

Corsi di aggiornamento  
Progettazione strutturale  
e Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni

## 9. Vulnerabilità e rischio sismico di edifici esistenti in c.a.

### 04 – Conoscenza della struttura

Villa Redenta, Spoleto, 22-24 novembre 2018  
Aurelio Ghersi

# Costruzioni esistenti

## Richiami di normativa

- Conoscenza della struttura
  - La costruzione riflette la normativa e lo stato delle conoscenze (regola d'arte) al tempo della loro edificazione
  - La costruzione può contenere difetti di impostazione concettuale e di realizzazione che non sono direttamente visibili o evidenziabili
  - La costruzione può aver già sopportato in passato terremoti (più o meno violenti) od altre azioni eccezionali, i cui effetti possono essere più o meno manifesti
  - La costruzione può presentare degrado e/o modificazioni significative rispetto alla situazione originaria

# Costruzioni esistenti

## Richiami di normativa

- Conoscenza della struttura
  - Per svolgere qualsiasi tipo di analisi è necessario conoscere meglio possibile l'organismo strutturale, nello stato effettivo in cui si trova
  - 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

# Conoscenza della struttura

- Per svolgere qualsiasi tipo di analisi è necessario conoscere meglio possibile l'organismo strutturale, nello stato effettivo in cui si trova
  - Occorrono informazioni molto dettagliate sulla struttura  
Ogni professionista nel tempo raggiunge una sua metodologia per affrontare queste situazioni
  - Obiettivo:  
Raggiungere una conoscenza dell'edificio sufficiente per poter esprimere un giudizio (sia qualitativo che quantitativo)

# Dati necessari

- identificazione dell'organismo strutturale e verifica del rispetto dei criteri di regolarità indicati al § 7.2.2 delle NTC; quanto sopra viene ottenuto sulla base dei disegni originali di progetto opportunamente verificati con indagini in-situ, oppure con un rilievo ex-novo;
- identificazione delle strutture di fondazione;
- identificazione delle categorie di suolo secondo quanto indicato al § 3.2.2 delle NTC;
- informazione sulle dimensioni geometriche degli elementi strutturali, dei quantitativi delle armature, delle proprietà meccaniche dei materiali, dei collegamenti;
- informazioni su possibili difetti locali dei materiali;
- informazioni su possibili difetti nei particolari costruttivi (dettagli delle armature, eccentricità travi-pilastro, eccentricità pilastro-pilastro, collegamenti trave-colonna e colonna-fondazione, etc.);
- informazioni sulle norme impiegate nel progetto originale incluso il valore delle eventuali azioni sismiche di progetto;
- descrizione della classe d'uso, della categoria e della vita nominale secondo il § 2.4 delle NTC;
- rivalutazione dei carichi variabili, in funzione della destinazione d'uso;
- informazione sulla natura e l'entità di eventuali danni subiti in precedenza e sulle riparazioni effettuate.

# Dati necessari

- Analisi storico-critica

Ai fini di una corretta individuazione del sistema strutturale e del suo stato di sollecitazione è importante ricostruire il processo di realizzazione e le successive modificazioni subite nel tempo dalla costruzione, nonché gli eventi che la hanno interessata.

NTC  
punto 8.5.1

- Occorre conoscere la **normativa vigente**, le **abitudini progettuali e realizzative** nel periodo in cui è stato realizzato l'edificio
- Occorre conoscere la storia delle costruzioni (se realizzata in più fasi e da imprese diverse) e la sua evoluzione nel tempo (lavori effettuati per modifiche, ristrutturazioni, riparazioni)

# Dati necessari

- Analisi storico-critica
- Caratteristiche del sito e del suolo
  - Come per le nuove costruzioni, questi sono dati preliminari, indispensabili per la caratterizzazione sismica
  - Prestare particolare attenzione alla possibilità di amplificazioni sismiche locali

# Dati necessari

- Analisi storico-critica
- Caratteristiche del sito e del suolo
- Geometria dell'edificio (architettonico, struttura in elevazione e fondazione)

Il rilievo geometrico-strutturale dovrà essere riferito alla geometria complessiva, sia della costruzione, sia degli elementi costruttivi, comprendendo i rapporti con le eventuali strutture in aderenza. Nel rilievo dovranno essere rappresentate le modificazioni intervenute nel tempo, come desunte dall'analisi storico-critica.

Il rilievo deve individuare l'organismo resistente della costruzione, tenendo anche presenti la qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costitutivi

Dovranno altresì essere rilevati i dissesti, in atto o stabilizzati, ponendo particolare attenzione all'individuazione dei quadri fessurativi e dei meccanismi di danno.

