

Corso di aggiornamento

Verifica sismica degli edifici esistenti in c.a.

3 - Indagini sulle strutture in c.a.

Forlì

29-31 gennaio 2015

Aurelio Gheresi

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
- 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

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

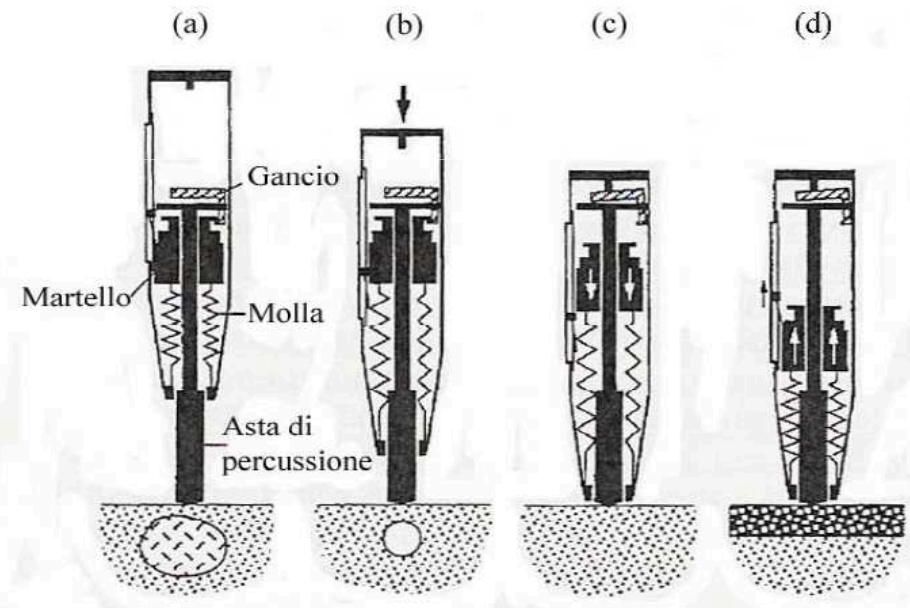
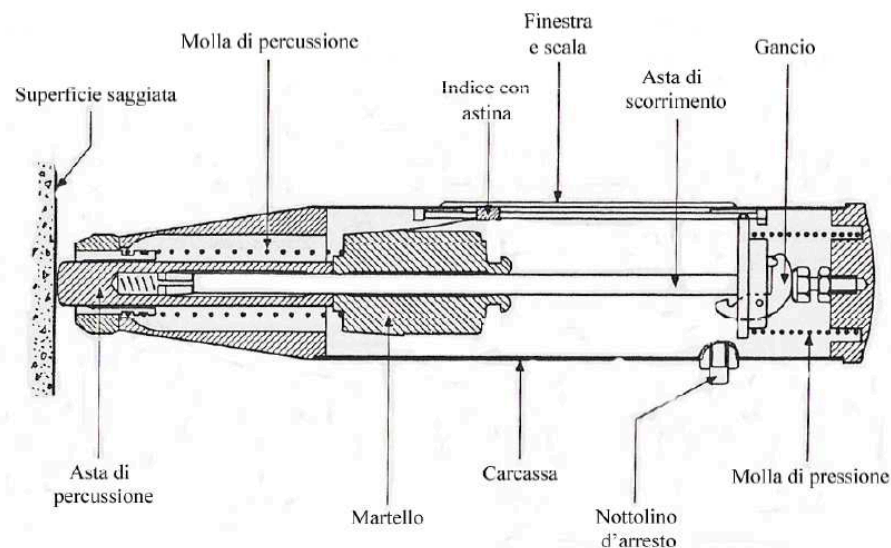
Prova di durezza superficiale (sclerometro)

