soluzione in nessuna normativa in quanto non esiste attualmente uno standard nazionale di riferimento per operare nel campo dell'esistente.

Solo nelle recenti Norme Tecniche allegate all'Ordinanza PCM n° 3274 del 20.03.03 si riconosce la necessità di eseguire valutazioni di sicurezza ed interventi di adeguamento sismico su edifici esistenti solamente in seguito all'acquisizione, mediante verifiche in situ, di informazioni sulle caratteristiche meccaniche dei materiali

La normativa, tuttavia, non fornisce indicazioni su:

- modalità di esecuzione delle prove;
- formule da utilizzare per l'interpretazione dei dati di prova;
- modalità di correlazione tra i dati derivanti da indagini distruttive e non distruttive.

Vista la natura sperimentale dell'attività condotta dalla R.T. e le carenze legislative suddette, il Servizio Sismico della Regione Toscana ha elaborato un proprio standard di riferimento a livello regionale, basato sia sulle teorie e sulle formulazioni presenti in letteratura tecnica, sia sul confronto di dati rilevati nelle stesse aree d'indagine, ma con metodologie differenti.

L'interpretazione dei dati di prova si basa quindi sull'analisi degli elementi sottoposti a prove sia di tipo diretto che indiretto, per i quali si dispone dei seguenti valori:

- letture ultrasuoni in situ;
- letture ultrasuoni in laboratorio sul campione prelevato;
- valore di rottura a compressione del provino

Dal confronto dei dati ricavati in situ ed in laboratorio si può quindi esprimere un giudizio circa l'attendibilità degli stessi e, in caso di incongruenze, formulare delle ipotesi sui fattori che possono aver inciso sull'alterazione dei dati di prova (mancato rispetto del rapporto  $\emptyset$  carota/dimensione massima dell'inerte  $>3$ , Indice sclerometrico medio eccessivo per presenza di superfici d'indagine carbonatate o non adeguatamente predisposte).

In questo modo sarà possibile individuare una sorta di "coefficiente correttivo" sulla cui base tarare i dati derivanti dalle prove indirette laddove non vi sia confronto con quelli derivanti diretti.

### 2.5.1 PROVE NON DISTRUTTIVE O INDIRETTE

Per l'elaborazione dei dati si rimanda alla letteratura in merito all'argomento, sottolineando peraltro come la formula di correlazione del metodo Sonreb, che stima la resistenza del cls nel punto di misura, sia applicabile per valori della velocità di attraversamento superiori a  $3100 \div 3200$  m/sec., mentre per valori inferiori risulta sempre meno attendibile poiché esterna al dominio delle curve Sonreb ricavate sperimentalmente e sulla cui base si applica la formula suddetta.

Si ricorda, tuttavia, che nel caso di valori bassi della velocità ( $\approx 2500 \div 3000$  m/sec), pur non essendo possibile stabilire con certezza l'Rck del cls si ottiene quasi sicuramente un valore di resistenza del conglomerato  $< 150$  Kg/cm<sup>2</sup> mentre, per valori particolarmente bassi ( $\approx 1000 \div 2000$  m/sec), il dato ottenuto perde praticamente di significato.

Per quanto riguarda i valori forniti dallo sclerometro, si ricorda che si ottengono buoni valori di resistenza a compressione per valori dell'indice medio di rimbalzo  $I_m = 30$ , considerando come limite minimo accettabile  $I_m = 27 \div 28$ .

Sono accettabili differenze percentuali al massimo del 20% tra Resistenza stimata con il metodo Sonreb e Resistenza cubica convenzionale, stimata con il carotaggio.

#### • LIMITI

1. Il valore puntuale della prova è uno dei limiti per l'estensibilità dei risultati ottenuti, soprattutto in considerazione del fatto che le indagini vengono effettuate nella maggior parte dei casi su strutture in c.a. realizzate negli anni '60 – '70, periodo nel quale non erano predisposti controlli di qualità dei materiali ed il riempimento della cassaforma di un pilastro poteva richiedere anche l'esecuzione di numerosi e differenti getti, con conseguente varietà nelle caratteristiche meccaniche degli stessi.
2. Si evidenzia che la legislazione tecnica italiana non fornisce una specifica normativa di riferimento per l'utilizzo delle formule presenti in letteratura.
3. Spetta pertanto al professionista o all'Ufficio Tecnico competente valutare e adottare le formulazioni maggiormente adatte a rappresentare la situazione esaminata.

Per una trattazione completa dell'argomento si rimanda all'ALLEGATO E.1

### 2.5.2 PROVE DISTRUTTIVE O DIRETTE

La prova di compressione su provini prelevati in situ fornisce un Rck relativo all'elemento di prelievo che

Il dato che si ottiene dalla rottura a compressione del provino (R di carota) non è rappresentativo dell'effettiva qualità del conglomerato, in quanto, rispetto alla resistenza caratteristica convenzionale (resistenza a 28 gg. misurata in condizioni standard su provini normalizzati) risente dei seguenti fattori:

- dimensioni e forma del campione;
- direzione di perforazione rispetto a quella del getto;
- posizione del prelievo nell'ambito dell'elemento strutturale;
- presenza di armature;
- passaggio dalla resistenza cilindrica a quella cubica;
- modalità di preparazione e stagionatura;
- maturazione al momento del prelievo.

La valutazione dell'entità dell'influenza con cui tali fattori condizionano il valore di resistenza è incerta. Le formulazioni presenti in letteratura per l'interpretazione dei risultati tengono conto dei suddetti fattori attraverso dei coefficienti correttivi che, applicati al valore di  $R_{car}$ , consentono di ottenere sia il valore di resistenza del calcestruzzo in situ, sia la resistenza cubica convenzionale. Il secondo valore si ottiene infatti da una maggiorazione di circa il 30% rispetto al primo per riportare il valore del cls di cantiere a quello migliorativo dato da condizioni standard di preparazione e maturazione.

- LIMITI

1. Il valore puntuale dell'indagine è uno dei limiti per l'estensibilità dei risultati ottenuti, soprattutto in considerazione del fatto che le indagini vengono effettuate nella maggior parte dei casi su strutture in c.a. realizzate negli anni '60 – '70, periodo nel quale non erano predisposti controlli di qualità dei materiali nell'esecuzione dei getti.
2. Si evidenzia che la legislazione tecnica italiana non fornisce una specifica normativa di riferimento per l'utilizzo delle formule presenti in letteratura, né chiarisce se il valore di riferimento da utilizzare sia quello relativo alla Resistenza cubica in situ oppure alla Resistenza cubica convenzionale.  
L'Ufficio Regionale ritiene preferibile considerare il valore di Resistenza cubica in situ, che rispecchia maggiormente le reali caratteristiche meccaniche del calcestruzzo relativamente all'edificio indagato.
3. Spetta comunque al professionista o all'Ufficio Tecnico competente valutare e adottare formulazioni maggiormente adatte a rappresentare la situazione esaminata.

Per una trattazione completa dell'argomento si rimanda all'ALLEGATO E.2

## **2.6 CONCLUSIONI**

Le indagini di valutazione della qualità del calcestruzzo condotte dalla Regione Toscana sugli edifici strategici e rilevanti, in particolare scuole, delle zone a maggior rischio sismico, hanno fornito un quadro dello stato di salute, in relazione all'età, del patrimonio edilizio regionale ed informazioni utili ad una successiva valutazione in termini di vulnerabilità sismica.

I risultati di tali indagini hanno evidenziato per molti edifici realizzati principalmente nel ventennio 1950-1970, la presenza di conglomerati con caratteristiche strutturali inferiori sia, ovviamente, a quelle richieste dalla normativa attualmente in vigore sia, dato sicuramente più preoccupante, a quelle richieste dalla normativa vigente all'epoca di costruzione del fabbricato (ad es. R.D. 2229/39).

La presenza di queste condizioni ha reso poco affidabili in termini di sicurezza e di esposizione al rischio sismico parte delle strutture esistenti in cemento armato presenti sul territorio regionale, rendendo improrogabile lo sviluppo di attività finalizzate all'approfondimento delle conoscenze sulle caratteristiche prestazionali di tale materiale, al fine di determinare in maniera univoca la resistenza effettiva delle strutture esistenti, valida anche per un'eventuale progettazione degli interventi di adeguamento e miglioramento sismico.

La Regione Toscana, in relazione alle indagini svolte sino ad oggi nelle zone a maggior rischio sismico del proprio territorio, ha predisposto queste **“Istruzioni tecniche con i criteri per lo svolgimento delle indagini diagnostiche finalizzate alla valutazione della qualità dei materiali in edifici esistenti in cemento armato”**, contenenti le informazioni necessarie a cui attenersi per la programmazione delle indagini sul calcestruzzo e per l’elaborazione dei dati di prova quali elementi propedeutici per la vulnerabilità sismica degli edifici in cemento armato.

Nel capitolo successivo sono riportate le istruzioni tecniche per la programmazione delle indagini sul calcestruzzo e per l’elaborazione dei dati di prova.

**3. ISTRUZIONI TECNICHE PER LA PROGRAMMAZIONE  
DELLE INDAGINI SUL CALCESTRUZZO  
E PER L'ELABORAZIONE DEI DATI DI PROVA**

### 3.1. FASE DI PROGRAMMAZIONE

*ALL. A*

#### DESCRIZIONE STRUTTURALE DELL'EDIFICIO

Contiene gli elementi per una descrizione il più dettagliata possibile delle caratteristiche strutturali dell'edificio oggetto d'indagine o aggregato strutturale, suddiviso negli eventuali blocchi in aderenza, o aggregati strutturali costituiti da blocchi con giunto sismico a norma.

(Per le definizioni di tali termini si rimanda al punto 1.1 del Manuale per il *Rilevamento dell'esposizione e vulnerabilità sismica degli edifici – Istruzioni per la compilazione della scheda di I livello*)

Devono essere riportati in particolar modo i seguenti dati:

- a) data di progettazione e di costruzione dell'edificio con relativa normativa di riferimento
- b) superficie e cubatura relativa a ciascun blocco costituente l'aggregato strutturale
- c) descrizione di eventuali varianti e/o interventi successivi con relativa normativa di riferimento;
- d) caratteristiche di ciascun edificio dell'aggregato strutturale (se costituito da uno o più blocchi in aderenza) o dei singoli aggregati strutturali se tra questi vi è presenza di giunti tecnici a norma);
- e) tipologie costruttive impiegate e relative caratteristiche dimensionali (sia della struttura portante con indicazioni relative ai ferri di armatura, che dei solai, dei tamponamenti e dei tramezzi; indicare inoltre se i telai sono orditi in una o più direzioni).

Tali informazioni possono essere desunte dagli elaborati di progetto, ma devono essere comunque verificate mediante saggi conoscitivi eseguiti in situ, di cui deve essere fornita relativa documentazione fotografica.

## **RUOLI E COMPETENZE DEI SOGGETTI COINVOLTI**

I soggetti coinvolti nella determinazione della qualità del cls, ognuno con le proprie competenze, sono:

**a. Amministrazione Comunale e/o Provinciale**

Alle Amministrazioni Comunali e/o Provinciali spetta il reperimento di tutto il materiale necessario allo svolgimento del programma di indagini, quali elaborati grafici, computi metrici, capitolato di appalto, certificato di collaudo.

Il pagamento degli oneri da corrispondere all'Impresa Edile è a carico dell'Amministrazione Comunale e/o Provinciale, che dovrà anche assicurare l'assistenza tecnica per la predisposizione delle indagini, designando una ditta edile o utilizzando personale della stessa Amministrazione per le operazioni di stonacatura e di demolizione pertinenti alle prove, raschiatura con mola a mano delle superfici del cls posto in vista, montaggio trabattelli o ponteggi per operare su elementi posti ad altezze elevate, e tutte le operazioni di ripristino degli intonaci, risarcitura delle parti di murature demolite e chiusura del foro dovuto al carotaggio.

L'Ufficio Tecnico deve, inoltre, assicurare gli indirizzi e l'assistenza all'Impresa, al Professionista incaricato, al Laboratorio e all'Ufficio Regionale, affinché quanto necessario per le indagini sia condotto positivamente.

Rimane di competenza dell'Amministrazione interessata l'approvazione ultima dei programmi elaborati dai Professionisti incaricati.

**b. Responsabile dell'Ufficio Tecnico o Professionista incaricato**

È responsabile della stesura del programma d'indagine e dell'elaborazione dei dati derivanti dalle prove, come riportati nel Certificato emesso dal Laboratorio incaricato, al fine della determinazione della resistenza effettiva del calcestruzzo indagato, ovvero del valore di  $R_{ck}$  da assumere in fase di un'eventuale progettazione d'intervento di miglioramento e/o adeguamento sismico e/o per la definizione del livello di vulnerabilità dell'edificio stesso.

**c. Personale dell'Amministrazione Comunale e/o Provinciale e/o Impresa Edile**

Le operazioni che riguardano l'Impresa sono descritte nell'*All.E* per quanto riguarda la preparazione degli elementi strutturali per le prove, ed interesseranno anche la fase finale dei lavori per la chiusura del foro dovuto al carotaggio.

In ogni caso, almeno un operaio dovrà essere a disposizione durante l'esecuzione delle prove (stonacature suppletive, demolizioni che si riterranno necessarie per il miglior svolgimento delle prove da parte dei Tecnici di Laboratorio).

Si vuole sottolineare l'importanza di questa fase operativa, in quanto il lavoro dei tecnici del Laboratorio deve essere ben predisposto **prima della data stabilita per l'inizio delle prove**, onde evitare inutili ritardi sul piano di lavoro che possono compromettere la buona riuscita delle giornate di prove.

**d. Laboratorio autorizzato al rilascio del Certificato per prove di qualità sui materiali**

Il Laboratorio coinvolto, in possesso della **concessione rilasciata dal Ministero Infrastrutture e Trasporti come previsto dall'art.20 della L.1086/71**, si occuperà dell'esecuzione delle prove indicate nell'apposita tabella (v. *All. F*), compreso il prelievo delle carote che dovranno essere sempre passanti sull'intero elemento strutturale, salvo eccezioni da concordare con i tecnici della R.T.

Si precisa che durante l'esecuzione della prova di carotaggio il laboratorio dovrà porre tutte le attenzioni necessarie ad **evitare il taglio di barre di armatura** (ferri longitudinali e staffe). In particolare si ricorda che la zona su cui effettuare il prelievo deve essere individuata in una zona compresa fra due staffe consecutive. In ogni caso occorre preventivamente individuare la posizione dei ferri sulle facce opposte dell'elemento strutturale in modo da evitarne il tranciamento.

Qualora vengano intercettate barre di armatura, il Laboratorio deve immediatamente sospendere la prova di carotaggio interrompendo il prelievo ed è tenuto ad informare i Tecnici dell' Ufficio Regionale in merito alla decisione di prelevare comunque un provino non passante o se si rende necessario, per le dimensioni ridotte dell'elemento strutturale o altro, ricercare un nuovo elemento da indagare.

Nel caso di prelievo non passante, si deve procedere con estrema cautela e decisione al momento della rottura, senza creare ulteriore situazione di stress per il campione e facendo in modo di ottenere un distacco dello stesso dal resto dell'elemento strutturale praticando una leggera e decisa azione di leva sul bordo in vista del prelievo, operazione che sarà fatta esclusivamente dai tecnici del Laboratorio.

Nel caso d'interruzione del provino, la foto della sua porzione costituisce un documento importante al fine di valutare la superficie di rottura.

Il Laboratorio deve, inoltre, assicurare un'organizzazione autonoma del cantiere, predisposta in modo tale da consentire l'esecuzione delle indagini nel totale rispetto delle indicazioni regionali (numero di tecnici coinvolti, numero di giorni di prova, successione delle fasi operative ...).

Dovrà provvedere a fornire all'Ufficio scrivente tutte le informazioni ed i dati richiesti per ciascun elemento strutturale indagato attraverso la completa e corretta compilazione delle apposite schede d'indagini diagnostiche, "**Scheda prove qualità calcestruzzo**", redatte dalla Regione Toscana, corredate della necessaria **documentazione fotografica**, secondo quanto indicato negli Allegati suddetti delle I.T. Regionali.

Il Laboratorio dovrà, infine, stilare il **Certificato** secondo quanto indicato nell'*All. D* del presente documento e trasmetterlo in originale o copia fotostatica all'Ufficio competente rappresentante la Committenza.

Il pagamento degli oneri da corrispondere al Laboratorio esecutore delle prove è a carico dell'Amministrazione locale e/o della Regione Toscana, a seconda delle modalità amministrative di volta in volta definite dalla stessa R. T.

**Si sottolinea che l'Amministrazione competente provvederà ad effettuare al Laboratorio il pagamento degli oneri di spesa previsti, previo parere favorevole dell'Ente Regionale.**

La valutazione della corretta esecuzione delle indagini sarà effettuata da tecnici regionali appositamente incaricati.

#### **e. Ufficio Regionale – Dip.to P.T.A. Area – Servizio Sismico Regionale**

L'Ufficio si fa carico di un coordinamento complessivo delle attività e dei vari soggetti coinvolti al fine dell'ottimizzazione dei dati, restando inteso che ciò nulla toglie alla responsabilità dell'Ufficio Tecnico in merito alla scelta ed estensione delle indagini ed alla valutazione ed utilizzazione dei risultati.

Le indagini, concordate congiuntamente tra l'Ufficio scrivente ed i Tecnici del Laboratorio al fine di ottimizzare lo svolgimento delle stesse, devono essere svolte con il seguente ordine:

- a. *Metodo Sonreb, ovvero:* - sclerometrico su tutti gli elementi individuati in *All. F, tabella 1*;  
- ultrasuoni su tutti gli elementi individuati in *All. F, tabella 1*;
- b. *Carotaggio, ove previsto, solo sugli elementi individuati in All. F, tabella 1*;

c. *Prova della profondità di carbonatazione sulla carota in All. F, tabella 1.*

Per confrontare i valori e quindi l'attendibilità dei metodi su alcuni elementi saranno effettuati entrambe i metodi di indagine, sia distruttivi che non distruttivi, *mentre* su altri è prevista la sola applicazione del **Metodo Sonreb**.

