VERIFICA DI EDIFICI ESISTENTI IN CEMENTO ARMATO

Catania, 25 giugno – 2 luglio 2019

03 – Conoscenza della struttura

Docente del corso

AURELIO GHERSI

Corso organizzato da: FONDAZIONE DELL'ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI CATANIA

Conoscenza

Costruzioni esistenti

Richiami di normativa

- La valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi devono tenere conto dei seguenti aspetti della costruzione:

  1. Essa riflette lo stato delle conoscenze al tempo della sua realizzazione
  2. In essa possono essere insiti, ma non palesi, difetti di impostazione e di realizzazione
  3. Essa può essere stata soggetta ad azioni, anche eccezionali, i cui effetti non siano completamente manifesti
  4. Le sue strutture possono presentare degrado e/o modifiche significative, rispetto alla situazione originaria

NTC, punto 8.2

Costruzioni esistenti

Richiami di normativa

1. La costruzione riflette lo stato delle conoscenze al tempo della sua realizzazione

   - È indispensabile ricostruire la storia del fabbricato (analisi storico-critica) per comprenderne le vicende costruttive, i dissesti, i fenomeni di degrado, i cimenti subiti. Ad esempio:
     - Vicende costruttive: se realizzata in più fasi e da imprese diverse
     - Evoluzione nel tempo: lavori effettuati per modifiche, ristrutturazioni, riparazioni
   - Occorre conoscere adeguatamente la normativa vigente, le abitudini progettuali e realizzative nel periodo in cui è stato realizzato l'edificio

NTC e Circolare, punto C8.5.1

Costruzioni esistenti

Richiami di normativa

2. Nella costruzione possono essere insiti, ma non palesi, difetti di impostazione e di realizzazione

   - Difetti di impostazione

     Uno strutturista dotato di adeguata esperienza dovrebbe essere in grado di cogliere, da un esame del progetto originale e/o da sopralluoghi, se l'impostazione strutturale è adeguata

   - Difetti di realizzazione

     Questi difetti sono spesso nascosti e difficili da individuare. L'esperienza e la conoscenza delle abitudini realizzative dell'epoca può essere di grande aiuto

Costruzioni esistenti

Richiami di normativa

3. Essa può essere stata soggetta ad azioni, anche eccezionali, i cui effetti non siano completamente manifesti

   L'analisi storico-critica deve individuare anche tali eventi

4. Le sue strutture possono presentare degrado e/o modifiche significative, rispetto alla situazione originaria
   - Dovranno anche essere rilevati i dissesti, in atto o stabilizzati, ponendo particolare attenzione all'individuazione dei quadri fessurativi e dei meccanismi di danno
     (questo in particolare per edifici in muratura, ma a volte anche per edifici con struttura in c.a.)

NTC, punto 8.2 e 8.5.2

Costruzioni esistenti

Conoscenza della struttura

- Per definire un modello strutturale, ai fini del calcolo, occorre conoscere:
  - La geometria (posizione e dimensioni di tutti gli elementi strutturali, ma anche di quelli non strutturali che possono influire sul comportamento della struttura)
  - I particolari costruttivi (quantità e posizione delle barre di armatura)
  - Le proprietà meccaniche dei materiali (calcestruzzo e acciaio)
  - Le proprietà meccaniche dei terreni
  - I carichi permanenti agenti (ed i possibili carichi variabili)

Costruzioni esistenti

Richiami di normativa

- Per definire un modello strutturale, ai fini del calcolo, occorre conoscere:
  - La geometria

Un rilievo geometrico-strutturale aiuta a:

- Identificare l'organizzazione strutturale
- Individuare la posizione e le dimensioni di travi, pilastri, scale e setti
- Identificare i solai e la loro tipologia, orditura, sezione verticale
- Individuare tipologia e dimensioni degli elementi non strutturali quali tamponamenti, tramezzature, etc.

NTC, punto 8.5.2 e Circolare, punto C8.5.2.2

Costruzioni esistenti

Richiami di normativa

- Per definire un modello strutturale, ai fini del calcolo, occorre conoscere:
  - La geometria

La presenza del progetto originale semplifica il lavoro:

- Se si è in possesso di tavole progettuali è sufficiente un riscontro a campione, con un attento confronto tra oggetto reale e tavole progettuali
- In assenza di progetto è necessario un dettagliato rilievo della struttura
- È in genere possibile limitare le incertezze legate alla geometria con lavoro e spesa non particolarmente elevati

NTC, punto 8.5.2 e Circolare, punto C8.5.2.2

Costruzioni esistenti

Conoscenza della struttura

- Per definire un modello strutturale, ai fini del calcolo, occorre conoscere:
  - I particolari costruttivi

  Occorre effettuare indagini per valutare:
  - Quantità e disposizione di armatura longitudinale e trasversale in travi, pilastri, pareti, incluse:
    - barre piegate che contribuiscono alla resistenza a taglio
    - armatura nei solai che contribuisce al momento negativo di travi
  - Quantità e dettagli di armatura nei nodi trave-pilastro
  - Lunghezze di ancoraggio e delle zone di sovrapposizione delle barre
  - Spessore dei copriferri

NTC, punto 8.5.2 e Circolare, punto C8.5.2.2

Costruzioni esistenti

Conoscenza della struttura

- Per definire un modello strutturale, ai fini del calcolo, occorre conoscere:
  - I particolari costruttivi
  - Una individuazione puntuale delle armature è molto costosa, praticamente improponibile
  - È importante avere un progetto di riferimento
    - Se si è in possesso di tavole progettuali originali è sufficiente un riscontro a campione
    - In caso contrario si deve svolgere un progetto simulato e procedere ad un rilievo e controllo più diffuso
  - Si possono ridurre le incertezze, ma non eliminarle del tutto

Costruzioni esistenti

Conoscenza della struttura

- Per definire un modello strutturale, ai fini del calcolo, occorre conoscere:
  - Le proprietà meccaniche dei materiali

È necessario individuare in particolare:

- La resistenza a compressione del calcestruzzo, come valore medio ma anche come dispersione dei valori (scarto quadratico medio)
  - È frequente trovare resistenze basse e/o valori di resistenza molto variabili da punto a punto
- La resistenza a trazione e l'allungamento a rottura dell'acciaio
  - La resistenza dell'acciaio è spesso abbastanza prevedibile

I valori di certificati di prova originali del calcestruzzo non sono sempre affidabili

NTC, punto 8.5.3 e Circolare, punto C8.5.3.2

Costruzioni esistenti

Conoscenza della struttura

- Per definire un modello strutturale, ai fini del calcolo, occorre conoscere:
  - Le proprietà meccaniche dei materiali

I valori delle resistenze meccaniche dei materiali da usare nei calcoli verranno valutati sulla base delle indagini e delle prove effettuate sulla struttura, tenendo motivatamente conto dell'entità delle dispersioni, prescindendo dalle classi discretizzate previste nelle norme per le nuove costruzioni

- Le caratteristiche dei materiali (specialmente del calcestruzzo) possono essere molto diverse da quelle usualmente adottate in progetto
- Una buona campagna di prove può ridurre le incertezze, ma non può eliminarle del tutto

NTC, punto 8.5.3

Costruzioni esistenti

Conoscenza della struttura

- Per definire un modello strutturale, ai fini del calcolo, occorre conoscere:
  - Le proprietà meccaniche dei terreni

Caratteristiche del terreno:

- Come per le nuove costruzioni, questi sono dati preliminari, necessari anche per valutare il comportamento sotto carichi verticali, in assenza di sisma
- Sono inoltre dati indispensabili per la caratterizzazione sismica del sito
  - Prestare particolare attenzione alla possibilità di amplificazioni sismiche locali

Costruzioni esistenti

Conoscenza della struttura

- Per definire un modello strutturale, ai fini del calcolo, occorre conoscere:
  - La geometria, i particolari costruttivi, le proprietà meccaniche dei materiali, le proprietà meccaniche dei terreni, i carichi permanenti agenti
- Il livello di conoscenza di queste caratteristiche dipende dalla documentazione disponibile e dalla qualità ed estensione delle indagini che vengono svolte
- I metodi di analisi e di verifica da usare dipendono dalla completezza e dall'affidabilità dell'informazione disponibile
- Nelle verifiche i parametri devono essere modificati mediante coefficienti legati al livello di conoscenza

Costruzioni esistenti

Conoscenza della struttura

- In sostanza:
  - Per svolgere qualsiasi tipo di analisi è necessario conoscere meglio possibile l'organismo strutturale, nello stato effettivo in cui si trova
    Obiettivo: Raggiungere una conoscenza dell’edificio sufficiente per poter esprimere un giudizio (sia qualitativo che quantitativo)
  - Non è possibile raggiungere la conoscenza "completa" di un edificio esistente, per cui vi saranno sempre dei margini di incertezza
  - Il margine di incertezza corrispondente al livello di approfondimento conseguito deve essere tenuto in conto nella valutazione della sicurezza

Costruzioni esistenti

Livelli di conoscenza e fattori di confidenza

- Il margine di incertezza corrispondente al livello di approfondimento conseguito deve essere tenuto in conto nella valutazione della sicurezza

⇩

Sulla base degli approfondimenti effettuati, saranno individuati i "livelli di conoscenza" dei diversi parametri coinvolti nel modello e definiti i correlati fattori di confidenza, da utilizzare nelle verifiche di sicurezza

NTC, punto 8.5.4

Fattori di confidenza

- I fattori di confidenza FC sono utilizzati per la riduzione dei valori dei parametri meccanici dei materiali e devono essere intesi come indicatori del livello di approfondimento raggiunto

Circolare, punto C8.5.4

Mi sembra importante aggiungere che i FC servono anche a tenere conto della dispersione dei valori ottenuti

Aurelio Ghersi

Fattori di confidenza

- I fattori di confidenza, determinati in funzione del livello di conoscenza acquisito, vengono applicati ai valori medi delle resistenze dei materiali ottenuti dai campioni di prove distruttive e non distruttive, per fornire una stima dei valori medi delle resistenze dei materiali della struttura, entro l'intervallo di confidenza considerato (in genere si assume un intervallo di confidenza pari al 95%).

