

# Smart Infrastructures Academy

## The influence of corrosion on reinforced concrete structures



## Non Destructive Tests in situ in order to investigate corrosion phenomena

Ing. Antonio Bossio



## La conoscenza: approccio metodologico

2

The influence of corrosion on reinforced concrete structures

Il termine **corrosione** (dal latino *com-* particella indicante insistenza e *rodere*, per "consumare") indica un processo **naturale** e **irreversibile** di consumazione lenta e continua di un **materiale**, che ha come conseguenze il peggioramento delle **caratteristiche** o proprietà fisiche del materiale inizialmente coinvolto.

La corrosione è un fenomeno di natura **elettrochimica** che determina una interazione chimico-fisica del materiale metallico con l'ambiente che lo circonda.

*La Durabilità è attitudine di un'opera a sopportare attacchi di agenti aggressivi di diversa natura mantenendo inalterate le caratteristiche meccaniche e funzionali*



## La «Rivoluzione» Normativa

3

The influence of corrosion on reinforced concrete structures

### D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380

Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia

Negli anni ha avuto tutta una serie di modifiche ed integrazioni.

Nello specifico quello che riguarda il nostro argomento è collocata nell'articolo 59

Art. 59 (L) - Laboratori

[...omissis...]

2. Il Ministero delle infrastrutture e dei trasporti può autorizzare, con proprio decreto, ai sensi del presente capo, altri laboratori ad effettuare:

a) prove sui materiali da costruzione;

b) (lettera soppressa)

c) prove di laboratorio su terre e rocce;

\*c-bis) prove e controlli su materiali da costruzione su strutture e costruzioni esistenti.

(lettera aggiunta dall'art. 3, comma 1, legge n. 55 del 2019)\*



## La «Rivoluzione» Normativa

4

The influence of corrosion on reinforced concrete structures

### D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380

Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia

Il comma cbis di fatto ufficializza in una legge dello Stato l'esistenza di laboratori autorizzati che eseguono le prove sugli edifici esistenti.

Tale tipologia di laboratori, essenzialmente concentrati sulle prove non distruttive, sono stati poi categorizzati nella

**Circolare 03 dicembre 2019, n. 633/STC** - *Criteria per il rilascio dell'autorizzazione ai Laboratori per prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture e costruzioni esistenti di cui all'art. 59, comma 2, del DPR n. 380/2001.*

In tale circolare, in estensione al concetto espresso nel titolo, vengono elencate tutte le prove non distruttive utili, per i tecnici, alla definizione dei livelli di conoscenza previsti dalle Norme Tecniche per le Costruzioni nonché le attrezzature minime necessarie all'espletamento delle stesse e le norme tecniche di riferimento.



Non Destructive Tests in situ in order to investigate corrosion phenomena

## La «Rivoluzione» Normativa

5

The influence of corrosion on reinforced concrete structures

Settore “A”: Prove **obbligatorie** su strutture in calcestruzzo armato normale, precompresso e muratura

- a. prova magnetometrica;
- b. prova sclerometrica;
- c. prova di estrazione - metodo Pull Out;
- d. prova ultrasonica;
- e. prelievo in opera di calcestruzzo;
- f. prelievo in opera di provini di acciaio;
- g. analisi chimica;
- h. prove con martinetti piatti singoli e doppi (solo sulle murature);
- i. prove di carico statiche.



## La «Rivoluzione» Normativa

6

The influence of corrosion on reinforced concrete structures

Nell'ambito del Settore “A”, il laboratorio potrà inoltre richiedere l'autorizzazione a svolgere e certificare le seguenti prove **facoltative**:

- a. prova penetrometrica - metodo Windsor;
- b. prova di adesione a strappo - metodo Pull Off;
- c. **analisi elettrochimica per la misura del potenziale e della velocità di corrosione;**
- d. prove di carico statiche a compressione diagonale sulle murature;
- e. monitoraggio delle strutture;
- f. termografia ad infrarossi;
- g. indagini endoscopiche;
- h. indagini georadar;
- i. caratterizzazione meccanica delle malte per murature;
- j. misura di umidità del legno;
- k. prova penetrometrica nel legno.



## La «Rivoluzione» Normativa

7

The influence of corrosion on reinforced concrete structures

Settore “B”: Prove **obbligatorie** su strutture metalliche e strutture composte.

- a. prova magnetoscopica;
- b. liquidi penetranti;
- c. ultrasuoni;
- d. prova di durezza Brinell in situ;
- e. prova di durezza Vickers in situ;
- f. prova di durezza Rockwell in situ;
- g. prova di durezza Lebb in situ;
- h. spessometria in situ;
- i. misura delle coppie di serraggio;
- j. prelievo di bulloni e di campioni di carpenteria.



**Non Destructive Tests in situ in order to investigate corrosion phenomena**

## **La «Rivoluzione» Normativa**

8

The influence of corrosion on reinforced concrete structures

Nell'ambito del Settore "B", il laboratorio potrà, inoltre, richiedere l'autorizzazione a svolgere e certificare le seguenti prove **facoltative**:

- a. estensimetria;
- b. indagine spettrometrica in situ;
- c. monitoraggio delle strutture.



**Non Destructive Tests in situ in order to investigate corrosion phenomena**

## **La «Rivoluzione» Normativa**

9

The influence of corrosion on reinforced concrete structures

Settore “C”: Prove dinamiche sulle strutture.

- a. prove dinamiche sulle strutture di elevazione;
- b. prove di tensionamento su catene e tiranti.

Quindi, com'è possibile facilmente osservare, il campo in cui ci si muove è estremamente vasto e richiede competenze di un certo tipo.



**Non Destructive Tests in situ in order to investigate corrosion phenomena**

## **La «Rivoluzione» Normativa**

10

The influence of corrosion on reinforced concrete structures

Per la redazione della campagna di indagine è utilissimo il capitolo 8 sia del NTC sia della relativa circolare esplicativa dove vengono descritti tutti i passaggi da seguire per addivenire a livello di conoscenza.

Ma è anche essenziale che il tecnico conosca bene il campo applicativo della prova richiesta in modo da poterla collocare con esattezza all'interno del piano di indagine.



**Non Destructive Tests in situ in order to investigate corrosion phenomena**

## **La «Rivoluzione» Normativa**

11

The influence of corrosion on reinforced concrete structures

Ad esempio per una struttura in cemento armato la principale esigenza di conoscenza è relativa alla resistenza del calcestruzzo, delle barre in acciaio e soprattutto della effettiva durabilità residua dell'elemento strutturale e più in generale, quindi, alla definizione della vita residua dell'opera e alla valutazione dell'intervento da realizzare (anche considerando l'aspetto economico).



## Il piano prove

### Circolare esplicativa alle NTC - C8.5

"Il piano delle indagini, [...omissis...], può essere efficacemente indirizzato, in relazione sia alla **tipologia** delle prove, sia alla loro **localizzazione**, da un'analisi basata su dati preliminari relativi alle caratteristiche geometriche, costruttive e dei materiali. In tal modo è **possibile identificare le zone critiche** nei riguardi degli stati limite ultimi, investigando eventualmente la sensibilità della risposta alle incertezze sui principali parametri, e quindi **razionalizzare** il piano delle indagini sperimentali, anche in considerazione della loro onerosità ed invasività".

