

PROVINCIA DI BRESCIA

**SPBS 19 CONCESIO - OSPITALETTO -
CAPRIANO D/C
MANUTENZIONE STRAORDINARIA
DEL PONTE AL KM 0+215 IN COMUNE DI
CONCESIO**

PROGETTO ESECUTIVO

CUP: H47H20000340003

ELABORATO: STATO ATTUALE - RAPPORTO TECNICO DI PROVA

DATA: Giugno 2021

FILE: 994

SCALA: ---

01.5

AGGIORNAMENTI:

RICHIEDENTE:



Provincia di Brescia

Provincia di Brescia
AREA TECNICA E DELL'AMBIENTE
SERVIZIO DELLE STRADE - EDILIZIA - SCOLASTICO E
DIREZIONALE

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO: Ing. Enrica Savoldi

● **Ing. LORENZO AURI** ●

STUDIO D'INGEGNERIA

via Guido Da Suzzara, 18 - 46029 SUZZARA (MN)
Telfax 0376.525175 - @mail: studioauri@tin.it

Ing. Lorenzo AURI

RAPPORTO TECNICO DI PROVA

PONTE DELLA SP 19

“CONCESIO-OSPITALETTO-CAPRIANO D.C.”

COMUNE DI CONCESIO (BS)

INDAGINI DIAGNOSTICHE E CONOSCITIVE



p.c.: Comune di Brescia

<i>Documento</i>	<i>Data</i>	<i>Pagine relazione</i>
RdP-117-2021	marzo 2021	21
<i>Revisione</i>	<i>Data revisione</i>	<i>Allegati</i>
-	-	1. Piano delle indagini 2. Dettagli costruttivi 3. Rapporti di prova
<i>Il Responsabile</i> ing. Paolo Panzeri		

INDICE

1	PREMESSE E SCOPI	3
2	RILIEVO GEOMETRICO STRUTTURALE E DETTAGLI COSTRUTTIVI.....	4
2.1	INDAGINI GEOMETRICHE E TIPOLOGICHE SU ELEMENTI IN C.A.	4
2.1.1	Rilievo diretto delle armature	4
2.1.2	Rilievo con pacometro	4
2.2	PROPRIETÀ MECCANICHE DEL CALCESTRUZZO	6
2.3	PROPRIETÀ MECCANICHE DELL'ACCIAIO D'ARMATURA	6
2.3.1	Prelievo di barre d'armatura e prove di trazione.....	6
2.3.2	Prove di durezza	8
2.3.3	Prelievo e prove di compressione su carote di calcestruzzo.....	10
2.3.4	Prove non distruttive su calcestruzzo con metodo Son.Reb	13
2.3.5	Prove con pistola Windsor.....	20

ALLEGATI

Allegato 1: Piano delle indagini

Allegato 2: Dettagli costruttivi

Allegato 3: Rapporti di prova

1 PREMESSE E SCOPI

La presente relazione riferisce in merito ai risultati delle indagini diagnostiche e conoscitive condotte presso il Ponte della SP 19, “Concesio-Ospitaletto-Capriano d.c.”, Comune di Concesio (BS).

Gli esami e le analisi hanno riguardato gli elementi che costituiscono le strutture portanti dell’infrastruttura.

Le indagini sono state eseguite durante le giornate del 25 e 26 febbraio 2021 dai tecnici specializzati della P&P Consulting Engineers di Seriate (BG) secondo quanto preventivamente concordato con la Committenza.

Nella tabella di seguito si elencano in sintesi le indagini effettuate e la relativa nomenclatura.

PIANO DELLE INDAGINI		
ID	Tipologia di indagine	Quantità
C	Esecuzione carotaggi in elementi in calcestruzzo inclusa preventiva scansione magnetometrica per non intercettare i ferri di armatura, inclusa misura della profondità di carbonatazione e prova di compressione su campione estratto presso laboratorio Ufficiale Prove Materiali.	8
ARM	Prelievo di barre di armatura da c.a. per esecuzione di prove di laboratorio. Il prelievo viene eseguito previa demolizione del copriferro.	2
DUR	Misurazione in sito della durezza dell’acciaio costituente strutture metalliche mediante durometro.	3
PAC	Rilievo del numero e della posizione delle armature tramite indagine magnetometrica con Pacometro	10
RIL	Rilievo diretto della numerosità delle barre, del diametro, del passo delle staffe, dello spessore del copriferro	3
SR	Indagini combinate SonReb (prova ultrasonica e prova sclerometrica condotta sulla medesima porzione di calcestruzzo)	5
SCL	Valutazione della resistenza caratteristica a compressione del calcestruzzo costituente le strutture in c.a. mediante sclerometro.	10
W	Valutazione semi distruttiva della resistenza a compressione del calcestruzzo di strutture in c.a. mediante prova con uso di Pistola Windsor.	5

L’ubicazione delle indagini effettuate è riportata in specifico allegato alla presente relazione.

Nei successivi paragrafi vengono esposte le modalità di rilievo geometrico, le tecniche di prova, le modalità di analisi e si riportano i risultati ottenuti dalle indagini.

2 RILIEVO GEOMETRICO STRUTTURALE E DETTAGLI COSTRUTTIVI

Nell'ambito della campagna di indagine sono stati effettuati rilievi geometrici dei principali elementi strutturali dell'infrastruttura.

Le modalità di rilievo e le informazioni raccolte sono contenute nei paragrafi seguenti.

2.1 INDAGINI GEOMETRICHE E TIPOLOGICHE SU ELEMENTI IN C.A.

Di seguito si descrivono le indagini effettuate per il rilievo geometrico strutturale degli elementi in c.a. del sovrappasso.

2.1.1 *Rilievo diretto delle armature*

Nei punti indicati nel piano di indagine con la sigla "RIL" è stato effettuato un rilievo geometrico dell'elemento indagato mediante le seguenti operazioni.

Le indagini sui pilastri e sui setti sono state eseguite attraverso i seguenti passi:

- eliminazione del rivestimento architettonico del pilastro in esame (intonaco, mascherature);
- determinazione successivamente delle dimensioni dell'elemento;
- scarifica del copriferro determinandone lo spessore e mettendo a nudo le armature di taglio (staffe) e quelle verticali;
- determinazione della tipologia, diametro e passo delle armature verticali e delle staffe.

Per le indagini sui solai si è proceduto come di seguito:

- per indagine eseguita dal piano inferiore, rilievo dei travetti, in calcestruzzo.
- rilievo delle orditure degli elementi resistenti e delle loro sezioni tipiche;
- individuazione dell'interasse dei travetti;

Gli scassi sono stati integrati ove ritenuto opportuno da indagini pacometriche.

Il rilievo dei ferri d'armatura è stato effettuato compatibilmente con l'effettiva possibilità di raggiungere le varie facce degli elementi in c.a..

I risultati delle indagini eseguite in sito sono riportati nelle tavole dei dettagli costruttivi in allegato alla presente relazione.

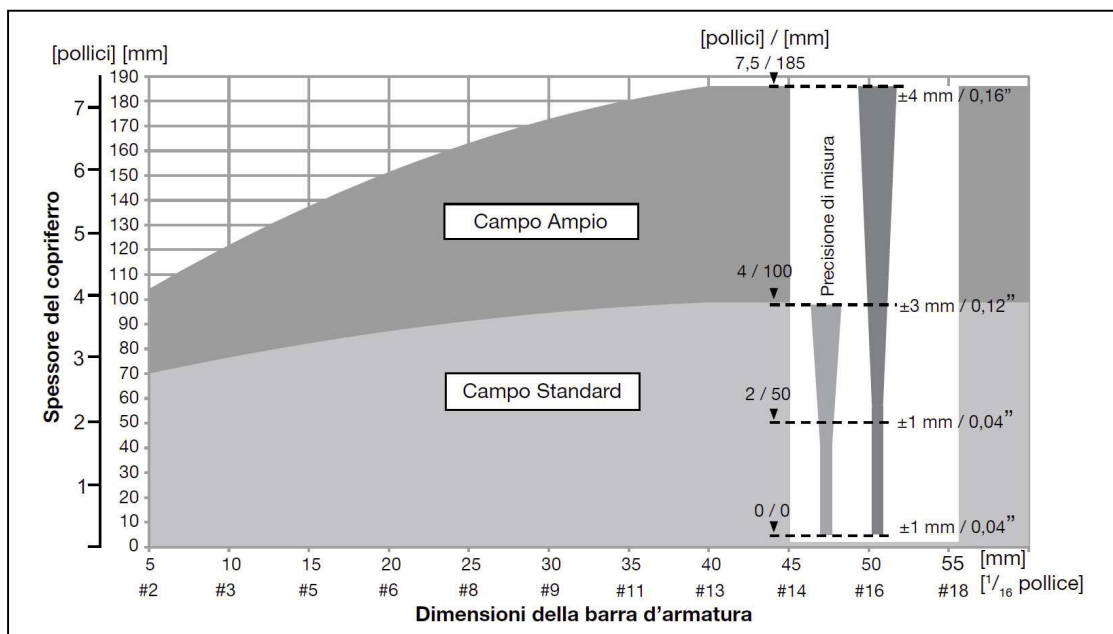
2.1.2 *Rilievo con pacometro*

I punti indagati con indagine pacometrica sono identificati nel piano delle indagini in allegato con la sigla "PAC" e i risultati delle indagini sono state rappresentati nelle tavole dei dettagli costruttivi in allegato alla presente relazione.