NTC  
punto 8.5.2



# Dati necessari

- Analisi storico-critica
- Caratteristiche del sito e del suolo
- Geometria dell'edificio (architettonico, struttura in elevazione e fondazione)
  - 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 con lavoro e spesa non particolarmente elevati

# Dati necessari

- Analisi storico-critica
- Caratteristiche del sito e del suolo
- Geometria dell'edificio
- Particolari costruttivi
  - Occorre conoscere quantità, disposizione, sagomatura delle barre e staffe disposte negli elementi strutturali
  - Una individuazione diffusa delle armature è molto costosa
  - È importante avere un termine di paragone
    - Se si è in possesso di tavole progettuali è sufficiente un riscontro a campione
    - In caso contrario si deve svolgere un progetto simulato e procedere ad un rilievo e controllo dettagliato
  - Si possono ridurre le incertezze, ma non eliminarle del tutto

# Dati necessari

- Analisi storico-critica
- Caratteristiche del sito e del suolo
- Geometria dell'edificio
- Particolari costruttivi
- Caratteristiche dei materiali

Per conseguire un'adeguata conoscenza delle caratteristiche dei materiali e del loro degrado, ci si baserà sulla documentazione già disponibile, su verifiche visive in situ e su indagini sperimentali. Le indagini dovranno essere motivate, per tipo e quantità, dal loro effettivo uso nelle verifiche ... I valori di progetto delle resistenze meccaniche dei materiali 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.

NTC  
punto 8.5.3

# Dati necessari

- Analisi storico-critica
- Caratteristiche del sito e del suolo
- Geometria dell'edificio
- Particolari costruttivi
- Caratteristiche dei materiali
  - 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

# Dati necessari

- Analisi storico-critica
- Caratteristiche del sito e del suolo
- Geometria dell'edificio
- Particolari costruttivi
- Caratteristiche dei materiali
- Danni e degradi della struttura

Dovranno altresì essere rilevati i dissesti, in atto o stabilizzati, ponendo particolare attenzione all'individuazione dei quadri fessurativi e dei meccanismi di danno.

NTC  
punto 8.5.2

# Conoscenza della struttura

## livelli di conoscenza e fattori di confidenza

- Per svolgere qualsiasi tipo di analisi è necessario conoscere meglio possibile l'organismo strutturale, nello stato effettivo in cui si trova
  - 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

Sulla base degli approfondimenti effettuati nelle fasi conoscitive sopra riportate, 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

# Conoscenza della struttura

## livelli di conoscenza e fattori di confidenza

- Ritengo che il fattore di confidenza serva per passare da un valore medio (misurato sperimentalmente) all'equivalente di un valore caratteristico

I fattori di confidenza, determinati in funzione del livello di conoscenza acquisito, vengono applicati ai valori medi delle resistenze dei materiali ... per fornire una stima ... entro l'intervallo di confidenza considerato (in genere ... pari al 95%)

Bozza  
Circolare  
2018

punto  
C8.5.4.2

Per determinare i fattori di confidenza ... 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 ... determina i valori dei fattori di confidenza da applicare alle proprietà dei materiali, anche in maniera differenziata per elementi strutturali o gruppi di elementi ...

In assenza di valutazioni più specifiche ci si può riferire alla Tabella C8.5.IV

# Conoscenza della struttura

## livelli di conoscenza e fattori di confidenza

Livello di conoscenza	Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1 limitata	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	1.35
LC2 adeguata		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 accurata		Elaborati progettuali completi con indagini limitate in situ; in alternativa indagini esaustive in situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con prove estese in situ; in alternativa da prove esaustive in situ	Tutti	1.00



# 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 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

# Verifiche

## limitate, estese, esaustive

	Rilievo (dei dettagli costruttivi)	Prove (sui materiali)
	Per ogni tipo di elemento “primario” (trave, pilastro...)	
Verifiche limitate	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 15% degli elementi	1 provino di cls. per 300 m <sup>2</sup> di piano dell'edificio, 1 campione di armatura per piano dell'edificio
Verifiche estese	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 35% degli elementi	2 provini di cls. per 300 m <sup>2</sup> di piano dell'edificio, 2 campioni di armatura per piano dell'edificio
Verifiche esaustive	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 50% degli elementi	3 provini di cls. per 300 m <sup>2</sup> 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 terrà 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 è consentito sostituire alcune prove distruttive, non più del 50%, con un più ampio numero, 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

Indagini

# Programmazione della campagna di indagini

Obiettivo generale:

- 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

# Programmazione della campagna di indagini

Fasi preliminari:

- Reperimento del **materiale** disponibile
  - Progetto originario
  - Documentazione di prove
  - Informazioni generali su costruzione ed eventi nel tempo
- Rilievo geometrico sufficientemente dettagliato

Scopo della campagna di indagini:

- Acquisire informazioni su
  - Caratteristiche dei materiali (calcestruzzo e acciaio)
  - Dettagli costruttivi  
(quantità e disposizione delle armature in pilastri, nodi, travi)

# Campagna di indagini sui materiali

## Obiettivo:

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

## Nota:

- Il problema della dispersione dei valori è particolarmente rilevante per il calcestruzzo
- La variabilità può essere dovuta anche al cambio di impresa costruttrice