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

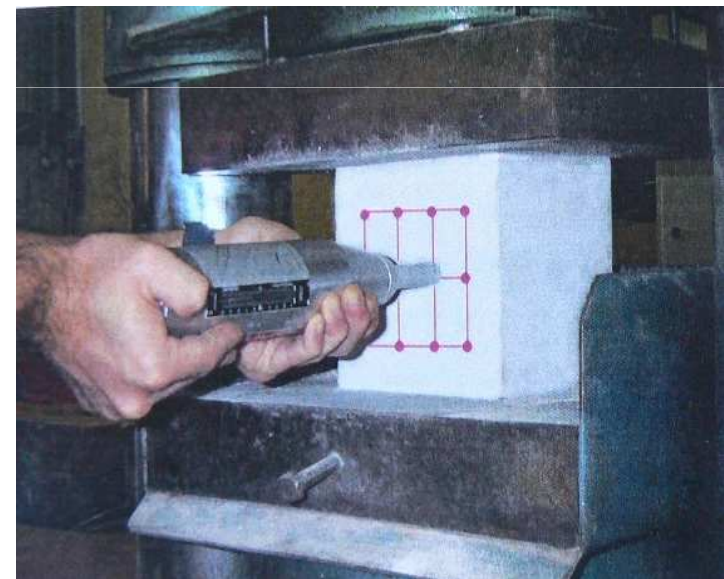


Prova di durezza superficiale (sclerometro)

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



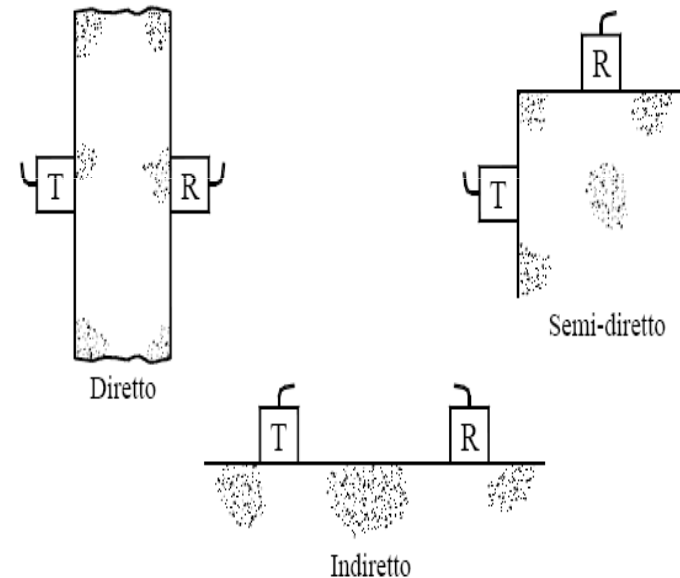
Prova ultrasonica

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

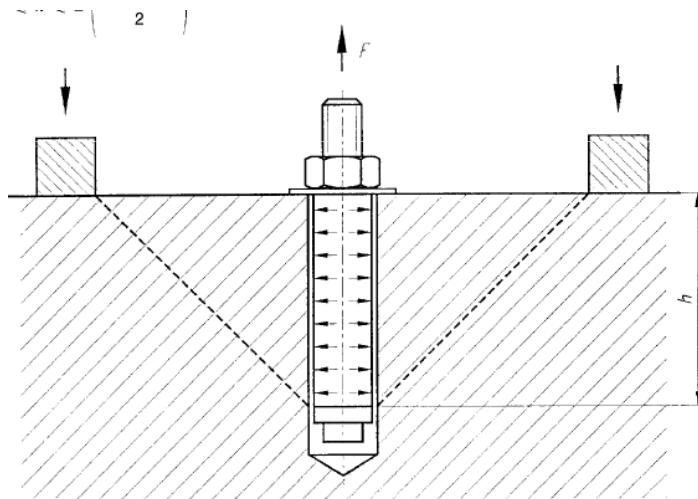
Contro: valori non molto affidabili (ma utili in termini comparativi);
sempre necessario un ripristino

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

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

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
Aq42	230	42÷50	≥ 20 %
Aq50	270	50÷60	≥ 16 %
Aq60	310	60÷70	≥ 14 %