**CRITERI GENERALI PER L'INDIVIDUAZIONE DEGLI ELEMENTI  
STRUTTURALI SIGNIFICATIVI DA INDAGARE.**

Poiché per motivi economici e di tempo non è pensabile estendere la campagna di prove su tutti gli elementi strutturali dell'edificio indagato, occorre prevedere le indagini su un numero di elementi tale da rappresentare in maniera significativa le caratteristiche medie dei getti di cls in termini di omogeneità, di qualità, di resistenza meccanica e di degrado della struttura nella sua interezza.

In tale fase è necessario mediare tra diverse esigenze:

- non arrecare troppi danni alle strutture (con l'esecuzione di carotaggi);
- contenere i costi;
- limitare i margini di incertezza dei dati di prova operando con metodi diversi accoppiabili tra loro e utilizzando le varie prove per tararne altre (i sondaggi di tipo distruttivo vengono utilizzati anche per tarare le indagini non distruttive).

Occorre precisare che:

- le strutture progettate per resistere anche a sollecitazioni di tipo orizzontale hanno in genere i telai portanti orditi almeno in entrambe le direzioni;
- le strutture progettate per sopportare soltanto i carichi verticali, quando appartenenti a zone non classificate sismiche al momento della redazione del progetto, spesso sono caratterizzate dalla presenza di telai portanti orditi in una sola direzione;
- anche in zone classificate sismiche da tempo è facile trovare edifici in c.a. progettati e realizzati con telai portanti orditi in una sola direzione e con orizzontamenti non sufficientemente rigidi.

In base a queste considerazioni si può assumere che, in ogni caso, i piani più bassi sono i più sollecitati ai carichi verticali e alle azioni sismiche ed è pertanto necessario in queste zone che il cls risponda in modo più rigoroso a standard di resistenza meccanica elevati.

Tra i pilastri dei piani bassi, i più sollecitati per azioni sismiche si trovano in genere in posizione di bordo o d'angolo, inoltre, i pilastri non confinati da tamponature sono i più soggetti alla formazione di cerniere plastiche alle estremità, con possibile formazione di un meccanismo di collasso di piano (piano soffice).

I fattori di valutazione da tenere quindi presente nella scelta degli elementi strutturali disponibili risultano sostanzialmente i seguenti:

- difficoltà tecnico-operative: è opportuno procedere nella scelta degli elementi da indagare in maniera tale da non arrecare troppi danni alle strutture (con l'esecuzione di un numero eccessivo di prelievi e di operazioni di ripristino), contenere i costi sia delle indagini (numero di prove) sia del ripristino (evitare di indagare elementi difficilmente accessibili), limitare i margini d'incertezza dei dati di prova operando con metodi diversi confrontabili tra loro (i sondaggi di tipo distruttivo sono, infatti, utilizzati anche per tarare le indagini non distruttive);
- privilegiare l'elemento pilastro rispetto all'elemento trave in considerazione del concetto di gerarchia delle resistenze nella formazione delle cerniere plastiche che conducono al meccanismo di collasso di una struttura intelaiata;
- livello di sollecitazione presente nell'elemento strutturale: occorre scegliere ove possibile alcuni tra gli elementi presenti nella struttura mediamente sollecitati, provvedendo a

verificarne lo stato tensionale degli elementi da indagare con un'attenta analisi dei carichi verticali, qualora si prevedesse di eseguire prove di tipo diretto (prelievo di campioni di cls da sottoporre a prova di compressione, con conseguente ed inevitabile indebolimento delle sezioni resistenti);

- disposizione del sistema resistente: l'individuazione degli elementi strutturali campione è opportuna per maglie di telaio e per piani, ovvero è opportuno eseguire almeno una prova diretta per ogni piano ed almeno una prova indiretta per ogni maglia di telaio, al fine di verificare con uniformità ad ogni livello la qualità strutturale di tutti i telai esistenti;
- dimensioni planovolumetriche e presenza di nuclei rigidi: in un edificio di limitato sviluppo planivolumetrico e privo di nuclei rigidi in c.a. collocati in posizione eccentrica o di bordo o d'angolo, caratterizzato da maglie strutturali distribuite uniformemente, la scelta degli elementi strutturali da indagare può effettuarsi senza particolari accorgimenti, in quanto è da ritenersi bassa la probabilità di effetti torsionali.
- individuazione delle armature: deve essere effettuata sulla base degli elaborati progettuali originari sia per i ferri longitudinali che per le staffe, avendo cura di verificarne la corrispondenza con lo stato di fatto per mezzo di indagine effettuata con il pacometro ed eventualmente saggi. La corretta ed accurata esecuzione di tali operazioni consentirà, infatti, di evitare modifiche in corso d'opera al programma d'indagine previsto, dovute al pericolo di incorrere nel taglio di porzioni di barre di armatura durante il prelievo di un campione.



Foto 1. Saggio per l'individuazione armature



Foto2. Strumento per l'individuazione armature

Poichè negli edifici in c.a. esistenti si identificano come più probabili i meccanismi di collasso di piano (travi forti e colonne deboli), nella scelta degli elementi strutturali da indagare L'Ufficio Servizio Sismico tende a privilegiare l'elemento pilastro rispetto all'elemento trave; le travi saranno interessate dall'esecuzione di indagini di tipo indiretto.

In particolare:

#### **Elemento pilastro:**

Occorre scegliere quale zona oggetto di prove, quella soggetta a modeste sollecitazioni tenendo presente che:

- alle estremità del pilastro, zone caratterizzate dagli stati tensionali più elevati, a causa della segregazione dei componenti del cls si possono ottenere valori di resistenza falsati;
- la diminuzione di sezione resistente derivante dal prelievo può comportare problemi in una zona particolarmente sollecitata e in presenza di un calcestruzzo di qualità scadente; non verranno quindi prese in considerazione zone limitrofe al piede o alla testa del pilastro.

Pertanto si sceglierà una zona in una fascia intermedia rispetto all'altezza del pilastro, dove il momento è pressoché nullo, caratterizzata da cls abbastanza omogeneo.

### **Elemento Trave:**

Analogamente che per l'elemento pilastro, per la trave è necessario escludere le zone maggiormente sollecitate; per la trave in genere non si hanno fenomeni di segregazione dei componenti del cls, se non alla base della trave stessa. Si sceglieranno, per comodità operative, travi emergenti rispetto al solaio e si eseguirà l'eventuale carotaggio sul fianco della trave, avendo cura, ove possibile, di porsi a circa 1/5 della luce.

Inoltre, per evitare di incorrere nel taglio dei ferri di armatura, si sceglieranno quali zone da indagare quelle poste in prossimità dell'asse neutro, dove si hanno le tensioni inferiori, avendo però particolare cura di procedere ad un'attenta indagine pacometrica preventiva, poichè è in queste le zone si localizzano i ferri sagomati deputati ad assorbire le sollecitazioni di taglio.

Nel corso delle indagini, può rendersi necessaria una variazione del programma di prove a causa di fatti, non prevedibili prima dell'inizio delle prove, che possono impedire o interrompere l'esecuzione di una o più indagini (come la presenza di pluviali inclusi nei pilastri, armature non rilevabili dallo strumento, canalizzazioni di impianti negli elementi strutturali). Per questo è necessario individuare nel programma preliminare un numero di elementi strutturali da sottoporre a prova più ampio rispetto a quello effettivo, affinché i tecnici regionali che seguono direttamente le operazioni di prelievi in cantiere possano intervenire per individuare i nuovi elementi da indagare.

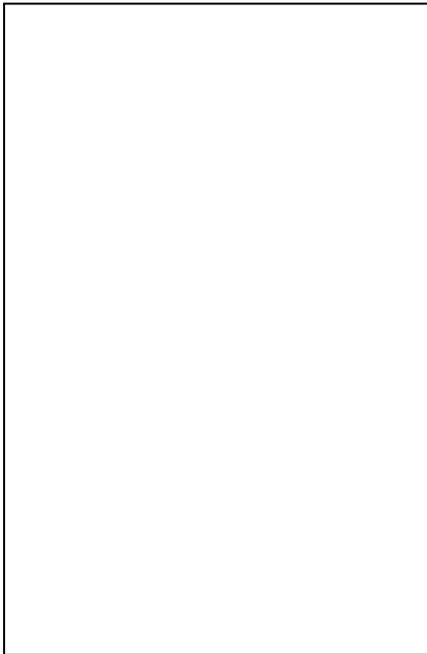


Foto 3. Impianto elettrico



Foto 4. Controfodera e impianti

## DATI CONTENUTI NEL CERTIFICATO

### Prove per la determinazione dell'indice sclerometrico

Norma UNI

- *Data esecuzione delle prove*
- *Riferimento alla Normativa vigente*
- *Tipo di pacometro utilizzato*
- *Tipo di sclerometro utilizzato*
- *Indicazione della taratura dello strumento*
- *Direzione della battuta sclerometrica*
- *Indicazione degli elementi strutturali indagati*
- *Eventuale presenza di vernici o altro sull'elemento stesso non rimovibili*
- *Valori degli indici di rimbalzo per ogni battuta (n. 12 battute per ogni lato dell'elemento indagato)*
- *Valore medio su dieci battute escludendo due valori( il max e il min)*
- *Deviazione standard*
- *Tabelle riassuntive*
- *Individuazione degli elementi strutturali indagati su planimetria fornita insieme al Programma d'indagine*
- *Note su particolari situazioni riscontrate durante l'esecuzione delle prove*
- *Documentazione fotografica rappresentativa dell'esecuzione della prova*



### Prove con il metodo della velocità degli impulsi ultrasonici

Norma UNI

- *Data esecuzione delle prove*
- *Riferimento alla Normativa vigente*
- *Tipo di apparecchiatura ad ultrasuoni utilizzata*
- *Indicazione della taratura dello strumento*
- *Indicazione degli elementi strutturali indagati*
- *Indicazione dei lati dell'elemento strutturale indagato, definiti mediante numeri*
- *Indicazione dei punti di prova, definiti mediante lettere*
- *Indicazione della univocità della zona indagata con i diversi metodi di prova*
- *Tipo di sostanza utilizzata per facilitare l'aderenza delle sonde*
- *Tempo di attraversamento delle onde ultrasoniche per ogni lettura ( $\mu$ s)*
- *Velocità media degli ultrasuoni per ogni elemento indagato (m/s)*
- *Tabelle riassuntive dei dati di prova*
- *Individuazione degli elementi strutturali indagati su planimetria fornita insieme al Programma d'indagine*
- *Note su particolari situazioni riscontrate durante l'esecuzione delle prove*
- *Documentazione fotografica rappresentativa dell'esecuzione della prova su entambe le zone indagate che comprovi che l'area è la stessa del sondeb*



## **Prelievo di campioni di calcestruzzo**

Norma UNI 3161

- *Data esecuzione delle prove*
- *Riferimento alla Normativa vigente*
- *Tipo di carotatrice utilizzata a sola rotazione e ad acqua*
- *Velocità di rotazione (giri/minuto)*
- *Indicazione direzione di prelievo*
- *Indicazione degli elementi strutturali indagati*
- *Indicazione della univocità della zona d'indagine con i diversi metodi di prova*
- *Indicazione del contrassegno utilizzato per i provini*
- *Metodo di rettificazione delle superfici*
- *Indicazioni sul tipo di prelievo (passante/non passante)*
- *Eventuale rottura della carota*
- *Indicazione sulla carota della parte alta della stessa e del verso di prelievo*
- *Diametro esterno carota*
- *Diametro interno carota*
- *Misurazione dei tempi d'attraversamento degli ultrasuoni sulla carota*
- *Altezza provino prima e dopo la cappatura*
- *Sezione resistente*
- *Massa del provino (kg)*
- *Massa volumica del provino (kg/mc)*
- *Diametro massimo degli inerti*
- *Tipo di inerte*
- *Presenza di spezzoni di armatura o altro*
- *Data della prova a compressione*
- *Tensione di rottura*
- *Tablette riassuntive*
- *Individuazione degli elementi strutturali indagati su planimetria fornita insieme al Programma d'indagine*
- *Note su particolari situazioni riscontrate durante l'esecuzione delle prove*
- *Note su particolari situazioni provocate dalle operazioni di carotaggio (ad es. taglio di barre di armatura), che dovranno essere documentate attraverso foto del provino e della zona d'indagine.*



## **Determinazione della profondità di carbonatazione nel cls**

Norma UNI 9944

- *Riferimento alla norma*
- *Data e luogo del prelievo*
- *Orientamento della superficie esposta e tipo di esposizione (secondo UNI 8981/5)*
- *Descrizione dello stato del calcestruzzo*
- *Profondità e distribuzione della carbonatazione*



Il Certificato dovrà essere corredato da un'esauriente ed esplicativa documentazione fotografica per ogni tipo di prova effettuata, per ogni elemento e per ogni superficie indagata. È richiesta, inoltre, la documentazione fotografica dei provini prima della preparazione alla prova a compressione e dopo la rettificazione degli stessi, con il contrassegno visibile.

Si ricorda che nel Certificato rilasciato dal Laboratorio sono indicati solo i valori ottenuti dalla prova senza alcuna interpretazione degli stessi; l'interpretazione dei dati sarà responsabilità dell'Ufficio Tecnico di competenza o del Professionista incaricato.

La valutazione della corretta esecuzione delle indagini sarà effettuata da tecnici regionali appositamente incaricati.

Si sottolinea che l'Amministrazione competente provvederà ad effettuare al Laboratorio il pagamento degli oneri di spesa previsti, solo previo parere favorevole dell'Ente Regionale.

**MODALITÀ D'ESECUZIONE DELLE PROVE  
PREPARAZIONE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI DA INDAGARE**

**A CURA DEL PERSONALE DELL'ENTE PROPRIETARIO DEL'IMMOBILE  
O DELL'IMPRESA EDILE DA ESSO INCARICATA**

**Le operazioni di seguito descritte dovranno necessariamente essere effettuate prima della data programmata per le indagini sugli elementi strutturali indicati nelle *Tabelle in Allegato F e seguenti*.**

Esse sono valide per i tipi di prove che si effettueranno: **metodo Sonreb** (sclerometro e ultrasuoni) e **carotaggio**.

1. Rimozione dell'intonaco o altro materiale posto a ricoprimento dell'elemento strutturale, mediante scalpello e martello, fino allo strato superficiale di calcestruzzo, avendo cura di lasciare il più indisturbato possibile lo strato superficiale di lattime cementizio;
2. L'operazione di cui al punto 1. deve essere estesa per l'intera larghezza del pilastro, da un'altezza baricentrica di circa 150 cm, per un'altezza totale di 60 cm (almeno 80 cm nei pilastri da carotare), per le due facce opposte dell'elemento strutturale.
3. Raschiatura della superficie di cls con mola a mano fino a riportarla in condizioni di lisciatura omogenea per la zona descritta al precedente punto 2., mediante mola a grana media per calcestruzzi, escludendo quindi l'impegno di mezzi meccanici che potrebbero intaccare lo strato superficiale del calcestruzzo.

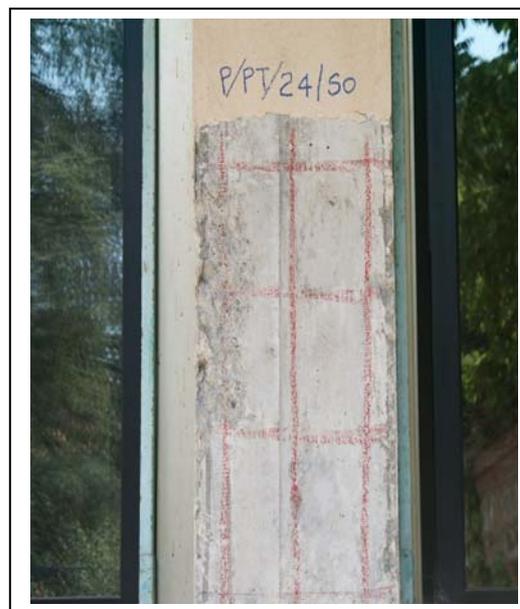


Foto 5. Individuazione armature

Ogni elemento indicato in *Tabella 1 (All. F)* viene individuato e contrassegnato sul posto con un codice identificativo, durante un sopralluogo effettuato da un Tecnico Regionale incaricato. I codici, che consentono l'individuazione del tipo e della posizione dell'elemento strutturale da indagare, sono riportati nella *Tabella 2 "Legenda dei codici identificativi" (All. F)*.

L'area soggetta ad indagine verrà indicata sulle due facce opposte dell'elemento, in modo da consentire l'avvio delle operazioni preliminari di pulitura dallo strato di intonaco, da parte dell'Ente proprietario dell'immobile; nel caso in cui per la presenza di ingombri non fosse possibile indicare entrambe le aree, si ricorda di rimuovere l'intonaco dall'elemento sempre **sulle due faccie opposte, alla medesima altezza e secondo le medesime modalità.**

Nel caso in cui il pilastro sia affiancato da tramezzi o tamponamenti, sarà necessario praticare su questi un **foro di circa 10 cm di diametro**, in aderenza alla zona stonacata, per permettere il passaggio dei cavi dello strumento ad ultrasuoni del Laboratorio.



Foto 6. Foro per il passaggio dei cavi e carotaggio



Foto 7. Chiusura del foro di carotaggio

Si rammenta, inoltre, all'Amm. Comunale e/o Provinciale la necessità di **richiudere immediatamente il foro provocato dalle operazioni di carotaggio** effettuate dal Laboratorio per evitare di sottoporre ad ulteriore stress gli elementi strutturali indagati.

## MODALITÀ D'ESECUZIONE DELLE PROVE

### A CURA DEI TECNICI DEL LABORATORIO INCARICATO

Prima dello svolgimento delle prove i Tecnici che si occuperanno della loro effettuazione devono predisporre la **compilazione della prima parte dalla scheda “Prove qualità calcestruzzo”** (All. H) fornita dalla Regione Toscana, riportando i dati generali e geometrici di ogni elemento e dell'area soggetta ad indagine e relativi disegni in pianta e prospetto.