Lo strumento per l'indagine pacometrica si basa sull'applicazione della tecnica induttiva, che sfrutta la variazione del flusso magnetico generato da un magnete posto sulla superficie del calcestruzzo perturbato dalla presenza delle barre metalliche incluse nel conglomerato. L'intensità del flusso magnetico dipende non solo della presenza delle barre ma anche dallo spessore del copriferro e dal

diametro delle stesse barre. Ne deriva pertanto che l'intensità del segnale e conseguentemente la capacità di individuare barre d'armatura e l'incertezza di misura, risultano condizionate dall'eventuale presenza di altro materiale conduttore posto in vicinanza (ad esempio presenza di armature vicine a quelle in esame e poste a distanza indicativamente inferiore a 400 mm). Altri fattori che possono influenzare l'incertezza di misura sono la profondità del ricoprimento di calcestruzzo (ovvero il copriferro) e la stessa consistenza del calcestruzzo investigato.

Di seguito si fornisce un grafico che illustra indicativamente la capacità della strumentazione di individuare la presenza di barre d'armatura in funzione della profondità di copertura, indicando anche l'accuratezza attesa dalla misurazione. Si osserva che il grafico vale nell'ipotesi che non vi siano errori indotti dalla presenza di armature vicine. Pertanto, nel caso di presenza di armature entro il raggio d'influenza (circa 400 mm), la capacità dello strumento di individuare correttamente la presenza e il diametro delle armature e la relativa accuratezza di misurazione, può risultare ulteriormente condizionata.




Campi di misura e precisione nella determinazione del copriferro

Il rilievo nei punti indagati è stato eseguito mediante le seguenti modalità:

- determinazione successivamente delle dimensioni dell'elemento strutturale;
- determinazione della posizione, diametro e passo delle armature verticali e delle staffe (se presenti);
- misura del copriferro delle armature longitudinali e trasversali.

Il rilievo dei ferri d'armatura è stato effettuato compatibilmente con l'effettiva possibilità di raggiungere le varie facce dell'elemento in c.a., sfruttando i punti in cui gli elementi indagati erano talmente tanto ammalorati da poter rilevare la posizione e la dimensione delle armature senza eseguire ulteriori saggi.

Di seguito si raccolgono alcune foto esemplificative dei punti in cui è avvenuto il rilievo diretto delle armature delle travi in calcestruzzo.

RILIEVO DEI DETTAGLI COSTRUTTIVI	
RIL 1_Rilievo armatura diretta	RIL 2_Rilievo armatura diretta
	

2.2 PROPRIETÀ MECCANICHE DEL CALCESTRUZZO

2.3 PROPRIETÀ MECCANICHE DELL'ACCIAIO D'ARMATURA

Per caratterizzare il tipo di acciaio utilizzato per le strutture in c. a. si sono effettuate prove non distruttive di durezza e prelievi di spezzoni di barre d'armatura per l'esecuzione delle prove di trazione in laboratorio.

2.3.1 *Prelievo di barre d'armatura e prove di trazione*

Sono stati eseguiti n. 2 prelievi di barre d'armatura da un elemento in calcestruzzo armato. I punti di indagine sono segnalati nelle tavole tecniche in allegato con la sigla “ARM”. I prelievi sono stati eseguiti secondo le prescrizioni della normativa UNI EN ISO 6892 assicurandosi una lunghezza utile per essere sottoposti a prova di trazione.

Le prove di trazione sui campioni prelevati sono state condotte presso il Laboratorio Ufficiale Min. LL.PP. Legge 1086/71 di P&P LMC.

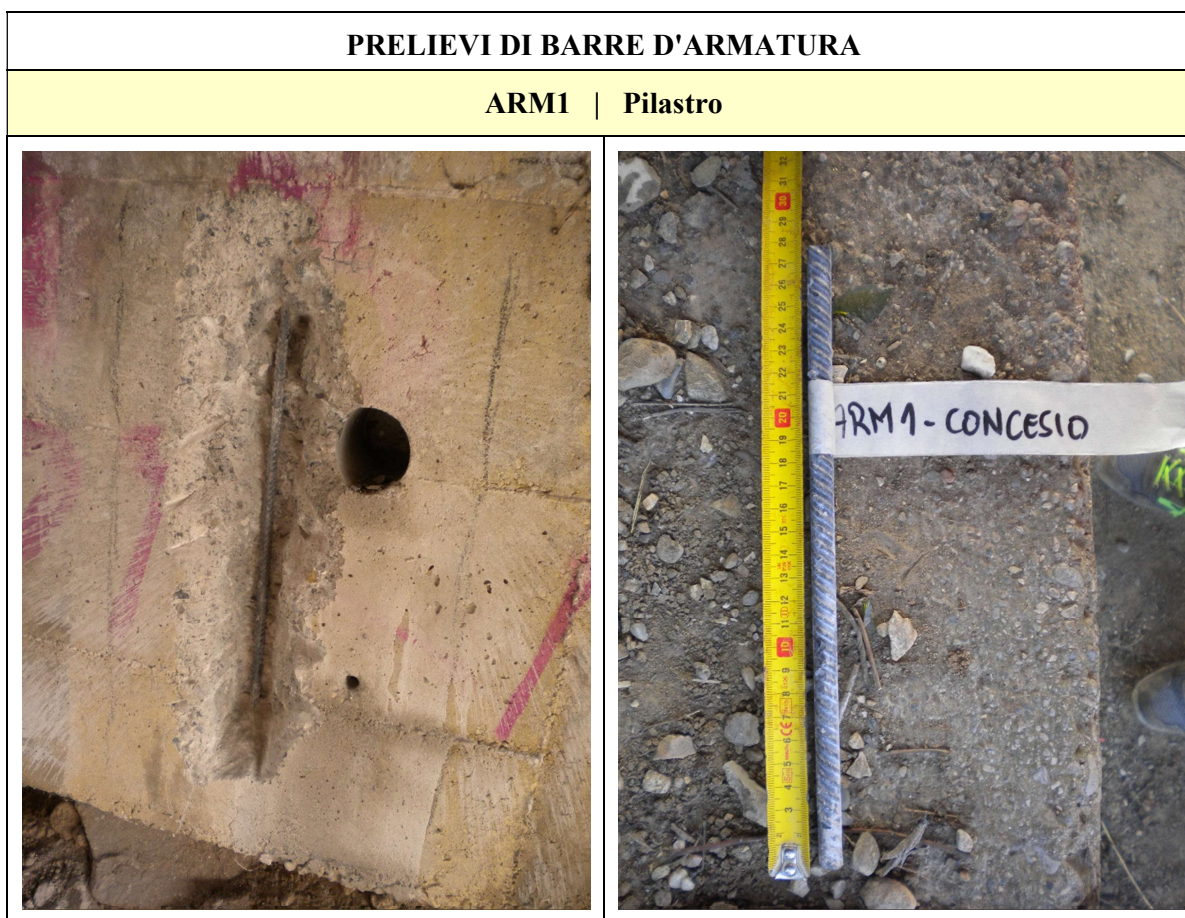
Il rapporto di prova di trazione sulle barre d'armatura è riportato in allegato alla presente relazione.

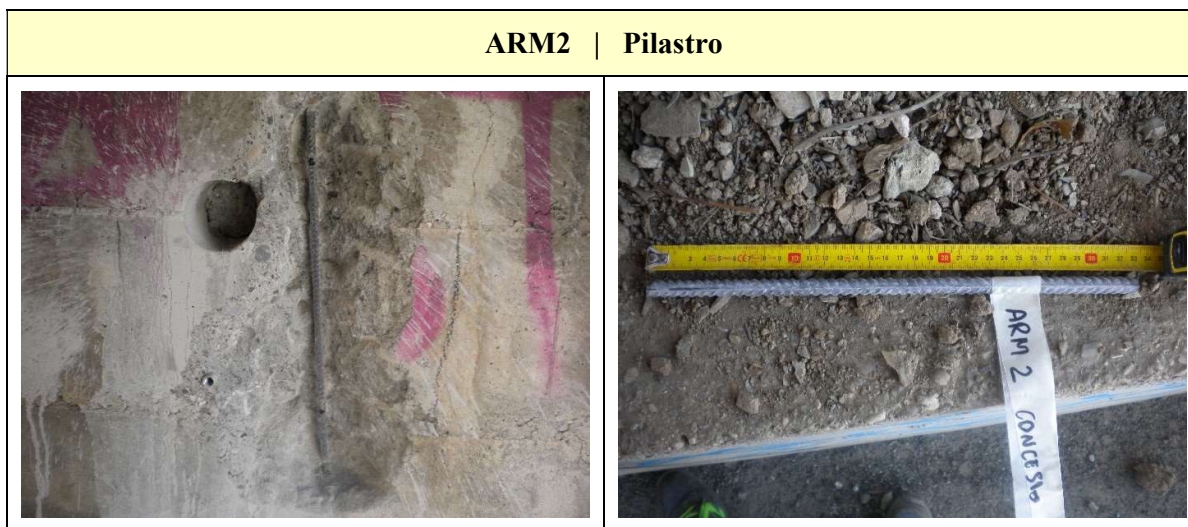
Nella tabella seguente vengono raccolte le caratteristiche principali degli spezzoni estratti. Contestualmente si presentano in sintesi i risultati ottenuti dalle prove di laboratorio in termini di tensione di snervamento (f_y), tensione a rottura (f_{st}), allungamento percentuale (A_{gt}).

PROVE DI TRAZIONE SU BARRE D'ARMATURA							
ID	Elemento strutturale	ϕ [mm]	Tipo*	L [cm]	f_y [MPa]	f_{st} [MPa]	A_{gt} [%]
ARM1	Pulvino Spalla lato Concesio	10	AM (s)	280	458,7	691,7	12,9
ARM 2	Pulvino Spalla lato Ospitaletto	10	AM (s)	330	468,2	691,2	15,3
* Tondini lisci (L), aderenza migliorata (AM), rumi (R); correnti (c), trasversali (t), staffe (st), (v) verticale e (o) orizzontale							

Al termine delle indagini i punti di prelievo sono stati ripristinati mediante saldatura di spezzoni di barra sostitutivi e ricostruzione del copriferro mediante utilizzo di malta per ripristini strutturali.