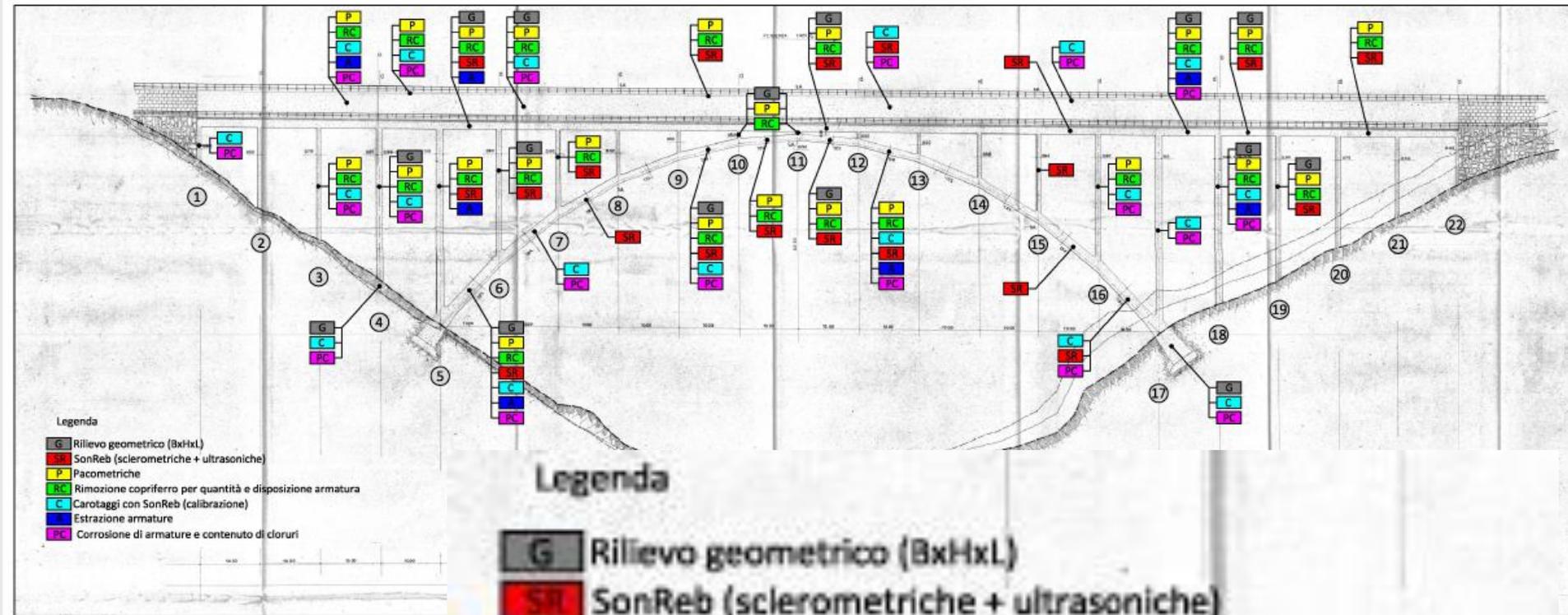


# Non Destructive Tests in situ in order to investigate corrosion phenomena

## Il piano prove

13

The influence of corrosion on reinforced concrete structures



### Legenda

- G Rilievo geometrico (BxHxL)
- SR SonReb (sclerometriche + ultrasoniche)
- P Pacometriche
- RC Rimozione copriferro per quantità e disposizione armatura
- C Carotaggi con SonReb (calibrazione)
- A Estrazione armature
- PC Corrosione di armature e contenuto di cloruri



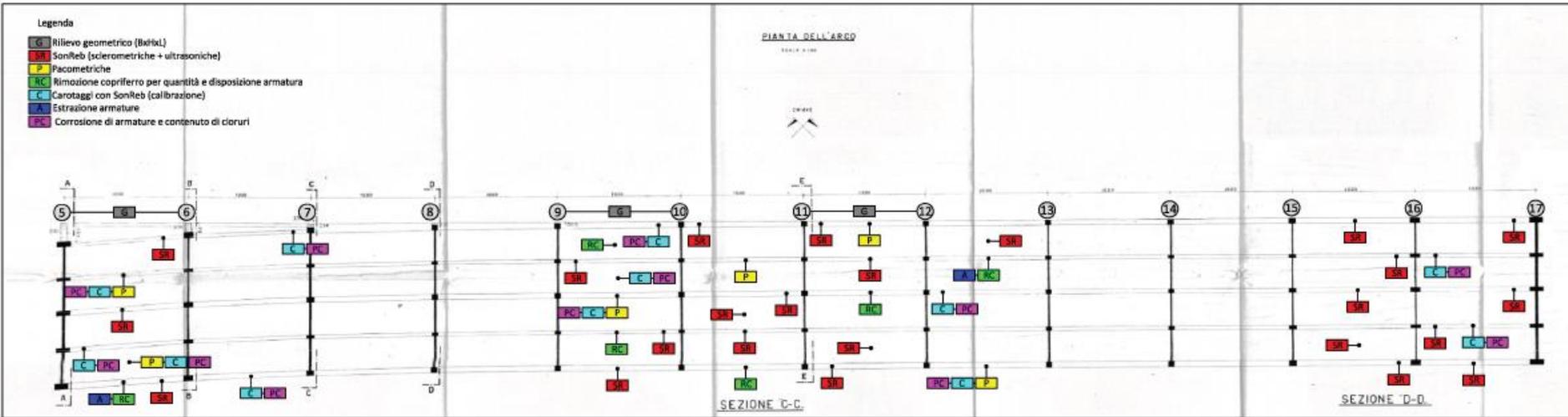
# Non Destructive Tests in situ in order to investigate corrosion phenomena