La scheda va inoltre completata con note esplicative in forma di appunti che contengano eventuali altre informazioni e notizie utili per l'interpretazione dei risultati di prova (es.: superficie del cls non molabile a causa di un intonaco ben integrato con lo strato superficiale...). L'eventuale assenza di anomalie deve essere accertata apponendo un segno nell'apposita casella.

### PROVE NON DISTRUTTIVE

#### METODO SONREB: SCLEROMETRO ED ULTRASUONI

##### METODOLOGIA R.T. PER LA LETTURA DEGLI ULTRASUONI NEL METODO SONREB

Il metodo prevede l'uso combinato di due metodi indiretti di indagine per la valutazione della resistenza del cls: sclerometro e onde ultrasoniche

I margini di incertezza delle singole prove vengono in tal modo mitigati dando quindi maggiore affidabilità ai dati rilevati.

Su ciascun elemento strutturale da indagare saranno effettuate le seguenti operazioni preliminari:

1. **Rilevazione della disposizione dei ferri d'armatura** dell'elemento strutturale indagato mediante pacometro e loro segnatura sull'elemento stesso tramite gessetti o altro.

Tale operazione deve essere eseguita su entrambe le facce evidenziando sia le barre longitudinali che le staffe.

La necessità di eseguire tale fase operativa con grande attenzione è legata all'esigenza di evitare l'intercettazione di barre d'armatura durante l'esecuzione delle battute sclerometriche e delle letture ultrasoniche, condizione indispensabile per desumere valori attendibili della resistenza del calcestruzzo, e ancor di più, durante l'operazione di carotaggio, al fine di escludere nello svolgimento della prova.



Foro 8. Rilevazione con pacometro

distruttiva la possibilità di operare il taglio di porzioni di armature. Nel caso in cui tale evenienza dovesse verificarsi, i tecnici del Laboratorio sono tenuti ad assumersi le responsabilità del caso (v. *All. E.2*).

- Individuazione di 2 aree d'indagine):** (v. Fig.2) la prima area d'indagine deve essere individuata all'interno del quadrante compreso tra due staffe consecutive e posto ad un'altezza da terra pari ad  $h_{\text{pilastro}}/2$ ; la seconda deve risultare all'interno del quadrante immediatamente superiore od inferiore al primo ed in asse con la precedente, evitando sempre dove possibile il prelievo di carote eccentriche (Fig. 2 -1° ipotesi).

Nel caso in cui le dimensioni dell'elemento strutturale e la disposizione delle barre d'armatura lo richiedessero, la seconda area d'indagine può essere individuata nello stesso passo di staffe della prima (v. Fig.2 - 2° ipotesi).

Qualora si presentassero particolari condizioni di difficoltà nel verificare l'allineamento dei punti da indagare per la presenza del tamponamento ai lati del pilastro, l'esatta corrispondenza del quadrante sulla faccia opposta dell'elemento strutturale, andrà verificata con livella ad acqua.



Foto 9. Individuazione zone di indagine



Foto 10. Utilizzo della livella ad acqua

Per eventuali sondaggi su travi si individueranno due zone in due passi staffe contigui posti a circa  $1/4$  o  $1/5$  della luce della trave.

- A. Lo **SCLEROMETRO** è uno strumento “*a massa battente*” con cui si misura la durezza superficiale dell’elemento strutturale.

La durezza superficiale, da evidenze sperimentali, è strettamente collegata alla resistenza e durabilità dei materiali esaminati.

Si ricorda che l’uso del solo metodo sclerometrico comporta delle percentuali di incertezza, rispetto ai valori reali di resistenza del cls, pari circa al  $\pm 30\%$ , come riportato anche in letteratura.

Il metodo, infatti, fornisce una misura della durezza superficiale del cls attraverso un indice di rimbalzo; i dati ottenuti sono dunque fortemente influenzati dallo stato di carbonatazione dello strato superficiale di cls, dall’eventuale presenza di lesioni, dal grado di invecchiamento del materiale, dalla presenza di inerti affioranti, più o meno visibili.

La campagna sclerometrica può fornire una prima indicazione generale sulla resistenza del cls e sull’omogeneità dei getti.

Lo strumento dovrà essere tarato su Incudine di prova, il cui modello sarà indicato sul *Certificato*.

L’esecuzione delle battute sclerometriche andrà effettuata secondo le seguenti fasi:

**Esecuzione delle battute sclerometriche**, da eseguire nelle zone precedentemente individuate, avendo cura di mantenere una sufficiente distanza dalle armature rilevate, e con le modalità di seguito descritte:

1. L’operazione comprende n. 12 battute per ogni zona di misura individuata, su entrambe le facce dell’elemento strutturale, alla stessa quota.

La battuta deve essere eseguita sulla superficie di cls privata di sporgenze e resa uniforme dall’esecuzione di raschiatura della parte con mola a mano. Lo strumento sarà disposto in modo da formare un angolo pari a  $0^\circ$  rispetto all’orizzontale; possono usarsi altri angoli, ma  $0^\circ$  è il più semplice da mantenere per tutte le battute.

Lo strumento è appoggiato alla superficie da provare con l’asta di percussione in posizione di massima estensione; l’asta di percussione viene pressata contro la superficie da provare. Nel momento in cui si raggiunge il fine corsa dell’asta dentro il fusto dello sclerometro si ha il colpo di martello della massa battente con l’indicazione su scala graduata del ritorno del martello in percento dello spostamento iniziale prima dell’urto.



Foto 11. Prova sclerometrica

2. Ogni battuta sclerometrica deve essere annotata sull’apposita scheda “*Prove qualità calcestruzzo*” riportata in All. H
3. Documentazione fotografica dell’elemento strutturale prima, durante e dopo la prova.

La scheda modello “*Prove qualità calcestruzzo*” elaborata dall’Ufficio Servizio Sismico può essere richiesta oppure scaricata dal sito della Regione Toscana.

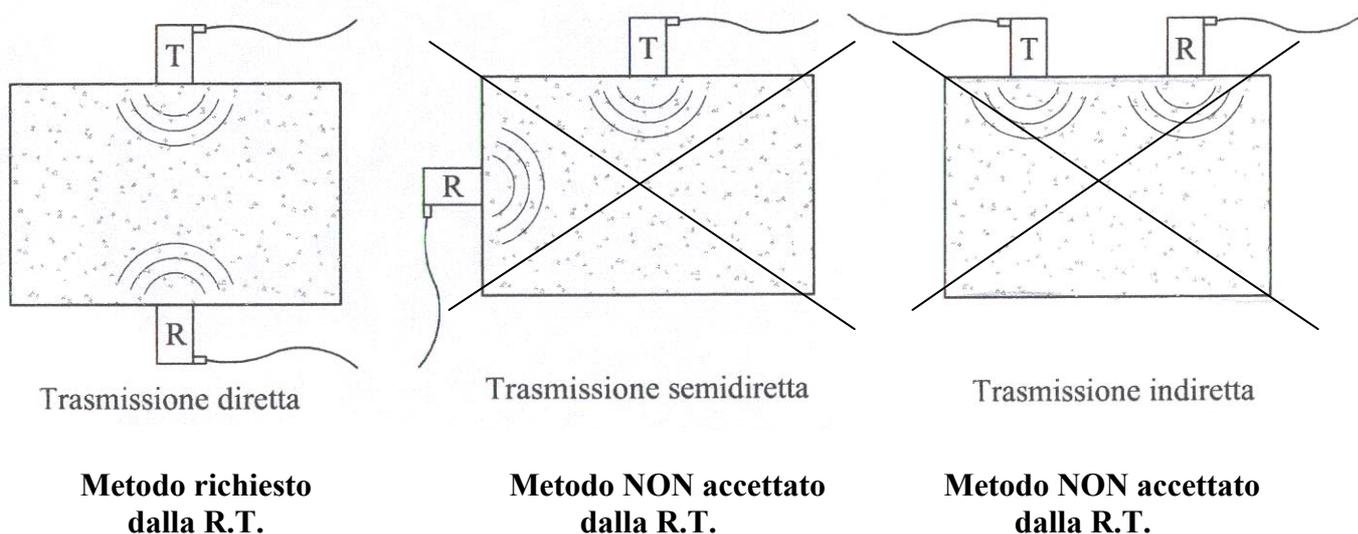
Nel caso in cui la dispersione dei valori ottenuti sia eccessiva, la prova deve essere ripetuta relativamente ai valori non congruenti, così da escludere la possibilità che tali valori fossero originati da errori nell’esecuzione della battuta o imperfezioni della superficie dell’area indagata.

Al momento dell’interpretazione dei dati la media verrà eseguita su 10 letture, escludendo il valore più alto e il valore più basso fra quelli ottenuti e riportati nella scheda.

A) Il **METODO AD ULTRASUONI** consiste nella misurazione indiretta della resistenza del cls attraverso la rilevazione della velocità media di onde vibrazionali trasmesse a frequenze ultrasoniche all'interno dell'elemento strutturale da provare.

La misurazione della velocità di propagazione delle onde ultrasoniche può essere effettuata per trasmissione diretta (per trasparenza), semidiretta ed indiretta; tuttavia, considerato il percorso effettivamente compiuto dalle onde, **il metodo diretto è indubbiamente il più affidabile e pertanto è l'unico accettato per tali indagini dalla Regione Toscana.**

Fig. 1 - PIANTA PILASTO



Una sorgente applicata nella zona da indagare, una faccia del pilastro o della trave opportunamente pre-trattata, emette le onde; queste si propagano nel mezzo cls e vengono ricevute da un trasduttore posto sulla faccia opposta dell'elemento, in allineamento con il trasduttore emittente (trasmissione diretta).

Conoscendo la distanza percorsa dalle onde si ricava la velocità di trasmissione.

La velocità di propagazione è funzione delle caratteristiche elastiche del mezzo e della sua densità, inoltre le disomogeneità presenti nel mezzo (fessure, zone degradate, cavità) determinano delle variazioni nella velocità di propagazione.

Dall'analisi e dall'interpretazione dei dati ottenuti si ottiene una misura della resistenza del mezzo indagato.

Il metodo ad ultrasuoni, da effettuarsi a carico del Laboratorio, viene effettuato con apposita strumentazione, il cui modello sarà indicato sul *Certificato*, e che dovrà essere preventivamente tarata su barra di calibrazione.

Nell'esecuzione del Metodo Sonreb la corretta lettura degli ultrasuoni è di grande importanza per la buona riuscita della prova.

La precisione nella misurazione del tempo di attraversamento delle onde ultrasoniche dipende da molteplici fattori:

- *Esecuzione della prova ad adeguata distanza dalle barre d'armatura*
- *Buona aderenza fra la superficie del trasduttore e quella del calcestruzzo.*
- *Buon allineamento fra le due sonde (v. Fig. 2)*

#### Distanza dalle barre d'armatura

Le zone individuate per l'esecuzione della prova a ultrasuoni, le stesse sulle quali viene effettuata la prova sclerometrica, devono essere scelte almeno a qualche cm di distanza dalla posizione dell'armatura indicata dal pacometro.

#### Aderenza

Se la superficie dell'elemento da indagare è abbastanza liscia, dopo la raschiatura con mola a mano, è sufficiente spolverare il manufatto e frapporre un grasso leggero o medio.

Se la superficie è moderatamente scabra, si può usare un grasso più consistente.

Se la superficie è decisamente irregolare, si può rendere le aree di applicazione dei trasduttori lisce mediante un riempitivo grasso quale stucco, dando il tempo al materiale di permeare la superficie e di fare presa.

#### Allineamento

Nell'effettuare la prova ad ultrasuoni è importante assicurarsi di operare su elementi strutturali aventi le facce opposte effettivamente parallele, in modo che la trasmissione delle onde ultrasoniche avvenga realmente in modo diretto.

Qualora l'allineamento tra le due sonde non fosse ottimale, la lettura del tempo di attraversamento del mezzo può infatti risultare difficoltosa, poichè l'apparecchio invece di fornire un valore stabile potrebbe mostrare sul display tempi piuttosto dispersi; in questo caso sarà necessario ripetere la lettura assicurandosi preventivamente del corretto allineamento delle sonde.

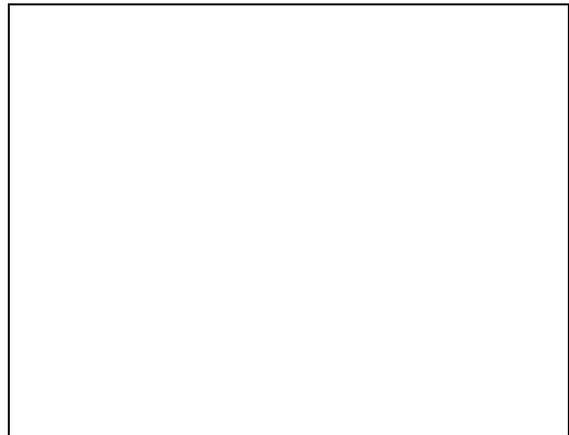


Foto 13. Corretto allineamento delle sonde

Per la corretta esecuzione della prova è importante effettuare la misurazione su elementi strutturali preventivamente privati dell'intonaco e preparati come già riportato nell'*All. E*.

Sui pilastri appartenenti a telai intermedi o di bordo affiancati da tamponamenti, per facilitare le operazioni di passaggio dei cavi dei trasduttori, verrà eseguito a fianco e in corrispondenza della fascia di cls da indagare, un foro passante di 10 cm di diametro.

Si raccomanda che l'esecuzione della prova avvenga ad opera di almeno due operatori, affinché le due sonde siano tenute nella corretta posizione per tutta la durata della prova, riducendo al minimo le possibilità di disallineamento.

Si sottolinea l'importanza che la misurazione della velocità degli ultrasuoni venga effettuata esattamente nella stessa area precedentemente indagata con le battute sclerometriche e preventivamente trattata con mola abrasiva a mano, per rendere uniforme la superficie; tale corrispondenza deve essere verificabile tramite documentazione fotografica.

E' fondamentale eseguire nella stessa area le differenti prove per poter operare un confronto con i dati ricavati dal metodo diretto (carotaggio): valore di rottura della carota  $R_{car}$  e valore della velocità media di attraversamento delle onde ultrasoniche rilevate sulla carota prima della prova a compressione.

I controlli non distruttivi, mediante metodo combinato sclerometro-ultrasuoni, andranno effettuati su tutti gli elementi strutturali riportati nelle *Tabelle in Allegato F e seguenti*.



Foto 14. Coincidenza delle zone indagate

Di seguito si riporta il metodo di rilevamento delle letture degli ultrasuoni adottato dalla Regione Toscana.

Il metodo prevede l'effettuazione di almeno **6 letture per ogni elemento strutturale**, suddivise in 2 distinte serie da 3 letture ciascuna su ciascun quadrante indagato.

Dopo l'effettuazione delle battute sclerometriche si eseguono le tre letture nel quadrante AA' e di seguito tre letture sul quadrante BB': posta sulla zona A la sonda trasmittente e sulla zona A' la sonda ricevente (sul lato opposto dell'elemento), si effettuano le tre letture dei tempi di attraversamento, poi, mantenendo le sonde su gli stessi lati dell'elemento strutturale, si procede con la misurazione nella seconda area (zona BB').

Le fasi di esecuzione saranno le seguenti:

*PRIMA SERIE zona da indagare AA'*

1. L'area individuata è la stessa dove è stata effettuata la prima serie di 12 battute sclerometriche e dove si effettuerà il prelievo del campione di cls da sottoporre a prova di compressione (nel caso di elemento strutturale sottoposto a prove sia distruttive che non distruttive).
2. Dopo aver eseguito le battute sclerometriche, si provvede a ritrattare la superficie con la mola abrasiva per renderla più possibile uniforme.
3. Spalmatura di vasellina sui trasduttori e sul calcestruzzo al fine di migliorare l'aderenza ed eliminare le micro asperità o vuoti che possono falsare la misura.
4. Posizionamento dei trasduttori:
  - **Primo accoppiamento**: centralmente all'area individuata per il carotaggio e lettura del tempo impiegato dall'onda ultrasonica nel giungere dal trasduttore emittente al trasduttore ricevente;
  - **Secondo accoppiamento**: lettura del tempo impiegato dall'onda nel giungere dal trasduttore emittente al trasduttore ricevente nello stesso punto del primo accoppiamento, dopo aver staccato le sonde, pulito lo strumento e ripristinato lo strato di vaselina;

- **Terzo accoppiamento:** lettura del tempo impiegato dall'onda nel giungere dal trasduttore emittente al trasduttore ricevente nello stesso punto del primo e secondo accoppiamento, dopo aver staccato le sonde, pulito lo strumento e ripristinato lo strato di vaselina.
- 5. Misurazione il più possibile precisa della sezione dell'elemento strutturale, ovvero della distanza tra i 2 trasduttori. Tale dato risulta, infatti, di fondamentale importanza ai fini della valutazione della resistenza del calcestruzzo indagato; calcolato il rapporto fra distanza e tempo medio d'attraversamento delle onde ultrasoniche (media sulle tre letture effettuate nel medesimo punto), consente di ricavare il corrispondente valore di velocità media  $V_m$ , sulla cui base viene stimata la resistenza suddetta.
- 6. Documentazione fotografica dell'elemento strutturale durante e dopo la prova, che mostri la segnatura sull'elemento stesso delle barre d'armatura con evidenziata la zona indagata e che comprovi in modo inequivocabile che l'area d'indagine è sempre stata la medesima per tutti i tipi di prova effettuati (sclerometro-ultrasuoni-carotaggio).

Nella medesima area dovrà essere effettuato, successivamente, il prelievo della carota.