Di seguito si riportano le immagini dei provini sottoposti a prova di trazione e dei punti di prelievo.





2.3.2 Prove di durezza

L'acciaio delle strutture oggetto di verifica è stato indagato con prove non distruttive con durometro secondo normativa UNI EN ISO 16859. I punti di indagine sono indicati nel piano delle indagini in allegato con la sigla “DUR”.

La misura della durezza superficiale in sito dell'acciaio (resistenza che la superficie del materiale oppone alla sua penetrazione) consente di dedurre la classe di resistenza meccanica di rottura a trazione del materiale. Per l'esecuzione delle prove è stato utilizzato un durometro in grado di fornire direttamente a display la resistenza del materiale attraverso diverse scale di durezza.

Di seguito alcune caratteristiche tecniche della strumentazione:

- area di visualizzazione: da 0 fino a 999 HLD;
- precisione: $\pm 6\text{HL}$ (prossimità 800 HLD);
- direzione di misura: possibile in tutte le direzioni;
- LCD: ampio, (128 x 64 dot) LCD retroilluminato;
- memoria dati: 500 gruppi di misura;
- i risultati di misura: HRC, HRB, HB, HV, HSD;
- energia di impatto: 11N;
- peso del corpo di rimbalzo: 5,5 g;
- diametro della punta del sensore: 3mm, carburo di tungsteno;
- durezza della punta del sensore: $\geq 1600\text{ HV}$;
- temperatura operativa: da -10°C fino a $+60^{\circ}\text{C}$ e umidità: dal 5% fino al 95%.

Una prima fase di ricerca dei tondini d'armatura mediante l'impiego di un pacometro permette di individuare la maglia d'armatura nell'elemento strutturale. In seguito, la demolizione controllata del copriferro, mediante attrezzature, consente di raggiungere l'armatura, avendo cura di lasciare il

tondino annegato nel conglomerato lungo la superficie opposta a quella di prova, ciò assicura un contrasto solido durante la prova. Si esegue a questo punto la messa a nudo e la levigatura dell'acciaio impiegando una smerigliatrice angolare con disco abrasivo. Sulla superficie a lucine viene eseguita la prova con almeno cinque ripetizioni.

Nella tabella che segue vengono sintetizzati i risultati delle prove con durometro forniti secondo la scala Rockwell B “HRB” e riportati come media di più battute di misura per ogni elemento esaminato. Successivamente, i valori medi vengono correlati alla resistenza caratteristica a rottura (f_{st}) dell'elemento metallico indagato tramite opportune tabelle di conversione.

Di seguito si riportano alcune immagini delle prove realizzate.

PROVE DI DUREZZA SU BARRE D'ARMATURA										
ID	Elemento strutturale	Ø [mm]	Tipo*	Battute (scala HRB)					Media	$f_{st_armatura}$ [MPa]
				1	2	3	4	5		
DUR 1	Pulvino Pila 1	12	AM (st)	77,3	84,6	86,0	83,3	81,1	82,5	510
DUR 2	Pil 2_Spalla lato Ospitaletto	24	AM (c)	81,6	89,1	87,3	92,3	83,3	86,7	570
DUR 3	Pil 1_Pila 2	24	AM (c)	85,6	92,1	91,1	90,9	93,9	90,7	620

* (AM) barra aderenza migliorata; (st) staffa, (c) correnti



Prove con durometro su barre d'armatura

Di seguito si descrivono i metodi e le modalità di prova utili alla caratterizzazione del c.a., in particolare sono state eseguite sia prove distruttive che non distruttive su calcestruzzo. Nel primo caso è avvenuta l'estrazione di carote, su cui è stata effettuata la misura della carbonatazione mediante analisi alla fenolfaleina e successiva prova di compressione. Nel secondo caso è stato applicato il metodo Son.Reb, ottenuto dall'integrazione delle prove sclerometriche con quelle soniche.

2.3.3 *Prelievo e prove di compressione su carote di calcestruzzo*

Per caratterizzare la resistenza meccanica a compressione del calcestruzzo sono stati effettuati n.8 prelievi costituiti da un provino cilindrico avente diametro nominale pari a 80 mm. L'ubicazione dei punti di indagine è indicata nel piano di indagine in allegato con la sigla "C".

Il carotaggio è stato eseguito procedendo in profondità in modo da assicurare il prelievo di carota di lunghezza utile per l'esecuzione della prova di compressione con l'accortezza di non intercettare barre di armatura. Prima dell'esecuzione del carotaggio è stata, al proposito, eseguita la ricerca della posizione di eventuali ferri d'armatura tramite pacometro.

Sul provino appena estratto dalla struttura è stata eseguita (secondo le prescrizioni della norma UNI EN 1504-1) la prova di carbonatazione con il metodo del viraggio chimico, utilizzando come indicatore una soluzione acquosa di fenolftaleina all'1% in alcool etilico al 70%. Tale soluzione vira al rosso-violetto a contatto con materiali aventi un pH superiore a 9.2, mentre rimane incolore per valori di pH inferiori. In queste condizioni il ferro d'armatura perde la sua passività ed è quindi in grado di subire la corrosione.

La carota estratta, previo condizionamento con taglio (per eliminare la testa del campione) e successiva spianatura, è stata sottoposta a prova di resistenza a compressione presso il Laboratorio Ufficiale Min. LL.PP. Legge 1086/71 di P&P LMC.

Il rapporto di prova di compressione sulle carote è riportato in allegato alla presente relazione.



Di seguito alcune immagini delle operazioni di carotaggio in situ.









Nella tabella seguente vengono raccolte in sintesi le caratteristiche dei provini estratti e contestualmente si presentano i risultati ottenuti dalle prove di compressione e di carbonatazione.

PROVE DI COMPRESSIONE SU CAROTE IN CALCESTRUZZO									
ID	Elemento strutturale	L _{carota estratta} [cm]	P _{carbonat.} [cm]	Ø [mm]	H _{carota} [mm]	Ø/H	Massa volumica [kg/m ³]	R _c carota [Mpa]	Tipo rottura*
C1	Pulvino_Pila 2	18,0	2,0	74	73	1/1	2410	52,5	S
C2	Pil 4_Pila 2	17,0	4,5	74	74	1/1	2290	23,1	S
C3	Pulvino_Spalla Concesio	4,0	4,0	74	74	1/1	2360	28,5	S
C4	Pulvino_Pila 1	19,5	2,0	74	75	1/1	2360	36,9	S
C5	Pil 2_Pila 1	18,0	3,0	74	73	1/1	2340	26,0	S
C6	Pulvino_Spalla Ospitaletto	9,5	2,3	74	73	1/1	2390	39,5	S
C7	Soletta impalcato 2	11,5	0,0	74	73	1/1	2420	58,8	S
C8	Soletta impalcato 3	10,0	0,2	74	72	1/1	2320	39,4	S
*Tipo di rottura: S = soddisfacente (bitronco-conica); A÷K = non soddisfacente.									

Di seguito si mostrano le immagini del campione estratto in sito su cui è stata eseguita la prova di carbonatazione.

PRELIEVI DI CAROTE IN CALCESTRUZZO	
C1 Pulvino_Pila 2	C2 Pil 4_Pila 2
	

C3 Pulvino_Spalla Concesio	C4 Pulvino_Pila 1
	
C5 Pil 2_Pila 1	C6 Pulvino_Spalla Ospitaletto
	
C7 Soletta impalcato 2	C8 Soletta impalcato 3
	

2.3.4 Prove non distruttive su calcestruzzo con metodo Son.Reb

Le prove in campo hanno compreso l'esecuzione di prove sclerometriche ed indagini soniche eseguite talvolta in abbinamento sulle medesime porzioni di struttura utili per la valutazione della resistenza a compressione degli elementi strutturali in c.a. tramite l'applicazione del metodo non distruttivo SonReb. L'ubicazione dei punti di indagine è indicata nel piano di indagine in allegato con la sigla "SR".

Prove sclerometriche

Il metodo dell'indice di rimbalzo utilizza lo sclerometro per misurare l'energia elastica assorbita dal calcestruzzo a seguito di un impatto. Il metodo consiste nel provocare l'impatto di una massa standardizzata contro la superficie del materiale sottoposto a prova e nel misurare l'altezza del rimbalzo, la misura è espressa in termini di percentuale dell'altezza di rimbalzo rispetto alla distanza percorsa della massa in movimento tra l'istante in cui è rilasciata e quando colpisce la superficie del calcestruzzo. Questa percentuale è detta indice di rimbalzo N. Dato che l'energia cinetica della massa battente è standardizzata, l'altezza di rimbalzo dipende dall'energia dissipata durante l'impatto, che a sua volta dipende dalla resistenza meccanica della superficie del calcestruzzo. Occorre ricordare che l'indice di rimbalzo è influenzato da fattori tra cui:

- le condizioni di umidità del calcestruzzo in superficie (una superficie umida conduce ad un indice di rimbalzo più basso);
- la presenza di uno strato superficiale carbonatato (aumenta l'indice di rimbalzo);
- la tessitura superficiale (una superficie ruvida fornisce generalmente un indice di rimbalzo più basso);
- l'orientazione dello strumento rispetto alla verticale (sono disponibili fattori di correzione approssimati);
- l'età del calcestruzzo;
- la dimensione e il tipo degli aggregati.

Poiché solo il calcestruzzo vicino al punto dell'impatto influenza sensibilmente il valore dell'indice di rimbalzo, la metodologia di prova è sensibile alle condizioni locali, quali la presenza di aggregati di grosso diametro in prossimità della superficie, presenza di barre d'armatura oppure di vuoti all'interno dell'elemento strutturale. Per mitigare gli effetti di alcune delle cause che alterano le misure nell'intorno di ogni punto di prova sono state eseguite più battute, adeguatamente distanziate fra di loro.