Indagini  
Calcestruzzo

# Determinazione delle caratteristiche del calcestruzzo

- Prove non distruttive (sclerometro, prove ultrasoniche, metodo Sonreb)

Pro: costo basso (specialmente sclerometro);  
consentono di valutare in maniera diffusa le  
caratteristiche del calcestruzzo

Contro: valori poco affidabili (ma utili in termini comparativi);  
se la struttura è protetta da intonaco, i costi di  
ripristino incidono in maniera rilevante



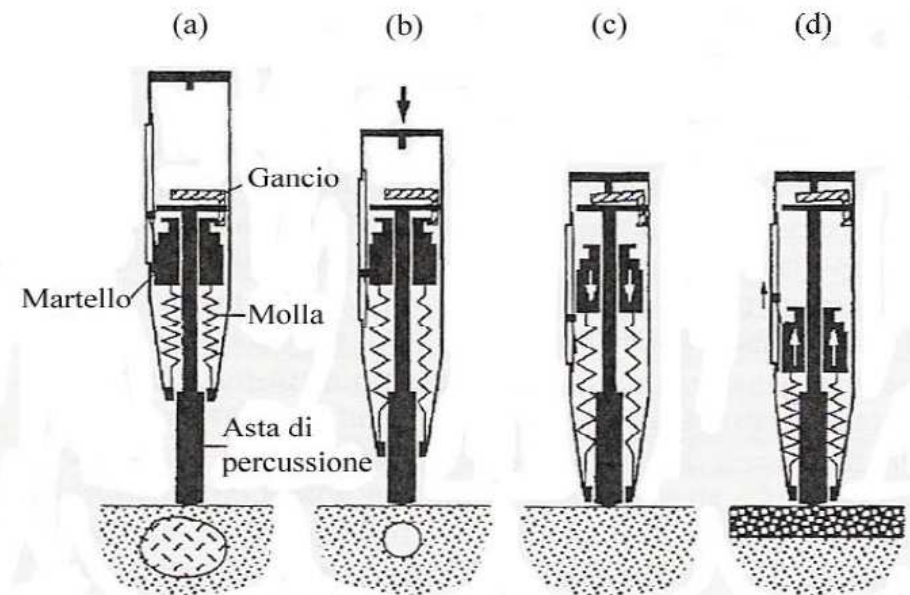
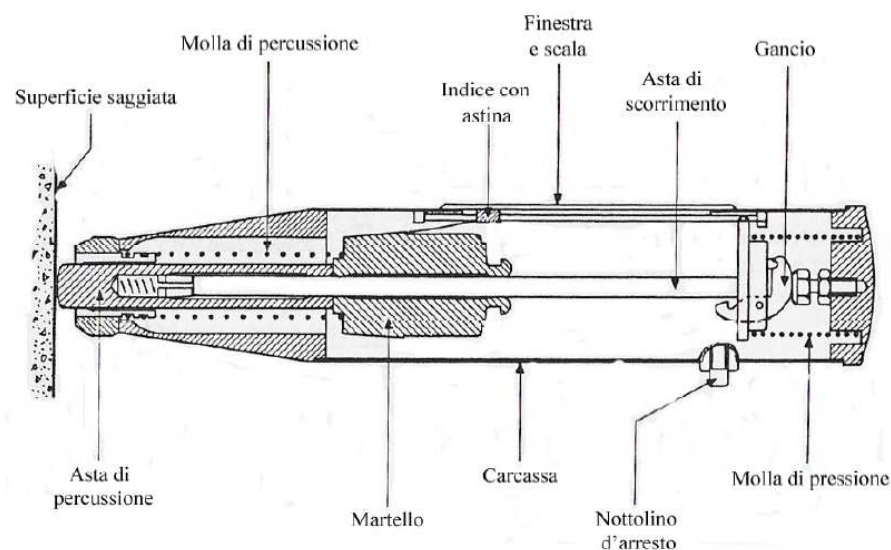
# Prova di durezza superficiale (sclerometro)

Principio del metodo:

UNI 9189; EN 12504-2

- Una massa scagliata da una molla colpisce un pistone a contatto con la superficie di prova e il risultato della prova viene espresso in termini di distanza di rimbalzo della massa (indice sclerometrico)

Misura la durezza superficiale, che è correlata alla resistenza

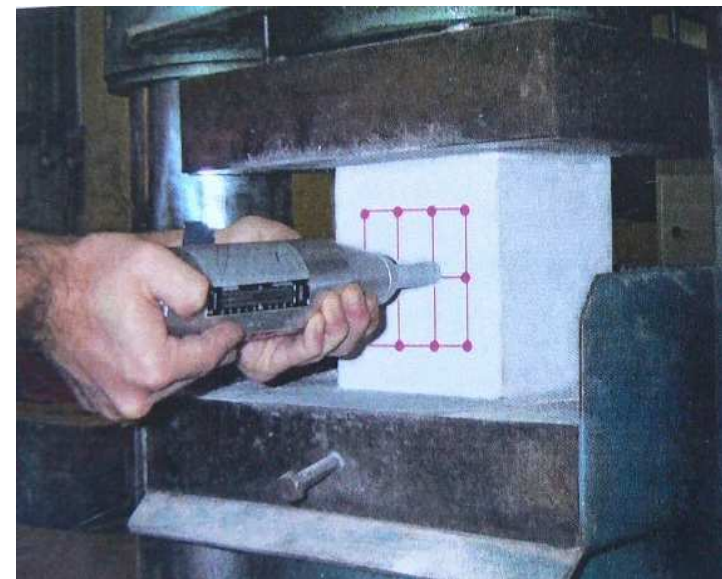


# Prova di durezza superficiale (sclerometro)

## Procedimento:

- 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 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)