#### *SECONDA SERIE zona da indagare BB'*

1. L'area BB' da indagare viene individuata nel passo staffe contiguo a quello dove si è individuata la zona AA' indagata in precedenza (1° ipotesi) – o nello stesso passo staffe dove è stata individuata la zona AA' (2° ipotesi)– comunque la zona deve essere la stessa dove è stata effettuata la seconda serie di 12 battute sclerometriche; in questa seconda zona verrà effettuata la sola prova non distruttiva (sclerometro ed ultrasuoni).
2. Dopo aver eseguito le battute sclerometriche, si provvede a ritrattare la superficie con la mola abrasiva per renderla uniforme.
3. Spalmatura di vasellina al fine di migliorare l'aderenza tra trasduttori e superficie di cls ed eliminare le micro asperità o vuoti che possono falsare la misura.
4. Posizionamento dei trasduttori:
  - **Primo accoppiamento:** centralmente all'area individuata dalla seconda serie di battute sclerometriche e lettura del tempo impiegato dall'onda nel giungere dal trasduttore emittente al trasduttore ricevente;
  - **Secondo accoppiamento:** lettura del tempo impiegato dall'onda nel giungere dal trasduttore emittente al trasduttore ricevente nello stesso punto del primo accoppiamento, dopo aver staccato le sonde, pulito lo strumento e ripristinato lo strato di vaselina;
  - **Terzo accoppiamento:** lettura del tempo impiegato dall'onda nel giungere dal trasduttore emittente al trasduttore ricevente nello stesso punto del primo e secondo accoppiamento, dopo aver staccato le sonde, pulito lo strumento e ripristinato lo strato di vaselina.
5. Misurazione il più possibile precisa della lunghezza netta del percorso che l'onda dovrà fare, cioè della distanza tra i 2 trasduttori.
6. Documentazione fotografica dell'elemento strutturale durante e dopo la prova, che mostri la segnatura sull'elemento stesso delle barre d'armatura con evidenziata la zona indagata e che comprovi in modo inequivocabile che l'area d'indagine è sempre stata la medesima per tutti i tipi di prova effettuati (sclerometro-ultrasuoni).

Nel caso in cui l'elemento strutturale indagato fornisca tempi di propagazione delle onde ultrasoniche eccessivamente alti, sarà necessario calcolare in situ il corrispondente valore della velocità e qualora questo risulti  $< 1500$  m/s, è richiesta la conferma dei dati con la ripetizione della prova, si dovrà inoltre segnalare il caso sulla scheda della R.T. tramite nota, riportando altresì le possibili cause ipotetiche o accertate.

L'effettuazione di tale prova con il metodo suddetto, 3+3 letture in due zone contigue, consente di controllare in itinere la validità dei tempi rilevati.

Infatti, a causa del valore puntuale del dato che si ottiene e dei limiti connessi alla stessa metodologia è possibile, rilevando zone particolarmente fessurate o deteriorate, ottenere valori non soddisfacenti, perché non rappresentativi della reale qualità del calcestruzzo. In questi casi, la seconda serie di letture permette di indagare una zona più ampia dell'elemento strutturale e quindi di confermare o smentire quanto emerso in prima analisi.

**È evidente che nel caso in cui le due serie di letture dovessero risultare particolarmente dissimili, sarà necessario scegliere un'ulteriore area d'indagine (ancora contigua alle precedenti) ed effettuare su questa la prova con lo sclerometro e una terza serie di letture con lo strumento ad ultrasuoni (zonaCC').** In questo modo sarà possibile stabilire con maggior chiarezza quale valore della velocità è davvero indicativo dell'effettiva resistenza del calcestruzzo esaminato.

**In tale caso, per l'effettuazione del prelievo della carota sarà il tecnico di laboratorio a scegliere tra le tre aree d'indagine quella che meglio può rappresentare la qualità del conglomerato, avendo cura di evitare di prelevare la carota nelle aree nelle quali si sono ottenuti valori dei tempi anomali o privi di significato ( $T < 1500$  m/s).**

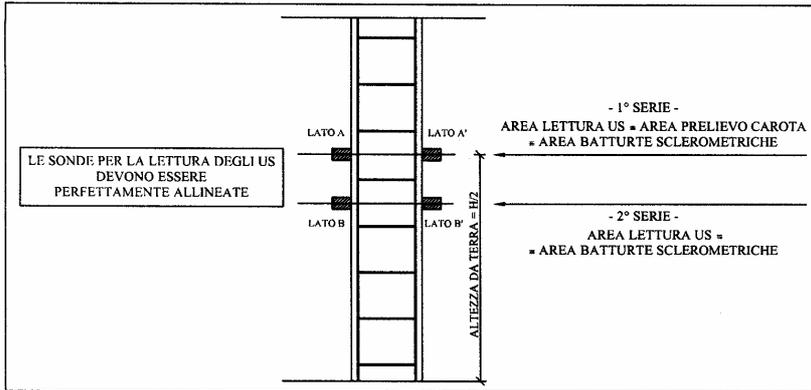
La scelta andrà motivata sulla scheda "Prove qualità calcestruzzo", fornendo tutti gli elementi necessari per consentire in fase interpretativa una corretta valutazione dei dati.

I controlli non distruttivi, mediante metodo combinato sclerometro-ultrasuoni, andranno effettuati su tutti gli elementi strutturali indicati nella *Tabella 1, All. F.*

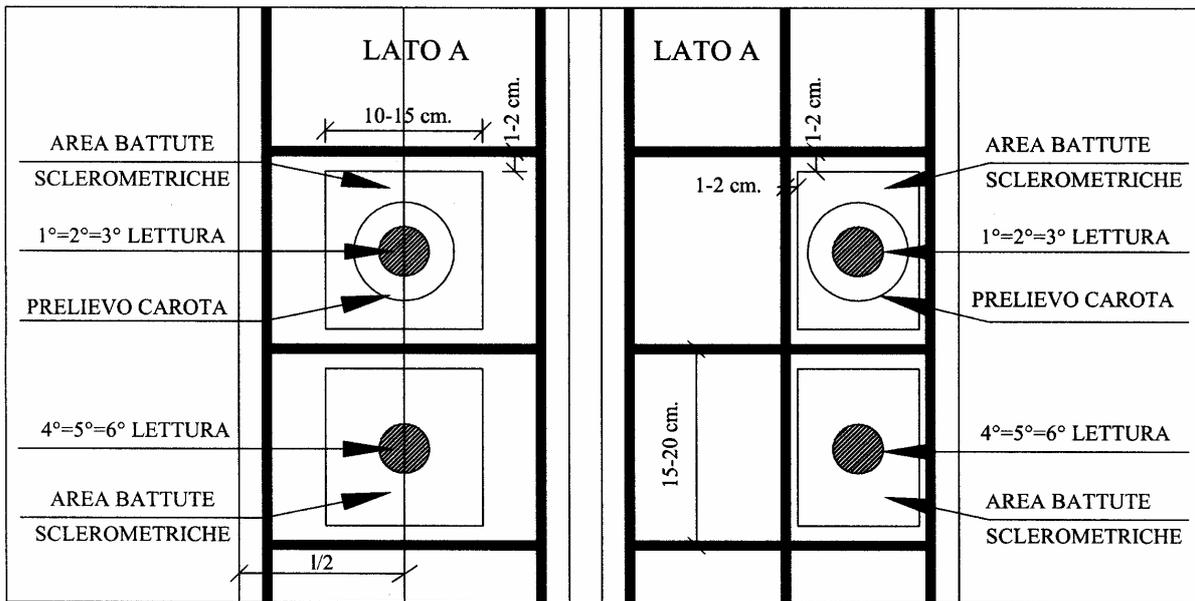
La valutazione della corretta esecuzione delle indagini sarà effettuata da tecnici regionali appositamente incaricati.

**Si sottolinea che l'Amministrazione competente provvederà ad effettuare al Laboratorio il pagamento degli oneri di spesa previsti, previo parere favorevole dell'Ente Regionale.**

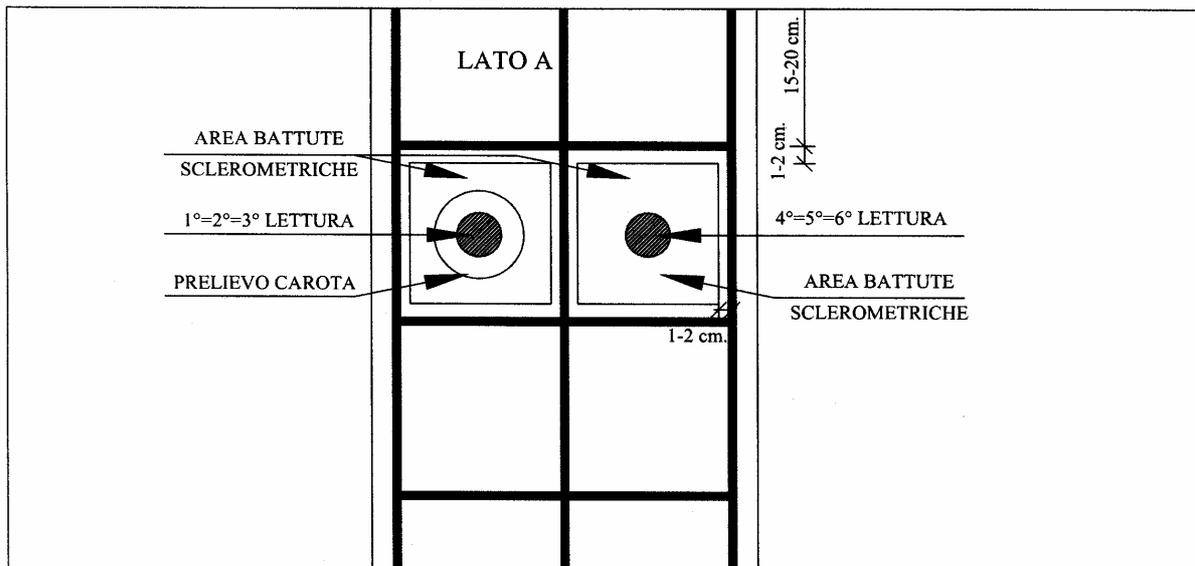
Fig. 2  
METODO SONREB R.T.



PROSPETTO LATERALE



PROSPETTO FRONTALE - 1° IPOTESI (situazione standard)



PROSPETTO FRONTALE - 2° IPOTESI  
(verificare dimensioni elemento strutturale e disposizione barre d'armatura)

## MODALITÀ D'ESECUZIONE DELLE PROVE

A CURA DEI TECNICI DEL LABORATORIO INCARICATO

### PROVE DISTRUTTIVE

#### METODO: CAROTAGGIO

Questa tipologia di prove prevede:

- Rilevazione della disposizione dei ferri d'armatura su entrambe le facce dell'elemento strutturale indagato mediante pacometro e loro segnatura sull'elemento stesso tramite gessetti o altro, come già precedentemente illustrato nelle modalità d'esecuzione delle prove non distruttive (cfr. All. E1).

Tale operazione deve essere eseguita sia per le barre longitudinali che per le staffe, valutando anche un'eventuale raffittimento del passo delle staffe ai nodi. La corretta esecuzione di tale fase operativa è legata all'esigenza di non incorrere nel taglio di porzioni di armature durante le operazioni di carotaggio.



Foto 15. Armature rilevate e carota

L'Ufficio regionale fornirà al riguardo le indicazioni ottenute, indicando nel programma delle indagini trasmesso all'Ente competente i dati contenuti nei progetti strutturali eventualmente reperiti e quanto rilevato nel corso dei sopralluoghi effettuati dagli stessi tecnici regionali. In occasione di tali sopralluoghi verrà verificata la corrispondenza degli elaborati di progetto con lo stato di fatto o, in assenza di elaborati tecnici, verranno eseguiti saggi in situ al fine di definire la quantità e la disposizione delle armature negli elementi da indagare. Si fa presente, tuttavia, che tali informazioni devono essere comunque verificate dai tecnici del Laboratorio con la strumentazione in loro possesso.

**Il verificarsi del taglio di porzioni d'armatura durante le operazioni di carotaggio, da comunicarsi tempestivamente all'Amm.ne competente ed all'Ufficio regionale S.S.R., comporterà la responsabilità del Laboratorio nel caso in cui l'armatura in oggetto si dovesse presentare nella parte più superficiale del pilastro, quindi facilmente rilevabile mediante pacometro.**

**Tale responsabilità comporterà la mancata corresponsione da parte dell'Amministrazione suddetta degli oneri di spesa previsti e l'obbligo per il Laboratorio di ripristino delle caratteristiche strutturali preesistenti.**

- I carotaggi, definiti in base ai sopralluoghi effettuali, ai risultati ottenuti dai saggi eseguiti sulla struttura e ai dati forniti dalle verifiche dello stato tensionale dei pilastri per soli carichi verticali (calcolo dei tassi di lavoro), vanno effettuati sugli elementi strutturali riportati nella tabella in *All. F.*

- Realizzazione di carotaggi con diametro di corona tale da garantire carote di diametro pari a circa 100mm (laddove le dimensioni geometriche della sezione lo consentano, anche in relazione alla disposizione dei ferri di armatura).

L'uso di corone con diametri minori dovrà essere concordato con l'Ufficio Regionale e comunque i campioni prelevati non dovranno avere un diametro netto di carota inferiore a 82÷85 mm. La scelta del diametro minimo da utilizzare sarà compiuta dal laboratorio anche in relazione alla dimensione degli inerti contenuti nel conglomerato, in modo da favorire il miglior rapporto diametro carota/diametro max inerte.

Si sottolinea pertanto la necessità per il Laboratorio di disporre di corone con diversi diametri da poter utilizzare, con intesa preventiva della R. T, a seconda delle necessità che si possono manifestare in cantiere.

- Prelievi di carote da parte a parte dell'elemento strutturale (**carota passante**) al fine di consentire un prelievo non disturbato.

Nel caso in cui non fosse possibile effettuare il prelievo, per il pericolo incorrere nel taglio di porzioni d'armatura, per le dimensioni notevoli del pilastro, per il rischio di rovinare con tale operazione dettagli architettonici o di arredo di particolare pregio o per le difficoltà operative del ripristino, e si rendesse necessario di estrarre una carota non passante, il Laboratorio è tenuto a sentire in merito i Tecnici dell'Ufficio Regionale. In alternativa si può valutare di procedere alla ricerca di un nuovo elemento strutturale sul quale fare il prelievo.

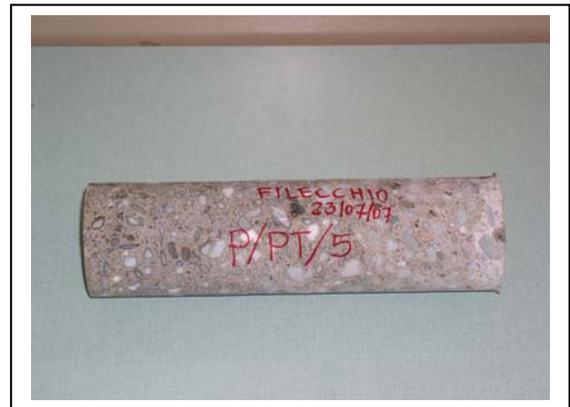


Foto 16. Carota estratta e sigla identificativa

Nel caso di prelievo non passante, si deve procedere con estrema cautela e decisione al momento della rottura, senza creare ulteriore situazione di stress per il campione e facendo in modo di ottenere il distacco della porzione di carota, praticando una leggera e decisa azione di leva sul bordo in vista, operazione che sarà fatta esclusivamente dai tecnici del Laboratorio.

Nel caso d'interruzione del provino, la foto della porzione estratta costituisce un documento importante al fine della valutazione della superficie di rottura.

- Effettuazione delle prove distruttive tramite carotatrice ad acqua a sola rotazione (e non a roto-percussione), con sistema di fissaggio del fusto della macchina direttamente sull'elemento strutturale così da ridurre lo stress del prelievo al minimo e limitare il più possibile le vibrazioni innescate, **con l'obbiettivo di ottenere una carota con diametro costante ad asse rettilineo.**

Si dovrà avere particolare attenzione ad impiegare una velocità moderata in modo che il campione non risulti disturbato e quindi non utilizzabile ai fini della prova di rottura.

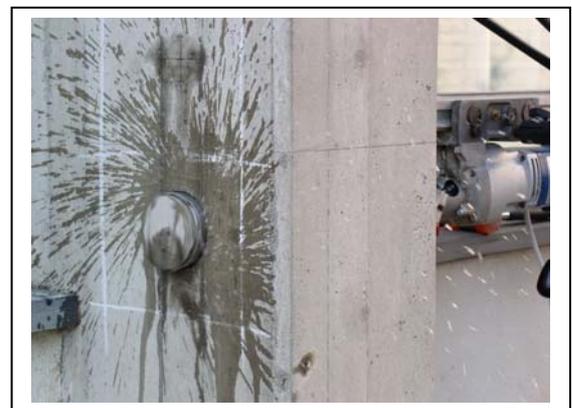


Foto 17. Carotatrice in azione

- Nel caso di pilastro armato con tre ferri longitudinali per lato, il laboratorio sarà informato della necessità di procedere all'estrazione di una carota eccentrica; la tabella F1 relativa al programma delle prove riporterà in corrispondenza al pilastro in oggetto una nota con indicazione “**carota eccentrica**”. Nel caso di elementi strutturali dalle dimensioni ridotte, nel procedere all'estrazione di una carota non centrata, il laboratorio sarà tenuto a scegliere, a parità di diametro netto di carota indicato dal programma, corone per carotatrici che consentano di ridurre in misura minore la sezione resistente dell'elemento strutturale, preservando quanto più possibile il materiale del pilastro.
- Prelievo dei campioni di cls da parte dei Tecnici del Laboratorio secondo modalità predefinite, al fine di evitare che questi risultino disturbati e quindi non utilizzabili al fine della prova a rottura;
- Esecuzione delle prove a rottura e rilascio delle relative certificazioni, presso il Laboratorio autorizzato.