La taratura dello sclerometro è stata effettuata prima e dopo ogni giornata di lavoro o sequenze di prove utilizzando l'apposita incudine di taratura.

L'esecuzione delle prove si è svolta secondo le seguenti modalità:

- a) individuazione di una zona di misura che presenti le seguenti caratteristiche:
- assenza di ferri armature in prossimità della superficie;
 - superficie priva di evidenti vespai, forti porosità o rilevanti irregolarità superficiali, ecc.;
 - superficie non ricoperta da intonaco, o da vernice, ecc.;
 - superficie possibilmente asciutta;
- b) pulizia e lisciatura della superficie con pietra abrasiva;
- c) esecuzione di 12 battute sclerometriche all'interno della zona di misura, secondo una griglia preliminarmente definita, mantenendo lo sclerometro perpendicolare alla superficie di misura. Nel caso in cui tale orientamento non sia perpendicolare, l'angolo di inclinazione dello strumento rispetto alla superficie è stato annotato per le successive elaborazioni.
- d) calcolo della media dei valori degli indici di rimbalzo e verifica dell'accettabilità del risultato.

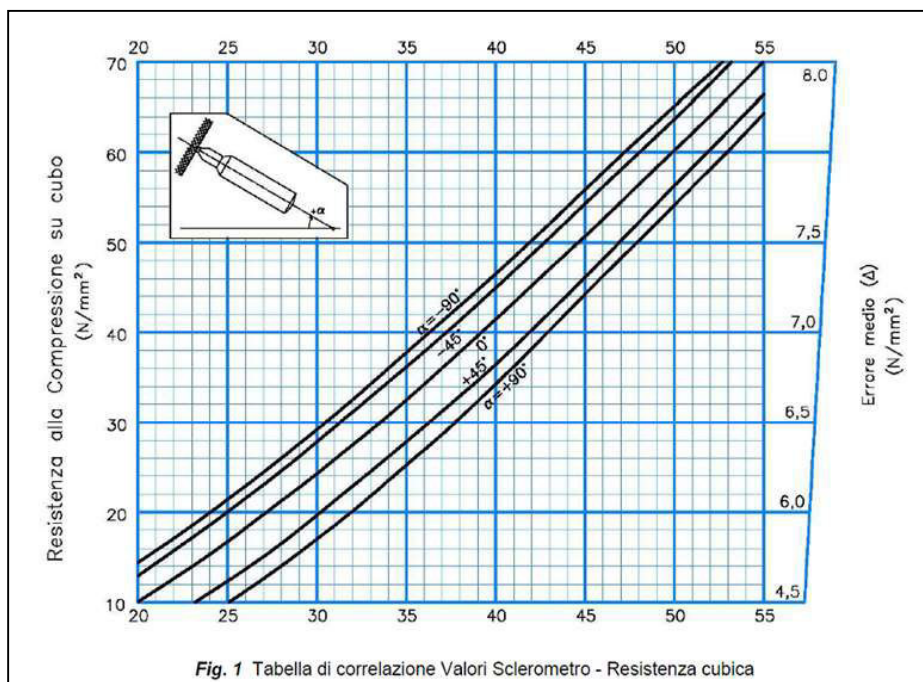
L'elaborazione delle misure sclerometriche consiste nelle seguenti fasi:

- a) correzione degli indici di rimbalzo rilevati in funzione dell'angolo d'azione dello strumento, utilizzando le correlazioni fornite in proposito dal fabbricante dello strumento;
- b) calcolo della media degli indici di rimbalzo rilevati per ciascuna zona. Il risultato relativo ad una zona corrisponde al valore medio delle misure arrotondate all'intero più prossimo.

La correlazione tra indice di rimbalzo N e resistenza a compressione R_c è del tipo rappresentato nel grafico seguente e definito dalla:

$$R_c = A \cdot N^B$$

In cui i coefficienti A e B sono opportunamente calibrati mediante prove distruttive su carote.



Di seguito alcune fotografie esemplificative delle fasi di prova con relativa strumentazione.

Di seguito si raccolgono i risultati delle prove sclerometriche eseguite, indicando con MIR la media indice di rimbalzo depurata dei valori di lettura massimo e minimo.

PROVE SCLEROMETRICHE SU CLS																	
ID	Elemento strutturale	Dir.	Battute										min	max	MIR statistico	MIR _{medio}	R _c [MPa]
SCL1	Trave_Spalla	0°	45	43	44	41	45	37	39	43	43	49	37	49	34	43	31
SCL2	Pil 3_Spalla	0°	41	48	41	44	46	45	49	46	44	42	41	49	36	45	34
SCL3	Pil 4_Pila 2	0°	41	46	38	42	37	41	39	46	41	46	37	46	33	42	29
SCL4	Pil 2_Pila 2	0°	46	48	48	47	44	45	45	42	46	44	42	48	36	45	34
SCL5	Trave_Pila 2	0°	47	54	57	50	40	46	48	47	51	52	40	57	39	49	40
SCL6	Pil 4_Pila 1	0°	46	48	50	49	51	49	42	45	41	46	41	51	37	47	36
SCL7	Pil 2_Pila 1	0°	49	48	46	45	46	44	49	50	42	41	41	50	37	46	36
SCL8	Trave_Pila 1	0°	41	51	46	46	47	52	51	51	49	43	41	52	38	48	38
SCL9	Pil 1_Spalla	0°	51	48	50	46	45	47	51	39	41	46	39	51	37	46	36
SCL10	Trave_Spalla	0°	51	49	45	53	46	45	46	45	47	49	45	53	38	48	38

Prove ultrasoniche

Il metodo basato sulla misura della velocità di propagazione di ultrasuoni consiste nello studio della propagazione di onde elastiche longitudinali all'interno del calcestruzzo, la cui velocità è anche funzione della sua rigidità media lungo il percorso.

La velocità di propagazione delle onde in un materiale omogeneo dipende dalla densità del materiale, dal modulo elastico e dal coefficiente di Poisson. La resistenza a compressione è stimata in base alla velocità di trasmissione degli ultrasuoni, ipotizzando la validità di una relazione di proporzionalità tra resistenza a compressione e modulo elastico, utilizzando le usuali correlazioni sperimentali. Si deve tener presente che le onde elastiche subiscono all'interno dell'elemento esaminato, rifrazioni e riflessioni, dovute alla presenza degli aggregati, di fessure, di vuoti. Ciò comporta un'attenuazione del segnale per effetto dell'assorbimento d'energia. Inoltre, per effetto di vuoti o fessure, il percorso effettivamente compiuto dalle onde elastiche può risultare più lungo della distanza tra trasmettitore e ricevitore.

La prova misura la velocità di propagazione delle onde elastiche nel calcestruzzo, determinata come rapporto tra la distanza fra trasmettitore e ricevitore ed il tempo impiegato a percorrerla. La velocità così calcolata può differire dall'effettiva velocità di propagazione delle onde nel calcestruzzo in esame. Per questo motivo la velocità così calcolata è spesso denominata anche “velocità apparente”.

La velocità di propagazione delle onde elastiche è influenzata da diversi fattori, tra cui il contenuto d'umidità, la composizione della miscela ed il grado di maturazione. La determinazione della velocità deve tener conto della possibile presenza d'armature metalliche e di eventuali difetti macroscopici.

Per ridurre il rischio che il fascio di ultrasuoni percorra armature metalliche, preliminarmente all'esecuzione della prova, le armature sono state localizzate mediante pacometro.

La taratura dello strumento è stata ripetuta nel corso della giornata di misure: all'inizio e al termine della giornata, ogni qualvolta sono cambiate le condizioni ambientali (per temperatura, insolazione, umidità, ecc.) e/o la configurazione dello strumento (cambio di cavi di connessione e/o di trasduttori, ecc.). La taratura dello strumento consiste nella misura del tempo T_t (in μs) impiegato dalle onde elastiche a percorrere, secondo la sua altezza, il cilindro o il prisma metallico di taratura fornito a corredo dello strumento. Il tempo di percorrenza T_0 , predeterminato dal fabbricante, costituisce il riferimento di taratura. Se il valore di T_t differisce per più di 2 o 3 unità (μs) dal valore di T_0 lo strumento sarà ricalibrato seguendo le istruzioni del fabbricante.

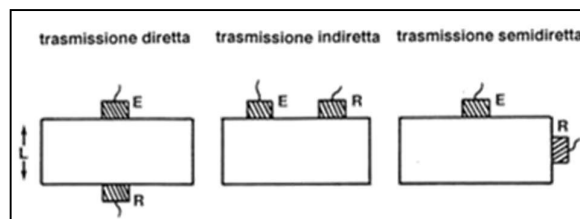
L'esecuzione delle prove si è svolta secondo le seguenti modalità:

- a) individuazione di una zona di misura idonea;
- b) pulizia della superficie ed eventuale lisciatura;
- c) posizionamento dei punti di misura;
- d) rilievo della distanza tra i punti estremi di ciascun percorso di misura. Nel caso della trasmissione diretta la distanza deve essere riportata con la precisione di $\pm 1\%$. Per le misure indirette si fa riferimento alla posizione del centro della faccia dei trasduttori;
- e) esecuzione delle misure nella zona individuata;
- f) al termine delle misure su ogni zona è stato eseguito un controllo delle misure eseguite verificando i valori medi della velocità di propagazione delle onde elastiche.