## Il piano prove

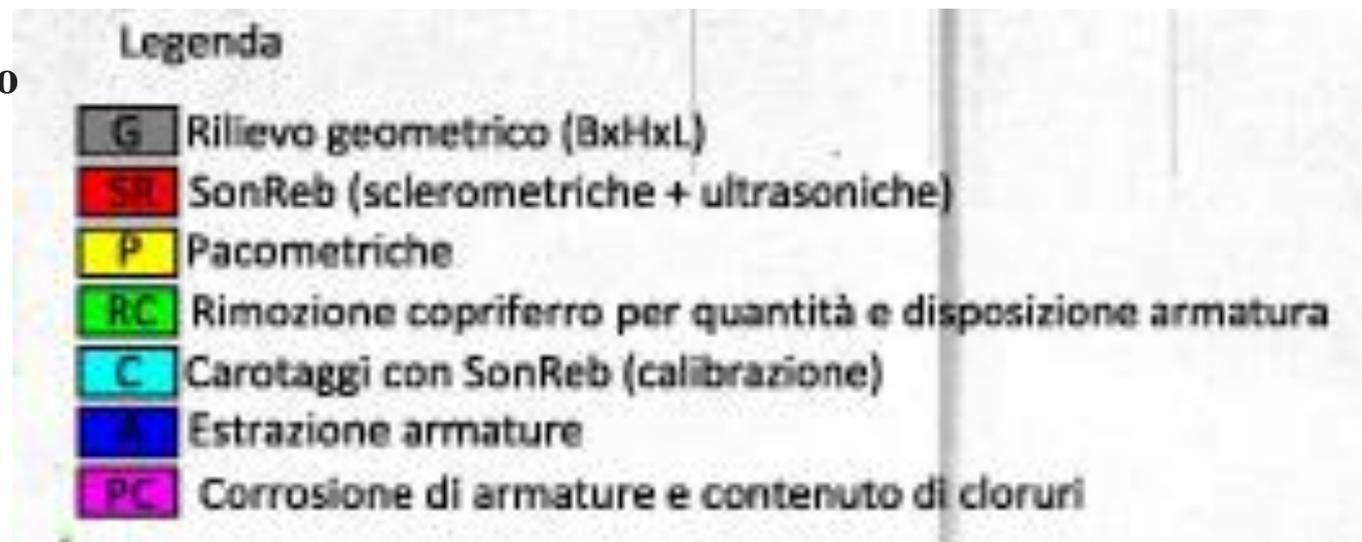
14

The influence of corrosion on reinforced concrete structures

Indagini sulle travi dell'arco



Prove sulle travi dell'arco





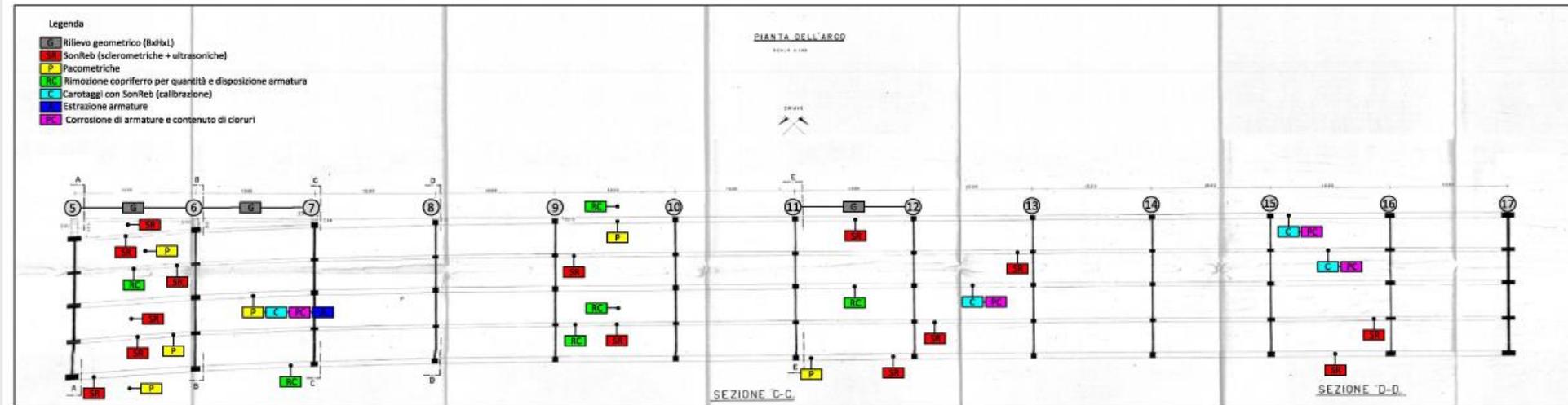
# Non Destructive Tests in situ in order to investigate corrosion phenomena

## Il piano prove

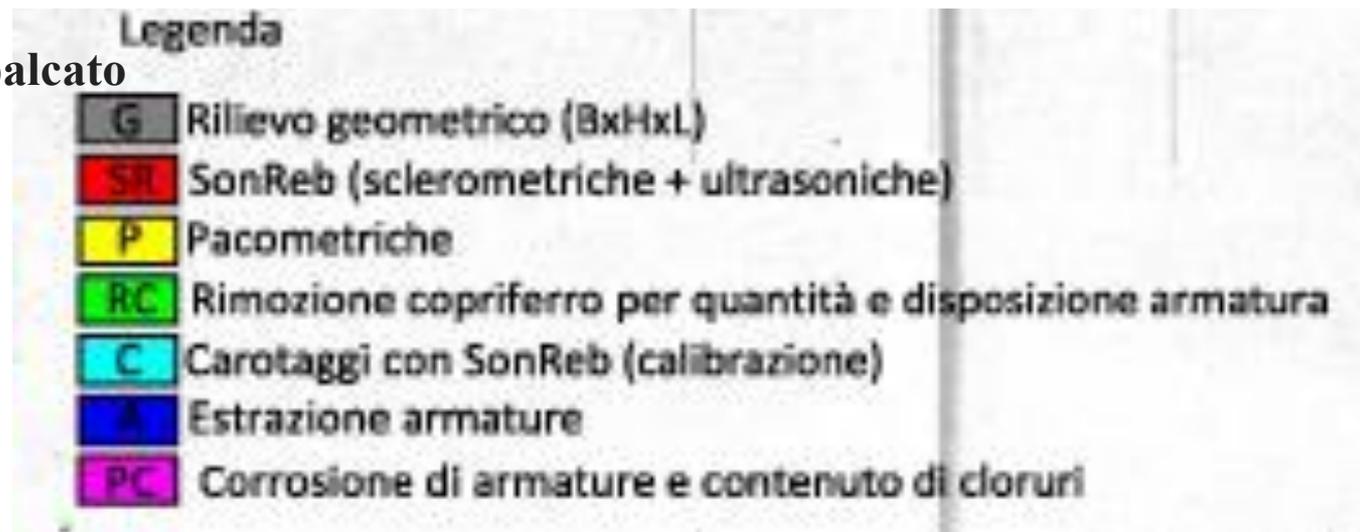
15

The influence of corrosion on reinforced concrete structures

Indagini sulle travi dell'impalcato



### Prove sulle travi dell'impalcato





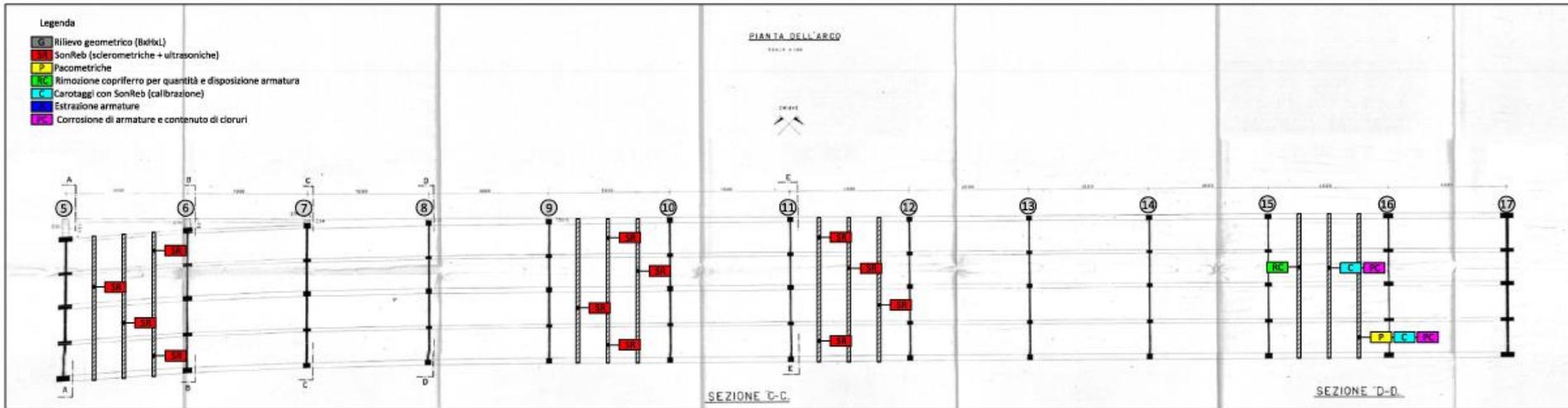
# Non Destructive Tests in situ in order to investigate corrosion phenomena