Circolare, punto C8.5.4.2

Ritengo che il fattore di confidenza serva per passare da un valore medio (misurato sperimentalmente) ad un opportuno frattile, concettualmente equivalente al valore caratteristico usato nella progettazione di nuove costruzioni

Aurelio Ghersi

Fattori di confidenza

- Per determinare i fattori di confidenza per i diversi elementi strutturali o loro insiemi si deve tener conto che essi includono, oltre alle incertezze nella stima della resistenza dei materiali, anche le incertezze relative all'individuazione dei dettagli costruttivi.
- Il livello di conoscenza acquisito … determina i valori dei fattori di confidenza da applicare alle proprietà dei materiali, anche in maniera differenziata per elementi strutturali o gruppi di elementi

Circolare, punto C8.5.4.2

Importante notare la possibilità di differenziare il fattore di confidenza
(ad esempio tra armatura longitudinale e trasversale)

Fattori di confidenza

- In assenza di valutazioni specifiche, ci si può riferire alla Tabella che segue

Circolare, punto C8.5.4.2 e Tab. C8.5.IV

Livello di conoscenza	Geometrie (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC (*)
LC1	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione; in alternativa rilievo completo ex-novo	Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e *indagini limitate* in situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e *prove limitate* in situ	Analisi lineare statica o dinamica	1,35
LC2		Elaborati progettuali incompleti con *indagini limitate* in situ; in alternativa *indagini estese* in situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali, con *prove limitate* in situ; in alternativa da *prove estese* in situ	Tutti	1,20
LC3		Elaborati progettuali completi con *indagini limitate* in situ; in alternativa *indagini esaustive* in situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto, con *prove estese* in situ; in alternativa da *prove esaustive* in situ	Tutti	1,00

Quindi questa tabella è solo indicativa

Aurelio Ghersi

Verifiche

limitate, estese, esaustive

Livello di Indagini e Prove	Rilievo(dei dettagli costruttivi)[a]	Prove (sui materiali)[b][c][d]
	Per ogni elemento "primario" (trave, pilastro)	
limitato	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 15% degli elementi	1 provino di cls. per 300 m² di piano dell'edificio, 1 campione di armatura per piano dell'edificio
esteso	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 35% degli elementi	2 provini di cls. per 300 m² di piano dell'edificio, 2 campioni di armatura per piano dell'edificio
esaustivo	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 50% degli elementi	3 provini di cls. per 300 m² di piano dell'edificio, 3 campioni di armatura per piano dell'edificio

Nel controllo del raggiungimento delle percentuali di elementi indagati ai fini del rilievo dei dettagli costruttivi si tiene conto delle eventuali situazioni ripetitive, che consentano di estendere ad una più ampia percentuale i controlli effettuati su alcuni elementi strutturali facenti parte di una serie con evidenti caratteristiche di ripetibilità, per geometria e ruolo uguali nello schema strutturale .

Ai fini delle prove sui materiali e consentito sostituire alcune prove distruttive, non più del 50%, con almeno il triplo di prove non distruttive, singole o combinate, tarate su quelle distruttive.

Il numero dei provini può essere variato, in aumento o in diminuzione, in relazione alle caratteristiche di omogeneità del materiale

Circolare, punto C8.5.8.4.2 e Tab. C8.5.V

Livelli di conoscenza

- La Circolare fornisce indicazioni sul come individuare il livello di conoscenza
- Queste indicazioni possono essere un utile spunto di riflessione, ma non ha alcun valore cogente
- È importante valutare quante informazioni si hanno ma anche la loro omogeneità

In definitiva, è il progettista che deve valutare, in piena coscienza, quale sia il livello di conoscenza raggiunto ed il valore da assegnare ai fattori di confidenza FC

Indagini

Campagna di indagini

Obiettivo generale:

- Acquisire informazioni su
  - Caratteristiche dei materiali (calcestruzzo e acciaio)
  - Dettagli costruttivi
    (quantità e disposizione delle armature in pilastri, nodi, travi)
- Acquisire un livello di conoscenza migliore possibile, tenendo conto di:
  - Livello minimo di conoscenza necessario
  - Vantaggi forniti da una migliore conoscenza
  - Costi necessari per acquisire questa conoscenza

Campagna di indagini

Fasi preliminari

Innanzitutto:

- Reperimento della documentazione disponibile
  - Progetto originario
  - Documentazione di prove
  - Informazioni generali su costruzione ed eventi nel tempo

- Sopralluogo iniziale, per farsi una prima idea
- Rilievo geometrico sufficientemente dettagliato
  - Se si è in possesso del progetto originario, basta un controllo a campione
  - In assenza di progetto occorre un rilevo completo

Già discusso

Campagna di indagini

Fasi preliminari

Innanzitutto:

- Se non si ha un progetto strutturale completo, effettuare un progetto simulato
  - È importante avere sempre un progetto di riferimento, reale o simulato

- Prima valutazione di massima del comportamento strutturale, con modelli semplificati o analisi lineare completa
  - Dal sopralluogo visivo e da queste analisi preliminari si possono avere indicazioni sul possibile comportamento sismico della struttura e su quali siano gli elementi su cui approfondire l'indagine

Già discusso

Campagna di indagini

Programmazione delle indagini

- Una accorta programmazione è essenziale sia ai fini dei risultati che dei costi per ottenerli
  - Anche se qualcosa può essere fatto direttamente dal professionista, il grosso delle indagini sarà affidate ad appositi laboratori
  - È economicamente conveniente far venire il personale del laboratorio un'unica volta per fare tutti gli esami e prelievi necessari
  - Molte indagini (prelievi, ecc.) richiedono un immediato ripristino strutturale, che incide sul costo

Campagna di indagini
sui materiali

Tipologie di indagine

- Distruttive
  prove che producono un'alterazione della struttura

Pro

- Sono affidabili
- Sono necessarie

Contro

- Costo in genere maggiore
- Non è possibile usarle in maniera diffusa
- È necessario effettuare ripristini strutturali

Campagna di indagini
sui materiali

Tipologie di indagine

- Semi-distruttive e non distruttive
  prove che producono alterazione della struttura minima o nulla

Pro

- Costi in genere minori
- È possibile usarle in maniera diffusa
- I ripristini da effettuare sono non strutturali e in genere modesti

Contro

- Non sono sempre affidabili
- È necessario effettuare una taratura

Campagna di indagini
sui materiali

Tipologie di indagine

- Chimiche
  prove che servono per valutare il degrado del materiale

Pro

- Costi bassi
- Sono accoppiati ad altre prove e quindi non richiedono uno specifico ripristino

Contro

- Generalmente è necessario eseguire preliminarmente un'indagine distruttiva

Indagini

Calcestruzzo

Campagna di indagini
su calcestruzzo

Obiettivo:

- Ottenere informazioni sul valore medio della resistenza
- Ottenere informazioni su come e quanto varia la resistenza rispetto al valore medio
- Ottenere informazioni sul degrado del materiale

Nota:

- Il problema della dispersione dei valori è particolarmente rilevante per il calcestruzzo
- La variabilità può essere dovuta anche realizzazione di parti della costruzione in momenti diversi oppure al cambio dell'impresa costruttrice

Campagna di indagini
su calcestruzzo

- Prove distruttive
  - Prelievo di carote di calcestruzzo e successive prove in laboratorio
- Prove semi-distruttive
  - Prova di estrazione (pull-out)
- Prove non distruttive
  - Prova sclerometrica
  - Prova ultrasonica
  - Metodo SONREB
- Prove chimiche
  - Prova di carbonatazione

Calcestruzzo

prove distruttive - carote

In cosa consiste:

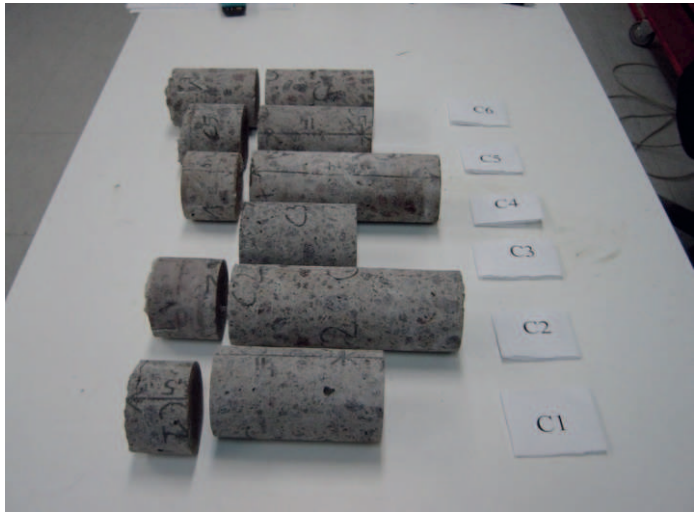
1. Si effettua in situ il carotaggio, cioè il prelievo di carote (campioni cilindrici)

Calcestruzzo

prove distruttive - carote

In cosa consiste:

1. Si effettua in situ il carotaggio, cioè il prelievo di carote (campioni cilindrici)



Calcestruzzo

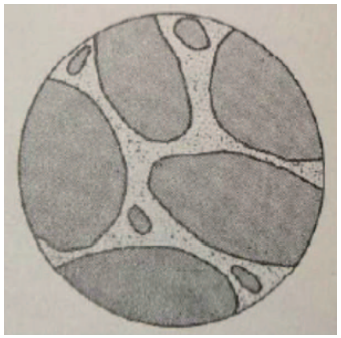
prove distruttive - carote

In cosa consiste:

1. Si effettua in situ il carotaggio, cioè il prelievo di carote (campioni cilindrici)

Aspetti da considerare:

- Il diametro delle carote varia da 50 a 150 mm
  - Il diametro deve essere commisurato alle dimensioni degli inerti (inerti grossi possono causare rottura anticipata)
  - Diametri piccoli risentono maggiormente della torsione dovuta all'estrazione e sono meno significativi ai fini della prova
  - Estrarre carote di grande diametro è spesso problematico



Calcestruzzo

prove distruttive - carote

Principio del metodo:

1. Si effettua in situ il carotaggio, cioè il prelievo di carote (campioni cilindrici)
2. In laboratorio si valuta la resistenza a compressione dei provini estratti

Preliminarmente:

- Verifica delle tolleranze geometriche
  - Planarità: t = ± 0.0006 dm
  - Rettilineità: t = 0.03 dm
  - Perpendicolarità:
- Rettifica o cappatura

Calcestruzzo

prove distruttive - carote

Principio del metodo:

1. Si effettua in situ il carotaggio, cioè il prelievo di carote (campioni cilindrici)
2. In laboratorio si valuta la resistenza a compressione dei provini estratti

Norme che regolano le prove:

- Compressione (EN 12390-3)
- Massa volumica (EN 12390-7)
- Modulo elastico (UNI 6556)
- Trazione indiretta (EN 12390-6)
- Elaborazione risultati (UNI EN 13791)

Calcestruzzo

prove distruttive - carote

Principio del metodo:

1. Si effettua in situ il carotaggio, cioè il prelievo di carote (campioni cilindrici)
2. In laboratorio si valuta la resistenza a compressione dei provini estratti

Aspetti da considerare:

- La prova è effettuata con campioni con rapporto h/d = 1 o 2
  - h/d = 1 $\rightarrow$ resistenza cubica R_c
  - h/d = 2 $\rightarrow$ resistenza cubica f_c
- I risultati delle prove vengono ritoccati con coefficienti correttivi (per rapporto h/d, inclinazione perforazione, disturbo causato dal prelievo, ecc.)