Come anticipato nel punto d, vi sono essenzialmente tre modalità diverse per condurre i rilievi dei tempi di propagazione degli impulsi di vibrazione:

- a) metodo di trasmissione diretta (per trasparenza): i trasduttori sono ubicati su due facce opposte dell'elemento da esaminare;
- b) metodo di trasmissione semidiretta (diagonale): consiste nel posizionare i trasduttori in punti appartenenti a due facce adiacenti dell'elemento soggetto ad indagine;
- c) metodo di trasmissione indiretta (superficiale – per rifrazione).

La figura, di seguito riportata, mostra l'ubicazione dei trasduttori nelle tre diverse possibili modalità di esecuzione della prova sonica.



In questo caso i rilievi sono stati condotti secondo trasmissione diretta, operando in accordo alla norma UNI EN 12504-4:2005.

L'elaborazione delle misure di velocità di propagazione di micro-impulsi consiste nelle seguenti fasi:

a) calcolo delle velocità di propagazione V con la seguente relazione:

$$V = l / [T - (T_t - T_0)]$$

dove:

- l è la lunghezza della base di misura;
- T è il tempo di propagazione tra trasmettitore e ricevitore;
- T_t è il tempo impiegato dalle onde elastiche a percorrere, secondo la sua altezza, il cilindro o il prisma metallico di taratura fornito a corredo dello strumento;
- T_0 è il tempo di percorrenza, predeterminato dal fabbricante, relativo al cilindro o del prisma di taratura.

b) velocità di propagazione V si esprime in m/s arrotondando il valore ai più prossimi 10 m/s.

Si presentano di seguito alcune immagini delle fasi d'indagine.

Di seguito si raccolgono i risultati delle prove soniche eseguite sugli elementi strutturali.

INDAGINI ULTRASONICHE SU CLS									
ID SON	ID SCL	Media indice di rimbalzo	Elemento strutturale	Metodo prova	$d_{\text{maglia o spessore [cm]}}$	Velocità Sonica [m/s]			
						V1	V2	V3	V_{media}
S1	SCL2	36	Pil 3_Spalla	Diretta	40	3675	3746	3645	3689
S2	SCL3	33	Pil 4_Pila 2	Diretta	40	3745	3642	3716	3701
S3	SCL5	39	Trave_Pila 2	Diretta	65	4430	4242	4390	4354
S4	SCL6	37	Pil 4_Pila 1	Diretta	40	4074	4130	4127	4110
S5	SCL9	40	Pil 1_Spalla	Diretta	40	3396	3553	3240	3396

Metodo Son.Reb

Il metodo Son.Reb si basa sulla combinazione dei risultati ottenuti, nelle stesse zone di prova, con prove sclerometriche ed ultrasoniche, correlando l'indice di rimbalzo (REBound) con la velocità delle onde ultrasoniche (SONic), con la resistenza a compressione del calcestruzzo, attraverso una

opportuna calibrazione della relazione che lega queste tre grandezze, effettuata mediante regressione statistica dei valori sperimentali. La validità del metodo Son.Reb deriva dalla compensazione delle imprecisioni dei due metodi non distruttivi utilizzati. Infatti, si è notato che il contenuto di umidità fa sottostimare l'indice sclerometrico e sovrastimare la velocità ultrasonica, e che, all'aumentare dell'età del calcestruzzo, l'indice sclerometrico aumenta mentre la velocità ultrasonica diminuisce.

Con il metodo SonReb, la resistenza del calcestruzzo R_c viene stimata sulla base della coppia dei valori della velocità di propagazione degli ultrasuoni V ed indice di rimbalzo sclerometrico S , mediante l'utilizzo di formule dedotte da correlazioni di tipo sperimentale, tra le quali si ricordano le più comunemente utilizzate in letteratura tecnica. La formula contenuta nelle Norme RILEM, la formula di Di Leo e Pascale (1994) e la formula di Gasparik (1992).

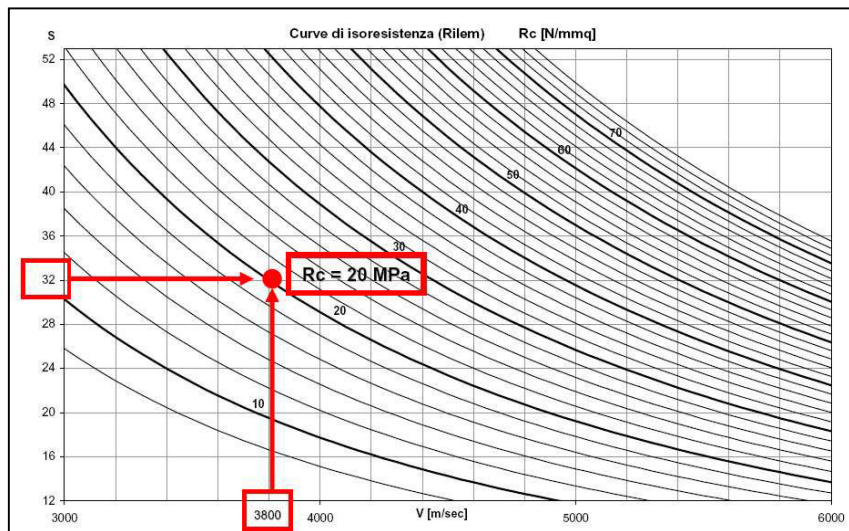
L'applicazione del metodo SonReb fornisce pertanto la resistenza del calcestruzzo R_c mediante espressioni del tipo:

$$R_c = a S^b V^c$$

Nello specifico:

- Norme RILEM: $R_c = 9.27 \cdot 10^{-11} \cdot S^{1.4} \cdot V^{2.6}$
- Gasparik: $R_c = 8.06 \cdot 10^{-8} \cdot S^{1.246} \cdot V^{1.85}$
- Di Leo - Pascale: $R_c = 1.2 \cdot 10^{-9} \cdot S^{1.058} \cdot V^{2.446}$

In cui R_c è la resistenza cubica a compressione in $[N/mm^2]$, S è l'indice sclerometrico e V è la velocità ultrasonica espressa in $[m/s]$. Nella figura presentata di seguito sono riportati a titolo esemplificativo i grafici derivabili dalle formule sopra richiamate in cui vengono utilizzate le curve basate sull'espressione fornita nelle norme RILEM.



Si osservi che tenuto conto della complessità della fenomenologia che correla i valori di “S” e “V” alle caratteristiche del calcestruzzo, appare evidente che le suddette espressioni non possono avere validità generale. Per quanto in letteratura tecnica non vengano dichiarate esplicitamente limitazioni

di applicabilità, in generale le formulazioni proposte per il metodo SonReb sono da ritenersi maggiormente affidabili per calcestruzzi di qualità medio - alta, con tendenza invece a sovrastimare la qualità del materiale nel caso di calcestruzzi di qualità medio – bassa.

La tabella seguente riassume i risultati ottenuti nei punti d'indagine ove, disponendo di dati provenienti dalle prove soniche e sclerometriche, è stato possibile applicare il metodo SonReb. I risultati sono espressi in termini di resistenza cubica a compressione R_{cub} [N/mm²] ottenuta dalla media delle tre formulazioni adottate.

CORRELAZIONE MEDIANTE METODO SonReb								
ID	ID	Elemento strutturale	MIR	V _{media} [m/s]	Norme RILEM	Gasparik	Di Leo-Pascal	R _{cub_Sonreb} [MPa]
S1	SCL2	Pil 3_Spalla	36	3689	26,3	27,8	28,2	27,4
S2	SCL3	Pil 4_Pila 2	33	3701	23,5	25,1	25,9	24,8
S3	SCL5	Trave_Pila 2	39	4354	45,3	41,8	46,1	44,4
S4	SCL6	Pil 4_Pila 1	37	4110	36,2	35,2	37,8	36,4
S5	SCL9	Pil 1_Spalla	37	3396	22,0	24,7	23,7	23,5

A seguire si riportano alcune immagini esemplificative della prova.



Immagine esemplificativa dell'indagine SonReb.

2.3.5 Prove con pistola Windsor

La prova con pistola Windsor, tecnica basata sulla resistenza alla penetrazione, misura la profondità di penetrazione nel calcestruzzo di un'asta d'acciaio infissa con energia prestabilita.

Il dispositivo impiegato è una speciale pistola (sonda Windsor) che utilizza una carica esplosiva normalizzata. La profondità di penetrazione della sonda è un indicatore della resistenza del calcestruzzo. Nel momento in cui la sonda si infigge nel calcestruzzo, una parte della sua energia cinetica si dissipa per attrito tra la sonda ed il calcestruzzo, mentre parte frattura e schiaccia il calcestruzzo. Generalmente la regione in cui il calcestruzzo è danneggiato ha approssimativamente la conformazione di un cono.

Questo metodo fornisce buone prestazioni per la valutazione della resistenza del calcestruzzo e per determinare la resistenza relativa in parti differenti della stessa struttura.

Il risultato della prova è influenzato dalla durezza e dalla resistenza degli aggregati impiegati per confezionare il calcestruzzo, mentre è poco dipendente dalle condizioni della superficie dell'elemento, quali scabrezza e carbonatazione.

La strumentazione per le prove di penetrazione non richiede taratura. La costanza dell'energia di infissione è infatti assicurata dalla potenza delle cariche esplosive fornite dal produttore dello strumento.

Ogni prova avviene mediante infissione di uno speciale inserto metallico utilizzando l'apposita dima triangolare, contenente un foro per ogni vertice, che, in caso di esecuzione di più ripetizioni nel medesimo punto, garantisce la corretta spaziatura fra i punti di misura.

Ogni misura ha seguito la seguente procedura:

- infissione della sonda perpendicolarmente alla superficie del calcestruzzo;
- rimozione del calcestruzzo distaccato in maniera tale da ottenere una superficie piana attorno alla sonda;
- esecuzione della misura della lunghezza W della sonda fuoriuscente dal calcestruzzo.