Le fasi di esecuzione dei carotaggi saranno le seguenti:

1. Preparazione degli elementi strutturali come indicato nell'*All. E*;
2. Rilevazione della disposizione dei ferri d'armatura, secondo le modalità definite nell'*All. E.1*;
3. **Individuazione della zona sulla quale effettuare il prelievo secondo le modalità definite nell'*All. E.1***, ovvero al centro del quadrante compreso tra due staffe consecutive e coincidente con la zona posta ad  $h/2$  dell'elemento strutturale, già indagata con lo sclerometro e con lo strumento ad ultrasuoni.  
Si ricorda che, nel caso in cui il tecnico del laboratorio durante la prova ad ultrasuoni, ritenga opportuno di procedere all'individuazione di una terza area (per l'incongruenza dei valori forniti dalle prime due serie di letture effettuate), la scelta della zona sulla quale effettuare il prelievo della carota sarà responsabilità del tecnico di laboratorio. Questi sceglierà quale area, fra le tre indagate con prova non distruttiva, possa meglio rappresentare la qualità del conglomerato e motiverà tale scelta sulla scheda “*Prove qualità calcestruzzo*”, fornendo tutti gli elementi necessari per consentire in fase interpretativa la corretta valutazione dei dati.  
Ovviamente, il carotaggio sarà effettuato in zone non eccessivamente sollecitate, in modo da limitare le conseguenze dovute a un inevitabilmente indebolimento della sezione; inoltre la scelta di zone meno armate, con ferri longitudinali la cui disposizione sia facilmente individuabile, consentirà di non incorrere nel taglio di porzioni di armatura.
4. Documentazione fotografica della zona che compri in modo inequivocabile che l'area indagata è la medesima di quella interessata precedentemente dal Metodo Sonreb (n° 1 foto).
5. Esecuzione del carotaggio da parte dei Tecnici di Laboratorio mediante uso di apposita carotatrice ad acqua a sola rotazione, senza percussione.
6. Realizzazione di fotografie nel corso dell'operazione (n° 1 foto).
7. Cauta estrazione da parte dei Tecnici di Laboratorio del campione di cls, protezione, conservazione e trasporto fino al Laboratorio.
8. Classificazione della carota da parte dei Tecnici mediante chiara segnatura sulla superficie del codice identificativo riportato in *All. F - Tabella 2* e identificazione della parte alta della carota, nonché del senso di entrata della corona diamantata, ad esempio mediante delle frecce.
9. Per ogni carota estratta, realizzazione in cantiere di almeno 1 fotografia che consenta di evidenziare le dimensioni degli inerti, le eventuali asperità, fessurazioni e altro.
10. Compilazione da parte dei Tecnici della scheda “*Prove-Qualità-Materiali*” fornita dalla Regione Toscana.
11. Ripristino del foro, da parte dell'Impresa coinvolta dall'Ente proprietario, mediante uso di malta antiritiro.

La miscela va pressata all'interno del foro, previa pulizia dello stesso in modo da garantire la perfetta integrazione dei due getti, con idonei mezzi al fine di ottenere il miglior risultato.

12. Trasporto dei campioni da parte dei Tecnici del Laboratorio e documentazione fotografica prima dell'esecuzione delle prove, al fine di poterle confrontare con quelli di cui al precedente punto 9.

13. Misurazione della velocità degli ultrasuoni sulle carote in condizioni di equilibrio ambientale (umidità compresa fra il 37% e il 50%).

In tal modo sarà possibile fare una correlazione tra la velocità effettuata in situ sul pilastro e quella effettuata sulla carota prelevata nella stessa area nella quale è stato eseguito precedentemente il Metodo combinato Sonreb. Sarà, inoltre, un ulteriore strumento per valutare l'omogeneità dei dati raccolti con le differenti tipologie di prove.

L'assenza di tale correlazione può essere indicativa dei seguenti fattori:

- alterazione del percorso compiuto dall'onda ultrasonica in situ a causa di fattori perturbativi;
- alterazione del campione prelevato durante le operazioni di estrazione e trasporto in laboratorio.

14. Prove di compressione secondo la norma UNI 6132 da parte del Laboratorio.

15. Realizzazione di fotografie durante e dopo l'esecuzione della prova a compressione.

16. Rilascio del certificato.

Si sottolinea l'importanza che il prelievo del campione venga effettuato esattamente nella stessa area precedentemente indagata con le battute sclerometriche e con gli ultrasuoni, e che tale corrispondenza sia verificabile tramite la documentazione fotografica.

La valutazione della corretta esecuzione delle indagini sarà effettuata da tecnici regionali appositamente incaricati.

**Si sottolinea che l'Amministrazione competente provvederà ad effettuare al Laboratorio il pagamento degli oneri di spesa previsti, previo parere favorevole dell'Ente Regionale.**

Ottenendo i dati per le tre differenti prove sempre sulla stessa area d'indagine, sarà possibile confrontare i risultati ottenuti con le diverse metodologie d'indagini.

La documentazione fotografica effettuata sia in situ che in Laboratorio dovrà essere raccolta in CD-rom e consegnata all'Ufficio Regionale, ma una selezione delle stesse dovrà essere consegnata stampata su carta fotografica o stampata da file.

Si evidenzia l'importanza della documentazione fotografica quale utile strumento a posteriori per poter fare delle valutazioni sulla qualità del calcestruzzo, avvalorate dall'esame visivo e da particolari condizioni che si possano riscontrare sugli elementi strutturali sia prima che dopo l'esecuzione delle prove.

Talvolta, infatti, elementi che ad un primo esame visivo non rivelano particolari situazioni da segnalare, possono dare risultati imprevisti od incongruenti, che una buona documentazione fotografica può aiutare a meglio comprendere.

Si rammenta, infine, all'Amm. Comunale e/o Provinciale la necessità di **richiedere immediatamente i fori delle carote** per evitare di sottoporre ad ulteriore stress gli elementi strutturali indagati.

## MODALITÀ D'ESECUZIONE DELLE PROVE

A CURA DEI TECNICI DEL LABORATORIO INCARICATO

### PROVA DELLA PROFONDITA' DI CARBONATAZIONE

La prova, da eseguire in seguito a prova distruttiva sulla carota appena estratta, mira a verificare la profondità di carbonatazione del calcestruzzo.

La carbonatazione del conglomerato cementizio, in condizioni normali avviene in alcuni anni e interessa lo strato superficiale di copriferro.

Questo fenomeno determina un abbassamento del pH dell'ambiente in cui si trovano le armature metalliche, favorendo il processo di corrosione; se la carbonatazione interessa gli strati più interni del copriferro, la diffusa ossidazione delle armature può determinare un aumento di volume delle stesse, con conseguente espulsione del copriferro.



Foto 18. Degrado superficiale trave

Un'ulteriore conseguenza della carbonatazione superficiale del calcestruzzo è l'aumento della durezza superficiale del copriferro interessato dal fenomeno, al quale però non corrisponde un aumento della capacità resistente del materiale.

Il dato ottenuto dalla prova può quindi fornire utili indicazioni per:

- *comprendere l'attendibilità del dato ottenuto dalla prova sclerometrica*
- *ricavare un provino escludendo le estremità della carota colpite dal fenomeno di carbonatazione.*

Infatti, sia il dato ottenuto dalla prova sclerometrica su superficie colpita da carbonatazione, che quello ottenuto dalla prova a compressione eseguita su un provino con estremità carbonatate, possono essere considerati poco attendibili.

Operando il confronto fra i valori di resistenza ottenuti da prove distruttive e non distruttive, quando la resistenza correlata ottenuta da prova indiretta risulta sensibilmente superiore rispetto a quella ottenuta con prova distruttiva, è frequente verificare che è proprio il contributo fornito dalla prova sclerometrica ad alterare il dato di resistenza finale del calcestruzzo. In particolare, se il valore dell'indice di rimbalzo risulta sensibilmente alto a fronte di velocità di attraversamento delle onde ultrasoniche tipiche di resistenze del calcestruzzo medio basse, probabilmente l'indice di rimbalzo sclerometrico è falsato dalla carbonatazione superficiale del calcestruzzo.

L'esecuzione della prova verrà effettuata secondo le seguenti fasi:

1. Preparazione della sostanza reagente, secondo UNI 9944, come soluzione di fenolftaleina all'1% in alcole etilico.
2. Taglio della carota, secondo UNI 3161 e indicazioni contenute nelle Istruzioni Tecniche (*All. E2*)
3. La superficie laterale della carota è liberata dalle polveri e spruzzata con la soluzione reagente.
4. La fenolftaleina vira al rosso vivo al contatto con materiale con  $\text{pH} \geq 9.2$ , mentre rimane incolore per  $\text{pH}$  minori (zona carbonatata).
5. Il trattamento può essere ripetuto se la colorazione del materiale appare debole.



Foto 19. Estremità carota trattata con fenolftaleina

Nel riportare sul certificato la profondità di carbonatazione, questa deve essere specificata con precisione di 1mm.

- se il fronte di carbonatazione appare continuo e regolare, sarà riportata la profondità  $d_k$ ;
- se il fronte appare variabile fra profondità differenti, sarà riportata la profondità media  $d_k$  e la massima  $d_{kmax}$ ;
- se il fronte presenta singolari picchi di profondità molto maggiori rispetto alla media  $d_k$ , questi saranno indicati riportandone la profondità massima  $d_{kmax}$ , ma saranno esclusi nel calcolo della profondità media.

## PROGRAMMA DELLE INDAGINI SUI MATERIALI

In base alla tabella riportata in allegato, il Soggetto incaricato della stesura del Programma d'indagine dovrà dare indicazione per ogni piano degli elementi oggetto d'indagine.

**TABELLA 1****TABELLA RIASSUNTIVA DELLE PROVE PREVISTE**

<b>Numero d'ordine</b>	<b>N° PIANO</b>	<b>N° PILASTRO</b>	<b>N° TRAVE</b>	<b>TIPO DI PROVA DA EFFETTUARE</b>	<b>CODICE IDENTIFICATIVO</b>	<b>NOTE</b>
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						

**TABELLA 2****LEGENDA PER LA COLONNA CODICE IDENTIFICATIVO:**

<b>DESCRIZIONE</b>	<b>CODICE</b>	<b>SIGNIFICATO</b>
<b>Elemento strutturale:</b>	<b>P</b>	<b>Pilastro</b>
	<b>T</b>	<b>Trave</b>
<b>Piano cui si effettua la prova:</b>	<b>SI</b>	<b>Seminterrato</b>
	<b>T</b>	<b>Terra</b>
	<b>1 (2, 3)</b>	<b>Primo (Secondo, Terzo)</b>
	<b>ST</b>	<b>Sottotetto</b>
<b>Numero di pilastro o trave, come da elaborato</b>	<b>1 (2, 3..)</b>	<b>Numero di pilastro o trave</b>
<b>Metodo di prova:</b>	<b>C</b>	<b>Carotaggio</b>
	<b>SO</b>	<b>Sonreb</b>

**PIANTE DELL'EDIFICIO CON PROVE PREVISTE**

I dati contenuti nella tabella in *All. F* dovranno essere visualizzati sulle piante dell'edificio, riprodotte per ogni piano in formato A4, mediante indicazione dell'elemento strutturale da indagare e sua definizione con codice identificativo, indicazione del verso di effettuazione del Metodo Sonreb e d'ingresso della carota, distinzione degli elementi indagati per fasi successive (I fase delle indagini, eventuale II fase, eventuale estensione)

**SCHEDA R. T. “PROVE QUALITÀ CALCESTRUZZO”**

La corretta e completa compilazione da parte dei tecnici del Laboratorio incaricato dell'esecuzione delle prove di tale elaborato, di seguito riportato, risulta di fondamentale importanza per avere un quadro esauriente di tutti quegli elementi che concorrono nella definizione della resistenza del calcestruzzo.

**La mancata e/o errata e/o confusa compilazione della scheda da parte dei tecnici del Laboratorio incaricato, comporta la non corresponsione degli oneri di spesa relativi sia alle indagini in situ che alle prove di Laboratorio.**

La scheda è stata redatta dal Servizio Sismico Regionale sulla base delle esperienze maturate nelle precedenti campagne d'indagine ed è reperibile presso i propri uffici oppure consultando il sito Internet della R.T.



<b>ZONA DI INDAGINE</b>	<b>A</b>		<b>LATO DELL'ELEMENTO STRUTTURALE</b>	<b>1</b>
-------------------------	----------	--	---------------------------------------	----------

VALORI INDICI DI RIMBALZO PROVA SCLEROMETRICA

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Indici di rimbalzo scartati	Scarto quadratico medio	Indice di rimbalzo medio													
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:10%; text-align:center;">MAX</td> <td style="width:10%;"></td> <td style="width:10%; text-align:center;">MIN</td> </tr> </table>	MAX										MIN	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:100%; height: 20px;"></td> </tr> </table>		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:100%; height: 20px;"></td> </tr> </table>	
MAX										MIN					

<b>ZONA DI INDAGINE</b>	<b>A'</b>		<b>LATO DELL'ELEMENTO STRUTTURALE</b>	<b>2</b>
-------------------------	-----------	--	---------------------------------------	----------

VALORI INDICI DI RIMBALZO PROVA SCLEROMETRICA

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Indici di rimbalzo scartati	Scarto quadratico Medio	Indice di rimbalzo medio													
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:10%; text-align:center;">MAX</td> <td style="width:10%;"></td> <td style="width:10%; text-align:center;">MIN</td> </tr> </table>	MAX										MIN	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:100%; height: 20px;"></td> </tr> </table>		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:100%; height: 20px;"></td> </tr> </table>	
MAX										MIN					

<p>TEMPO ULTRASUONI [<math>\mu</math> SEC]</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; text-align:center;"> <tr> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td> </tr> <tr> <td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td> </tr> </table>	1	2	3	4	5	6							<p>DISTANZA TRA LE SONDE [CM] : _____</p> <p style="text-align:right;"><b>Velocità Media</b></p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:100%; height: 20px;"></td> </tr> </table>	
1	2	3	4	5	6									

Note sulla lettura degli ultrasuoni

<b>ZONA DI INDAGINE</b>	<b>B</b>		<b>LATO DELL'ELEMENTO STRUTTURALE</b>	<b>1</b>
-------------------------	----------	--	---------------------------------------	----------

VALORI INDICI DI RIMBALZO PROVA SCLEROMETRICA

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Indici di rimbalzo scartati	Scarto quadratico Medio	Indice di rimbalzo medio													
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:10%; text-align:center;">MAX</td> <td style="width:10%;"></td> <td style="width:10%; text-align:center;">MIN</td> </tr> </table>	MAX										MIN	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:100%; height: 20px;"></td> </tr> </table>		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:100%; height: 20px;"></td> </tr> </table>	
MAX										MIN					

<b>ZONA DI INDAGINE</b>	<b>B'</b>		<b>LATO DELL'ELEMENTO STRUTTURALE</b>	<b>2</b>
-------------------------	-----------	--	---------------------------------------	----------

VALORI INDICI DI RIMBALZO PROVA SCLEROMETRICA

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Indici di rimbalzo scartati	Scarto quadratico Medio	Indice di rimbalzo medio													
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:10%; text-align:center;">MAX</td> <td style="width:10%;"></td> <td style="width:10%; text-align:center;">MIN</td> </tr> </table>	MAX										MIN	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:100%; height: 20px;"></td> </tr> </table>		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:100%; height: 20px;"></td> </tr> </table>	
MAX										MIN					

<p>TEMPO ULTRASUONI [<math>\mu</math>SEC]</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; text-align:center;"> <tr> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td> </tr> <tr> <td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td> </tr> </table>	1	2	3	4	5	6							<p>DISTANZA TRA LE SONDE [CM] : _____</p> <p style="text-align:right;"><b>Velocità Media</b></p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:100%; height: 20px;"></td> </tr> </table>	
1	2	3	4	5	6									

Note sulla lettura degli ultrasuoni

TIPO SCLEROMETRO: _____	TIPO ULTRASUONI: _____
-------------------------	------------------------

DATI PRELIEVO CAROTA

TIPO CAROTATRICE : \_\_\_\_\_ Ø LORDO CORONA: CM \_\_\_\_\_ Ø NETTO CAROTA: CM \_\_\_\_\_  
 N° GIRI/MIN: \_\_\_\_\_ TEMPO IMPEGATO: MIN. \_\_\_\_\_ / PROFONDITÀ DI CARBONATAZIONE: CM \_\_\_\_\_

<b>Tipo di prelievo</b>	<input type="checkbox"/> carota orizzontale <input type="checkbox"/> carota verticale	<input type="checkbox"/> passante <input type="checkbox"/> non passante	<b>LUNGHEZZA CAROTA</b> _____ rottura della carota _____
-------------------------	--	--	---

CONDIZIONI DEL PROVINO DI C.L.S. DOPO L'ESTRAZIONE	QUALITÀ (DA ESAME VISIVO) DEL CLS DEL PROVINO	TIPOLOGIA DI INERTI DEL PROVINO
<input type="checkbox"/> superficie liscia <input type="checkbox"/> superficie disturbata <input type="checkbox"/> rottura di n. _____ ferri <input type="checkbox"/> presenza di lesioni longitudinali superficiali <input type="checkbox"/> presenza di lesioni longitudinali passanti	<input type="checkbox"/> cls friabile <input type="checkbox"/> cls resistente aderenza matrice inerte <input type="checkbox"/> Buona <input type="checkbox"/> Scarsa <input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> dimensioni massima inerte cm _____ <input type="checkbox"/> dimensioni media inerte cm _____ <input type="checkbox"/> ciottoli di fiume <input type="checkbox"/> inerte di cava <input type="checkbox"/> _____

## ISTRUZIONI PER LA COMPILAZIONE DELLA SCHEDA

- **Numerazione scheda:** numero progressivo determinato dalla squadra dei tecnici rilevatori. La numerazione procederà dal piano più basso a quello più alto.
- **Data di effettuazione della prova.**
- **Nome dell'operatore e indicazione dello strumento adoperato per effettuare la prova (tipo e marca):** La battuta sclerometrica e la lettura della velocità ultrasonica vengono eseguite su una superficie resa omogenea e uniforme dall'uso di molatura manuale. Lo sclerometro verrà disposto con un angolo pari a 0° rispetto all'orizzontale. L'angolazione con la quale si effettua la prova è determinante; infatti, angolazioni diverse danno valori diversi, quindi, è necessario mantenere la stessa angolazione per tutta la serie di battute, onde evitare disomogeneità dei dati. Lo strumento è appoggiato alla superficie da provare con l'asta di percussione in posizione di massima estensione; l'asta di percussione viene pressata contro la superficie da provare. Al momento in cui si raggiunge il fine corsa dell'asta, dentro il fusto dello sclerometro si ha il colpo di martello della massa battente; si ha l'indicazione su scala graduata del ritorno del martello in percento dello spostamento iniziale prima dell'urto. Al fine di ottenere buoni risultati, è necessario effettuare la battuta con cura, assicurandosi di mantenere per le dodici battute la posizione corretta ed evitare la sovrapposizione delle battute nello stesso punto e di colpire gli inerti o le zone in prossimità delle armature. La lettura della velocità degli ultrasuoni all'interno dell'elemento strutturale verrà effettuata dopo aver misurato la distanza netta che le onde acustiche percorreranno nel mezzo; tale spessore andrà impostato sullo strumento. Si spalmerà della vaselina sulle zone dove andranno poste le sonde per migliorare la superficie di contatto e limitare al minimo le discontinuità presenti. Si ricorda che queste ultime disturbano in modo determinante la lettura dei dati. Si posizioneranno in modo stabile (per il tempo delle letture) le due sonde sulle facce opposte dell'elemento e si registreranno le letture delle velocità leggibili sul display dello strumento.
- **Ulteriori indagini effettuate:** Se sullo stesso elemento sono state effettuate in precedenza altre prove di qualità, indicare il tipo di prova e il numero di scheda relativo.
- **Strumento adoperato per rimozione intonaco:** indicazione del tipo di attrezzo (manuale o meccanico) utilizzato per rimuovere lo strato di intonaco o altro materiale posto a ricoprire l'elemento strutturale e per la molatura della superficie del cls fino a riportarla in condizioni di liscivia omogenea.