Prova su cubetto, per  
tarare lo sclerometro



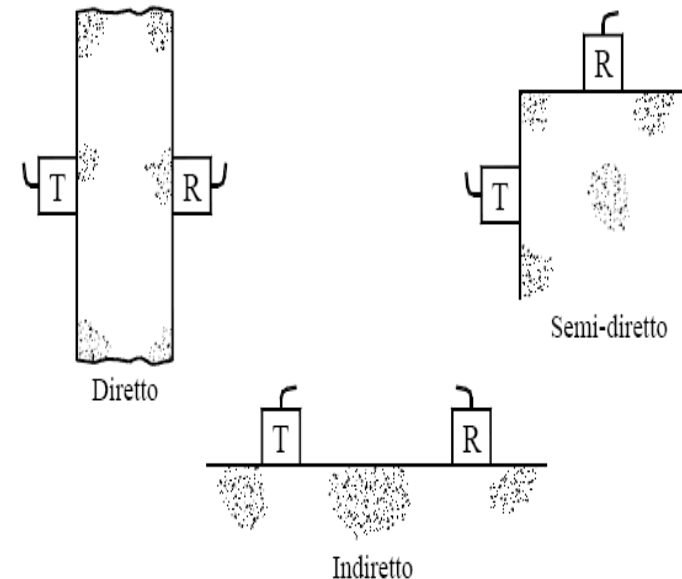
# Prova ultrasonica

Principio del metodo:

UNI 9524; EN 12504-4

- Vengono emessi ultrasuoni (frequenza  $> 20\text{kHz}$ ) a contatto con la superficie e si misura la velocità con cui è attraversato l'elemento

Misura il modulo elastico,  
che è correlato alla resistenza



# Metodo Sonreb

- Combina i risultati delle prove sclerometrica e ultrasonica  
SONic + REBound = ultrasuoni + sclerometro
- Consente di ridurre gli errori dovuti all'umidità e all'età del calcestruzzo, che influiscono in maniera opposta su prove sclerometriche e ultrasoniche

# Determinazione delle caratteristiche del calcestruzzo

- Prove non distruttive (sclerometro, prove ultrasoniche, metodo Sonreb)
- Prove parzialmente distruttive (pull out)

Pro:       costo abbastanza basso;  
            consentono di valutare in maniera diffusa le  
            caratteristiche del calcestruzzo

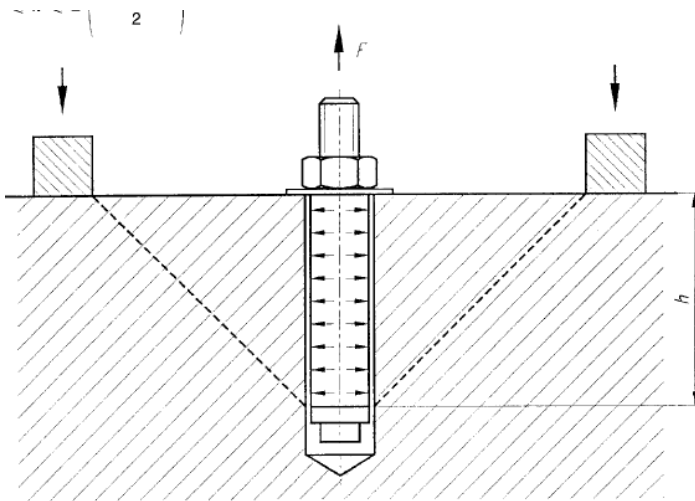
Contro:   valori non molto affidabili (ma utili in termini  
            comparativi);  
            sempre necessario un ripristino

# Prova di estrazione (pull out)

Principio del metodo:

- Viene inserito nel calcestruzzo un elemento metallico e si misura la forza necessaria per estrarlo

Misura la resistenza a trazione, che è correlata alla resistenza a compressione





# Prova di estrazione (pull out)

Principio del metodo:

- Viene inserito nel calcestruzzo un elemento metallico e si misura la forza necessaria per estrarlo

Misura la resistenza a trazione, che è correlata alla resistenza a compressione



# Determinazione delle caratteristiche del calcestruzzo

- Prove non distruttive (sclerometro, prove ultrasoniche, metodo Sonreb)
- Prove parzialmente distruttive (pull out)
- Prove distruttive (carote)

Pro: valori affidabili (da prendere come riferimento)

Contro: costo alto



# Prove su carote

## Principio del metodo:

- Si effettua in situ il carotaggio, cioè il prelievo di carote (campioni cilindrici)
- In laboratorio si valuta la resistenza a compressione dei provini estratti
- I risultati delle prove vengono ritoccati con coefficienti correttivi (per rapporto  $h/d$ , inclinazione perforazione, ecc.)