Il valore di penetrazione medio delle sonde, tenuto conto della tipologia di cariche esplosive con "potenza standard" utilizzate è stata definita la resistenza a compressione del calcestruzzo. I valori per ciascun elemento analizzato sono di seguito riportati.

Di seguito si raccolgono i risultati delle prove, identificate con la sigla "W" sul piano di indagine, avendo imposto la durezza di Mohs degli aggregati pari a 7.

PROVA SU CLS CON PISTOLA WINDSOR					
Sigla	Elemento	Misura media elevaz. sond.	Durezza Mohs aggregati	Res. Compr. [kg/cm ²]	R _c [Mpa]
W1	Trave_Spalla	1,925	7	350	34,3
W2	Pil 2_Pila 2	1,850	7	320	31,4
W3	Pil 2_Pila 1	1,800	7	305	29,9
W4	Trave_Pila 1	2,075	7	425	41,7
W5	Trave_Spalla	2,150	7	471	46,2

I valori di resistenza registrati derivano dall’infissione del puntale nel calcestruzzo.

Tale fenomeno può dipendere, oltre che dalla resistenza del conglomerato cementizio, da differenti fenomeni che possono influenzare la prova, come ad esempio la carbonatazione superficiale, la tipologia di inerti, etc.

La mancata o ridotta infissione dell’inserto può infatti essere attribuita al superamento del corrispondente massimo valore di resistenza testabile con il metodo, oppure potrebbe essere connessa alla presenza di un indurimento corticale del materiale dipendente dal fenomeno della carbonatazione o dalla presenza di aggregati medi e grossi in grande quantità che impediscono la penetrazione dell’inserto nella matrice cementizia.

A seguire si riportano alcune immagini esemplificative della prova.



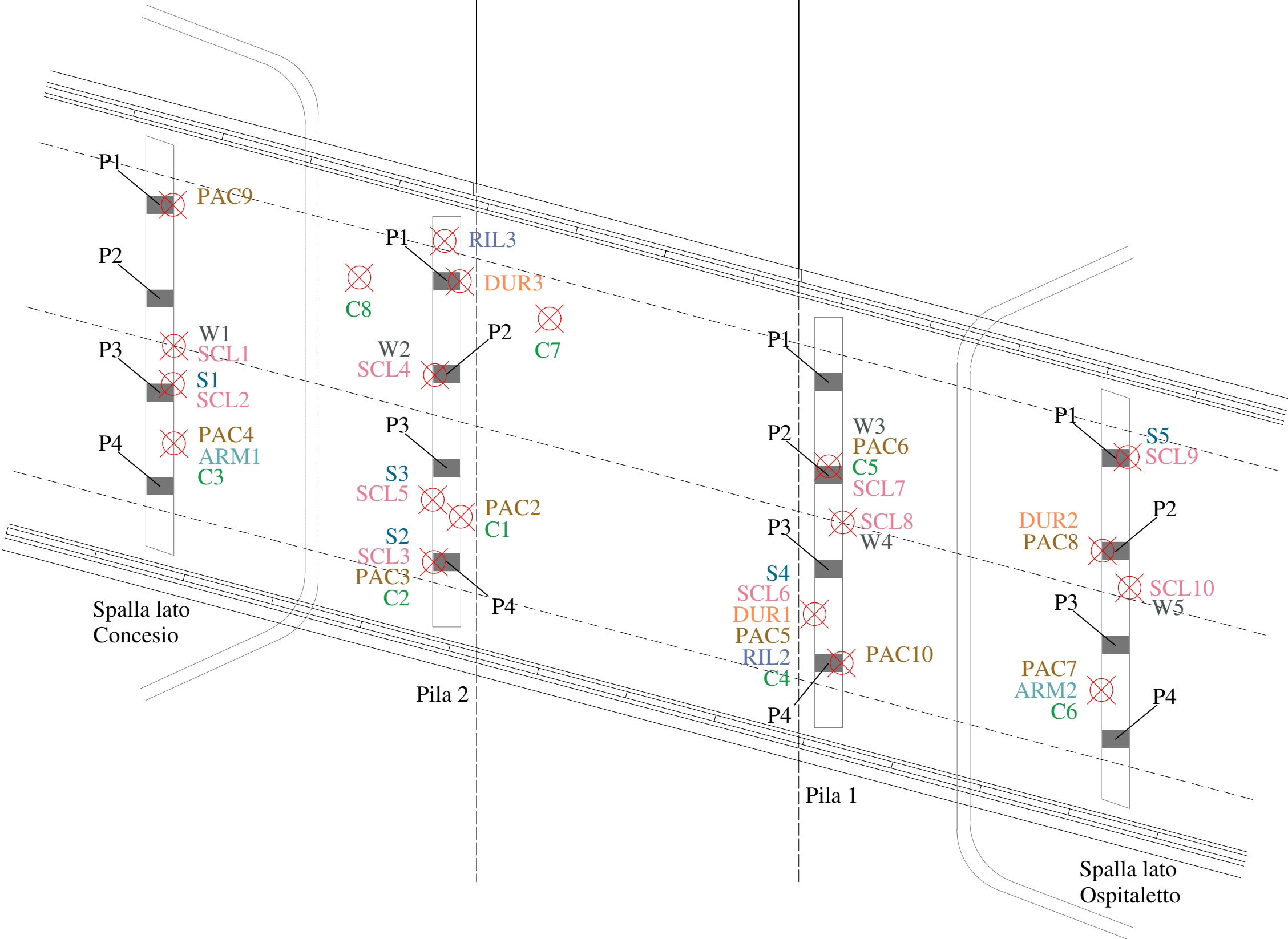
Immagine esemplificativa dell’indagine con pistola Windsor

ALLEGATO 1

Piano delle Indagini

PIANO DELLE INDAGINI

VISTA DALL'ALTO



LEGENDA:

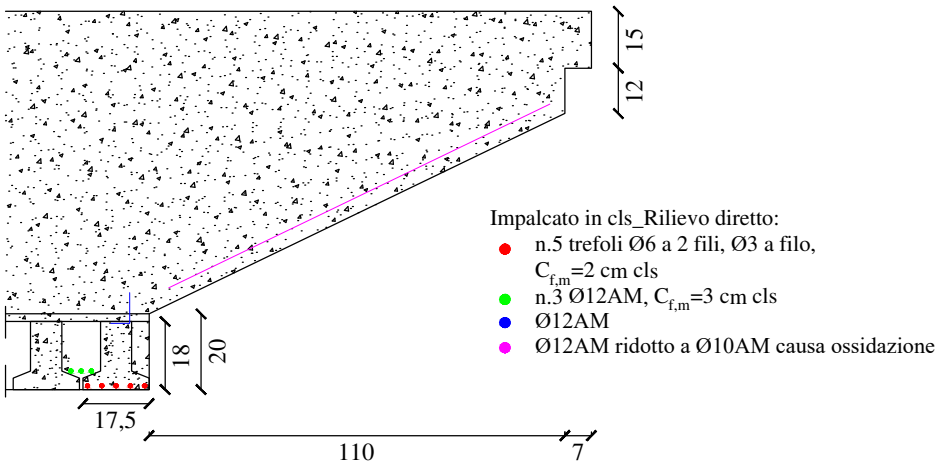
Prelievo di carota	C	Indagine pacometrica	PAC	Indagine sclerometrica su cls	SCL3	Indagine con pistola Windsor	W2
Prelievo di spezzone di barra d'armatura	ARM2	Rileivo diretto delle armature	RIL2	Prova di durezza con Duometro	DUR7	Indagine sonica su cls	S3

ALLEGATO 2

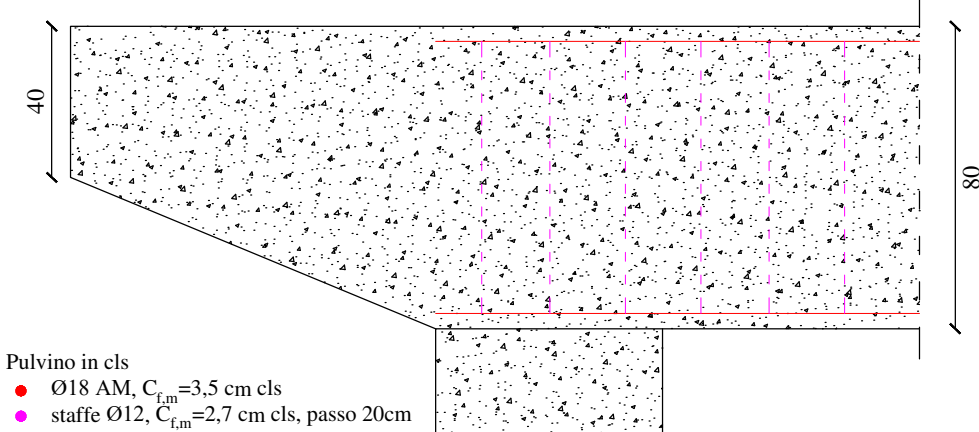
Dettagli Costruttivi

DETTAGLI COSTRUTTIVI

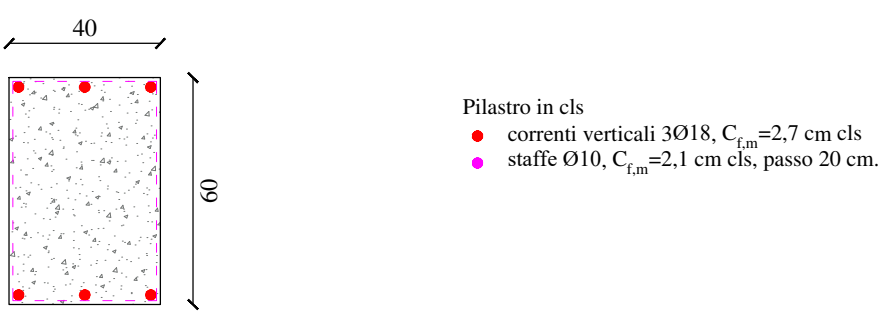
ELEMENTO STRUTTURALE: Soletta | Localizzazione: Soletta
Indagine: PAC1, RIL1