## Il piano prove

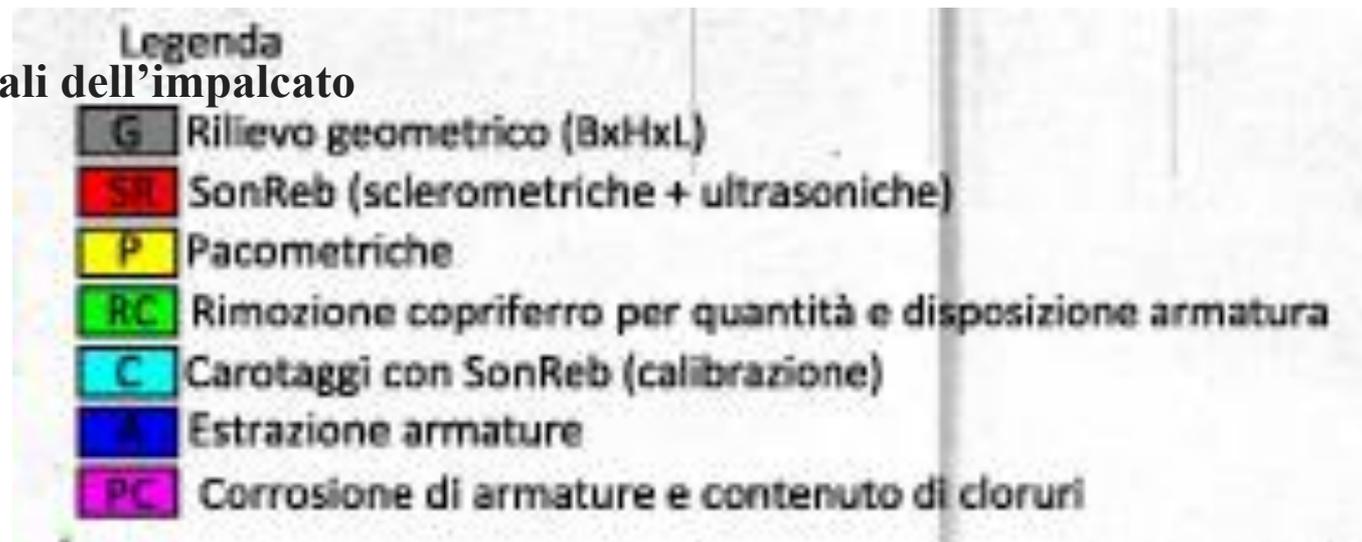
16

The influence of corrosion on reinforced concrete structures

Indagini sulle travi trasversali dell'impalcato



### Prove sulle travi trasversali dell'impalcato





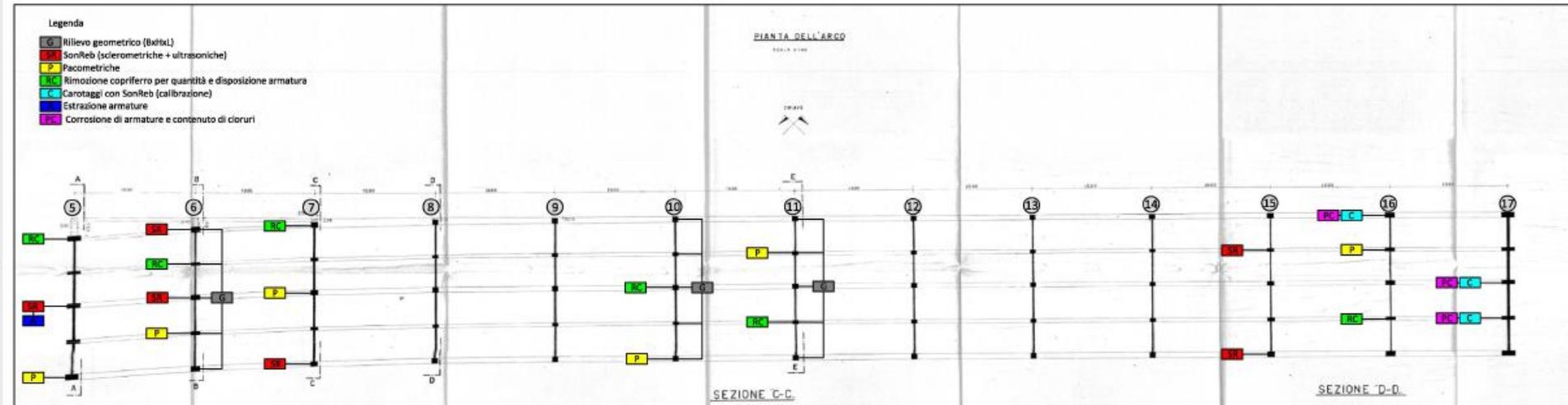
# Non Destructive Tests in situ in order to investigate corrosion phenomena

## Il piano prove

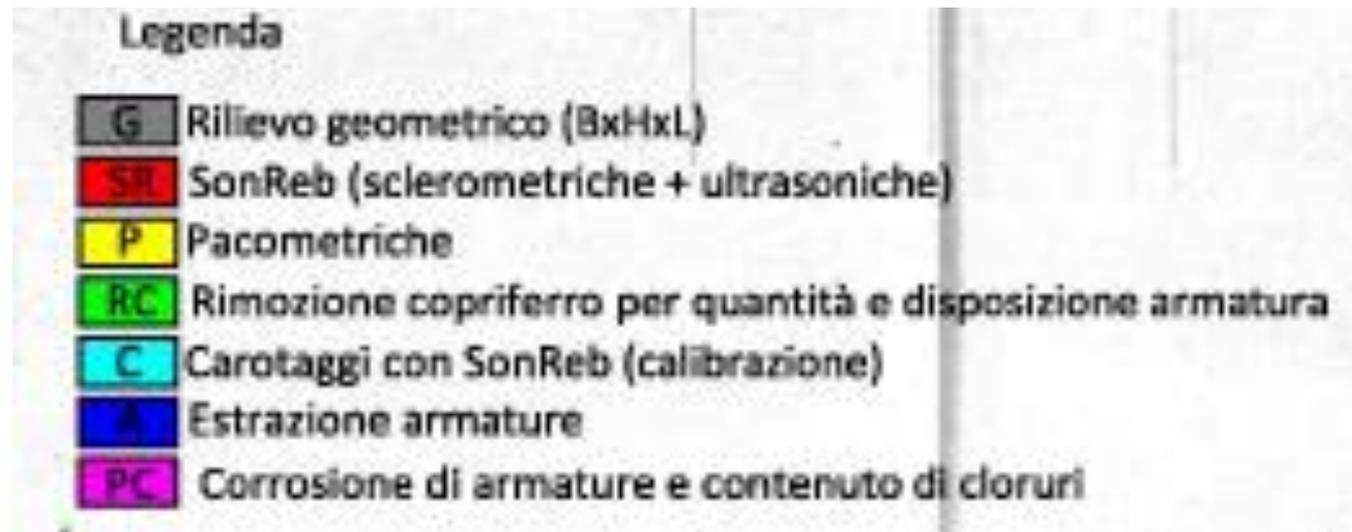
17

The influence of corrosion on reinforced concrete structures

Indagini sui pilastri



## Prove sui pilastri





## Il piano prove

18

The influence of corrosion on reinforced concrete structures

### *Piano indagini*

Denominazione e ubicazione: \_\_\_\_\_

Per la predisposizione del piano delle indagini da eseguire sulla struttura in oggetto si definiscono nel seguito le tipologie strutturali sulle quali indagare:

- Tipo di elemento strutturale 1: travi e soletta;
- Tipo di elemento strutturale 2: pilastri e pareti;
- Tipo di elemento strutturale 3: travi e soletta.