## Nota:

- Il diametro delle carote varia da 50 a 150 mm
- Spesso è problematico estrarre carote di grande diametro
- Il diametro deve essere comunque commisurato alle dimensioni degli inerti

# Prove su carote



# Determinazione delle caratteristiche del calcestruzzo

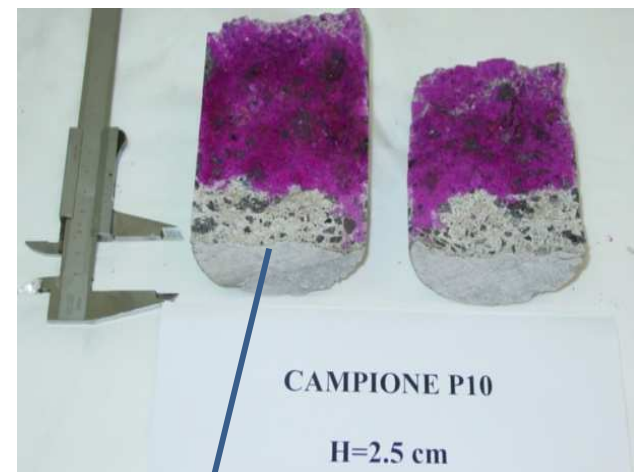
- Prove non distruttive (sclerometro, prove ultrasoniche, metodo Sonreb)
- Prove parzialmente distruttive (pull out)
- Prove distruttive (carote)
- Prove chimiche, per valutare il degrado

# Prove chimiche

Servono per valutare il degrado del calcestruzzo:

- Carbonatazione
- Attacco dei solfati
- Attacco dei cloruri

Prova di  
carbonatazione



Zona soggetta a  
carbonatazione

# Quali prove fare?

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

Indagini

Acciaio

# Determinazione delle caratteristiche dell'acciaio

- Le caratteristiche dell'acciaio dipendono principalmente dall'anno di costruzione
  - Produzione industriale
  - Caratteristiche che migliorano nel tempo

– Esempio: acciai previsti dalla norma del 1957

Barre lisce

Tipo acciaio	$f_y$ [MPa]	$f_u$ [MPa]	$A_{l10}$ a rottura
<b>Aq42</b>	230	420÷500	≥ 20 %
<b>Aq50</b>	270	500÷600	≥ 16 %
<b>Aq60</b>	310	600÷700	≥ 14 %

– Acciaio previsto dalla norma del 2008

Aderenza  
migliorata

<b>B450C</b>	450	540	≥ 7.5 %
--------------	-----	-----	---------

# Determinazione delle caratteristiche dell'acciaio

Procedimento:

- Prelievo di barre in situ (in punti in cui non si creano problemi particolari per la struttura)
- Prova di laboratorio a trazione
- Ripristino delle armature in situ



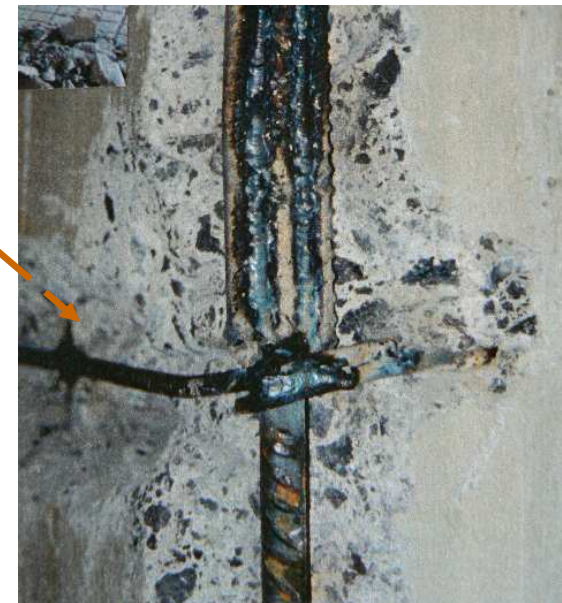
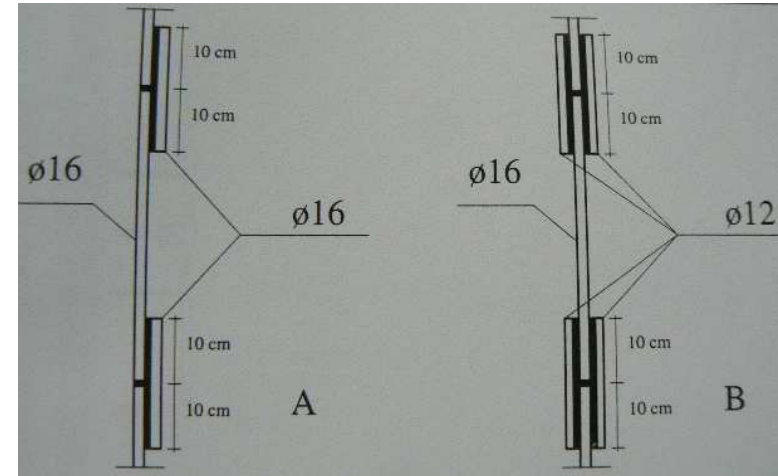
Indagini