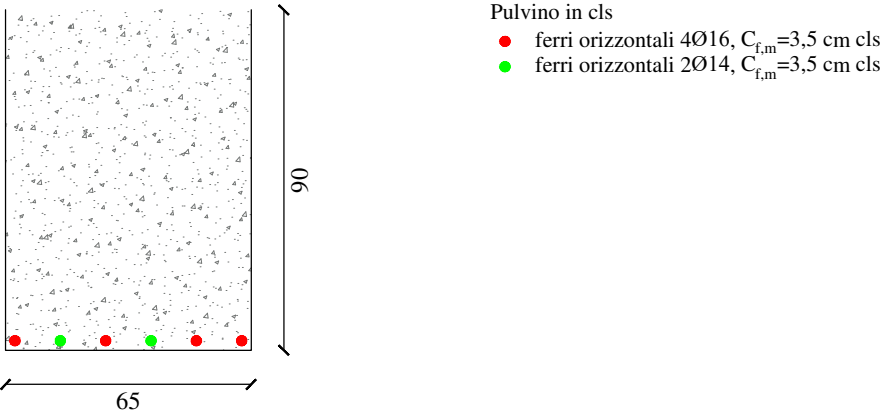
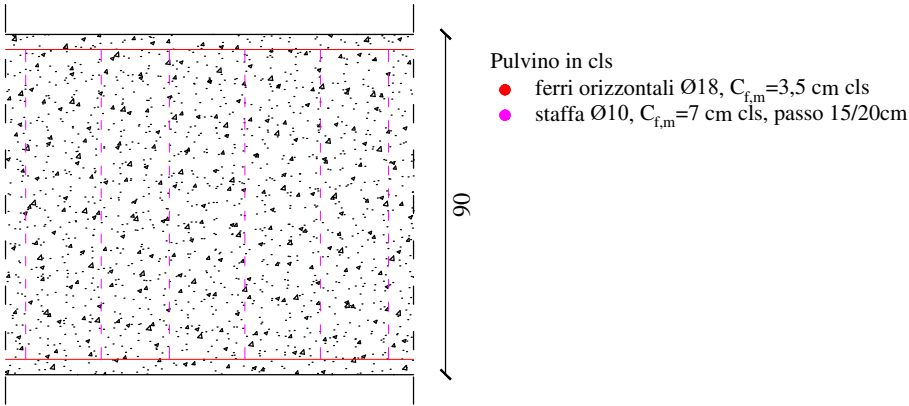
ELEMENTO STRUTTURALE: Pulvino | Localizzazione: Pulvino Pila 2
Indagine: PAC2



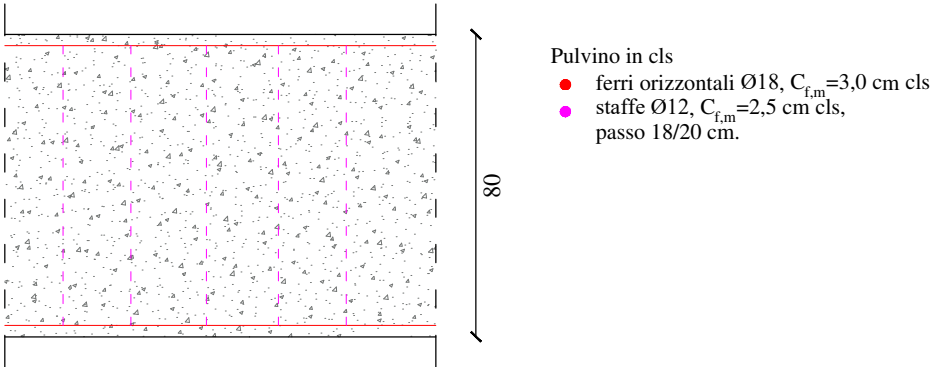
ELEMENTO STRUTTURALE: Pilastro 4 | Localizzazione: Pila 2
Indagine: PAC3



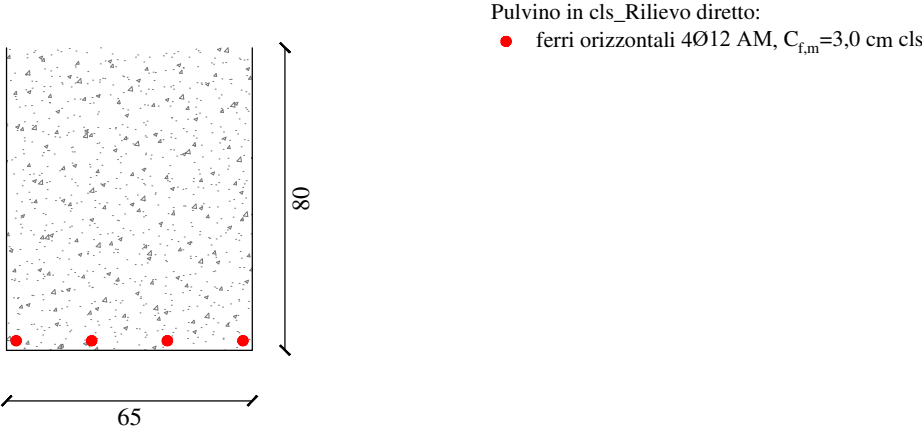
ELEMENTO STRUTTURALE: Pulvino | Localizzazione: Pulvino Spalla lato Concesio
Indagine: PAC4



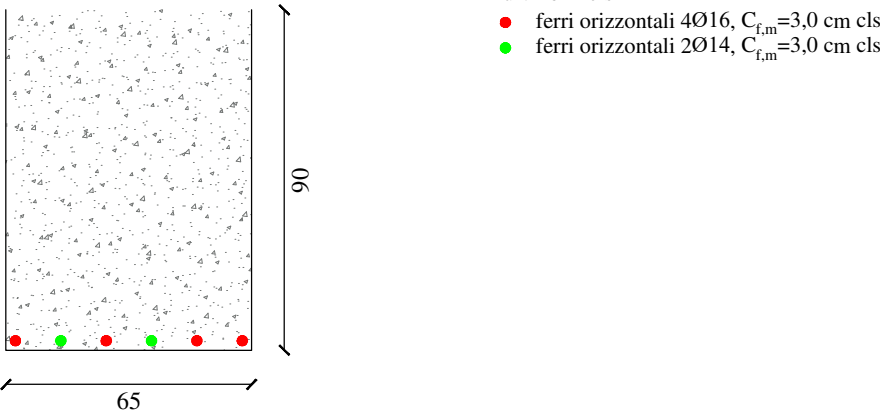
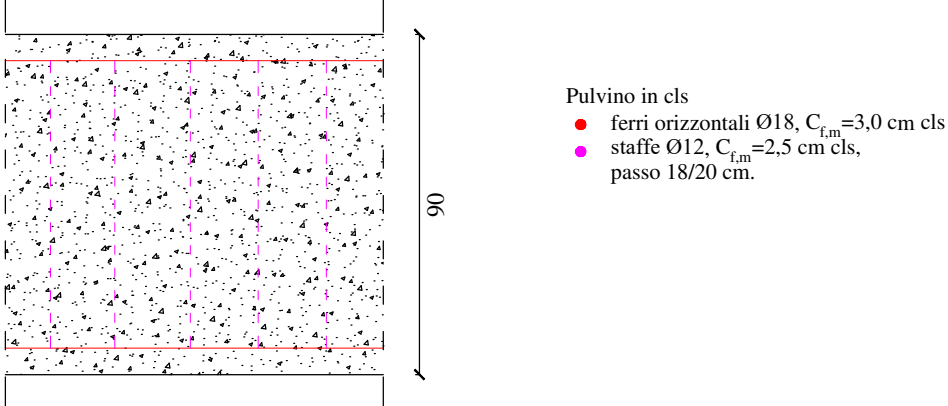
ELEMENTO STRUTTURALE: Pulvino | Localizzazione: Pila 1
Indagine: PAC5



ELEMENTO STRUTTURALE: Pulvino | Localizzazione: Pila 1
Indagine: RIL2

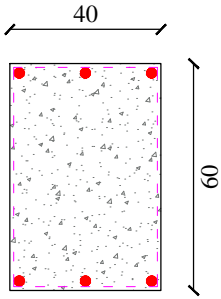


ELEMENTO STRUTTURALE: Pulvino | Localizzazione: Pulvino Spalla lato Ospitaletto
Indagine: PAC7



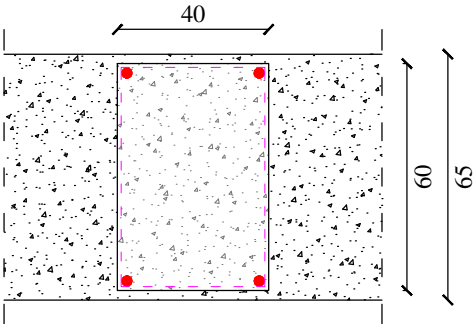
DETTAGLI COSTRUTTIVI

ELEMENTO STRUTTURALE: Pilastro 2 | Localizzazione: Pila 1
Indagine: PAC6



Pilastro in cls
● correnti verticali 3Ø18, $C_{f,m}=2,7$ cm cls
● staffe Ø10, $C_{f,m}=2,1$ cm cls, passo 20 cm.