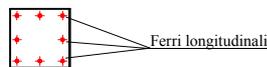
### DATI DELL'ELEMENTO STRUTTURALE

- **Piano al quale viene effettuata la prova:** dati relativi al piano dove si trova l'elemento.
- **Foto:** fotografie scattate all'elemento e indicate sulla planimetria dei punti di presa fotografici. Il numero riportato sarà riferito all'allegata scheda di documentazione fotografica.
- **Codice elemento:** indicazione della codifica dell'elemento. Elemento strutturale: P = Pilastro, T = Trave. Piano cui si effettua la prova: SI = Seminterrato, T = Terra, 1 = Primo, ..., ST = Sottotetto. Numero di pilastro o trave: come da elaborato strutturale. Metodo di prova: C = Carotaggio, SO = Sonreb ES.; P/1/23/SO = Pilastro (P); Piano primo (1); Numero dell'elemento da planimetria strutturale (23); Tipo di prova effettuata: Sonreb (SO).
- **Dati sull'elemento strutturale (PILASTRO):** indicazione del numero dell'elemento in esame con la stessa numerazione riportata sulla planimetria strutturale; Sarà specificata la posizione dell'elemento in pianta (interno, esterno o esterno d'angolo); dopo aver rilevato l'armatura del pilastro tramite pacometro; le altezze da terra del baricentro di ognuna delle zone d'indagine di cui sopra. **Foto:** particolari della zona indagata da eseguire dopo la prova. Il numero riportato sarà riferito all'allegata scheda di documentazione fotografica.
- **Dati sull'elemento strutturale (TRAVE):** indicazione del numero dell'elemento in esame con la stessa numerazione riportata sulla planimetria strutturale; Sarà specificata la posizione dell'elemento in pianta (di bordo, interno); le dimensioni dell'elemento strutturale; le dimensioni delle zone di indagine individuate sul lato A dopo aver rilevato l'armatura del pilastro tramite pacometro; distanze dagli appoggi di ognuna delle zone d'indagine (di norma a 1/4 o 1/5 della luce della trave). **Foto:** particolari della zona indagata da eseguire dopo la prova. Il numero riportato sarà riferito all'allegata scheda di documentazione fotografica.
- **Zona di indagine:** sono indicate schematicamente due zone di indagini, per il lato 1 e due per il lato 2 dell'elemento strutturale (Pilastro o Trave). Le letture degli ultrasuoni vanno effettuate, per trasmissione diretta in almeno due zone che possono essere disposte orizzontalmente o verticalmente, come indicato graficamente nella scheda.

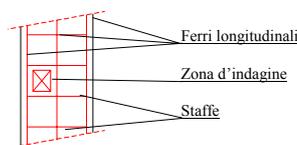
### SEZIONE DELL'ELEMENTO STRUTTURALE E ARMATURE

- **Sezione:** dimensioni dell'elemento strutturale in esame – in pianta per i pilastri e in sezione per le travi – ed eventuali schemi.
- **Armature:** in seguito al rilevamento dell'armatura dell'elemento strutturale tramite strumento idoneo, e all'indicazione sullo stesso tramite gessetti colorati o altro dei ferri longitudinali e delle staffe, è possibile determinare il passo delle staffe e il copriferro; il diametro dei ferri laddove lo strumento ne permetta la misurazione; la posizione dei ferri in pianta in riferimento allo strutturale. Laddove è possibile, verificare il rilevamento dei ferri ottenuto con lo strumento con i dati del progetto o con limitati saggi distruttivi. Da eseguire una foto del particolare.

SEZIONE



PROSPETTO



- **Condizioni di prova, dello strato superficiale di cls e dell'inerte:** Si ricorda che l'uso del solo metodo sclerometrico comporta delle percentuali di incertezza, rispetto ai valori reali di resistenza del cls, pari circa al  $\pm 30\%$ . Il metodo, infatti, fornisce una misura della durezza superficiale del cls attraverso un indice di rimbalzo, quindi i dati forniti sono fortemente influenzati dallo stato di carbonatazione dello strato superficiale di cls, dovuto alla presenza di umidità, dal grado di invecchiamento della struttura, dalla presenza di lesioni, da inerti affioranti subito al di sotto dello strato di latune cementate e dalla loro tipologia. E' quindi di fondamentale importanza rimuovere lo strato superficiale di cls.

### VALORI INDICI DI RIMBALZO

Le istruzioni seguenti valgono per le quattro zone di indagine e per entrambi i lati dell'elemento strutturale su cui vanno effettuate le battute sclerometriche e le letture delle velocità degli ultrasuoni.

- **Numero battute:** nella tabella devono essere inseriti i valori ottenuti dalle dodici battute sclerometriche
- **Indici di rimbalzo scartati:** nelle due caselle saranno inseriti rispettivamente il valore più alto ottenuto con le battute sclerometriche, ed il valore più basso che saranno scartati dalla serie delle dodici battute
- **Indice di rimbalzo medio:** nella casella sarà indicato il valore medio ottenuto dalle dieci battute, avendo precedentemente scartato la più alta e la più bassa rilevate.
- **Scarto quadratico medio:** nella casella sarà indicato il valore ottenuto dalla formula dello scarto quadratico medio  $s_n$  per poter verificare di quanto gli  $n=10$  valori degli indici di rimbalzo ( $g_i$ ) si discostano dal valore medio  $g_{mn}$

$$s_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (g_i - g_{mn})^2}{n-1}}$$

### VALORI VELOCITA' ULTRASUONI

- **Numero Letture:** nella tabella devono essere inseriti i valori ottenuti dalle letture effettuate
- **Distanza tra le sonde:** la misura può essere indicata in cm, in caso contrario deve essere specificata l'UM usata.
- **Velocità media:** nel certificato sarà indicato il valore medio ottenuto dalle letture in m/s.

### TIPO CAROTATRICE

- **Strumento adoperato per effettuare il prelievo:** la carotatrice dovrà essere del tipo ad acqua solo a rotazione, senza percussione, il diametro della carota sarà deciso d'intesa tra l'impresa e i tecnici del Laboratorio in base alla disposizione dei ferri rilevata mediante pacometro e in base al criterio generale che il diametro del provino estratto deve essere maggiore di tre volte la dimensione massima dell'inerte. In generale, le operazioni di carotaggio andranno concordate congiuntamente dai tecnici del Laboratorio e dell'impresa. Saranno inseriti, quindi, i dati relativi al diametro lordo e netto della corona diamantata, il numero di giri al minuto e il tempo impiegato per l'operazione di carotaggio.
- **Tipo di prelievo:** la direzione di perforazione può produrre danni. Una perforazione perpendicolare alla direzione del getto produce una diminuzione di resistenza variabile tra il 5% e l'8% per conglomerato avente  $R_{ck} = 250 \text{ Kg/cm}^2$ ; è praticamente nulla per  $R_{ck} = 400 \text{ kg/cm}^2$ . Una perforazione in direzione parallela a quella di getto comporta riduzioni minori. Inoltre è necessario specificare se la carota è passante o non passante. Le carote non si devono fratturare durante il prelievo, il trasporto in laboratorio, fino al trattamento ai fini della prova. Dopo l'estrazione la carota, con le dovute cautele, sarà protetta e conservata fino alla consegna ai tecnici del Laboratorio. Sarà indicata anche la lunghezza della carota.
- **Condizioni e qualità del provino di c.l.s. all'estrazione e tipologia degli inerti:** la presenza di spezzoni di armatura nel provino contribuisce a diminuire la resistenza misurata sulla carota, in misura non ben quantizzabile; è pertanto da evitare il prelievo di carote che inglobino spezzoni di armatura. Quando si taglia il materiale di inerte piccolo si formano inevitabilmente elementi ancora più piccoli lungo il contorno della sezione che vengono espulsi a fronte di una sollecitazione di compressione della carota. Di conseguenza, la sezione resistente viene privata del materiale espulso e quindi la tensione specifica di rottura si riduce. Quando il materiale ha inerti di grossa pezzatura non si producono danni poiché le parti in pietra tagliate sono ancora ben legate al nucleo centrale con notevole quantità di malta e non si distaccano al momento della compressione. Resta così invariata la sezione del provino.



## **TASSI DI LAVORO**

La scelta degli elementi da carotare sarà eseguita previa verifica del tasso di lavoro per carichi verticali e aree di influenza dei pilastri. A tal fine si procederà all'individuazione delle caratteristiche geometriche e delle tipologie costruttive dell'edificio in modo da poter effettuare il calcolo dei pesi propri e accidentali.

Per tale operazione può essere utilizzato un foglio di calcolo Excel, ponendo come input l'analisi dei carichi, i dati dimensionali degli elementi strutturali e il valore  $R_{ck}$  presunto per il calcestruzzo, in prima analisi, non disponendo del valore di resistenza effettivo del calcestruzzo, viene assunto il valore minimo previsto dalla normativa vigente all'epoca della costruzione; come output, il tasso di lavoro espresso in percentuale rispetto alla tensione ammissibile.

Non vengono effettuate prove dirette su elementi strutturali caratterizzati da un valore del tasso di lavoro  $>60-70\%$  della tensione ammissibile.

### **3.1. FASE DI INTERPRETAZIONE DEI DATI**

*ALL. L*

#### **COPIA DEL CERTIFICATO DI LABORATORIO**

Tale documento viene rilasciato all'Amministrazione committente dal Laboratorio incaricato dell'esecuzione delle prove.

**INTERPRETAZIONE ED ELABORAZIONE  
DEI DATI DI PROVA**

Per ogni aggregato strutturale oggetto di indagini, l'interpretazione dei dati di prova viene compiuta distinguendo i dati per ogni edificio costituente l'aggregato strutturale e per ogni piano dello stesso. I dati prodotti saranno ordinati e analizzati sulla base del valore di resistenza caratteristica ottenuto, evidenziando gli elementi strutturali che presentano valori di  $R_{ck} < 150 \text{ kg/cm}^2$ ; i valori relativi alle diverse metodologie d'indagine andranno confrontati rilevando:

- per le prove indirette: elevati valori di deviazione standard nelle letture ultrasoniche e sclerometriche;
- per le prove dirette: rapporto diametro provino/diametro max inerte, peso specifico, snellezza dei provini.
- L'esistenza o meno di omogeneità e coerenza tra i dati ottenuti dal metodo indiretto e quelli derivanti dal metodo diretto;

In riferimento a quanto affermato relativamente ai limiti delle prove e dell'interpretazione delle indagini sul calcestruzzo, si riportano di seguito le formulazioni presenti in letteratura tecnica per l'elaborazione dei dati forniti dal Laboratorio esecutore delle prove, al fine di giungere alla determinazione del valore di Resistenza del cls proprio dell'edificio indagato.

*ALL. M.1*

**METODO INDIRETTO (SONREB) – ACCOPPIAMENTO SCLEROMETRO E ULTRASUONI**

Tale prova deve essere effettuata nella stessa zona destinata al prelievo della carota e tale corrispondenza deve essere verificabile tramite documentazione fotografica.

L'applicazione di tale metodo consente di ricavare, per ogni singola zona di cui si vuole esaminare il valore di resistenza del calcestruzzo, il valore locale della velocità di propagazione di impulsi ultrasonici e dell'indice di rimbalzo dello sclerometro. Ogni singola area omogenea viene così individuata dalla coppia di valori assunti nella forma del valore medio per ovviare all'effetto delle fluttuazioni naturali:

- velocità di propagazione
- indice di rimbalzo

La coppia di valori medi ottenuti permette di entrare in un grafico sperimentale di correlazione, costituito da famiglie di curve di iso-resistenza in un piano con  $n$  (indice di rimbalzo) in ordinata e  $V_1$  (velocità di propagazione) in ascissa.

Esistono in bibliografia tecnica almeno tre differenti formulazioni corrispondenti alle curve di iso-resistenza, dalle quali dati i valori di  $V$  (velocità media di propagazione degli ultrasuoni) e  $S$  (indice medio di rimbalzo) si ottiene il valore di resistenza  $R_c$  del calcestruzzo:

- **ARTICOLO J. GASPARIRIK**, "Prove non distruttive in edilizia", Quaderno didattico A.I.P.N.D., Brescia 1992  
 $R_{c1} = 0.0286 * S^{1,246} * V^{1,85}$  (con  $R_c$  in N/mm<sup>2</sup> e  $V$  in Km/sec)

- **ARTICOLO A. DI LEO, G. PASCALE**, “*Prove non distruttive sulle costruzioni in cemento armato*“, Convegno Sistemea Qualità e Prove non Distruttive per l’Affidabilità e la Sicurezza delle Strutture Civili, Bologna, Saie ’94, 21 ottobre 1994

$$R_{c2} = 1.2 * 10^{-9} * S^{1.058} * V^{2.446} \quad (\text{con } R_c \text{ in N/mm}^2 \text{ e } V \text{ in m/sec})$$

- **ARTICOLO R. GIACCHETTI, L. LACQUANITI**, “*Controlli non distruttivi su impalcati da ponte in calcestruzzo armato*” Nota tecnica 04, 18980, Università degli Studi di Ancona, Facoltà di Ingegneria, Istituto di Scienza e Tecnica delle Costruzioni

$$R_{c3} = 7,695 * 10^{-10} * S^{1.4} * V^{2.6} \quad (\text{con } R_c \text{ in Kg/cm}^2 \text{ e } V \text{ in m/sec})$$

in cui:

V = Velocità di propagazione degli ultrasuoni

S = Indice medio di rimbalzo

Rc = Resistenza cubica convenzionale del calcestruzzo standard

Le formule di cui sopra per l’interpretazione, sono state trasformate secondo un’unica unità di misura, ovvero Rc in Kg/cm<sup>2</sup> e V in m/sec.

*Nelle tre formule, come si può notare, i parametri presenti, pur rimanendo sempre gli stessi, presentano differenti valori degli indici esponenziali e ciò in base all’importanza conferita da ogni autore ai vari fattori perturbativi connessi all’impiego del metodo combinato Sonreb.*

Ne conseguono differenze non trascurabili tra i valori derivanti da ciascun metodo.

In generale:

- con la formula A si ottengono i valori di resistenza stimata del calcestruzzo minori (rispetto alle altre due formule);
- con la formula B si ottengono i valori di resistenza stimata del calcestruzzo intermedi (rispetto alle altre due formule);
- con la formula C si ottengono i valori di resistenza stimata del calcestruzzo maggiori (rispetto alle altre due formule).

-

Le I.T. della Regione Toscana prevedono una valutazione del valore di resistenza in situ del singolo elemento che possa considerare anche la media delle tre formulazioni suddette.

L’adozione del valore medio della resistenza stimata così ottenuta risulta quindi una semplificazione non completamente attendibile, ed è per questo che per l’interpretazione il progettista o l’Ufficio Tecnico dovrà considerare, alla luce dello stato generale della struttura, quale delle tre formule adottare come maggiormente rappresentativa dell’edificio in oggetto.

Si sottolinea che la **formula di correlazione del Metodo Sonreb**, che stima la resistenza del cls nel punto di misura, è applicabile per valori della velocità d’attraversamento superiori a 3100 ÷ 3200 m/sec., mentre per valori inferiori non risulta attendibile poiché esterna al dominio delle curve Sonreb ricavate sperimentalmente e sulla cui base si applica la formula suddetta.

Si ricorda, tuttavia, che nel caso di valori bassi della **velocità ultrasonica** (≈ 2500 ÷ 3000 m/sec), pur non essendo possibile stabilire con certezza l’R<sub>ck</sub> del cls, si ottiene sicuramente un valore di resistenza del conglomerato < 150 Kg/cm<sup>2</sup>, mentre per valori particolarmente bassi (≈ 1000 ÷ 2300 m/sec), il dato ottenuto perde praticamente di significato.

Per quanto riguarda i valori forniti dallo **sclerometro** si evidenzia che si ottengono buoni valori di resistenza a compressione per valori dell’indice di rimbalzo medio I<sub>m</sub> = 30, considerando come limite minimo accettabile I<sub>m</sub> = 27 ÷ 28.