Le percentuali di elementi da indagare per ogni tipologia strutturale definita e per tipologia di indagine sono tarate in modo da raggiungere un livello di conoscenza almeno pari a LC2 e sono di seguito riportate.

Nella colonna “n° sub-elementi” della tabella che segue si riporta il numero di sub-elementi da indagare affinché si possa ritenere soddisfatto il criterio che indica l’estensione delle indagini sulle tipologie strutturali.



## Non Destructive Tests in situ in order to investigate corrosion phenomena

# Il piano prove - Verifiche geometriche e dettagli costruttivi

19

The influence of corrosion on reinforced concrete structures

Tipologia di indagine	Tipologia strutturale	Estensione delle indagini	n° di sub-elementi
<b>Geometria</b>	Arco	20% delle campate	Tutti gli elementi della campata
	Pile/telai	20% dei telai	Tutti gli elementi del telaio
	Impalcato	20% delle campate	Tutti gli elementi della campata
<b>Dettagli costruttivi</b> (50% saggi visivi e 50% pacometriche)	Arco	40% delle campate	2 travi per campata
	Pile/telai	40% dei telai	2 pilastri per campata
	Impalcato	40% delle campate	2 travi per campata
<b>Carotaggi [1/2]</b>	Arco	Almeno 5 carote	Sulle travi
	Pile/telai	Almeno 5 carote	Sui pilastri
	Impalcato	Almeno 5 carote	Sulle travi
<b>Prelievo barre di armatura</b>	Arco	2 barre e 2 staffe in campate diverse	All'estradosso
	Pile/telai	2 barre e due staffe in telai diversi	Pilastri centrali
	Impalcato	3 barre e due staffe in campate diverse	All'intradosso
<b>Sclerometriche e ultrasoniche (SonReb)</b>	Arco	In numero triplo rispetto ai carotaggi	Negli n punti in cui vengono eseguiti gli n carotaggi e in altri 2n punti
	Pile/telai		
	Impalcato		
<b>Durabilità dei materiali</b>	Arco	Per quanto possibile da eseguire nelle stesse zone già indagate	
	Pile/telai		
	Impalcato		



# Non Destructive Tests in situ in order to investigate corrosion phenomena

## Il piano prove

20

The influence of corrosion on reinforced concrete structures

Tipologia indagine	n°	Tipologia e posizione elementi strutturali	Note
Rilievo geometrico degli elementi strutturali (G)	25 (5x5)	Pilastrini dei telai 4, 6, 10, 18, 19	Estendere le indagini a tutti gli elementi del telaio/campata
	15 (5x3)	Travi arco (incluso soletta), campate 5-6, 9-10, 11-12	
	25 (5x5)	Travi impalcato (incluso soletta), campata 5-6, 6-7, 11-12, 17-18, 18-19	
	1	Misura dell'ampiezza del giunto al telaio 4 (Figura 1)	In prossimità dell'impalcato e lungo i pilastrini del telaio
	1	Dettaglio della paretina e collegamento con travi impalcato e arco, telaio 11	Estendere le indagini a tutti gli elementi del telaio/campata
	1	Plinto di fondazione	1 plinto dell'arco
	1	Plinto sul viadotto	Per valutazione della estensione delle paretine verso le fondazioni
	1	Muro andatore	Dalla spalla carr. sud in dx loc tutta l'altezza
	1	Soletta arco, campata 9-10	1 punto in mezzeria



# Non Destructive Tests in situ in order to investigate corrosion phenomena

## Il piano prove

21

The influence of corrosion on reinforced concrete structures

Tipologia indagine	n°	Tipologia e posizione elementi strutturali	Note
Indagini pacometriche (P)	10	Pilastri dei telai 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 16, 18, 19	1 pilastro per telaio Alternando piede-testa e posizione trasversale del pilastro
	5	Travi arco, campate 5-6, 9-10, 10-11, 11-12, 12-13	1 trave per campata Alternando posizioni centrali e di estremità
	12	Travi impalcato, campata 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 9-10, 11-12, 17-18, 18-19, 20-21	1 trave per campata 1 trave trasversale per campate 4-5, 15-16, 17-18 Alternando posizioni centrali e di estremità
	1	Soletta arco, campata 5-6	1 punto in mezzeria
	4	Soletta impalcato campata 5-6, 18-19	2 punti 1 contrale e 1 sullo sbalzo
	1	Soletta arco, campata 9-10	1 punto in mezzeria



# Non Destructive Tests in situ in order to investigate corrosion phenomena

## Il piano prove

22

The influence of corrosion on reinforced concrete structures

Tipologia indagine	n°	Tipologia e posizione elementi strutturali	Note
<b>Rimozione copriferro (scanalature) per quantità e disposizione delle armature (RC) (*)</b>  (*) la rimozione del copriferro deve essere in direzione trasversale, in modo da scoprire tutte le barre, ed in direzione longitudinale, in modo da scoprire almeno tre staffe consecutive. I saggi vanno eseguiti in zone senza evidenti situazioni di degrado.	10	Pilastri dei telai 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 16, 18, 19	1 pilastro per telaio  Alternando piede-testa e posizione trasversale del pilastro, in posizioni diverse rispetto alle pacometriche;  1 pilastro del telaio 4 in prossimità della biforcazione del pilastro
	5	Travi arco, campate 5-6, 9-10, 10-11, 11-12, 12-13	1 trave per campata  Alternando posizioni centrali e di estremità, in posizioni diverse rispetto alle pacometriche
	12	Travi impalcato, campata 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 9-10, 11-12, 17-18, 18-19, 20-21	1 trave per campata  1 trave trasversale per campate 4-5, 15-16, 17-18  Alternando posizioni centrali e di estremità, in posizioni diverse rispetto alle pacometriche
	1	Soletta arco, campata 9-10	1 punto in mezzeria
	4	Soletta impalcato campata 9-10, 17-18	2 punti  1 contrale e 1 sullo sbalzo
	<b>Rimozione copriferro (scanalature) per quantità e disposizione delle armature (RC) (*)</b>	1	Paretina telaio 4 (Figura 2)