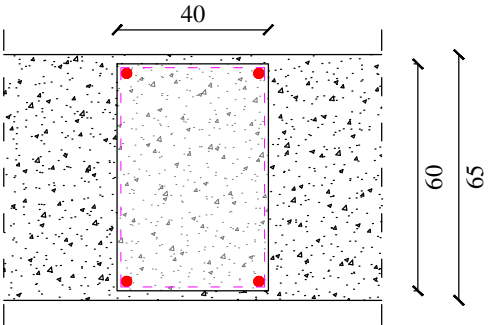
ELEMENTO STRUTTURALE: Pilastro 2 | Localizzazione: Spalla lato Ospitaletto
Indagine: PAC8



Pilastro in cls_Indagine pacometrica:
● correnti verticali 6Ø18, $C_{f,m}=3,5$ cm cls
● staffe Ø10, $C_{f,m}=2$ cm cls, passo 18 cm.

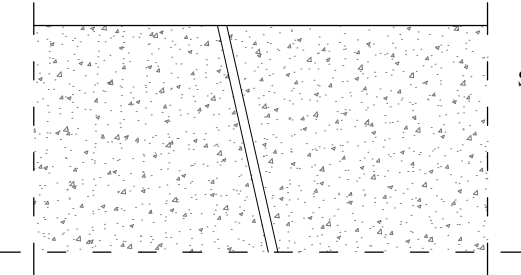
Pilastro in cls_Verifica con rilievo diretto:
● correnti verticali Ø24AM, $C_{f,m}=3,5$ cm cls
● staffe Ø8AM, $C_{f,m}=2$ cm cls, passo 18 cm.

ELEMENTO STRUTTURALE: Pilastro 1 | Localizzazione: Spalla lato Concesio
Indagine: PAC9

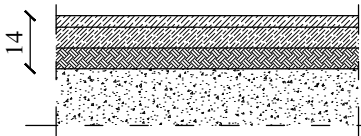


Pilastro in cls
● correnti verticali Ø24AM, $C_{f,m}=3,5$ cm cls
● staffe Ø8AM, $C_{f,m}=2$ cm cls, passo 18 cm.

ELEMENTO STRUTTURALE: Impalcato | Localizzazione: Sbalzo sull'impalcato
Indagine: RIL3

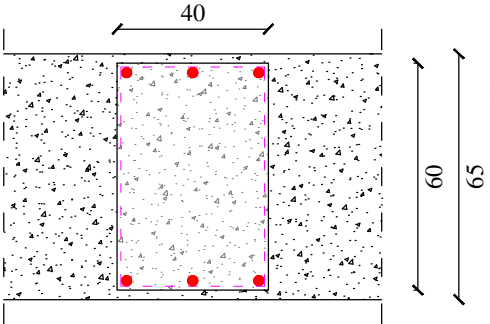


Spessore giunto: 2,5 cm

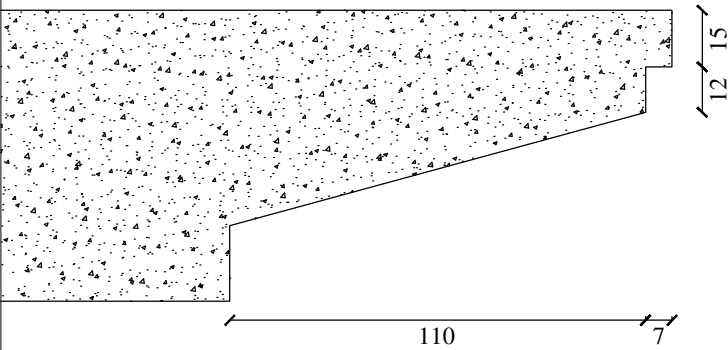


Stratigrafia:
- Tappeto sp.3 cm
- Binder sp.5,5 cm
- Terreno stabilizzati sp. 5,5 cm
- Soletta in c.a.

ELEMENTO STRUTTURALE: Pilastro 4 | Localizzazione: Pila 1
Indagine: PAC10



Pilastro in cls
● correnti verticali 6Ø18, $C_{f,m}=3,5$ cm cls
● staffe Ø10, $C_{f,m}=2$ cm cls, passo 18 cm.



ALLEGATO 3

Rapporti di Prova

Laboratorio Prove Materiali

Pag. 1 di 1

RAPPORTO DI PROVA
n. RdP/21/0351/CS-01

Autorizzazione

Decreto Ministeriale n. 0000012

Art. 20 - Legge 5-11-71 n. 1086

Art. 59 - D.P.R. 06-06-01 n. 380

PROVA DI COMPRESSIONE

su provini di calcestruzzo

Committente: PROVINCIA DI BRESCIA – AREA TECNICA E DELL'AMBIENTE – SETTORE DELLE STRADE E DEI TRASPORTI

Richiesta: Lettera del 10.03.2021 Accettazione n.: 0351

Oggetto: N. 8 carote di calcestruzzo Resistenza caratteristica dichiarata [MPa]: NON DICHIARATO

Cemento dichiarato: Dosaggio [kg/m³]:

Luogo del prelievo: Ponte della SP 19 "CONCESIO-OSPITALETTO-CAPRIANO D.C." al km 0+215

..... Comune di CONCESIO (BS)

Opera: C1: pulvino pila 2 – C2: pilastro 4 pila 2 – C3: pulvino Concesio – C4: pulvino pila 1 – C5: pilastro 2 pila 1

..... C6: pulvino Ospitaletto – C7: soletta impalcato 2 – C8: soletta impalcato 3

Committente dell'opera: PROVINCIA DI BRESCIA

Impresa costruttrice:

Denuncia:

Direttore lavori: Richiesta prove firmata dal Direttore Lavori: NO

Data ricevimento provini: 16.03.2021 Data di prova: 17.03.2021

Norma di riferimento: NTC 2018 - UNI EN 12390-1:2012 - UNI EN 12390-7:2019 - UNI EN 12390-3:2019 – UNI EN 12504-1:2019

PROVINO	DATA PRELIEVO DICHIARATA	CONTRASSEGNI SUI PROVINI	SPIANATURA PROVINI	DIMENSIONI		MASSA VOLUMICA	RESISTENZA A COMPRESSIONE	TIPO DI ROTTURA
n.			(*)	[mm]		[kg/m³]	[MPa]	(**)
				Ø	h			
1	25.02.21	C1	SI	74	73	2410	52,5	S
2	25.02.21	C2	SI	74	74	2290	23,1	S
3	25.02.21	C3	SI	74	74	2360	28,5	S
4	25.02.21	C4	SI	74	75	2360	36,9	S
5	25.02.21	C5	SI	74	73	2340	26,0	S
6	25.02.21	C6	SI	74	73	2390	39,5	S
7	25.02.21	C7	SI	74	73	2420	58,8	S
8	25.02.21	C8	SI	74	72	2320	39,4	S

(*) Spianatura provini: SI = effettuata; NO = provino conforme alla norma di riferimento.

(**) Tipo di rottura: S = soddisfacente (bitronco-conica); A÷K = non soddisfacente (UNI EN 12390-3, fig. 4)

Note:

Seriate, li 18.03.2021

Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio
(Belotti Ing. Ivan)

Il presente Rapporto di prova non costituisce certificato utile ai fini della procedura prevista dalla legge 1086/71.
I risultati contenuti nel presente Rapporto si riferiscono esclusivamente all'oggetto provato.
Il documento non può essere riprodotto parzialmente, salvo approvazione scritta del Laboratorio.



Laboratorio Prove Materiali
Pag. 1 di 1**RAPPORTO DI PROVA**
n. RdP/21/0351/FE-01Autorizzazione
Decreto Ministeriale n. 0000012
Art. 20 - Legge 5-11-71 n. 1086
Art. 59 - D.P.R. 06-06-01 n. 380**PROVE SU BARRE D'ARMATURA**

Committente : PROVINCIA DI BRESCIA – AREA TECNICA E DELL'AMBIENTE – SETTORE DELLE STRADE E DEI TRASPORTI

Richiesta : Lettera del 10.03.2021 Accettazione n. : 0351

Oggetto: n.2 barre nervate da c.a. normale Produttore : NON DICHIARATO

Tipo di acciaio : N.D. Diametro nominale: 10 - 10 mm

Luogo del prelievo : Ponte della SP 19 "CONCESIO-OSPITALETTO-CAPRIANO D.C." al km 0+215

..... Comune di CONCESIO (BS)

Opera: ARM1: pulvino lato Concesio – ARM2: pulvino lato Ospitaletto

Committente dell'opera : PROVINCIA DI BRESCIA

Impresa costruttrice :

Denuncia:

Direttore lavori : Richiesta prove firmata dal Direttore Lavori : NO

Data ricevimento provini: 16.03.2021 Data di prova: 16.03.2021

Norma di riferimento: NTC 2018 – UNI EN ISO 15630-1:2019

Marchio di identificazione: Ø
Ø
Ø

BARRA		CONTROLLO DIMENSIONALE		PROVA DI TRAZIONE					PROVA DI PIEGAMENTO		AREA RELATIVA DI NERVATURA [f _t]
Ø	n°	Sezione [mm ²]	Massa [kg/m]	Tensione di snervamento f _y [MPa]	Tensione di rottura f _t [MPa]	f _y / f _{yk}	f _t / f _y	Allungamento A _g [%]	Diametro mandrino [mm]	Esito	
10	ARM1	81,1	0,637	458,7	691,7	1,02	1,51	12,9			
10	ARM2	81,3	0,638	468,6	691,2	1,04	1,48	15,3			

Note :

Seriate, lì 18.03.2021

Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio
(Belotti ing. Ivan)

Il presente Rapporto di prova non costituisce certificato utile ai fini della procedura prevista dalla legge 1086/71.
I risultati contenuti nel presente Rapporto si riferiscono esclusivamente all'oggetto provato.
Il documento non può essere riprodotto parzialmente, salvo approvazione scritta del Laboratorio.