Si ricorda inoltre, per gli edifici in c.a. di oltre 20 anni, di non trascurare l'influenza della carbonatazione sul valore dell'indice di rimbalzo, in quanto ne altera i risultati in senso maggioritario, senza che ciò sia tuttavia rappresentativo dell'effettiva resistenza del conglomerato.

E' per questo che i valori forniti dallo sclerometro, presi da soli, sono indicativi di un calcestruzzo di qualità superiore alla classe indicata, ma l'elaborazione del dato con la velocità per il Metodo Sonreb abbassa notevolmente la classe di appartenenza della resistenza del calcestruzzo.

Si evidenzia che le formule suddette forniscono valori di resistenza con differenze dell'ordine anche del 30–40 %. Ne consegue una notevole difficoltà tecnica nella scelta del valore di  $R_{ck}$  da attribuire al calcestruzzo dell'edificio esaminato, anche in considerazione del fatto che spesso si rilevano notevoli differenze di resistenza sia da piano a piano dello stesso edificio, sia tra gli elementi strutturali di uno stesso livello sia, talvolta, tra le due zone dello stesso elemento strutturale indagate con il Metodo Sonreb.

Sono accettabili differenze percentuali al massimo del 20% tra Resistenza stimata con il metodo Sonreb e Resistenza media (tra i diversi metodi interpretativi) in situ.

## CONCLUSIONI

Secondo Faccaorau il metodo combinato Sonreb applicato alle strutture permette di ricavare il carico di rottura con le seguenti approssimazioni:

- $\pm 15\%$  quando è nota la composizione del materiale e possono essere ricavate carote di taratura.
- $\pm 25\%$  quando è nota correttamente la composizione del calcestruzzo
- $\pm 30\%$  quando è nota la composizione del calcestruzzo e non si possono estrarre carote per la taratura del metodo.

In questo sono comprese tutte le cause d'errore, includendo quello di composizione del calcestruzzo delle tecniche di misura sia distruttive che non distruttive.

L'utilizzazione di tale metodo non è indicata per i calcestruzzi con strati superficiali degradati e nelle zone con elevata concentrazione di ferri d'armatura, soprattutto quando tali ferri sono paralleli e vicini alla traiettoria di propagazione degli impulsi ultrasonici ed infine nelle zone con difetti apparenti del calcestruzzo.

I limiti dell'applicazione di tale metodo combinato sono numerosi e derivano dai limiti dei due metodi componenti e al fatto che si misurano delle grandezze, durezza e velocità del suono, che sono variamente correlabili con la resistenza.

Il metodo si applica in una zona omogenea di calcestruzzo, con le modalità operative e le precauzioni consigliate per i due metodi componenti.

## **L'ORIENTAMENTO DELLA REGIONE TOSCANA**

Si riporta di seguito il fac-simile della tabella elaborata dall'Ufficio regionale da utilizzare per l'elaborazione dei dati derivanti dal metodo Sonreb.

Le formule di cui sopra sono state trasformate secondo un'unica unità di misura, ovvero Resistenza cubica convenzionale in Kg/cm<sup>2</sup> e Velocità di propagazione degli ultrasuoni in m/sec.

**TABELLA PER L'ELABORAZIONE DEI DATI RELATIVI AL METODO INDIRETTO (SONREB)**

EDIFICIO		ELEMENTI STRUTTURALI INDAGATI ANCHE CON METODO DISTRUTTIVO				ELEMENTI STRUTTURALI INDAGATI SOLO CON METODO NON DISTRUTTIVO			
Zona di Indagine									
Data effettuazione prove:									
Scerometro	Indice di rimbalzo medio <b>S</b>								
	Resistenza Stimata del CIs [Kg/cm <sup>2</sup> ]								
	Velocità media [m/s]								
Ultrasuoni	Formula A. <i>Giacchetti-Laquaniti</i> (1980)								
	Formula B. <i>Di Leo-Pascale</i> (1994)								
	Formula C. <i>Gasparini</i> (1992)								
Resistenza stimata Media del CIs (Kg/cm <sup>2</sup> )									
differenza percentuale A/Media									
differenza percentuale B/Media									
differenza percentuale C/Media									
LABORATORIO									
PROVE NON DISTRUTTIVE - Metodo Combinato SONREB									

La R. T. provvederà a fornire a coloro che ne facciano richiesta il modello Excel della tabella suddetta, predefinito per fornire direttamente i valori di resistenza del cls secondo le tre differenti formulazioni, in base al valore medio dell'Indice di rimbalzo e della velocità d'attraversamento delle onde ultrasoniche.

## METODO DIRETTO (CAROTAGGIO)

Questo tipo d'indagine consiste nel prelievo di una carota dall'elemento strutturale da sottoporre a prove di Laboratorio, per misurare il valore della rottura a compressione del provino ( $R_{car}$ ) ed è regolata dalla UNI 6131 e dalla UNI 6132.

Trattandosi di un'indagine "diretta" sul cls è indubbiamente più affidabile delle prove non distruttive, poiché misura "direttamente" la resistenza a compressione del calcestruzzo.

Il fatto di essere una prova distruttiva rimane, tuttavia, un elemento che incide negativamente sulla scelta di tale tipologia d'indagine.

Sulle carote si possono effettuare prove di rottura a compressione, per la determinazione del modulo elastico e del modulo di Poisson e prove chimiche.

Il valore di resistenza ricavato dallo schiacciamento dei provini ( $R_{car}$ ) non sempre è rappresentativo dell'effettiva qualità del conglomerato in opera, a causa di molti fattori perturbativi intrinseci a tale metodologia di prova, da cui il dato di Laboratorio deve essere depurato.

### FATTORI D'INFLUENZA

Nella determinazione della resistenza caratteristica del calcestruzzo, i fattori d'influenza sono molti ed al momento non si dispone di un'esperienza sufficientemente vasta per poterne stabilire, con una certa affidabilità, gli effetti.

I risultati forniti dal carotaggio non coincidono con quelli che si otterrebbero con prove condotte su cubi confezionati durante il getto delle strutture, a causa della diversità dell'ambiente di maturazione e dei danni prodotti dall'estrazione.

In definitiva, la rilevazione delle caratteristiche in situ è operazione che richiede esperienza sia nell'esecuzione delle prove che nell'interpretazione dei risultati, che nel loro utilizzo.

I principali fattori che possono alterare il valore della resistenza in situ sono:

– **Pressione di consolidamento:**

I valori di resistenza del conglomerato, ottenuti dallo schiacciamento delle carote, risultano influenzati dalla posizione del prelievo nell'elemento strutturale.

La variazione di resistenza si verifica in funzione dell'altezza dell'elemento gettato, a causa della diversa pressione che si determina nella pasta durante la presa e l'indurimento.

Tale pressione dà luogo ad una progressiva riduzione dell'aria occlusa e alla migrazione dell'acqua presente, con conseguente aumento localizzato del peso specifico del materiale.

Questo fenomeno implica variazioni di resistenza tanto maggiori quanto più il conglomerato è di qualità scadente.

In elementi strutturali verticali si hanno variazioni di resistenza del  $50 \div 70\%$  tra la base e la sommità.

La R.T. ha deciso che le prove per la verifica della qualità del calcestruzzo devono essere eseguite in una fascia intermedia rispetto all'altezza del pilastro, per evitare mediante le operazioni di carotaggio la riduzione della sezione resistente in zone particolarmente sollecitate

– **Ambiente di maturazione:**

E' uno dei fattori che influenza maggiormente il valore della resistenza del conglomerato.

La maturazione delle strutture in opera è diversa da quella ottenuta da campioni standard e tende, inoltre, a variare in funzione delle stagioni.

L'effetto dell'ambiente di maturazione può essere individuato secondo due parametri:

1. *Perdita d'umidità della superficie.*

Questo fenomeno genera uno strato superficiale, che può estendersi fino ad una profondità di circa 5 cm, di minor resistenza a causa della segregazione e dell'impoverimento della miscela.

L'inclusione nell'elemento di prova di una porzione superficiale del getto, provocherà una riduzione del valore di rottura del provino, con abbattimenti variabili tra il 10% ed il 25%.

2. *Differente maturazione tra strutture e campioni standard.*

La resistenza caratteristica valutata su cilindri di controllo maturati in cantiere, differisce da quella valutata sulle carote maggiormente in estate ed in inverno che in autunno.

Ciò comporta in estate ed inverno una sopravvalutazione della qualità del calcestruzzo.

La deviazione standard nelle carote risulta maggiore di quella dei cilindri di controllo.

I valori massimi si notano per gli elementi strutturali in estate.

L'ambiente di maturazione influenza la resistenza anche dopo 28 giorni dal getto, dando luogo ad incrementi minori per elementi maturati all'aria aperta (8% dopo 3 mesi), rispetto ad elementi maturati in ambiente umido (13% dopo 3 mesi).

La diminuzione della resistenza sembra annullarsi all'aumentare dell'età di maturazione, si può quindi ritenere che il taglio di conglomerato giovane comporti anche sconessioni interne che riducono la compattezza del materiale.

## **Fattori connessi col metodo di prova**

– **Operazioni di perforazioni:**

Le operazioni di perforazione possono dar luogo a disturbi sul campione estratto, ripercuotendosi sui valori della resistenza meccanica.

La coppia torcente esercitata dal meccanismo di prelievo produce una riduzione di resistenza media del 10%.

All'aumentare della coppia torcente diminuiscono le caratteristiche meccaniche dei campioni estratti.

Si ottiene un decremento di resistenza maggiore se l'operazione viene effettuata prima di 28 gg.

– **Direzione di perforazione:**

Le operazioni di perforazione possono dar luogo al danneggiamento del campione, provocando un decremento della resistenza meccanica, dipendente dalla direzione in cui è avvenuto il getto.

Perforazioni perpendicolari alla direzione del getto producono una diminuzione di resistenza variabile tra il 5 e l'8% per conglomerato avente resistenza caratteristica di 250 kg/cm<sup>2</sup>, mentre è praticamente nulla per resistenza caratteristica di 400 kg/cm<sup>2</sup>.

Perforazioni in direzione parallela a quella di getto comportano riduzioni minori.

– **Dimensioni delle carote:**

I valori della resistenza del conglomerato sono influenzati dal diametro, dall'altezza della carota e dalla dimensione massima dell'inerte.

- Mantenendo costante il rapporto *altezza/diametro della carota* e facendo variare il rapporto *diametro carota/dimensione massima dell'inerte*, si nota non tanto un'apprezzabile variazione del valore medio della resistenza quanto un aumento sensibile del coefficiente di variazione.

Questo fatto dipende dalla distribuzione casuale degli inerti: in una carota di diametro più grande è più probabile trovare almeno un inerte di grandi dimensioni. Inoltre, alcuni inerti piccoli o frantumi d'inerti sotto l'azione del carico esterno possono distaccarsi dalla superficie laterale, indebolendo la sezione in misura maggiore quanto più questa è piccola, poiché la malta attiva è presente su una bassa percentuale di area esterna dell'inerte ed ha spessore modesto.

La sezione resistente, quindi, non coincide con quella geometrica e la tensione specifica di rottura risulta minore di quella effettiva.

Il taglio di materiale costituito da inerti di notevoli dimensioni non produce danni, poiché le parti di pietra tagliate sono saldamente legate al nucleo centrale grazie alla notevole quantità di malta che ricopre buona parte della pietra.

La sezione resistente, quindi, coincide con quella geometrica ed il rapporto carico/area rappresenta la reale resistenza del materiale.

Pertanto è opportuno, e del resto richiesto dalle norme UNI, prelevare carote di diametro almeno pari a 3 volte il diametro massimo dell'inerte e con altezza di carota pari a 2 volte il diametro della stessa.

Per rapporti inferiori (*microcarotaggi*), a causa dell'elevata dispersione dei risultati, occorre eseguire un numero maggiore di carotaggi per ottenere risultati affidabili.

- Mantenendo costante il rapporto *diametro carota/dimensione max inerte* e facendo variare il rapporto *altezza/diametro della carota*, i valori della resistenza diminuiscono con l'aumento del rapporto, a causa della minore influenza dell'azione di contenimento esercitata dalle piastre della macchina di prova.

- **Armature incluse:** La presenza di spezzoni d'armatura contribuisce a diminuire la resistenza misurata sulla carota in misura difficilmente quantificabile; va pertanto evitato il prelievo di carote inglobanti spezzoni d'armatura.

Non è possibile dedurre una relazione di carattere generale dato l'elevato numero di parametri, ma si può considerare una diminuzione di resistenza variabile tra lo 0,5 e il 12%.

## INTERPRETAZIONE DEI DATI

L'interpretazione dei dati dei Laboratori e riportati nel Certificato, è un problema che non trova soluzione in alcuna norma, poiché non esiste uno standard nazionale di riferimento sulla materia.

La responsabilità, sia per l'individuazione degli elementi strutturali da indagare al fine di estrarne un campione significativo, sia per l'interpretazione dei dati di prova al fine della determinazione del valore di resistenza del cls, è rimessa al Professionista incaricato o all'Ufficio Tecnico competente.

Si ricorda che il valore di resistenza fornito dallo schiacciamento del provino (Resistenza di carota), non coincide con quello che si otterrebbe da prove condotte su cubi confezionati durante il getto delle strutture (Resistenza cubica convenzionale), a causa dei fattori perturbativi sopra esposti.

I fattori più importanti che concorrono a determinare il valore di resistenza delle carote sono:

- R<sub>1</sub>**      *Rapporto lunghezza/diametro*
- R<sub>2</sub>**      *Direzione di perforazione dei getti (orizzontale o verticale)*
- R<sub>3</sub>**      *Dimensioni del campione*
- R<sub>4</sub>**      *Posizione del prelievo nell'ambito dell'elemento strutturale*

I fattori più importanti che determinano le variazioni dei valori di resistenza fra le carote, i cubi e i cilindri standard sono:

V <sub>5</sub>	<i>Disturbo conseguente alle operazioni di prelievo</i>
V <sub>6</sub>	<i>Presenza di armature</i>
V <sub>7</sub>	<i>Passaggio dalla resistenza cilindrica a quella cubica</i>
V <sub>8</sub>	<i>Modalità di preparazione e stagionatura</i>
V <sub>9</sub>	<i>Maturazione (età) al momento della prova</i>

E' incerta l'entità dell'influenza di tali fattori sulla definizione del valore della resistenza.

Le formulazioni presenti in letteratura per l'elaborazione di tali dati tengono conto dei suddetti fattori attraverso dei coefficienti correttivi che, applicati al valore  $R_{car}$ , consentono di ottenere sia il valore di resistenza del cls in situ, sia la resistenza cubica convenzionale.

Si precisa di seguito il significato dei termini utilizzati:

- 1) **R<sub>car</sub>** = Resistenza di carota, ovvero resistenza misurata dalla rottura della carota.  
Il valore viene fornito dalla prova a compressione effettuata dal Laboratorio sul campione prelevato dall'elemento strutturale.
  
- 2) **R<sub>cil</sub>** = Resistenza cilindrica, ovvero di un provino cilindrico standard (rapporto di snellezza  $H/D=2$ ).  
Si ottiene tramite coefficienti correttivi che consentono di depurare il valore di resistenza  $R_{car}$  da fattori perturbativi (eventuale disturbo causato dalle operazioni di prelievo, rapporto di snellezza  $\neq 2$ , direzione di perforazione, presenza di barre d'armatura).  
Viene stimata con formule note in letteratura:
  - *BS 1881 Part. 120*
  - *Concrete Society*
  - *Cestelli Guidi*
  
- 3) **Reff.cub.in situ** = Resistenza effettiva cubica, ovvero resistenza di un provino cubico standard al momento del carotaggio sulla struttura esaminata.  
Il valore si ottiene moltiplicando  $R_{cil}$  per un fattore di correzione che tiene conto delle diverse dimensioni di un provino cubico rispetto ad uno cilindrico (differente rapporto altezza-lato, differente rapporto massa-superficie, differente direzione di prova)  
Viene stimata con formule note in letteratura:
  - *BS 1881 Part. 120*
  - *Concrete Society*
  - *Cestelli Guidi*
  - *D.M. febbraio 1992 art. 4.0.2. ("Resistenze di calcolo")*
  
- 4) **R<sub>cub. Conv.</sub>** = Resistenza convenzionale, ovvero del calcestruzzo a 28gg., ottenuta da cubi confezionati al momento del getto in opera e maturati in condizioni standard.  
Si ottiene incrementando mediante coefficienti correttivi **Reff.cub.in situ** per tenere conto dei fattori perturbativi dovuti alle operazioni di getto, alle differenti condizioni termometriche ed all'età di maturazione.  
Viene stimata con formule note in letteratura:
  - *Concrete Society*
  - *Cestelli Guidi*
  - *D.M. 09/01/96 – Appendice 2*

Per quanto riguarda la correlazione fra la resistenza convenzionale (quella misurata in condizioni standard sui provini normalizzati) e la resistenza in situ, va osservato che le operazioni di getto

nelle casseforme possono essere causa di segregazione, sia per l'attrito esercitato dalle pareti delle casseforme, sia per l'azione di griglia dovuta a certe disposizioni di armatura, sia per le differenze delle dimensioni e del peso specifico dei componenti del calcestruzzo, che in relazione alla consistenza e fluidità del getto.

Altro motivo di differenza fra la resistenza convenzionale e quella in situ è dovuta alla variazione delle condizioni termoigrometriche nelle quali avviene la stagionatura in opera, alla presenza di inerti non adeguati (ciottoli di fiume non lavati) con conseguente mancata aderenza di questi con la matrice cementizia, errato assortimento granulometrico degli stessi. non sempre compensate da provvedimenti di protezione delle superfici esposte. In definitiva, l'effetto delle modalità di preparazione e di stagionatura determina, a parità di altre condizioni, resistenze in situ generalmente minori di quelle convenzionali.