Dettagli costruttivi

# Dettagli costruttivi

- È importante avere un termine di raffronto, in particolare le tavole progettuali, in modo da valutare la rispondenza dell'esistente col progetto
- In assenza di tavole progettuali è utile effettuare un progetto simulato
  - Per farlo occorre seguire la normativa e le procedure di calcolo dell'epoca

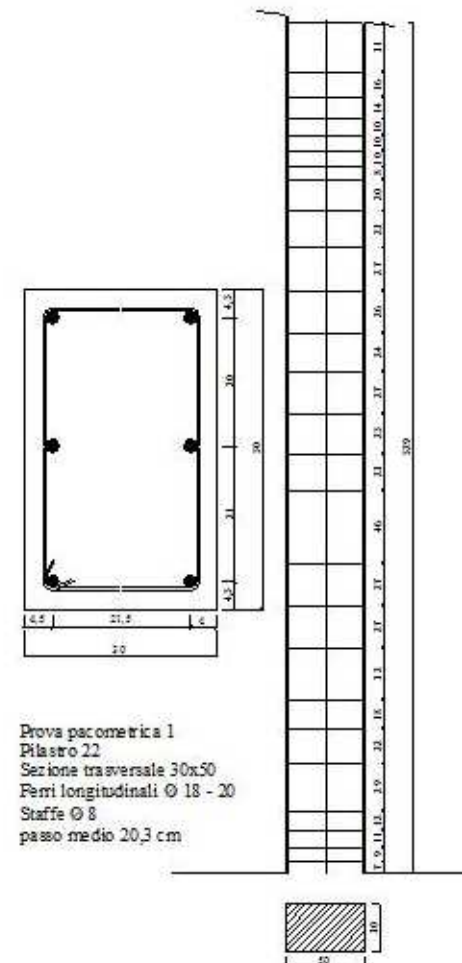
# Prelievo e ripristino



Attenzione: i vecchi acciai spesso non sono saldabili

# Rilievo delle armature

- Individuazione delle barre mediante pacometro





# Rilievo delle armature

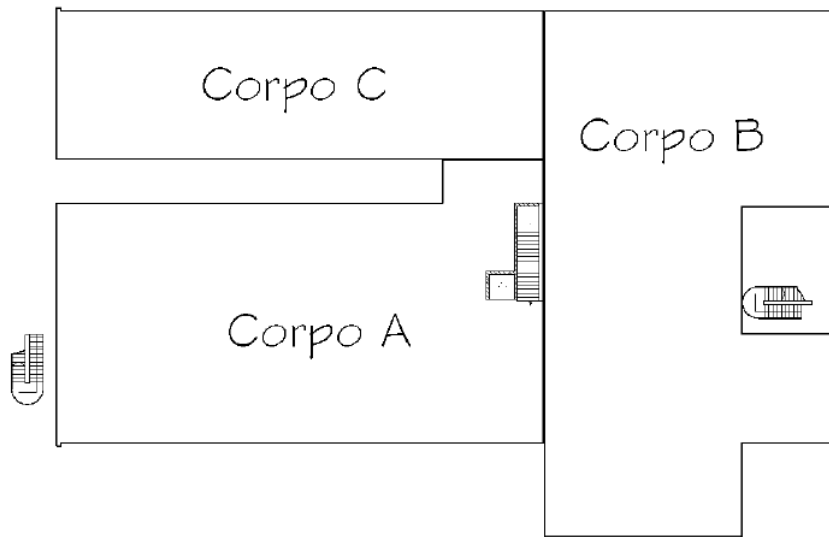
- Rilievo diretto delle barre



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	C13	SC19-US19	34	3.40	25.8	23652
	A	4		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				<i>Carote</i>	<i>Sclerometriche</i>		<i>Metodo Sonreb</i>		<i>Pull-out</i>	
Piano	Corpo	Pil. n.	Carota	$R_c$ (MPa)	$R_c$ (MPa)	<i>Rapporto</i>	$R_c$ (MPa)	<i>Rapporto</i>	$R_c$ (MPa)	<i>Rapporto</i>
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
<b><math>C_F</math> (media)</b>					<b>0.820</b>		<b>0.877</b>		<b>0.629</b>	