Calcestruzzo

prove distruttive - carote

Vantaggi:

- La prova è indispensabile perché consente di avere risultati affidabili
  - Su questi risultati si possono tarare quelli delle prove non distruttive

Svantaggi:

- La prova richiede un ripristino strutturale
- I tempi di esecuzione sono abbastanza lunghi
- I costi sono elevati

Prezziario Sicilia 2018:

- Prelievo della carota	296.80 €		
- Taglio e preparazione	31.73 €		
- Verifica delle tolleranze	12.99 €		
- Prova di compressione	27.20 €	Totale	368.72 €

Calcestruzzo

prove semi-distruttive - pull-out

In cosa consiste:

1. Si inserisce nel calcestruzzo un tassello metallico
   - Esistono diverse tecnologie, ma i tasselli devono essere sempre certificati

Calcestruzzo

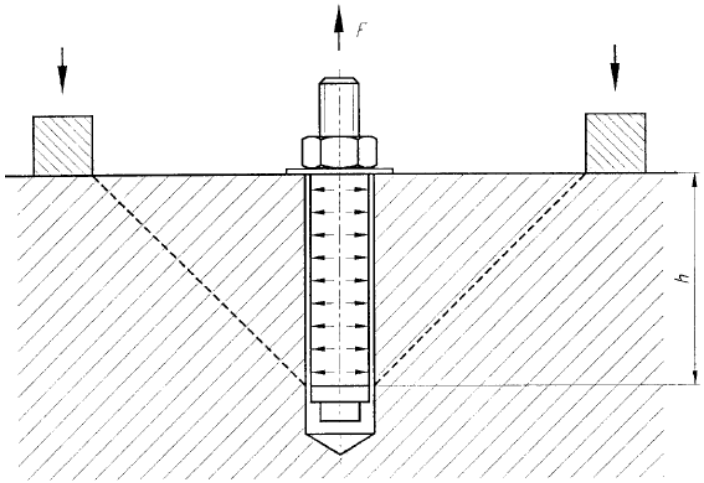
prove semi-distruttive - pull-out

In cosa consiste:

1. Si inserisce nel calcestruzzo un tassello metallico
2. Si estrae il tassello, misurando con un manometro la forza necessaria

Il tassello è soggetto a trazione

- La superficie di rottura è un cono



Calcestruzzo

prove semi-distruttive - pull-out

In cosa consiste:

1. Si inserisce nel calcestruzzo un tassello metallico
2. Si estrae il tassello, misurando con un manometro la forza necessaria

Calcestruzzo

prove semi-distruttive - pull-out

In cosa consiste:

1. Si inserisce nel calcestruzzo un tassello metallico
2. Si estrae il tassello, misurando con un manometro la forza necessaria

- La prova è parzialmente distruttiva perché viene tolto un cono di calcestruzzo

- Misura in realtà la resistenza a trazione, ma questa è legata alla resistenza a compressione

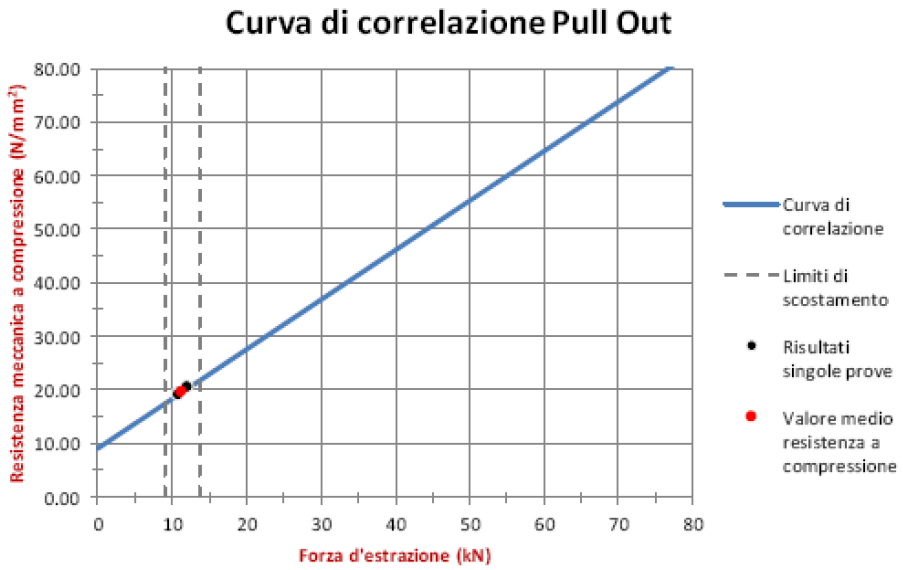
Calcestruzzo

prove semi-distruttive - pull-out

In cosa consiste:

1. Si inserisce nel calcestruzzo un tassello metallico
2. Si estrae il tassello, misurando con un manometro la forza necessaria

- Misura la resistenza a trazione
- Le case costruttrici forniscono delle curve di correlazione fra la forza di estrazione e la resistenza a compressione
- La prova va effettuata su 3 tasselli e lo scostamento dalla media dei 3 valori ottenuti non deve superare il 20%



Calcestruzzo

prove semi-distruttive - pull-out

Vantaggi:

- La prova consente di avere risultati abbastanza affidabili, ma è necessario tararli con prove distruttive
- I tempi di esecuzione sono abbastanza brevi

Svantaggi:

- Occorre rimuovere l'intonaco che quindi deve essere ripristinato insieme al (poco) calcestruzzo danneggiato
- I costi sono elevati, perché occorrono tre prove

Prezziario Sicilia 2018:

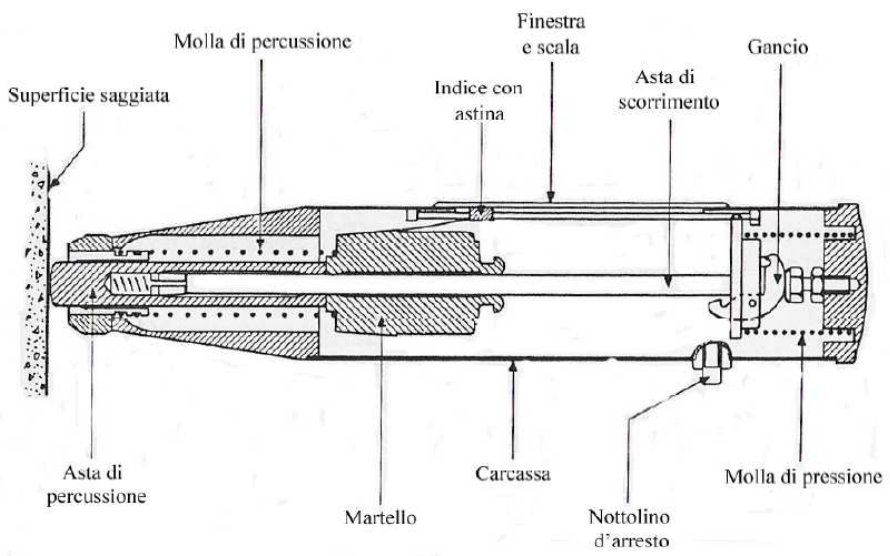
- Prova su tre tasselli Totale 359.45 €

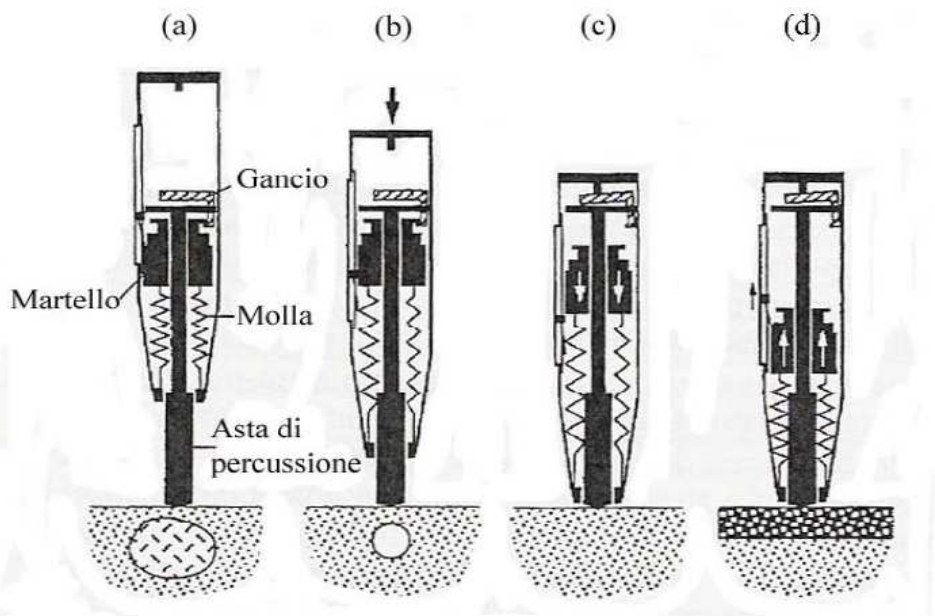
Calcestruzzo

prove non distruttive - sclerometro

In cosa consiste: UNI 9189; EN 12504-2

- Si dispone l'apparecchio perpendicolarmente alla superficie del getto, con l'estremità dell'asta in contatto con la superficie. Esercitando una pressione sullo strumento, l'asta rientra e sposta una massa scorrevole verso il fondo, caricando nel contempo le molle.