## Non Destructive Tests in situ in order to investigate corrosion phenomena

# Il piano prove - Indagini sui materiali

23

The influence of corrosion on reinforced concrete structures

Tipologia prove	n°	Tipologia e posizione elementi strutturali	Note
<b>Indagini SonReb (calibrazione) (SR)</b>	8	Pilastri dei telai 3, 4, 16, 17, 18	1 pilastro del telaio 3
<b>Carotaggi (C)(**)</b>		e	2x1 pilastro del telaio 4, una in testa in prossimità della biforcazione del pilastro ed una al piede
<b>Misure potenziale di corrosione, resistività, contenuto di cloruri su microcarote (PC)</b>		Travi impalcato, campata 3-4, 4-5, 6-7, 12-13, 15-16, 17-18	1 pilastro del telaio 16 2 pilastri del telaio 17 2 pilastri del telaio 18 Alternando piede-testa e posizione trasversale del pilastro
	2	Soletta arco, campata 5-6, 9-10	1 punto in mezzeria
	1	Paretina telaio 4	1 punto alla base



## Non Destructive Tests in situ in order to investigate corrosion phenomena

# Il piano prove - Indagini sui materiali

24

The influence of corrosion on reinforced concrete structures

Indagini SonReb (SR)	16	Pilastri dei telai 5, 6, 7, 15, 19	1 pilastro del telaio 5, 7 2 pilastri del telaio 6, 15, 19 2 prove a pilastro, alternando piede-testa e posizione trasversale del pilastro
	20	Travi arco, campate 5-6, 9-10, 10-11, 11-12, 15-16, 16-17	3 travi per campata 5-6, 9-10, 10-11, 11-12 4 travi per campata 15-16, 16-17 Alternando posizione centrale e di estremità
	4	Soletta arco, campata 10-11, 11-12, 12-13, 15-16	1 punto in mezzeria
	4	Soletta impalcato campata 5-6, 20-21	2 punti 1 contrale e 1 sullo sbalzo
Estrazione barre di armatura per prove a trazione (A)	2+2	Pilastri dei telai 5, 18	Da un pilastro centrale, di ogni telaio, estrarre 1 barra longitudinale e 1 staffa
	4+4	Travi impalcato campata 3-4, 4-5, 6-7, 17-18	2 barre e 2 staffe a scelta tra le campate 4-5 e 17-18 1 barra e una staffa sulla trave/setto di irrigidimento (Z) tra le carreggiate nella campata 3-4, 6-7



**Non Destructive Tests in situ in order to investigate corrosion phenomena**

## **Il piano prove - Indagini sui materiali**

25

The influence of corrosion on reinforced concrete structures

Le zone interessate dai carotaggi e da rimozione del copriferro vanno ripristinate immediatamente. Lo stesso vale per le barre di armatura prelevate, le quali vanno ripristinate con barre di diametro almeno pari a quelle rimosse e saldate alle esistenti con opportuna sovrapposizione.

### **Rilievo geometrico**

Si richiede il rilievo dei piani di posa dei plinti di fondazione dei pilastri di ogni pila e delle pareti di collegamento tra i vari pilastri delle pile (1, 2, 3, 4, 5, 17, 18, 19, 20, 21, 22).



## Il piano prove - Indagini sui materiali

### Ispezioni con drone

In via preliminare al rilievo geometrico può essere utile una ispezione visiva completa dei giunti tra il ponte sull'arco ed i viadotti, sia a livello della soletta dell'impalcato, sia lungo le biforcazioni sui pilastri.

### Carotaggi aggiuntivi

Eseguire un carotaggio per la conoscenza della stratigrafia del piano carrabile, estendendo il carotaggio fino alle strutture portanti.

Si richiede un carotaggio per una fondazione di un plinto di un telaio e della fondazione dell'arco con annesse verifiche su misura del potenziale di corrosione, resistività e contenuto di cloruri e carbonatazione.

Si richiede un carotaggio per la parete del telaio numero 1 posto in prossimità della spalla del viadotto.



Non Destructive Tests in situ in order to investigate corrosion phenomena

## Le prove per il controllo della corrosione

27

The influence of corrosion on reinforced concrete structures

### Potenziale di corrosione

La mappatura del potenziale elettrico di corrosione è la verifica non distruttiva dello stato di corrosione delle barre di armatura del calcestruzzo. La metodologia è impiegata per identificare zone di attività/non attività/passività delle barre di armatura (è possibile, in modo empirico, ricavare la velocità di corrosione).

### Prova di carbonatazione

La prova di carbonatazione è una prova non distruttiva che si basa sulla proprietà della fenolftaleina di variare colore in soluzione alcalina. Il campione assumerà la colorazione sulla gradazione di viola se si trova in ambiente alcalino, in caso contrario rimarrà invariato (pertanto nel calcestruzzo è già avviato il fenomeno della carbonatazione).

### Prova di contenuto di cloruri

La misura dello strato di calcestruzzo penetrato dagli ioni cloruro consente di stabilire il livello di degrado del manufatto, individuando lo stato di avanzamento della corrosione del metallo (armatura).



## Le prove per il controllo della corrosione

Tabella C8A.1.3a – Definizione orientativa dei livelli di rilievo e prove per edifici in c.a.

	Rilievo (dei dettagli costruttivi)(a)	Prove (sui materiali) (b)(c)
	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