# Calcestruzzo

## resistenza a compressione corretta (1)

Metodo d'indagine				<i>Carote</i>	<i>Sclerometriche</i>	<i>Sonreb</i>	<i>Pull-out</i>
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				<i>Carote</i>	<i>Sclerometriche</i>	<i>Sonreb</i>	<i>Pull-out</i>
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				<i>Carote</i>	<i>Sclerometriche</i>	<i>Sonreb</i>	<i>Pull-out</i>
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
Primo piano	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
	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)

<i>Metodo d'indagine</i>	<i>Carote</i>	<i>Sclerometriche</i>	<i>Sonreb</i>	<i>Pull-out</i>
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
<b>Media p.terra e primo</b>	<b>23.1</b>	<b>23.4</b>	<b>21.8</b>	<b>22.8</b>
<b>Media totale</b>	<b>21.7</b>	<b>21.9</b>	<b>21.2</b>	<b>22.2</b>

Valori medi del modulo elastico  $E_c$  (MPa)

Seminterrato	16819
Piano terra	20226
Primo piano	21602
<b>Totale</b>	<b>19889</b>

# 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:
  - $R_{cm} = 19.8 \text{ MPa}$  ( $f_{cm} = 16 \text{ MPa}$ ) al piano seminterrato
  - $R_{cm} = 22.8 \text{ MPa}$  ( $f_{cm} = 18 \text{ MPa}$ ) al piano terra e primo
- Per quanto riguarda il modulo elastico si utilizza come valore medio:
  - $E_{cm} = 20000 \text{ MPa}$

# 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 rilievo diametro delle barre
- Prelievo di 6 spezzoni di barre, soggette a prova a trazione