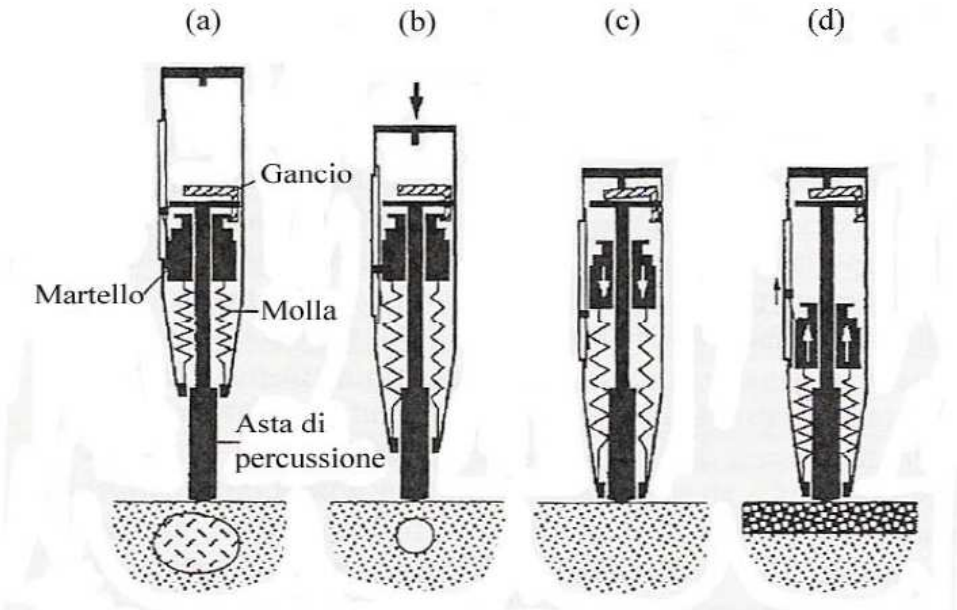


Calcestruzzo

prove non distruttive - sclerometro

In cosa consiste:

- Si dispone l'apparecchio perpendicolarmente alla superficie del getto, con l'estremità dell'asta in contatto con la superficie. Esercitando una pressione sullo strumento, l'asta rientra e sposta una massa scorrevole verso il fondo, caricando nel contempo una molla.
- Quando l'asta tocca il perno questo fa scattare il gancio che libera la massa mobile e la proietta contro l'incudine. Dopo l'urto il martello rimbalza e trascina un indice mobile lungo una scala graduata.



Calcestruzzo

prove non distruttive - sclerometro

In cosa consiste:

- La lettura è un numero intero (indice di rimbalzo) compreso tra 1 e 100 che esprime la lunghezza di rimbalzo in percentuale rispetto alla corsa mobile lungo una scala graduata.
- L'indice di rimbalzo dipende dalla durezza della superficie, che è legata alla resistenza a compressione
- Le case costruttrici forniscono delle curve di correlazione fra l’indice di rimbalzo e la resistenza a compressione

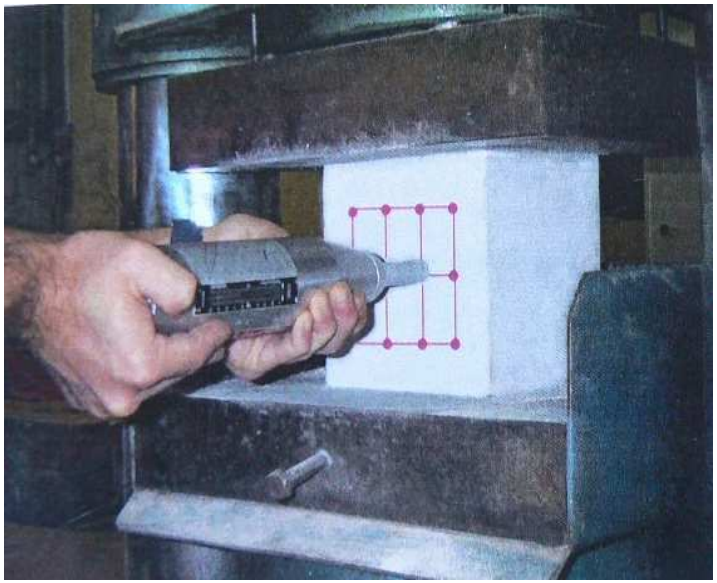
Nota: Periodicamente occorre controllare la taratura dello strumento

Calcestruzzo

prove non distruttive - sclerometro

In cosa consiste:

- Preparazione di una superficie (circa 30x30 cm) levigata con pietra abrasiva
- Griglia di 12 punti (distanti almeno 25 mm tra loro e dal bordo) su cui eseguire la misura
- Si effettuano letture dell'indice di rimbalzo nei dodici punti
  - Si scartano i due valori estremi e si fa la media degli altri
  - Si scartano eventuali valori molto distanti dalla media (e si ricalcola la media)
  - Dalla media alla resistenza



Prova su cubetto, per tarare lo sclerometro

Calcestruzzo

prove non distruttive - sclerometro

Vantaggi:

- I tempi di esecuzione sono molto brevi
- È una prova che spesso può essere fatta da sé
- I costi sono bassi

  Prezziario Sicilia 2018:

  - Prova su 12 punti Totale 35.18 €

Svantaggi:

- La prova consente di avere risultati non molto affidabili (la durezza superficiale può essere alterata ad esempio dalla carbonatazione); è necessario tararli con prove distruttive
- Occorre rimuovere l'intonaco che quindi deve essere ripristinato

Calcestruzzo

prove non distruttive - prova ultrasonica

In cosa consiste: UNI 9524; EN 12504-4

- Un trasduttore elettroacustico, poggiato sulla superficie del calcestruzzo, emette un treno di onde ultrasoniche (frequenza > 20kHz) che, dopo aver attraversato lo spessore noto di calcestruzzo viene convertito in segnale elettrico da un secondo trasduttore poggiato sulla superficie opposta

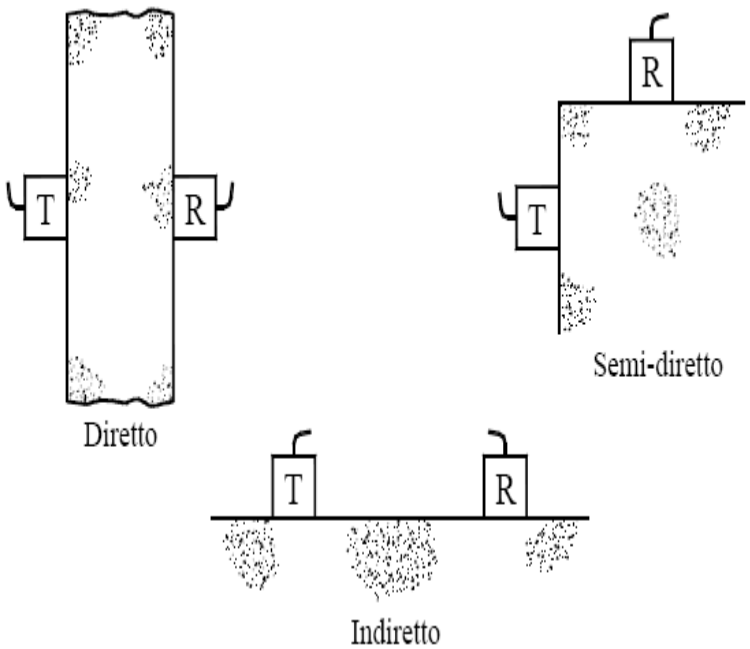
I circuiti di temporizzazione elettronica consentono di calcolare il tempo di transito e quindi la velocità di trasmissione delle onde nel materiale

Calcestruzzo

prove non distruttive - prova ultrasonica

In cosa consiste: UNI 9524; EN 12504-4

- La prova misura in realtà la velocità di trasmissione delle onde e quindi il modulo elastico del materiale, ma esistono in letteratura curve che la correlano alla resistenza a compressione
- I trasduttori possono essere posti in 3 configurazioni, in base alla logistica dell'elemento da indagare (la trasmissione diretta è sempre da preferire alle altre)



Calcestruzzo

prove non distruttive - prova ultrasonica

Vantaggi:

- I tempi di esecuzione sono abbastanza brevi
- Fornisce anche il modulo elastico
- I costi sono bassi

  Prezziario Sicilia 2018:

  - Prova (con tre letture) Totale 71.92 €

Svantaggi:

- La prova consente di avere risultati non sempre affidabili (la presenza di barre o l'umidità può alterare il risultato); è necessario tararli con prove distruttive
- Occorre rimuovere l’intonaco che quindi deve essere ripristinato

Calcestruzzo

prove non distruttive - metodo SonReb

In cosa consiste:

- È basato sulle misurazioni simultanee della velocità di propagazione di ultrasuoni (Son) e sull'indice di rimbalzo allo sclerometro (Reb, da rebound = rimbalzo)
- Le curve di correlazione sono del tipo: $R_c = a \times V^b \times S^c$ con V velocità e S indice di rimbalzo
- Esistono in letteratura numerosi valori della terna di coefficienti a, b, c e questo porta a risultati differenti

Calcestruzzo

prove non distruttive - metodo SonReb

Vantaggi:

- È solo una elaborazione numerica delle due prove
- Compensa i problemi dovuti all’eventuale presenza di umidità ed all'età del calcestruzzo, di cui soffrono singolarmente le prove sclerometriche e ultrasoniche
- I costi sono abbastanza bassi

  Prezziario Sicilia 2018:

  - Prova (con tre letture) Totale 107.10 €

Svantaggi:

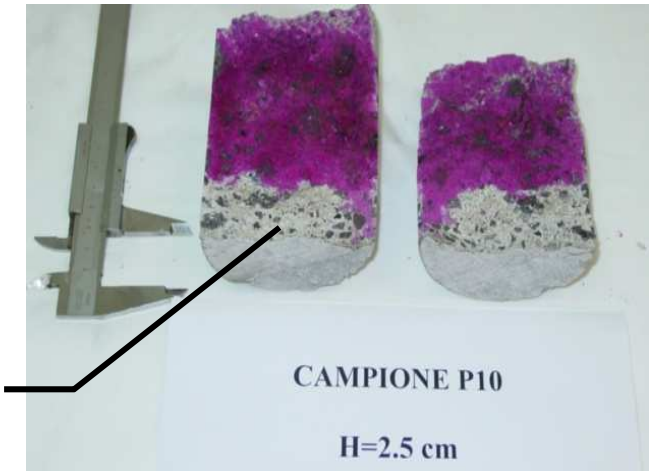
- Nessuno svantaggio specifico, a parte quelli delle prove sclerometriche ed ultrasoniche su cui si basa