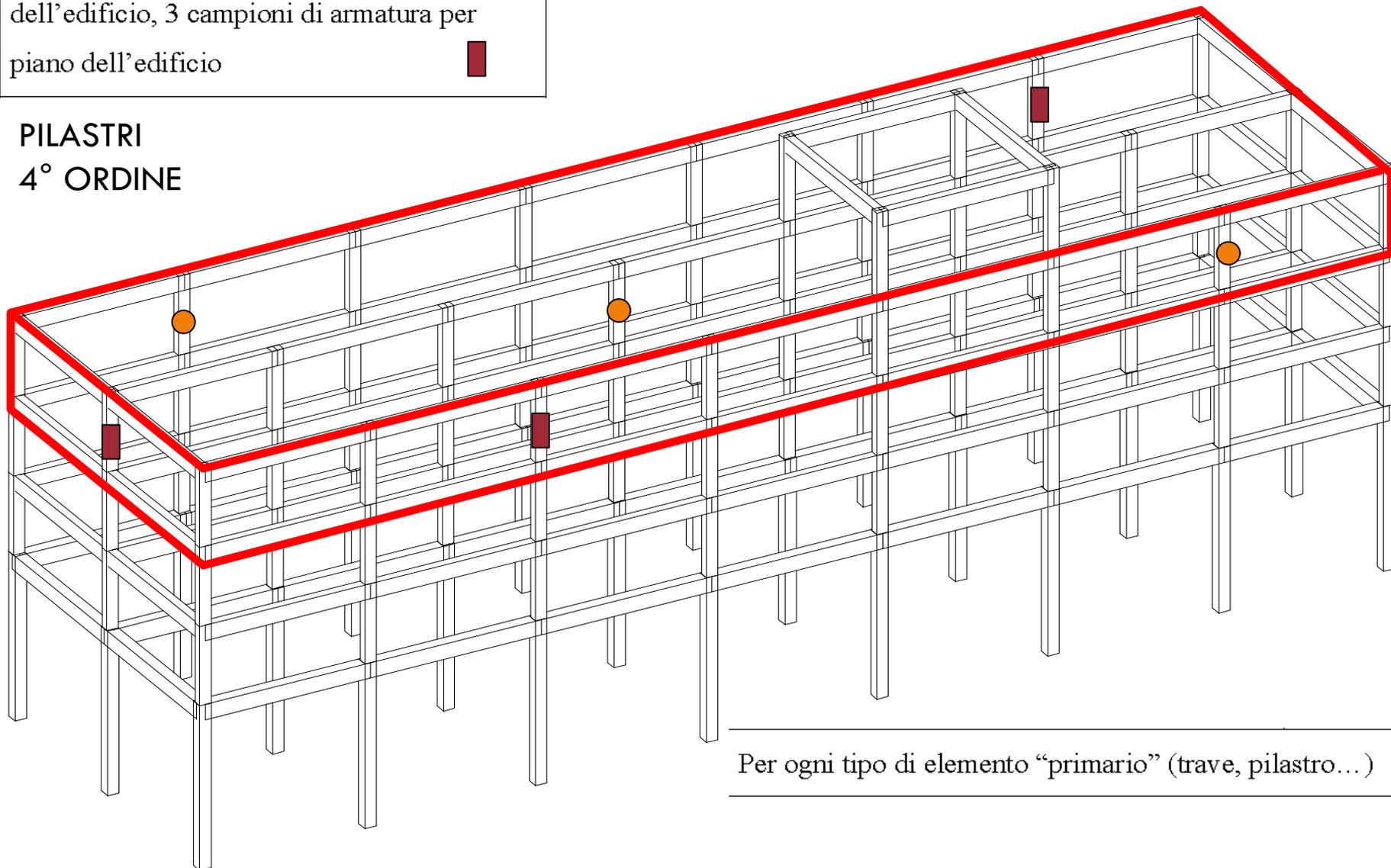
# EDIFICI ESISTENTI

Area < 300 LC3

3 provini di cls. per 300 m<sup>2</sup> di piano dell'edificio, 3 campioni di armatura per piano dell'edificio



**PILASTRI**  
**4° ORDINE**



---

Per ogni tipo di elemento "primario" (trave, pilastro...)

---

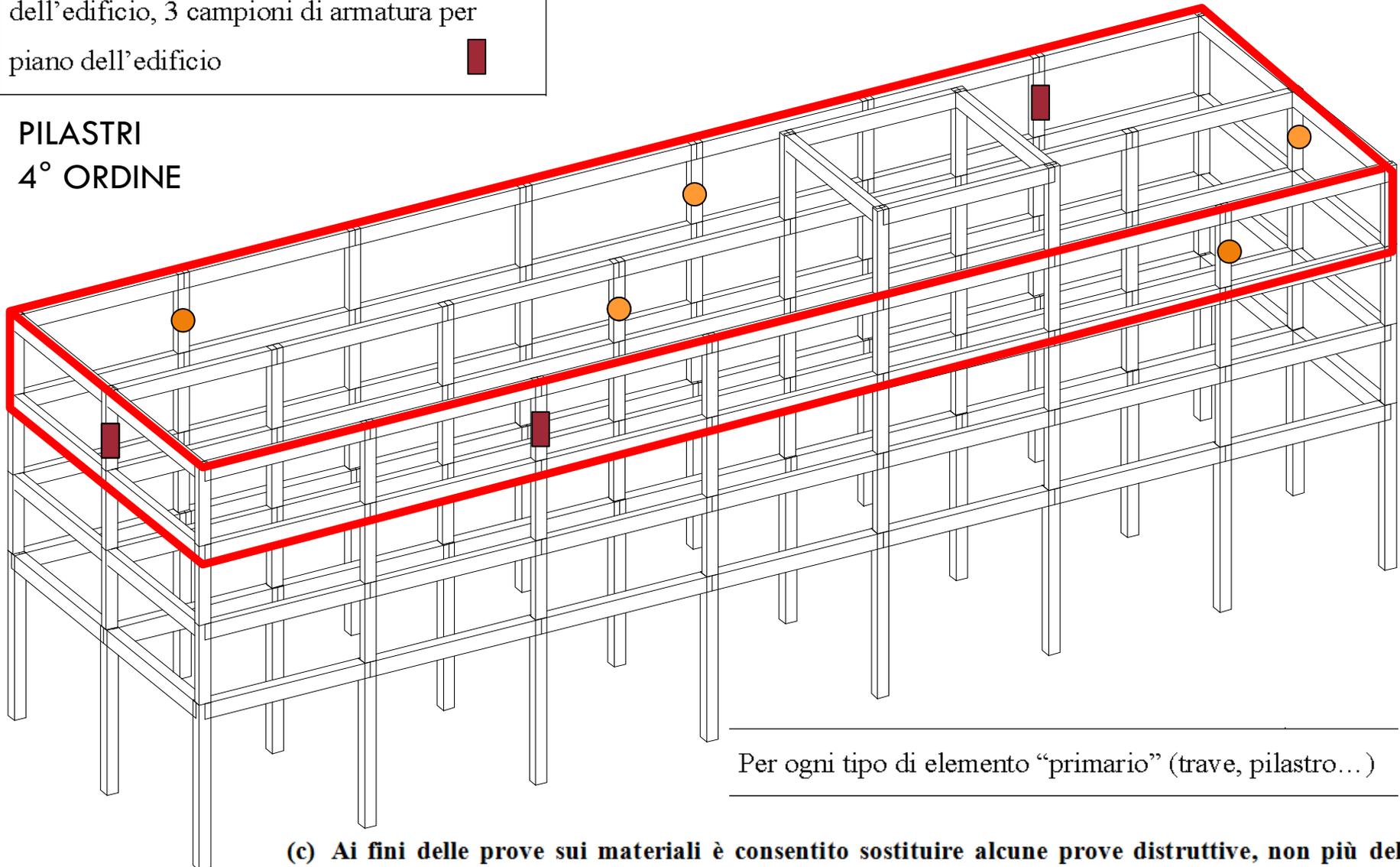
# EDIFICI ESISTENTI

Area < 300 LC3

3 provini di cls. per 300 m<sup>2</sup> di piano dell'edificio, 3 campioni di armatura per piano dell'edificio



PILASTRI  
4° ORDINE



Per ogni tipo di elemento "primario" (trave, pilastro...)

(c) 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. ●



Non Destructive Tests in situ in order to investigate corrosion phenomena

## Mappatura del Potenziale di Corrosione

31

The influence of corrosion on reinforced concrete structures





## Mappatura del Potenziale di Corrosione

La tecnica di controllo è di tipo elettrochimico: un elettrodo di rame (anodo) viene appoggiato sulla superficie all'estradosso dell'elemento strutturale da esaminare, previo trattamento di umidificazione della superficie di calcestruzzo.

L'elettrodo negativo, invece, è costituito da una barra d'armatura, parzialmente scoperta e collegata ad un voltmetro, al fine di misurarne la differenza di potenziale (E).

La norma **ASTM C876-91** stabilisce una serie di intervalli di valori per definire lo stato di corrosione dell'armatura:

- per  $E > -0,2V$  la probabilità che l'armatura metallica sia integra è superiore al 90%;
- per  $-0,35V < E < -0,20V$  si ha incertezza sul fenomeno di corrosione;
- per  $E < -0,35V$  la probabilità che l'armatura metallica si stia corrodendo è superiore al 90%.