- Acciaio previsto dalla norma del 2008

Aderenza
migliorata

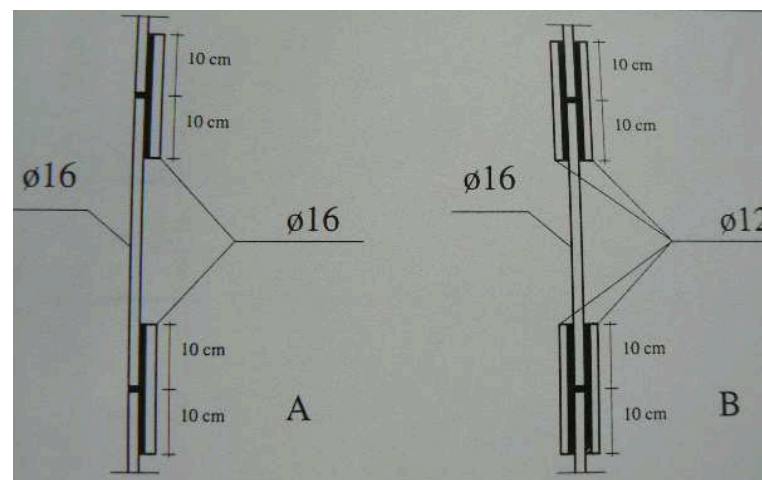
B450C	450	540	≥ 7.5 %
--------------	-----	-----	---------

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

Prelievo e ripristino

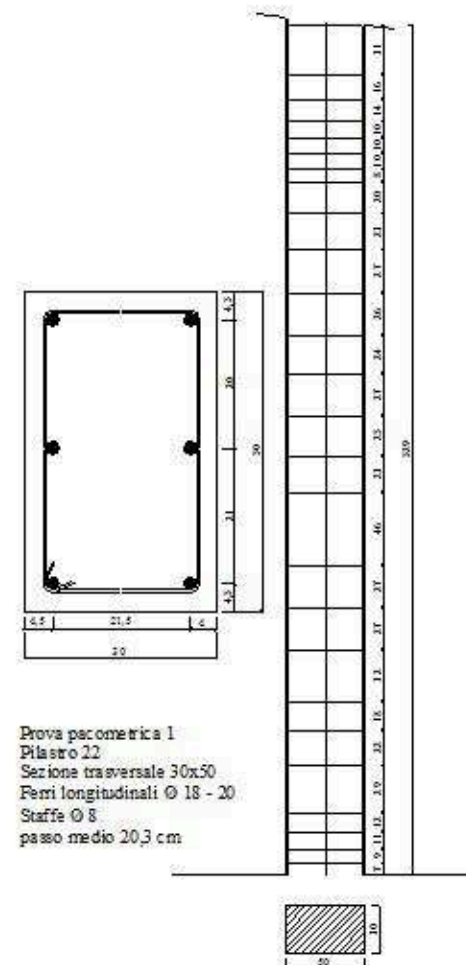


Attenzione: i vecchi acciai spesso non sono saldabili

Dettagli costruttivi

Rilievo delle armature

- Individuazione delle barre mediante pacometro



Rilievo delle armature

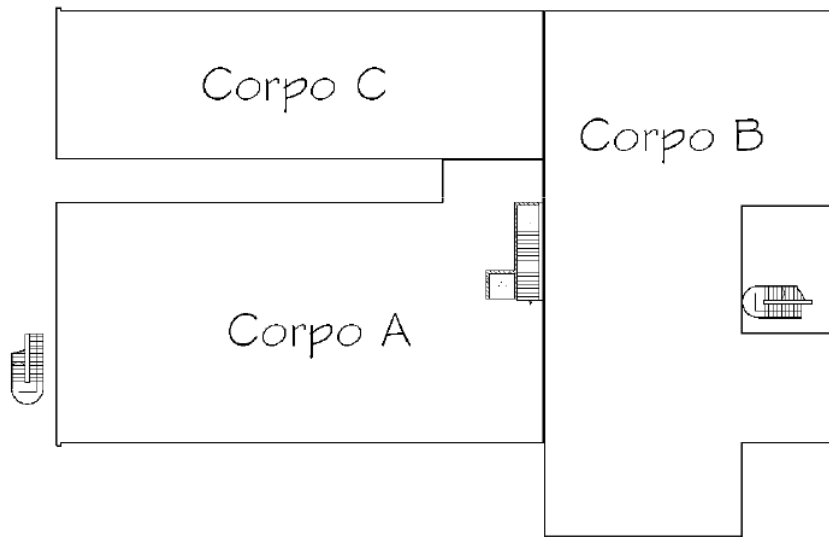
- Rilievo diretto delle barre



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		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				<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
C_F (media)					0.820		0.877		0.629	