Calcestruzzo

prove chimiche - prova di carbonatazione

In cosa consiste:

- La prova si basa sulla proprietà di un reagente chimico ad indicare, con variazione di colore, la basicità di una soluzione acquosa presente su una superficie.
- Generalmente è utilizzata una soluzione all'1% di fenolftaleina in alcool etilico. La fenolftaleina vira al rosso al contatto con soluzioni il cui pH è maggiore di 9.2 e rimane incolore per valori di pH minori, quali quelle del calcestruzzo carbonatato.
- La prova viene effettuata sulle carote estratte dalla struttura



Zona soggetta a carbonatazione

Calcestruzzo

prove chimiche - prova di carbonatazione

Vantaggi:

- È affidabile
- Viene effettuata su carote già estratte
- I costi sono bassi

  Prezziario Sicilia 2018:

  - Prova (con tre letture) Totale 43.65 €

Svantaggi:

- Nessuno svantaggio specifico, a parte quelli delle prove distruttive su cui si basa

Indagini

Acciaio

Acciaio

caratteristiche meccaniche

- Le caratteristiche dell'acciaio dipendono principalmente dall'anno di costruzione

Tipo acciaio	f_y [MPa]	f_u [MPa]	All_{10} a rottura	Barre	Norma
Aq42	230	420÷500	≥ 20 %	lisce	1957
Aq50	270	500÷600	≥ 16 %		
Aq60	310	600÷700	≥ 14 %		
FeB22k	215	335	≥ 24 %	lisce	1972-96
FeB32k	315	490	≥ 23 %		
FeB38k	375	450	≥ 14 %	aderenza migliorata	
FeB44k	430	540	≥ 12 %		
B450A	450	540	≥ 2.5 %	aderenza migliorata	2008-18
B450C	450	540	≥ 7.5 %		

Acciaio

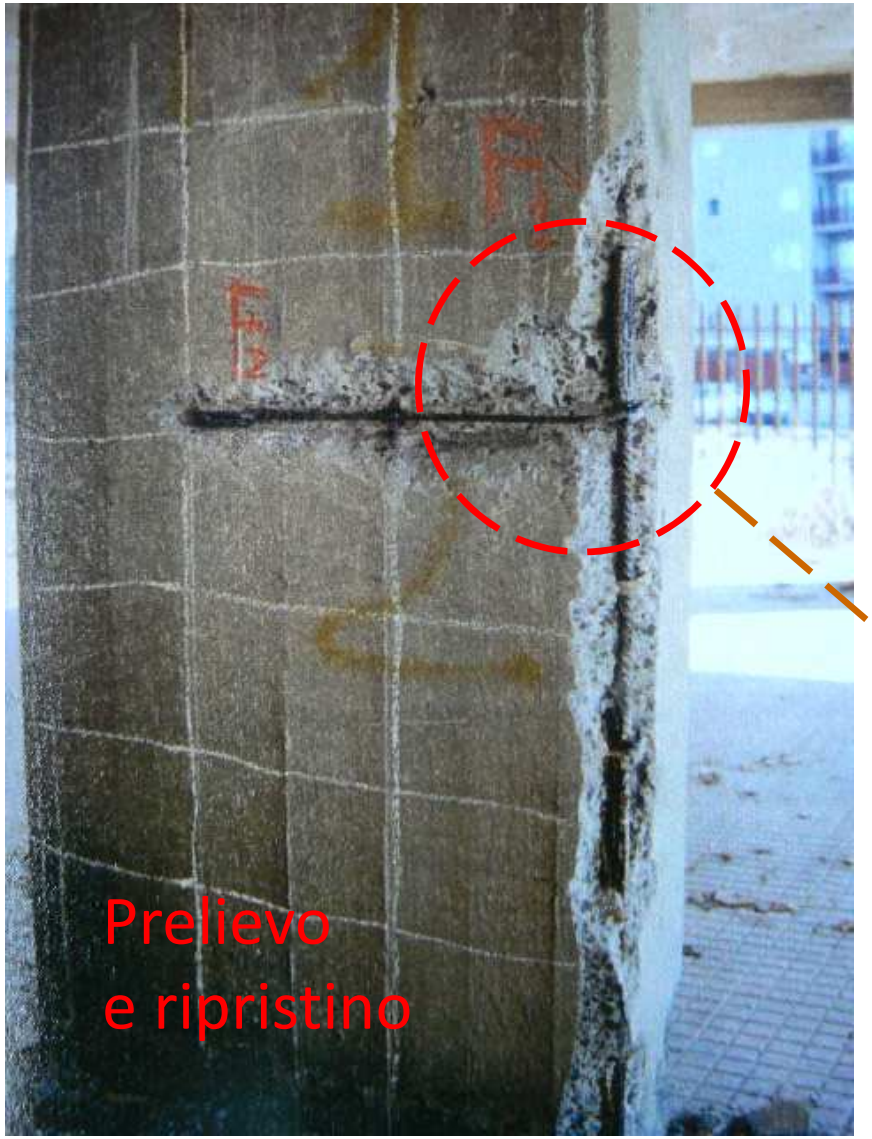
prove distruttive - barre

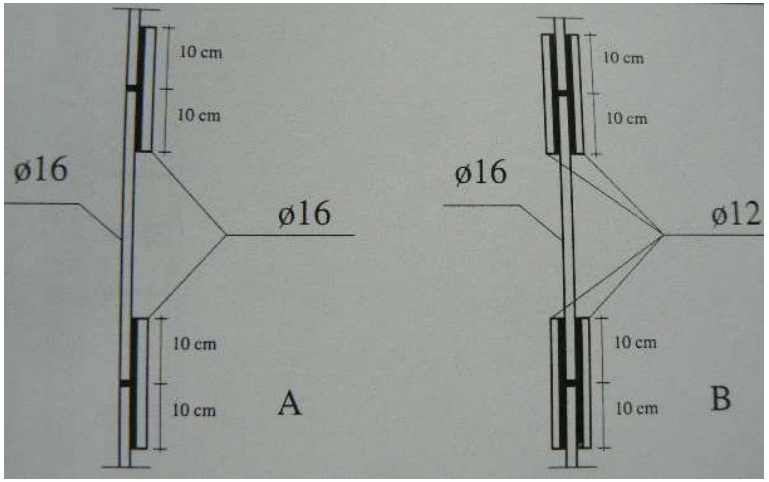
In cosa consiste:

- Prelievo di spezzoni di barre in situ (in punti in cui non si creano problemi particolari per la struttura)
- Ripristino dell'armatura
  - Usare barre di diametro e caratteristiche non inferiori a quelle esistenti
  - Saldatura? Attenzione all'infragilimento causato dal forte riscaldamento
  - Sovrapposizione? Deve essere di lunghezza adeguata

Acciaio

prove distruttive - barre





Attenzione: i vecchi acciai spesso non sono saldabili

Acciaio

prove distruttive - barre

In cosa consiste:

- Prelievo di spezzoni di barre in situ (in punti in cui non si creano problemi particolari per la struttura)
- Ripristino dell'armatura
- Prove in laboratorio sugli spezzoni
  - Prova di trazione con determinazione di snervamento, rottura, allungamento (EN 6892-1:2009)
  - Diagrammi tensione-deformazione (EN 6892-1:2009)
  - Prova di piegamento e raddrizzamento (EN 7438:2005)

Acciaio

prove distruttive - barre

Vantaggi:

- La prova consente di avere indicazioni affidabili sulle caratteristiche dell'acciaio

Svantaggi:

- La prova è altamente invasiva
- Richiede un accurato ripristino strutturale
- I tempi di esecuzione sono lunghi
- I costi sono elevati

Prezziario Sicilia 2018:

- Prelievo della barra	353.94 €		
- Taglio e preparazione	6.36 €		
- Verifica delle tolleranze	71.38 €	Totale	431.68 €

Indagini

Dettagli costruttivi

Dettagli costruttivi

Sono indagini importanti per avere informazioni su:

- Quantità, diametro e disposizione delle barre di armatura in pilastri, travi, nodi
  (necessaria per la verifica strutturale)
- Orditura dei solai
  (ai fini della valutazione del carico sulle travi)
- Caratteristiche dei solai e delle tamponature
  (ai fini della valutazione del loro peso)

- È importante avere un termine di raffronto (tavole progettuali o progetto simulato) in modo da valutare la rispondenza dell'esistente col progetto

Dettagli costruttivi

Tipi di indagini

- Indagini pacometriche
- Saggi per rilievi diretti
- Indagini termografiche
- Indagini videoendoscopiche

Dettagli costruttivi

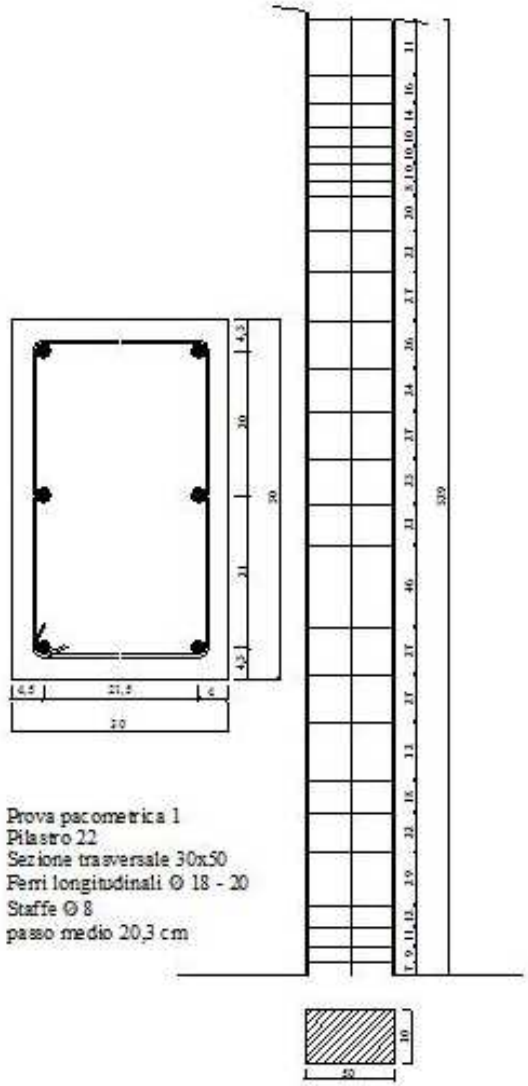
indagine pacometrica

In cosa consiste:

- Il pacometro è uno strumento che emette un campo magnetico e rileva la presenza di metalli
- Facendolo passare sulla superficie di calcestruzzo è in grado di determinare la presenza delle barre di armatura

Dettagli costruttivi

indagine pacometrica



Dettagli costruttivi

indagine pacometrica

Aspetti da evidenziare:

- Il pacometro consente di individuare le barre fino ad una distanza di circa 150 mm dalla superficie
- In presenza di molte barre vicine è difficile distinguere la singola barra
- L'intensità del segnale è proporzionale al diametro e inversamente proporzionale alla distanza
  - Potrebbe consentire di valutare diametro e copriferro conoscendo uno dei due, ma rimangono incertezze se entrambi non sono noti

Dettagli costruttivi

indagine pacometrica

Aspetti da evidenziare:

- L'indagine è propedeutica a tutte le altre:
  - Prelievo di carote
    occorre evitare di includere barre nella carota
  - Prova di pull-out
    il tassello deve essere a più di 25 mm dalle barre
  - Prova sclerometrica
    bisogna evitare di fare battute sopra le barre
  - Prova ultrasonica
    il numero di barre interposte condiziona il risultato
  - Prelievo di barre
    occorre individuarle

Dettagli costruttivi

indagine pacometrica

Vantaggi:

- Consente di ricostruire la disposizione dell'armatura
- È non distruttiva, non occorre nemmeno togliere l'intonaco
- I tempi di esecuzione sono brevi
- È una prova che potrebbe essere fatta da sè
- I costi sono bassi

  Prezziario Sicilia 2018:

  - Per ogni barra rilevata (ma in genere per ogni area di indagine) 10.56 €

Svantaggi:

- Non consente di determinare con accuratezza contemporaneamente copriferro e diametro

Dettagli costruttivi

saggi per rilievi diretti

In cosa consiste:

- Demolizione parziale del copriferro, per l'individuazione diretta delle barre di armatura

Dettagli costruttivi

saggi per rilievi diretti

Vantaggi:

- Fornisce con chiarezza la geometria della barra (ed anche se è liscia o ad aderenza migliorata)
- I costi sono bassi

  Prezziario Sicilia 2018:

  - Per ogni indagine (circa) 50.00 €

Svantaggi:

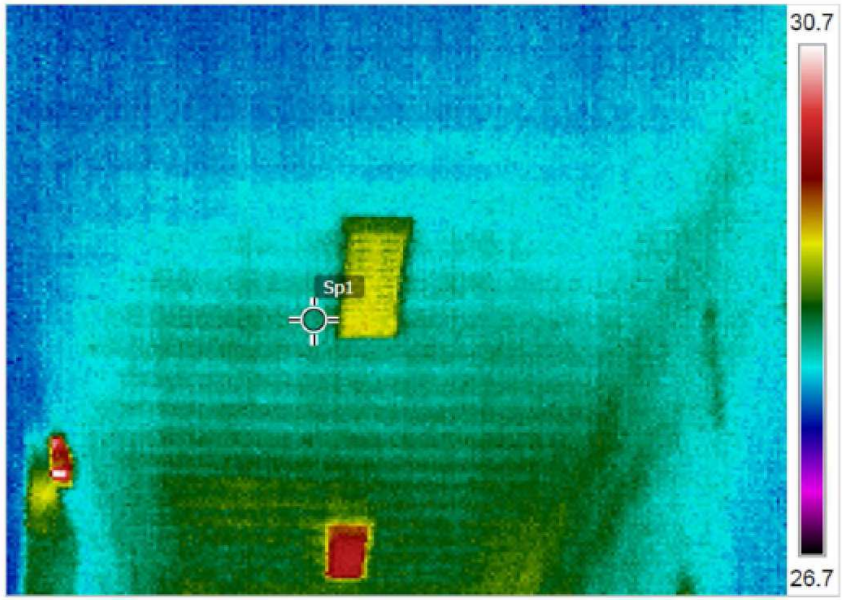
- È una prova distruttiva, richiede il ripristino del calcestruzzo e dell'eventuale intonaco

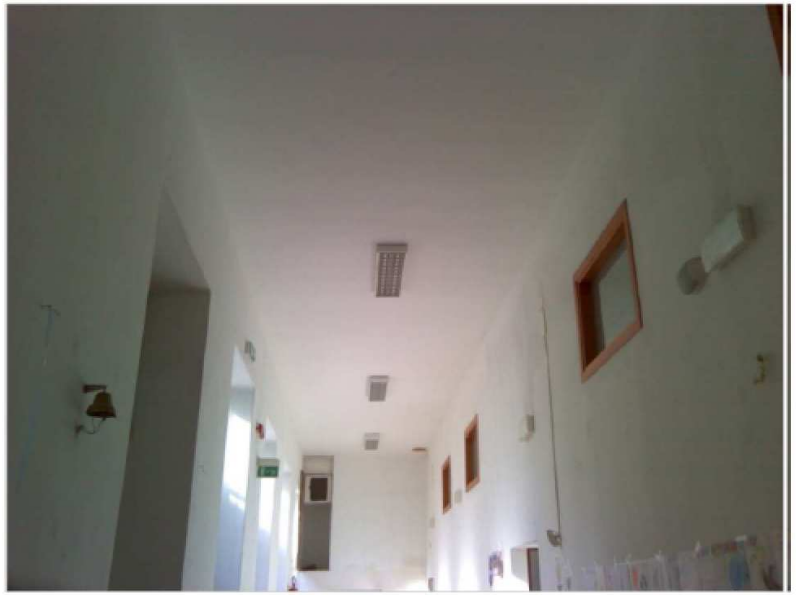
Dettagli costruttivi

indagini termografiche

In cosa consiste:

- L'utilizzo della termografia permette la lettura delle radiazioni emesse nella banda dell'infrarosso da corpi sottoposti a sollecitazione termica. L'energia radiante è funzione della temperatura superficiale dei materiali, a sua volta condizionata dalla conducibilità termica e dal calore specifico





Dettagli costruttivi

indagini termografiche

Aspetti da evidenziare:

- Consente di evidenziare l'orditura dei solai ed altri elementi costruttivi nascosti
- È importante cogliere i momenti migliori, ad esempio al tramonto quando la struttura si sta raffreddando, in modo da coglere bene le differenze

Dettagli costruttivi

indagini termografiche

Vantaggi:

- Consente di individuare dettagli nascosti
- È una prova non distruttiva

Svantaggi:

- I costi sono molto alti

  Prezziario Sicilia 2018:

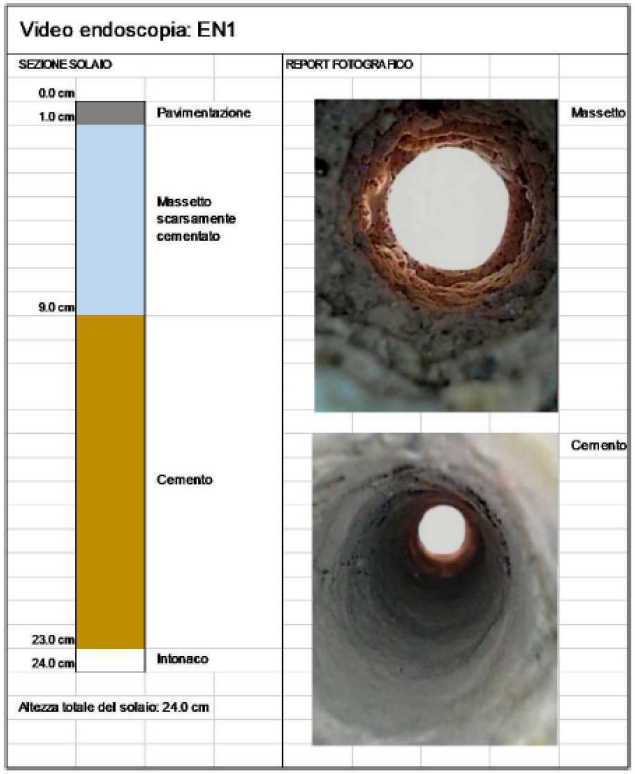
  - Indagine su 100 m^2 1370.11 €

Dettagli costruttivi
indagini videoendoscopiche

In cosa consiste:

- Attraverso un piccolo foro (diametro 10 mm) effettuato nell'elemento da indagare si inserisce una videocamera con prolunga rigida capace di registrare video e scattare foto

- Consente di rilevare la stratigrafia e lo spessore di un elemento e le eventuali irregolarità in esso contenute (cavità, getti di calcestruzzo differenti)



Dettagli costruttivi

indagini videoendoscopiche

Vantaggi:

- Consente di individuare dettagli nascosti
- È una prova semi-distruttiva (basta un piccolo foro)

Svantaggi:

- I costi sono molto alti

  Prezziario Sicilia 2018:

  - Per ogni indagine 349.47 €

In conclusione,

quali prove fare?

Calcestruzzo

In astratto, può convenire:

- Ampia campagna di prove non distruttive
- Un certo numero di prove parzialmente distruttive
- Un numero limitato di prove distruttive (in punti già analizzati con prove non distruttive e parzialmente distruttive, in modo da fungere anche da taratura per queste)

Nei casi reali:

- La situazione (ed il costo) varia da caso a caso

In conclusione,

quali prove fare?