# Armature

## ubicazione dei sondaggi

- Piano seminterrato

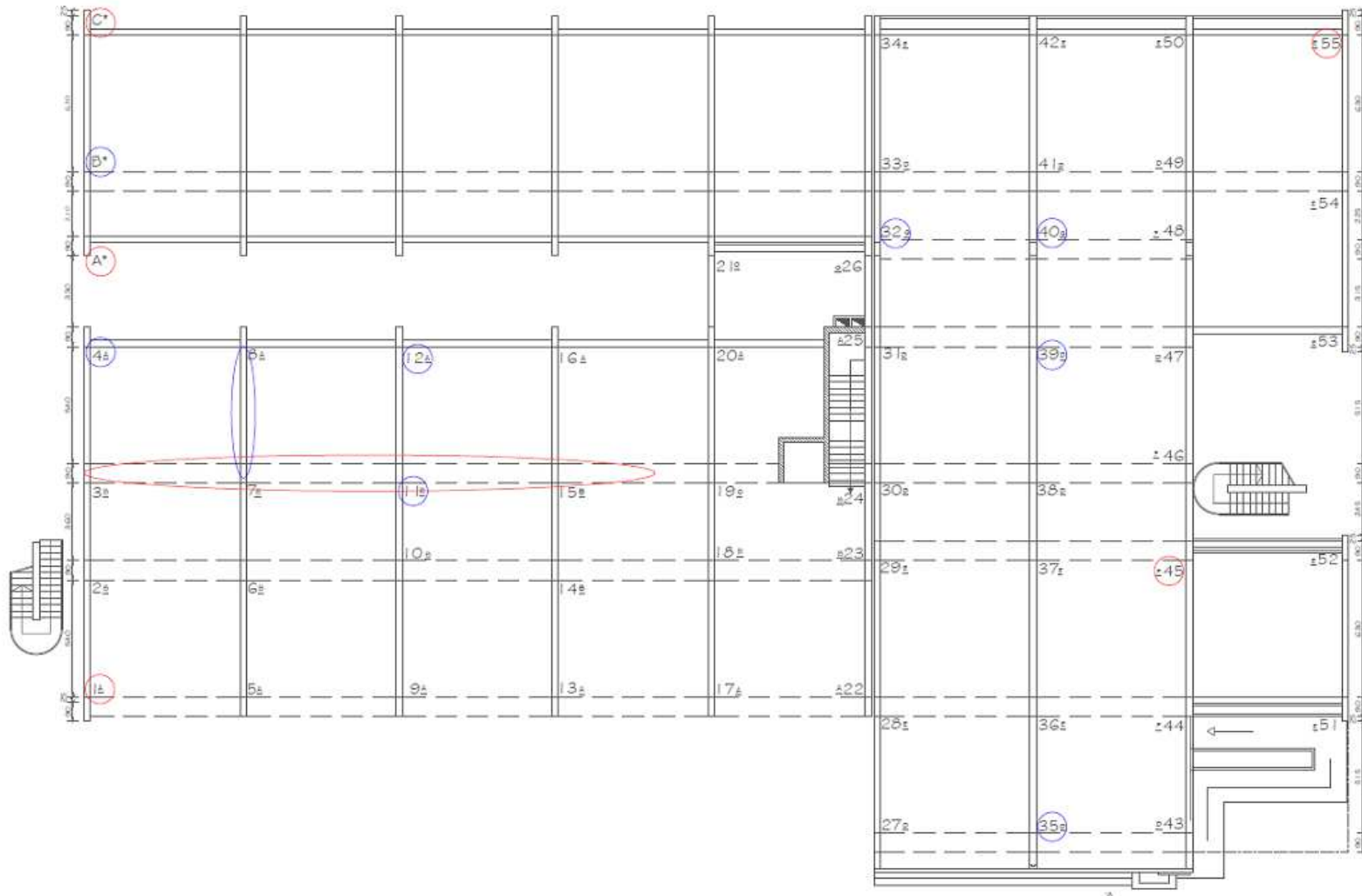




# Armature

## ubicazione dei sondaggi

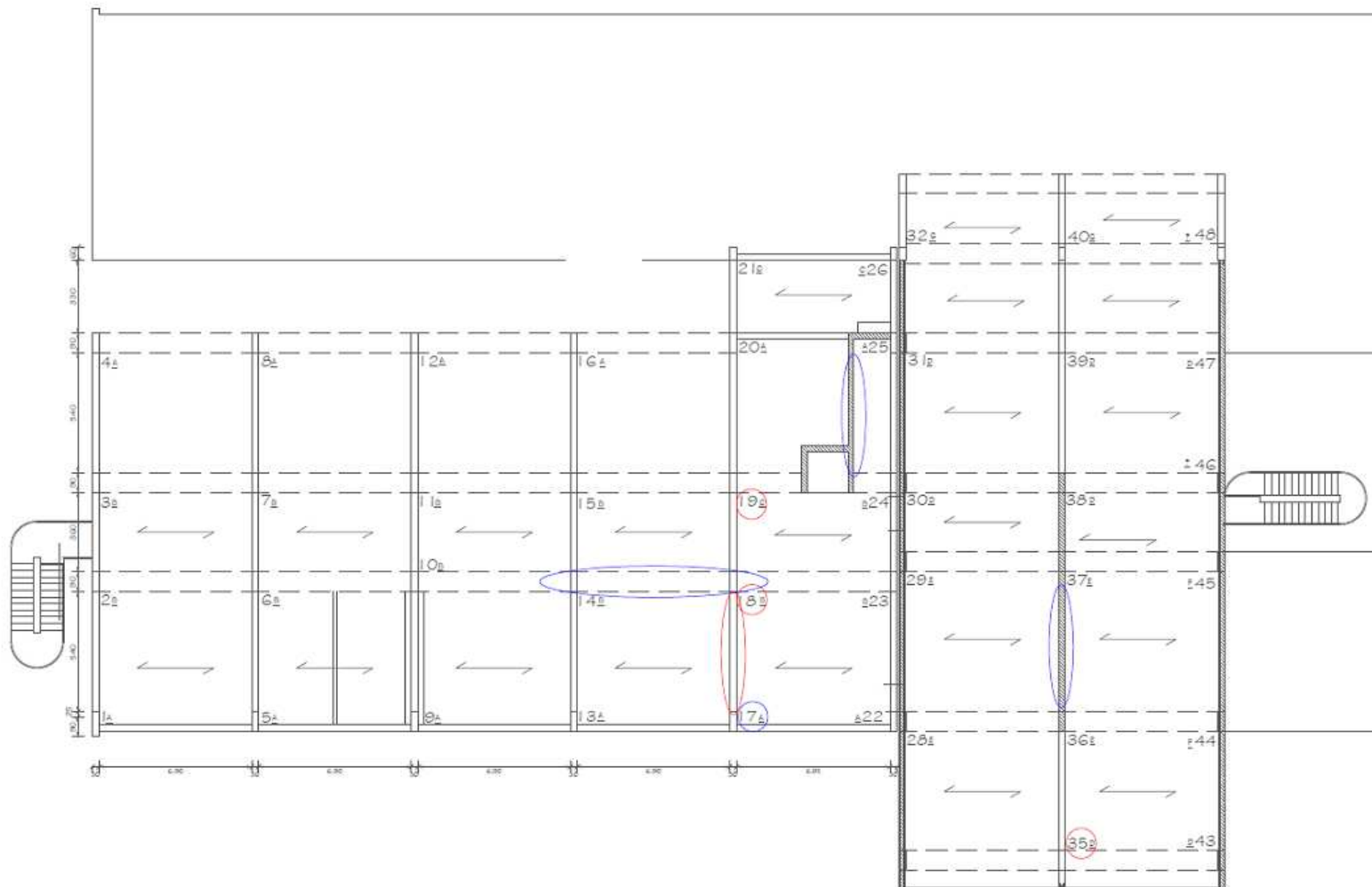
- Piano terra



# 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  $\varnothing 26$  spesso sostituite da coppie di  $\varnothing 16$  (area complessiva minore del 25%)
  - Staffe  $\varnothing 8$  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 utilizza 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 assume  $FC = 1.2$  per le armature longitudinali
  - Come staffe si assume sempre  $\varnothing 8/20$  senza tirantini, ma si utilizza  $FC = 1$  (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