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>Sonreβ</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
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:
 - $R_{cm} = 19.8 \text{ MPa}$ ($f_{cm} = 16 \text{ MPa}$) 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

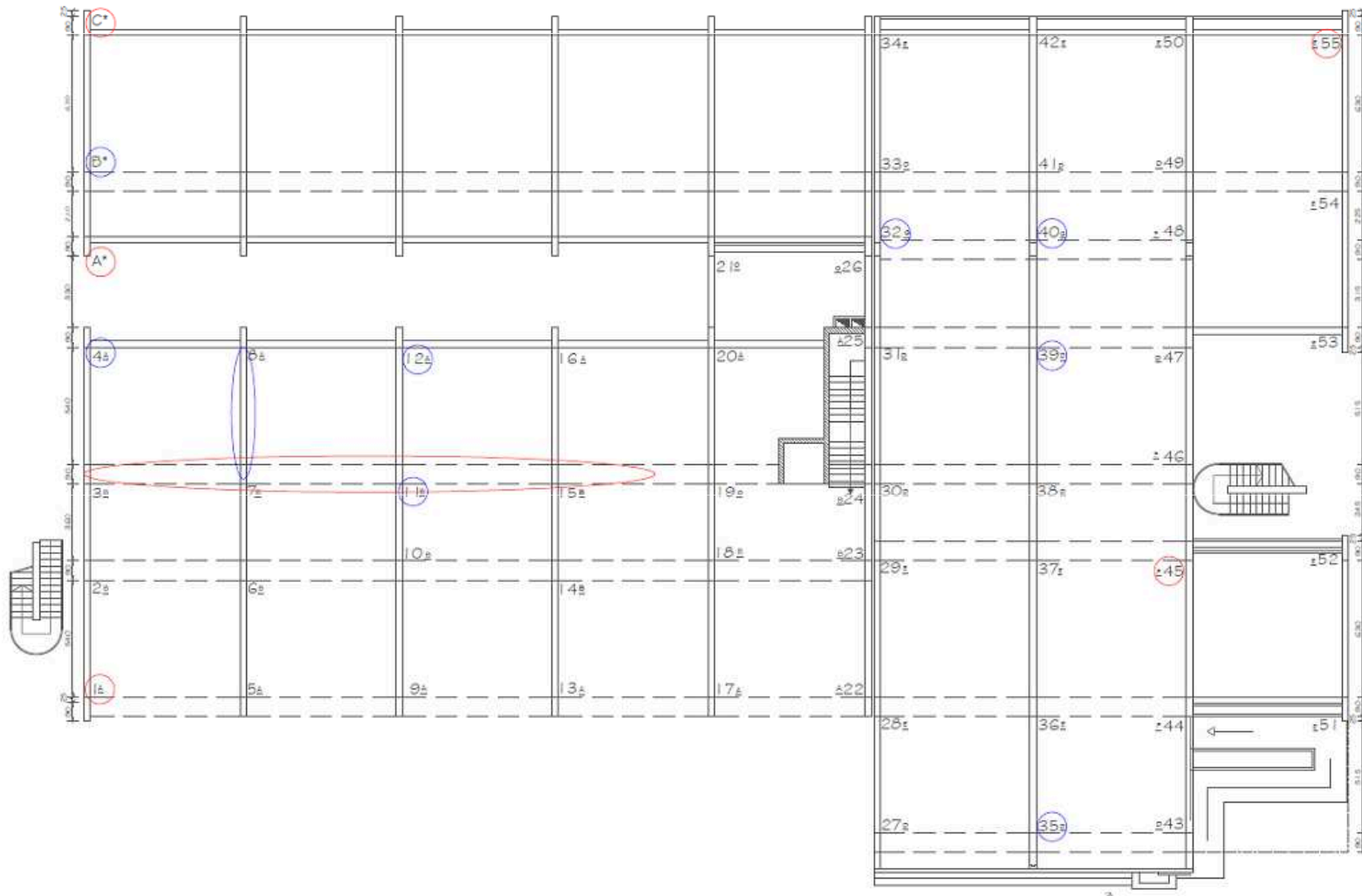
- Piano seminterrato