Acciaio

- Qualche prova su barra è inevitabile, ma in genere ne bastano poche per avere indicazioni affidabili

Dettagli costruttivi

- Prove pacometriche: sempre; la quantità dipende principalmente dalla maggiore o minore rispondenza con il progetto
- Qualche saggio per rilievi diretti è inevitabile, per avere conferma di diametri e copriferri (ma anche per prelievo barre)

Esempio di costi

- Edificio di due piani, superficie 300 m^2 a piano

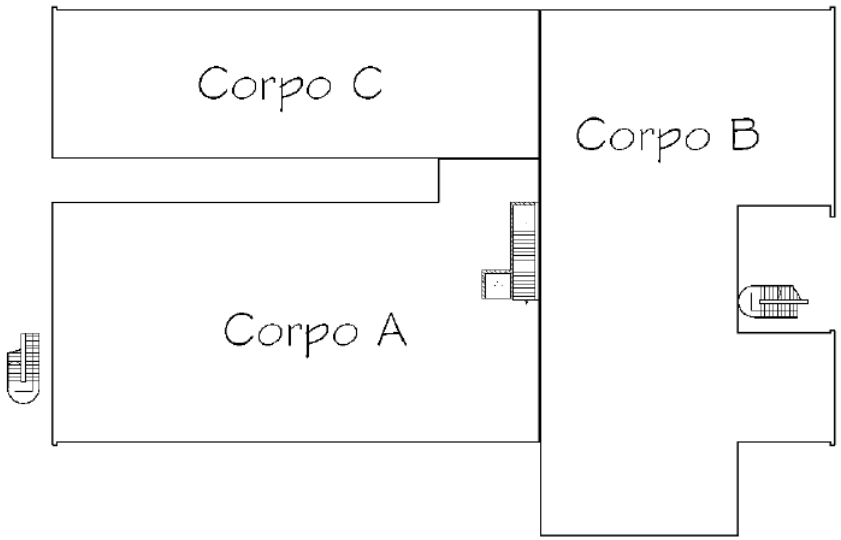
Attività	**Quantità**	**P.U. (€)**	**Totale (€)**
Carote dai pilastri	4	368.72	1474.88
Carote dalle travi	4	368.72	1474.88
Barre dai pilastri	4	431.68	1726.72
Barre dalle travi	4	431.68	1726.72
Prove di carbonatazione	16	43.65	698.40
Prove SonReb	10	107.10	1071.00
Indagini pacometriche (80 servono solo per eseguire i prelievi)	150	10.56	1584.00

Totale: quasi 10000 euro

Un esempio di indagine

Istituto comprensivo statale “Salvatore Todaro”, Augusta (SR)

- La valutazione della vulnerabilità sismica di questo edificio è stata svolta nell’ambito di una convenzione tra Comune di Augusta e Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell’Università di Catania



Edificio costituito da tre corpi di fabbrica
I corpi A e B sono costituiti da un piano seminterrato, un piano terra ed un primo piano

Il corpo C è costituito dal solo piano terra

Informazioni generali

- Edificio progettato nel 1984 in ottemperanza della normativa sismica vigente
- Sono disponibili le tavole progettuali complete

Calcestruzzo

Prove effettuate:

- Resistenza a compressione monoassiale su carote
  - Prelevate 20 carote di diametro 100 mm
  - Provini cilindrici con h/d = 1
- Prove sclerometriche
  - Effettuate in 28 punti, 9 coincidenti con prelievo carote
- Prove a ultrasuoni e Sonreb
  - Negli stessi punti
- Prove di pull-out
  - Negli stessi punti

Calcestruzzo

prove di compressione su carote

Piano	Corpo	Pilastro n.	Sigla	R_{c1} (MPa)	R_{c2} (MPa)	R_c (MPa)
Seminterrato	B	40	C1	15.6	15.3	15.5
	B	41	C2	15.8	15.1	15.5
	A	17	C3	18.1	16.6	17.4
	A	10	C4	14.5	14.3	14.4
	A	8	C5	27.5	27.2	27.4
	A	15	C6	20.4	19.4	19.9
	A	16	C7	--	--	16.6
	A	1	C8	--	--	31.6
Piano terra	B	28	C9	--	--	17.3
	B	39	C10	--	--	14.7
	B	49	C11	--	--	16.1
	C	69	C12	--	--	23.0
	A	4	C13	--	--	20.9
	A	16	C14	--	--	37.6
	A	11	C15	--	--	28.8
	A	2	C16	--	--	35.1
Primo piano	B	46	C17	--	--	11.4
	B	36	C18	--	--	17.0
	A	19	C19	--	--	34.5
	A	6	C20	--	--	21.2

Calcestruzzo

prove con sclerometro (1)

Piano	Corpo	Pilastro n.	Carota	Sigla	I_m	R_c (MPa)
Seminterrato	B	40	C1	SC1	25	16.6
	B	41	C2	SC2	26	18.0
	A	17	C3	SC3	31	25.6
	A	10	C4	SC4	29	22.5
	A	15	C6	SC5	31	25.6
	A	1	C8	SC6	34	30.5
Piano terra	A	11	C15	SC15	39	39.3
	A	22		SC16	33	29.8
	B	51		SC17	28	21.0
	B	46		SC18	32	27.2
	A	13		SC19	34	30.5
	A	4	C13	SC20	31	25.6
	C	64		SC21	31	25.6
	C	73		SC22	35	32.2

Calcestruzzo

prove con sclerometro (2)

Piano	Corpo	Pilastro n.	Carota	Sigla	I_m	R_c (MPa)
	B	54		SC23	27	19.5
	B	41		SC24	29	22.5
	B	32		SC25	19	8.6
	A	24		SC26	37	35.7
	B	38		SC27	33	28.9
	C	60		SC28	30	24.0
Primo piano	B	46	C17	SC7	22	12.5
	A	24		SC8	31	25.6
	A	22		SC9	33	28.9
	B	35		SC10	29	22.5
	A	14		SC11	36	33.9
	A	18		SC12	42	44.8
	A	11		SC13	35	32.2
	A	2		SC14	33	28.9

Calcestruzzo

resistenza a compressione con il metodo Sonreb (1)

Piano	Corpo	Pilastro n.	Carota	Sigle	I_m	V_m (m/s)	R_c (MPa)	E_c (MPa)
Seminterrato	B	40	C1	SC1-US1	25	2.40	17.5	11785
	B	41	C2	SC2-US2	26	2.52	18.4	12993
	A	17	C3	SC3-US3	31	3.01	22.8	18537
	A	10	C4	SC4-US4	29	2.70	20.8	14915
	A	15	C6	SC5-US5	31	3.05	22.9	19033
	A	1	C8	SC6-US6	34	3.40	25.8	23652
Piano terra	A	11	C15	SC15-US15	39	3.81	30.4	29700
	A	22		SC16-US16	33	3.29	24.8	22146
	B	51		SC17-US17	28	2.72	20.2	15137
	B	46		SC18-US18	32	3.16	23.9	20430
	A	13		SC19-US19	34	3.40	25.8	23652
	A	4	C13	SC20-US20	31	3.05	22.9	19033
	C	64		SC21-US21	31	3.06	22.9	19158
	C	73		SC22-US22	35	3.53	26.8	25495
	B	54		SC23-US23	27	2.61	19.3	13937

Calcestruzzo

resistenza a compressione con il metodo Sonreb (2)

Piano	Corpo	Pilastro n.	Carota	Sigle	I_m	V_m (m/s)	R_c (MPa)	E_c (MPa)
Piano terra	B	41		SC24-US24	29	2.83	21.1	16386
	B	32		SC25-US25	19	2.10	12.9	9023
	A	24		SC26-US26	37	3.78	28.8	29234
	B	38		SC27-US27	33	3.29	24.8	22146
	C	60		SC28-US28	30	2.94	22.0	17685
Primo piano	B	46	C17	SC7-US7	22	2.10	14.9	9023
	A	24		SC8-US8	31	3.05	22.9	19033
	A	22		SC9-US9	33	3.28	24.8	22012
	B	35		SC10-US10	29	2.83	21.1	16386
	A	14		SC11-US11	36	3.65	27.8	27258
	A	18		SC12-US12	42	3.93	32.9	31600
	A	11		SC13-US13	35	3.53	26.8	25495
	A	2		SC14-US14	33	3.28	24.8	22012

Calcestruzzo

resistenza a compressione con prove di pull-out (1)

Piano	Corpo	Pilastro n.	Carota	Sigla	R_c (MPa)
Seminterrato	B	40	C1	PO1	24.3
	B	41	C2	PO2	24.7
	A	17	C3	PO3	27.4
	A	10	C4	PO4	24.3
	A	15	C6	PO5	34.4
	A	1	C8	PO6	35.9
Piano terra	A	11	C15	PO15	47.2
	A	22		PO16	41
	B	51		PO17	27.7
	B	46		PO18	28.6
	A	13		PO19	46.2
	A	4	C13	PO20	42.3
	C	64		PO21	34.5
	C	73		PO22	41.9

Calcestruzzo

resistenza a compressione con prove di pull-out (2)

Piano	Corpo	Pilastro n.	Carota	Sigla	R_c (MPa)
Piano terra	B	54		PO23	27.2
	B	41		PO24	36.4
	B	32		PO25	--
	A	24		PO26	49.6
	B	38		PO27	36.1
	C	60		PO28	27.4
Primo piano	B	46	C17	PO7	18.7
	A	24		PO8	39.4
	A	22		PO9	36.2
	B	35		PO10	33.6
	A	14		PO11	36.6
	A	18		PO12	47.6
	A	11		PO13	45.1
	A	2		PO14	41.7

Calcestruzzo

correlazione tra le prove

Metodo d'indagine				*Carote*	*Sclerometriche*		*Metodo Sonreb*		*Pull-out*	
Piano	Corpo	Pil. n.	Carota	R_c (MPa)	R_c (MPa)	*Rapporto*	R_c (MPa)	*Rapporto*	R_c (MPa)	*Rapporto*
Seminterrato	B	40	C1	15.5	16.6	0.934	17.5	0.886	24.3	0.638
	B	41	C2	15.5	18	0.861	18.4	0.842	24.7	0.628
	A	17	C3	17.4	25.6	0.680	22.8	0.763	27.4	0.635
	A	10	C4	14.4	22.5	0.640	20.8	0.692	24.3	0.593
	A	15	C6	19.9	25.6	0.777	22.9	0.869	34.4	0.578
	A	1	C8	31.6	30.5	1.036	25.8	1.225	30.5	1.036
Piano terra	A	11	C15	28.8	39.3	0.733	30.4	0.947	47.2	0.610
	A	4	C13	20.9	25.6	0.816	22.9	0.913	42.3	0.494
Primo piano	B	46	C17	11.4	12.5	0.912	14.9	0.765	18.7	0.610
C_V (media)						**0.820**		**0.877**		**0.629**

Calcestruzzo

resistenza a compressione corretta (1)

Metodo d'indagine				*Carote*	*Sclerometriche*	*Sonreb*	*Pull-out*
Piano	Corpo	Pilastro n.	Carota	R_c (MPa)	R_c' (MPa)	R_c' (MPa)	R_c' (MPa)
Seminterrato	B	40	C1	15.5	15.5	15.5	15.5
	B	41	C2	15.5	15.5	15.5	15.5
	A	17	C3	17.4	17.4	17.4	17.4
	A	10	C4	14.4	14.4	14.4	14.4
	A	15	C6	19.9	19.9	19.9	19.9
	A	1	C8	31.6	31.6	31.6	31.6
	A	8	C5	27.4	27.4	27.4	27.4
	A	16	C7	16.6	16.6	16.6	16.6
	A	11	C15	28.8	28.8	28.8	28.8
	A	22		--	24.4	21.7	25.8
	B	51		--	17.2	17.7	17.4
	B	46		--	22.3	21.0	18.0
	A	13		--	25.0	22.6	29.1