Tutti i metodi presenti in letteratura per la valutazione della resistenza caratteristica del calcestruzzo attribuiscono a ciascuno dei fattori importanza diversa, ne consegue che i vari procedimenti possono portare allo stesso risultato numerico o, al contrario, a risultati numerici differenti in base al valore attribuito ad ogni parametro.

Di seguito si riportano alcuni dei metodi suddetti e se ne illustrano i criteri d'interpretazione dei dati derivanti dalla rottura a compressione della carota.

#### A - METODO PROPOSTO DALLE BRITISH STANDARD (BS) 1881 PART. 120:

Il metodo tiene conto solo dei fattori  $R_1$  e  $V_7$ .

Esso fornisce la **Resistenza Cubica in Situ** del cls, attraverso l'elaborazione dei seguenti dati:

1.  $R_{car}$  = Resistenza misurata dalla rottura della carota; il valore viene assunto dal dato fornito dal laboratorio di prove;
2. **Rapporto di snellezza** della carota ( $n = H/\phi$ ), variabile tra 1 e 2;
3. Applicazione di un **fattore correttivo** ( $R_1$ ) che tiene conto della snellezza della carota, variabile da 0,92 (per rapporti di snellezza pari a 1) ed 1 (per rapporti di snellezza pari a 2), desunto dalla curva fornita dalle BS 1881 di seguito riportata;

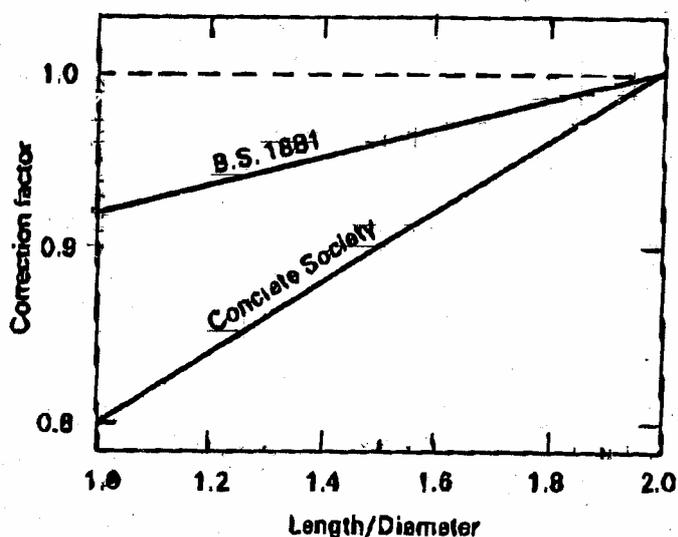


Figure 5.5 Length/diameter ratio influence (based on refs 4 and 24)

1. **Resistenza cilindrica corretta:** si ottiene tramite la seguente formula

$$R_{\text{carota}} * R_1$$

2. **Resistenza cubica equivalente:** si ottiene tramite la seguente formula

$$R_{\text{cilindrica corretta}} * 1,25 \quad (\text{con } 1,25 = 1/0,8).$$

## B - METODO PROPOSTO DALLA CONCRETE SOCIETY:

Il metodo tiene conto di tutti i fattori tranne che di  $V_8$  e  $V_9$ .

Esso fornisce la **Resistenza Cubica in Situ** e la **Resistenza Cubica Convenzionale** del cls, attraverso l'elaborazione dei seguenti dati:

1.  $R_{\text{car}}$ : Resistenza misurata dalla rottura della carota; il valore viene assunto dal dato fornito dal laboratorio di prove;
2. **Rapporto di snellezza** della carota ( $n = H/\phi$ ), variabile tra 1 e 2;

3. **Resistenza cilindrica:** si ottiene tramite la seguente formula

$$R_{\text{cilindrica}} = (2 / (1,5 + 1/n)) * R_{\text{carota}}$$

dove il coefficiente a numeratore vale 2 per il passaggio alla resistenza cilindrica a partire da quella della carota.

4. **Resistenza cubica attuale stimata(in situ):** si ottiene tramite la seguente formula

$$R_{\text{cubica attuale stimata}} = 1,25 * R_{\text{cilindrica}}$$

dove il coefficiente a numeratore vale 1,25 per il passaggio dalla resistenza cilindrica a quella cubica.

5. Fattore di correzione che tiene conto delle dimensioni del campione prelevato, della dimensione massima dell'inerte di cls presente nel mix-design, della presenza di barre di armatura inglobate nel provino, considerate in termini di distanza dalla faccia esterna della carota e di diametro della barra.

*L'espressione per il coefficiente correttivo da applicare alla resistenza della carota in cui è presente una barra parallela alla base è:*

$$1 + 1,5 * \left( \frac{\Phi}{d} * \frac{b}{h} \right)$$

*in cui:*

*è il diametro della barra*

*b è la distanza della barra dalla base più vicina della carota*

Se non si hanno carote con ferri inglobati, il fattore di correzione è considerato pari a 1.

6. **Resistenza cubica convenzionale stimata:** si ottiene dal prodotto della **Resistenza cubica attuale stimata** per un coefficiente moltiplicativo 1,3.

L'incremento del 30% (coefficiente moltiplicativo 1,3), è dovuto al fatto che le condizioni di preparazione e stagionatura dei getti in cantiere sono peggiori di quelle per provini standard.

$$R_{\text{cubica convenzionale stimata}} = R_{\text{cubica attuale stimata}} * 1,3$$

## C - METODO RIPORTATO SULL'ARTICOLO DI CESTELLI GUIDI:

Il metodo tiene conto di tutti i fattori tranne che di  $V_8$ .

Esso fornisce la **Resistenza Cubica in Situ** e la **Resistenza Cubica Convenzionale** del cls, attraverso l'elaborazione dei seguenti dati:

1.  $R_{car}$ : Resistenza misurata dalla rottura della carota; il valore viene assunto dal dato fornito dal laboratorio di prove;
2. **Rapporto di snellezza** della carota ( $n = H/\phi$ ), variabile tra 1 e 2;
3. **Resistenza cilindrica effettiva** si ottiene tramite la seguente formula:

$$R_{cilindrica\ effettiva} = (2 / (1,5 + 1/n)) * R_{carota}$$

Dove il coefficiente 2 fornisce la resistenza cilindrica a partire da quella della carota.

4. **Resistenza cubica effettiva**: si passa dalla resistenza cilindrica effettiva a quella cubica applicando il coefficiente che tiene conto della diversa forma e che può variare da 1,10 a 1,25.

$$R_{cubica\ effettiva} = R_{cilindrica\ effettiva} * 1,20$$

Dove il coefficiente  $1,20 = (1/0,83)$  fornisce la resistenza cubica a partire da quella cilindrica. Il fattore  $1/0,83$  è riportato nella normativa (D.M. 1992).

5. **Resistenza cubica convenzionale**: si passa quindi dalla resistenza in situ a quella convenzionale

$$R_{cubica\ convenzionale} = R_{cubica\ effettiva} * 1,5$$

## CONCLUSIONI

Il confronto tra i vari metodi porta a differenze dei valori dell'ordine del 10%.

Lo scarto dei risultati forniti dal metodo B e C è dato dalla differenza fra:

$$\begin{array}{ll} 1,3 * 1,25 = \mathbf{1,625} & \text{Metodo Concrete Society} \\ 1,5 * 1,20 = \mathbf{1,8} & \text{Metodo Cestelli Guidi} \end{array}$$

Il fattore moltiplicativo per il passaggio dalla resistenza di un provino cilindrico a quella di uno cubico, varia in funzione della classe di conglomerato ( $200 \leq R_{ck} < 500$ ).

A seconda dei valori che si attribuiscono nel passaggio dalla resistenza cilindrica a quella cubica nel Metodo Cestelli Guidi (1,10 ÷ 1,25), la differenza percentuale fra i due metodi varia dal un minimo del 2% ad un massimo del 15%, dove il Metodo Concrete Society fornisce i valori più bassi.

Il fattore moltiplicativo per il passaggio dalla resistenza in situ alla resistenza convenzionale (1,3 Metodo Concrete Society e 1,5 Metodo Cestelli Guidi) implica un aumento della resistenza, in

considerazione delle differenti condizioni dell'ambiente di maturazione, della pressione di consolidamento e della compattazione del conglomerato.

Se il confronto viene fatto tra i valori di resistenza in situ, lo scarto dei risultati forniti dal metodo B e C è dato dalla differenza fra:

1,25	<i>Metodo Concrete Society</i>
1,20	<i>Metodo Cestelli Guidi</i>

In questo caso la differenza è del 4%, dove il Metodo Concrete Society fornisce i valori più alti.

Nei tre diversi metodi si afferma che la resistenza del cls misurata su una carota estratta orizzontalmente è minore di quella che si può misurare su una carota estratta verticalmente dallo stesso getto.

La prova di carotaggio fornisce risultati attendibili solo se dal calcestruzzo da esaminare possono essere estratti provini non difettosi con superficie laterale liscia.

Per quanto riguarda l'influenza delle dimensioni dei campioni sui valori di resistenza, alcuni studi presenti in letteratura (Tucker) spiegano tale l'effetto per mezzo della teoria di "addizione-resistenza".

1. *La resistenza del materiale è indipendente dall'area del campione su cui si fanno test, ammesso che il rapporto lunghezza-diametro sia costante nei test di compressione.*
2. *La deviazione standard della resistenza alla compressione diminuisce con l'aumentare del diametro della carota; comunque, se si confrontano due gruppi di carote con diverso diametro, si ottiene lo stesso risultato quando il numero di provini dei due gruppi è tale che l'addizione delle aree della loro sezione risulta uguale.*

Così, se si utilizzano diametri piccoli per i provini, è necessario che se ne provino un gran numero, per mantenere la variazione interna al test uguale a quella per carote di grande diametro.

## **L'ORIENTAMENTO DELLA REGIONE TOSCANA**

Si ricorda che la normativa tecnica italiana non richiede espressamente l'utilizzo di una delle tre formule, né specifica se utilizzare come valore di riferimento la Resistenza cubica in situ o la Resistenza cubica convenzionale.

L'Ufficio Regionale ritiene preferibile considerare il valore ottenuto dalla Resistenza cubica in situ, che fornisce un dato più vicino alla reale condizione del calcestruzzo in opera.

Spetta comunque al Professionista o all'Ufficio Tecnico competente valutare e adottare la formula che meglio illustri la situazione.

Si riporta di seguito il fac-simile della tabella elaborata dall'Ufficio scrivente da utilizzare per l'elaborazione dei dati derivanti dalle prove distruttive.

**TABELLA PER L'ELABORAZIONE DEI DATI FORNITI DAL METODO DIRETTO (CAROTAGGIO)**

		Zona di prelievo								
		DATA ESECUZIONE PROVE								
EDIFICIO	PROVE DISTRUTTIVE - CAROTAGGI (provini estratti orizzontalmente)	LABORATORIO Sigma Etruria - Livorno	Dati Geometrici	Diametro [φ] (cm)						
				Altezza H (cm)						
				Area Resistente (cmq)						
				Rapporto di snellezza [λ]						
				Inverso del rapporto di snellezza [1/λ]						
				Diametro max inerte [s] (cm)						
				Rapporto diametro carota/diametro max inerte						
			Tipo inerte							
			Peso (g)							
			Massa (Kg)							
			Peso specifico (Kg/mc)							
			Note							
			Velocità in situ (m/s)							
			Velocità campione (m/s)							
		Presenza spezzoni armatura nella carota								
		Rcarota [Kg/cm <sup>2</sup> ]								
		BS 1881 Part. 120	Fattore di correzione (BS)							
			Rcarota [Kg/cm <sup>2</sup> ] x Fattore di correzione (BS)							
			Rcub equiv. in situ [Kg/cm <sup>2</sup> ] = Rcarota x Coeff. Correz. x 1,25							
		Concrete Society	Coeff. C delle CS $C=2,5/(1,5+1/λ)$							
			Rcub in situ stimata [Kg/cm <sup>2</sup> ] = Rcarota x C							
			Rcub convenzionale stimata [Kg/cm <sup>2</sup> ] = Rcub attuale x 1,3							
		Cestelli Guidi	Coeff. C Formula articolo $C=2/(1,5+1/λ)$							
			Reff cil [Kg/cm <sup>2</sup> ] = Rcarota x C							
			Reff.cub. in situ [Kg/cm <sup>2</sup> ] = Rreff.cil./0,83							
			Rcub. convenzionale [Kg/cm <sup>2</sup> ] = Rreff.cub. in situ x 1,5							
		Resistenza media in situ								
Resistenza media convenzionale										
Differenza percentuale BS/Media R in situ										
Differenza percentuale CS/Media R in situ										
Differenza percentuale CG/Media R in situ										

La R. T. provvederà a fornire a coloro che ne facciano richiesta il modello Excel della tabella suddetta, predefinito per fornire direttamente i valori di resistenza del cls secondo le tre differenti formulazioni.

L'elaborazione dei dati, come l'intera programmazione delle indagini, deve essere effettuata suddividendo il complesso edilizio negli eventuali edifici o aggregati strutturali che lo compongono (per le definizioni di tali termini si rimanda al punto 1.1 del Manuale per il Rilevamento dell'esposizione e vulnerabilità sismica degli edifici – Istruzioni per la compilazione della scheda di I livello)

I valori finali di resistenza del calcestruzzo devono essere quindi raccolti piano per piano, evidenziando: gli elementi strutturali che presentano valori di Rck <150 Kg/cm<sup>2</sup> (valore minimo per il cls strutturale, come definito dal D.M. LL. PP. 16/01/96).

In particolare, è indispensabile procedere ad un'attenta analisi con valutazione delle eventuali incongruenze nelle letture ultrasoniche e sclerometriche rilevate su i due punti di prova e facilmente individuabili sulla base dei valori della deviazione standard relativa alle letture; è opportuno anche valutare la corrispondenza fra velocità ultrasonica misurata in situ e quella misurata in laboratorio sulla carota estratta, nonché l'attendibilità delle prove dirette sulla base del corretto rapporto diametro provino/diametro max inerte, peso specifico e snellezza dei provini.

Nell'interpretazione dei dati è importante evidenziare l'esistenza o meno di omogeneità e coerenza tra i dati ottenuti con il metodo diretto e quelli derivanti dal metodo indiretto.

Per gli elementi indagati con entrambi i metodi, la prova diretta, ritenuta più affidabile, può essere utilizzata per validare il risultato fornito dal Metodo Sonreb.

Nel caso di buona coincidenza fra i valori di resistenza ottenuti, il Metodo Sonreb può essere considerato affidabile anche per gli elementi non indagati con prova diretta.

Sono accettabili differenze percentuali al massimo del 20% tra Resistenza stimata con il metodo Sonreb e Resistenza media cubica in situ, ricavata dalla prova diretta. (ottenuta come media dei valori forniti dalle tre differenti formulazioni riportate in *ALL. M.1*). Nel caso di differenze percentuali superiori al 20%, si assumerà come valore di riferimento effettivo della resistenza caratteristica dell'elemento quello ottenuto con la prova distruttiva, metodo di indagine ritenuto più affidabile.

Nel caso in cui, per tutti gli elementi indagati sia con prova diretta che con prova indiretta, i valori di resistenza ottenuti con i due differenti metodi mostrino una differenza percentuale contenuta e costante, si terrà conto della possibilità che tale differenza possa interessare anche il valore di resistenza ottenuto su elementi indagati con la sola prova indiretta.

In questo caso il valore della resistenza ottenuto su elementi strutturali indagati con solo Metodo Sonreb, potrà essere scalato o aumentato sulla base della differenza percentuale rilevata sui pilastri indagati con i due metodi.

Sulla base dei dati così raccolti, il Professionista o l'Ufficio Tecnico competente deve fornire una propria valutazione sulla qualità del calcestruzzo, dando motivazione di eventuali risultati inferiori ai limiti imposti dalla normativa attualmente vigente, e riportando sempre le annotazioni eventualmente presenti sul certificato emesso dal Laboratorio incaricato, che possano aiutare nella comprensione dei risultati.

Si ricorda, infine, di tenere conto della normativa di riferimento vigente all'epoca della costruzione dell'edificio oggetto delle indagini, che potrebbe presentare prescrizioni di resistenza del cls meno restrittive di quelle attuali.

**TABELLA RIASSUNTIVA DEI DATI DI PROVA**

I dati contenuti nelle tabelle in All. M.1 e M.2 dovranno essere raccolti nella tabella riassuntiva di seguito riportata, avendo cura di evidenziare i valori di resistenza del calcestruzzo inferiori al limite imposto dalla normativa vigente per il calcestruzzo strutturale.

A tal proposito si ricorda che tale limite minimo è fissato a 150 kg/cmq nel D.M. LL. PP. 16/01/96 (normativa tecnica per le strutture in c.a.), mentre, per gli edifici di nuova costruzione costruiti in zona sismica, nella recente Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n°3274 del 20/03/2003 il limite minimo è stato innalzato a 250 kg/cmq (normativa sismica).

L'Ufficio Regionale ritiene, quindi di procedere nella verifica della qualità del cls sugli edifici esistenti assumendo come riferimento minimo da soddisfare quello contenuto nel D.M. LL. PP. 16/01/96, che fissa il limite minimo per il calcestruzzo strutturale pari a 150 kg/cmq.



**PIANTE DELL'EDIFICIO CON DATI DI PROVA**

I dati contenuti nella tabella in All. M.3 dovranno essere visualizzati anche sulle piante dell'edificio, riprodotte per ogni piano in formato A4, accanto al corrispondente elemento strutturale indagato.

In particolar modo si dovranno evidenziare i seguenti valori di prova rilevati:

- valore medio dell'indice di rimbalzo ( $I_m$ )
- valore medio della velocità di attraversamento delle onde ultrasoniche ( $V_m$ )
- valore di rottura della carota ( $R_{car}$ )
- valore medio di resistenza stimata (ricavato con metodo indiretto Sonreb)
- valore medio di resistenza cubica in situ (ricavato con metodo diretto carotaggio)