Armature

ubicazione dei sondaggi

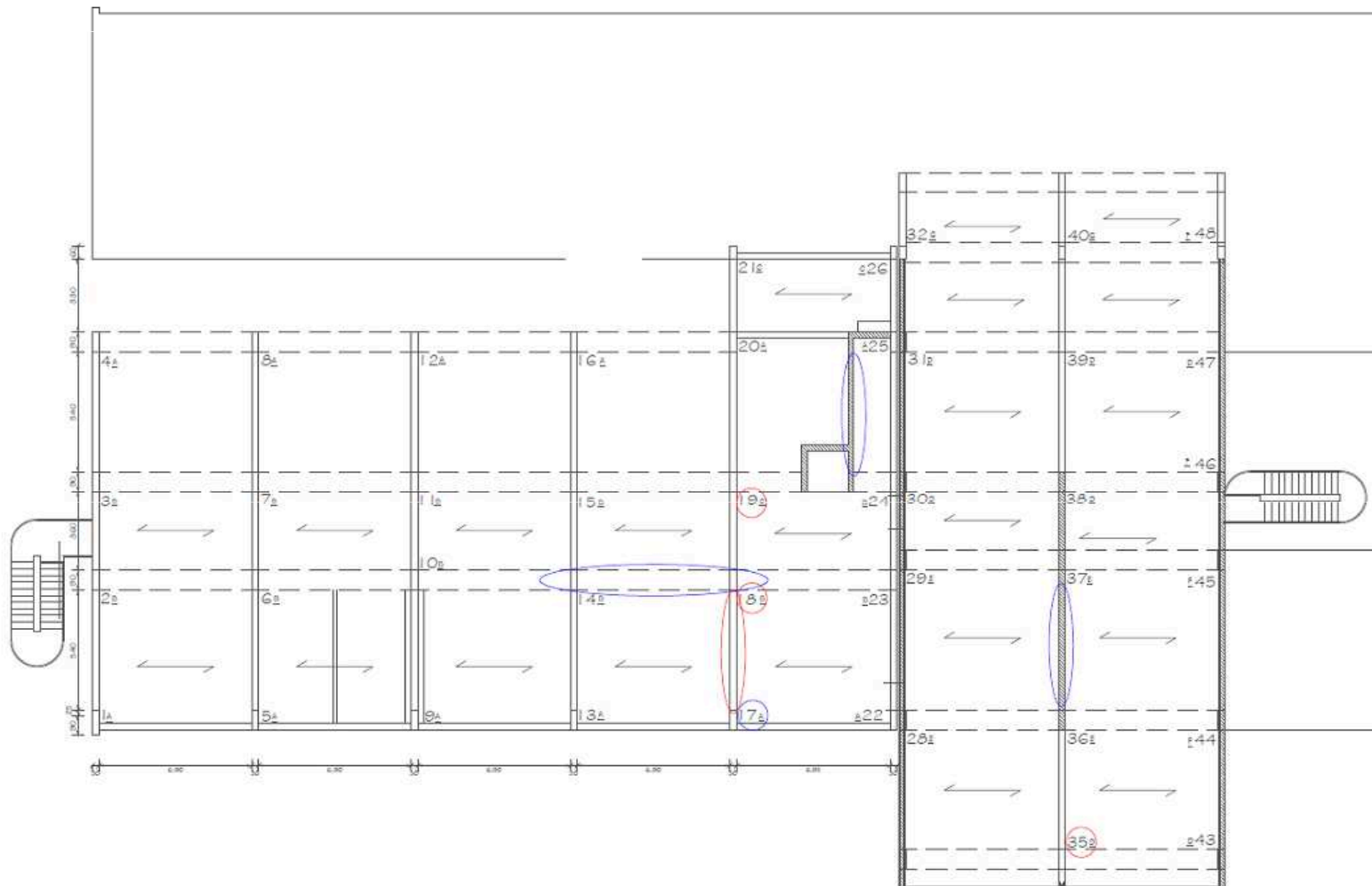
- Piano terra



Armature

ubicazione dei sondaggi

- Piano primo



Acciaio

conclusioni

- L'acciaio presenta resistenza media $f_{ym} = 450 \text{ MPa}$
- 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 $FC = 1.2$
- 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)