Calcestruzzo

resistenza a compressione corretta (2)

Metodo d'indagine				*Carote*	*Sclerometriche*	*Sonreb*	*Pull-out*
Piano	Corpo	Pilastro n.	Carota	R_c (MPa)	R_c' (MPa)	R_c' (MPa)	R_c' (MPa)
Piano terra	A	4	C13	20.9	20.9	20.9	20.9
	C	64		--	21.0	20.1	21.7
	C	73		--	26.4	23.5	26.3
	B	54		--	16.0	16.9	17.1
	B	41		--	18.5	18.5	22.9
	B	32		--	7.1	11.3	--
	A	24		--	29.3	25.3	31.2
	B	38		--	23.7	21.7	22.7
	C	60		--	19.7	19.3	17.2
	B	28	C9	17.3	17.3	17.3	17.3
	B	39	C10	14.7	14.7	14.7	14.7
	B	49	C11	16.1	16.1	16.1	16.1
	C	69	C12	23.0	23.0	23.0	23.0

Calcestruzzo

resistenza a compressione corretta (3)

Metodo d'indagine				*Carote*	*Sclerometriche*	*Sonreb*	*Pull-out*
Piano	Corpo	Pilastro n.	Carota	R_c (MPa)	R_c' (MPa)	R_c' (MPa)	R_c' (MPa)
	A	16	C14	37.6	37.6	37.6	37.6
	A	2	C16	35.1	35.1	35.1	35.1
	B	46	C17	11.4	11.4	11.4	11.4
	A	24		--	21.0	20.1	24.8
	A	22		--	23.7	21.7	22.8
	B	35		--	18.5	18.5	21.1
	A	14		--	27.8	24.4	23.0
Primo piano	A	18	Carota	--	36.7	28.8	29.9
	A	11		--	26.4	23.5	28.4
	A	2		--	23.7	21.7	26.2
	B	36	C18	17.0	17.0	17.0	17.0
	A	19	C19	34.5	34.5	34.5	34.5
	A	6	C20	21.2	21.2	21.2	21.2

Calcestruzzo

valori medi ottenuti

Valori medi della resistenza a compressione R_c (MPa)

Metodo d'indagine	*Carote*	*Sclerometriche*	*Sonreb*	*Pull-out*
Seminterrato	19.8	19.8	19.8	19.8
Piano terra	24.2	22.2	21.7	23.3
Primo piano	21.0	23.8	22.1	23.7
Media p.terra e primo	**23.1**	**23.4**	**21.8**	**22.8**
Media totale	**21.7**	**21.9**	**21.2**	**22.2**

Valori medi del modulo elastico E_c (MPa)

Seminterrato	16819
Piano terra	20226
Primo piano	21602
Totale	**19889**

Calcestruzzo

conclusioni

- I valori sono abbastanza uniformi, tendenzialmente minori al piano seminterrato
- È stato rilevato un valore particolarmente basso solo in un punto (pilastro 46, piano primo)
- Si decide di utilizzare come valore medio:
  - R_{cm} = 19.8 MPa (f_{cm} = 16 MPa) al piano seminterrato
  - R_{cm} = 22.8 MPa (f_{cm} = 18 MPa) al piano terra e primo
- Per quanto riguarda il modulo elastico si utilizza come valore medio:
  - E_{cm} = 20000 MPa

Acciaio

Prove effettuate:

- Rilievo di armature col pacometro in 25 elementi strutturali (22 pilastri e 3 travi)
  - Rilievo dei pilastri esteso a tutta altezza per determinare la posizione delle staffe
- Spicconatura del calcestruzzo in 12 dei 25 elementi
  - Controllo posizione e rilevo diametro delle barre
- Prelievo di 6 spezzoni di barre, soggette a prova a trazione

Armature

ubicazione dei sondaggi

- Piano seminterrato

Armature

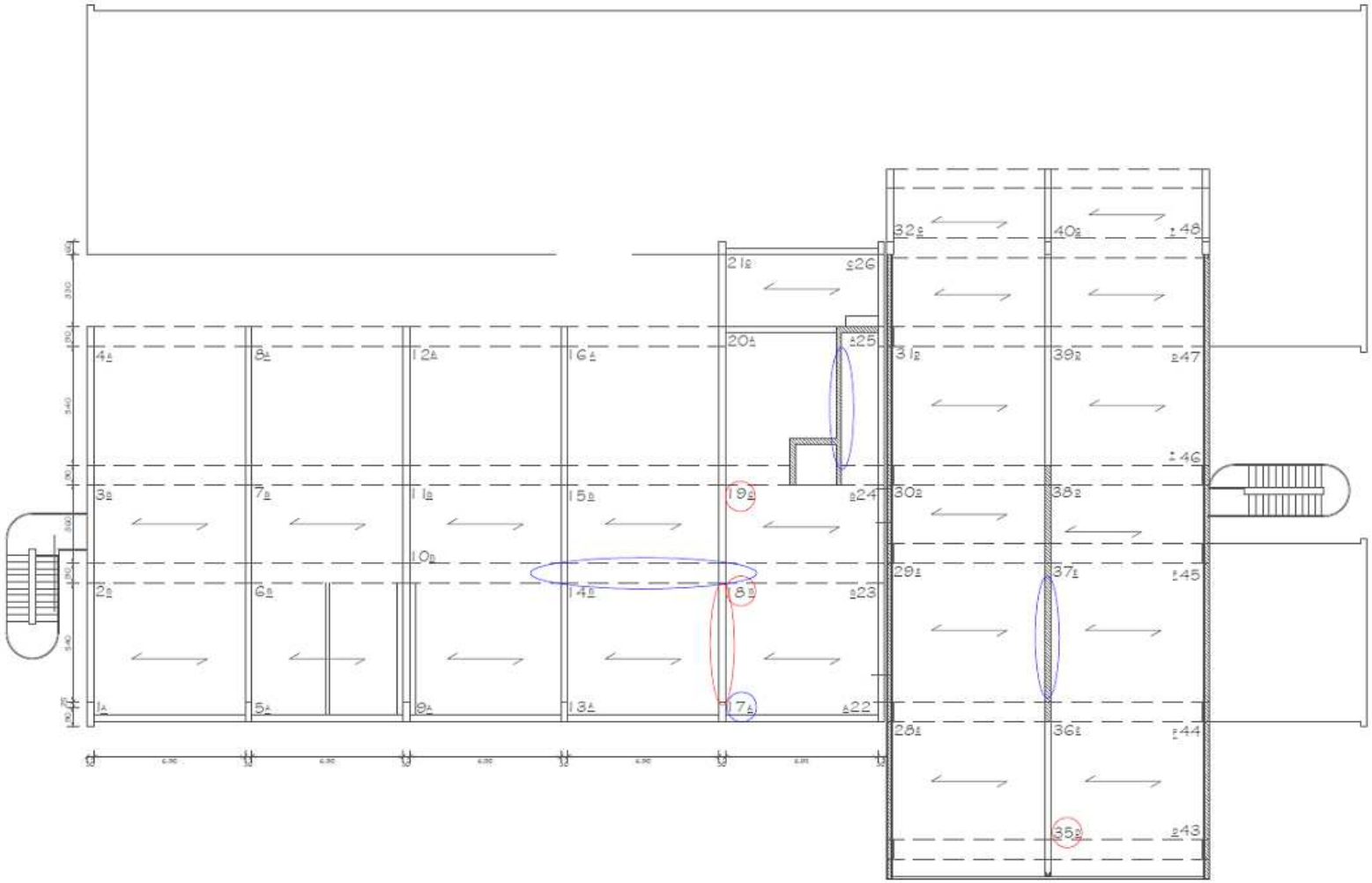
ubicazione dei sondaggi

- Piano terra

Armature

ubicazione dei sondaggi

- Piano primo



Acciaio

conclusioni

- L'acciaio presenta resistenza media f_{ym} = 450 MPa
- Si riscontrano varie difformità tra le armature previste dal progetto e quelle disposte:
  - Barre si spigolo previste come ∅26 spesso sostituite da coppie di ∅16 (area complessiva minore del 25%)
  - Staffe ∅8 disposte con passo 20 cm (come da progetto) ma senza i tirantini previsti (area a taglio in direzione trasversale dimezzata)

Riepilogo valori

da assumere nel calcolo

- Calcestruzzo
  - Si assume f_{cm} = 16 MPa al piano seminterrato e f_{cm} = 18 MPa al piano terra e primo
  - Si è utilizzato un fattore di confidenza FC = 1.2
- Sulla base di questi dati si ha:
  - Piano seminterrato f_{cm} / FC = 13.3 MPa
  - Piano terra e primo f_{cm} / FC = 15.0 MPa
- Considerazioni oggi:
  La dispersione dei valori motiva bene FC=1.2, nonostante l'alto numero di prove; la deviazione standard di f_c è circa 5 MPa e forse ridurrei ulteriormente i valori, portandoli a
  - Piano seminterrato 12.0 MPa
  - Piano terra e primo 14.0 MPa

Riepilogo valori

da assumere nel calcolo

- Acciaio
  - Si assume f_{ym} = 450 MPa
  - Per le discordanze riscontrate, si è assunto FC = 1.2 per le armature longitudinali
  - Come staffe si è assunto che siano sempre ∅8/20 senza tirantini, ma si è utilizzato FC = 1 (perché su questo c'è certezza)

- Considerazioni oggi:
  Poiché i valori di resistenza sono poco dispersi e la differenza di armatura solo occasionale, forse oggi userei FC = 1.1 per le armature longitudinali dei pilastri
  Rimango dell'idea di FC = 1 per le staffe

Ringraziamenti:

Pur essendomi interessato ed occupato ogni tanto dell'argomento, non ho particolari competenze relativamente alle prove sui materiali. Ringrazio quindi tutti coloro che nel passato ho invitato a parlare su questo tema e che mi hanno aiutato e fornito informazioni; in particolare, Sebastiano Costa e Luca D'Izzia. Qualcuna delle immagini l'ho "rubata" a loro.