## Mappatura del Potenziale di Corrosione

33

The influence of corrosion on reinforced concrete structures

La tecnica di controllo è di tipo elettrochimico: un elettrodo di rame (anodo) viene appoggiato sulla superficie all'estradosso dell'elemento strutturale da esaminare, previo trattamento di umidificazione della superficie di calcestruzzo.

L'elettrodo negativo, invece, è costituito da una barra d'armatura, parzialmente scoperta e collegata ad un voltmetro, al fine di misurarne la differenza di potenziale (E).

La norma [ASTM C876-91](#) stabilisce una serie di intervalli di valori per definire lo stato di corrosione dell'armatura:

- per  $E > -0,2V$  la probabilità che l'armatura metallica sia integra è superiore al 90%;
- per  $-0,35V < E < -0,20V$  si ha incertezza sul fenomeno di corrosione;
- per  $E < -0,35V$  la probabilità che l'armatura metallica si stia corrodendo è superiore al 90%.

La norma italiana è la [10174:2020](#)



Non Destructive Tests in situ in order to investigate corrosion phenomena

## Prova di carbonatazione (FENOLFTALEINA)

34

The influence of corrosion on reinforced concrete structures

### PROVA ALLA FENOLFTALEINA (PnD)

#### (4.8.1 Principio di funzionamento)

*Le procedure per l'esecuzione della prova sono descritte dalla norma UNI EN 14630:2007 (“Determinazione della profondità di carbonatazione con il metodo della fenolftaleina”) o nella UNI 9944:1992 [ritirata senza sostituzione] (“Corrosione e protezione dell'armatura del calcestruzzo. Determinazione della profondità di carbonatazione e del profilo di penetrazione degli ioni cloruro nel calcestruzzo.”).*

La prova si basa sulla proprietà di un indicatore chimico, con variazione di colore, ad identificare la basicità di una soluzione acquosa presente su una superficie.

Generalmente è utilizzata una soluzione all'1% di fenolftaleina in alcool etilico. La fenolftaleina vira al rosso/viola al contatto con soluzioni il cui pH è maggiore di 9.2 e rimane incolore per valori di pH minori, quali quelle del calcestruzzo carbonatato.



Non Destructive Tests in situ in order to investigate corrosion phenomena

## Prova di carbonatazione (FENOLFTALEINA)

35

The influence of corrosion on reinforced concrete structures

*Spessore  
carbonatato*





Non Destructive Tests in situ in order to investigate corrosion phenomena

## Prova di carbonatazione (FENOLFTALEINA)

36

The influence of corrosion on reinforced concrete structures





Non Destructive Tests in situ in order to investigate corrosion phenomena

## Prova di carbonatazione (FENOLFTALEINA)

37

The influence of corrosion on reinforced concrete structures

La prova può essere eseguita sia su campioni di calcestruzzo prelevati: carote, micro carote, coni di estrazione, sia su superfici di frattura con bordi a vista. È fondamentale che sia disponibile un riscontro della quota interna rispetto alla superficie esterna del calcestruzzo.

Prima della prova **il campione deve essere ripulito da frammenti o detriti**, e deve presentare bordi netti ed andamento possibilmente normale a quelli della superficie esterna.

Nel caso in cui la superficie in esame sia particolarmente arida e secca, può essere necessaria una preventiva umidificazione con acqua pulita (con pennello o spruzzatore) attendendo, per le successive operazioni che la superficie tenda ad essiccarsi. Si procede quindi applicando sulla superficie da esaminare una soluzione di fenolftaleina mediante pennello o nebulizzatore curando di non far colare la soluzione.

La misura della quota della linea che demarca la superficie colorata deve essere eseguita dopo un conveniente tempo di attesa (30 – 60 minuti) mediante un regolo e con la precisione del millimetro ad intervalli equispaziati onde poter rilevare il valore minimo, medio e massimo.



## **Contenuto di cloruri**

38

### **The influence of corrosion on reinforced concrete structures**

La conoscenza della profondità di penetrazione degli ioni cloruro (liberi) nel copriferro può risultare utile ai fini della valutazione del rischio di innesco della corrosione delle armature.

Ricordiamo che profondità di penetrazione degli ioni cloruro si intende la distanza fra la superficie esposta agli ioni cloruro e la linea di demarcazione fra la zona penetrata e quella non ancora contaminata dagli ioni cloruro.

Il principio seguito per la determinazione della capacità di un calcestruzzo di resistere alla penetrazione degli ioni cloruro è quello di porre un provino di calcestruzzo a contatto con una soluzione di cloruro di sodio (ovviamente con una concentrazione standardizzata). Dopo un periodo prefissato di tempo il provino viene rotto longitudinalmente e si individua con un indicatore colorimetrico il livello di penetrazione dei cloruri.



## Contenuto di cloruri

**Tab 6**

### *Contenuto massimo di cloruri nel calcestruzzo secondo UNI EN 206-1*

<b>Impiego del calcestruzzo</b>	<b>Classe di contenuto in cloruri</b>	<b>Massimo contenuto di Cl<sup>-</sup> rispetto alla massa del cemento</b>
In assenza di armatura o di altri inserti metallici	Cl 1,0	1,0%
In presenza di armatura o di altri inserti metallici	Cl 0,20	0,20%
	Cl 0,40	0,40%
In presenza di armatura da precompressione	Cl 0,10	0,10%
	Cl 0,20	0,20%



Non Destructive Tests in situ in order to investigate corrosion phenomena

## Mappatura di potenziale

40

The influence of corrosion on reinforced concrete structures

# Facciamola insieme.....





## Una curiosità...

41

The influence of corrosion on reinforced concrete structures

I poeti e gli artisti parlano della corrosione dei metalli e del degrado delle cose pensando in effetti alla vita dell'uomo e alla sua precarietà. Ad esempio **Shakespeare** nel *King Lear* accosta, nel momento culminante della tragedia, la rovina del re a quella della natura e del mondo: “*O ruin'd piece of nature! This great world shall so wear out to nought!*”; l'**evangelista Matteo**, riportando il discorso della montagna, ammonisce: “*Non accumulatevi tesori sulla terra dove il tarlo e la ruggine logorano*”; il **cantante rock Neil Young** in uno dei suoi più importanti dischi *Rust never sleeps* (1979), canta l'angoscia per la vita che si consuma - perché, appunto, “*la ruggine non dorme mai*” -, e il sogno dei romantici di tutti i tempi di viverla intensamente a costo di bruciarla: “*It is better to burn out than it is to rust*”. I **corrosionisti**, che ben conoscono la tendenza dei metalli a ritornare alla polvere dei loro ossidi e dei loro sali da cui la metallurgia li aveva estratti, e ogni giorno sperimentano come questo ritorno effettivamente si produca per il venir meno, sotto i colpi del tempo che passa, di condizioni di passività, di barriere protettive o di inibizioni corrosionistiche, sono i primi a capire perché tanti poeti, artisti o santi possano vedere nella vita dei metalli e nel loro ritorno alle condizioni iniziali di combinazione con sostanze ambientali, una metafora della propria vita e del proprio destino. Ciononostante non guardano con timore a questo fenomeno. Per molti di loro la corrosione è un'occasione per scoprire, pensare, operare, cioè per realizzarsi scientificamente o professionalmente. Per qualcuno è addirittura uno strumento per fantasticare e giocare, cioè per vivere.

**Per gli addetti ai lavori la corrosione è una medicina. Altro che malattia!**