

**ACADEMY**  
SAINT-GOBAIN



Seminario organizzato da:  
**ORDINE DEGLI  
INGEGNERI  
DELLA PROVINCIA  
DI CASERTA**

**FOICE**



In collaborazione con:  
ordine degli **architetti**  
planificatori paesaggisti conservatori  
della provincia di **caserta**



Con il patrocinio di  
**ISI**  
Istituto Nazionale di  
Scienze e Tecnologie

**SICUREZZA DEL COSTRUITO CON SOLUZIONI PER IL  
RINFORZO, IL CONSOLIDAMENTO E LA PROTEZIONE  
SISMICA DELLE STRUTTURE, CON SISTEMI INNOVATIVI E  
SOSTENIBILI. ESEMPI PRATICI E REALI**

# **Degrado e Metodi di calcolo per strutture ed infrastrutture esistenti soggette a danno localizzato**

**Matteo Felitti**

**ENGINEERING & CONCRETE CONSULTING - Università degli Studi di Napoli Federico II**

Francesco Oliveto

Esperto in Analisi Numeriche Avanzate

## **INDICE:**

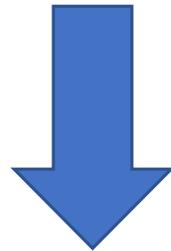
- **Il degrado delle strutture in c.a. e c.a.p.;**
- **Simulazioni numeriche: introduzione;**
- **Penetrazione dell'anidride carbonica in sezioni in calcestruzzo armato. Casi studio;**
- **Penetrazione dei cloruri in sezioni in calcestruzzo armato. Casi studio;**
- **Studio delle curve di capacità in una pila da ponte;**
- **Cenni sulle tecniche di consolidamento;**
- **Stima capacità portante di una galleria in c.a.**

# **DEGRADO DEI MATERIALI E MODELLI PER LO STRUTTURISTA**



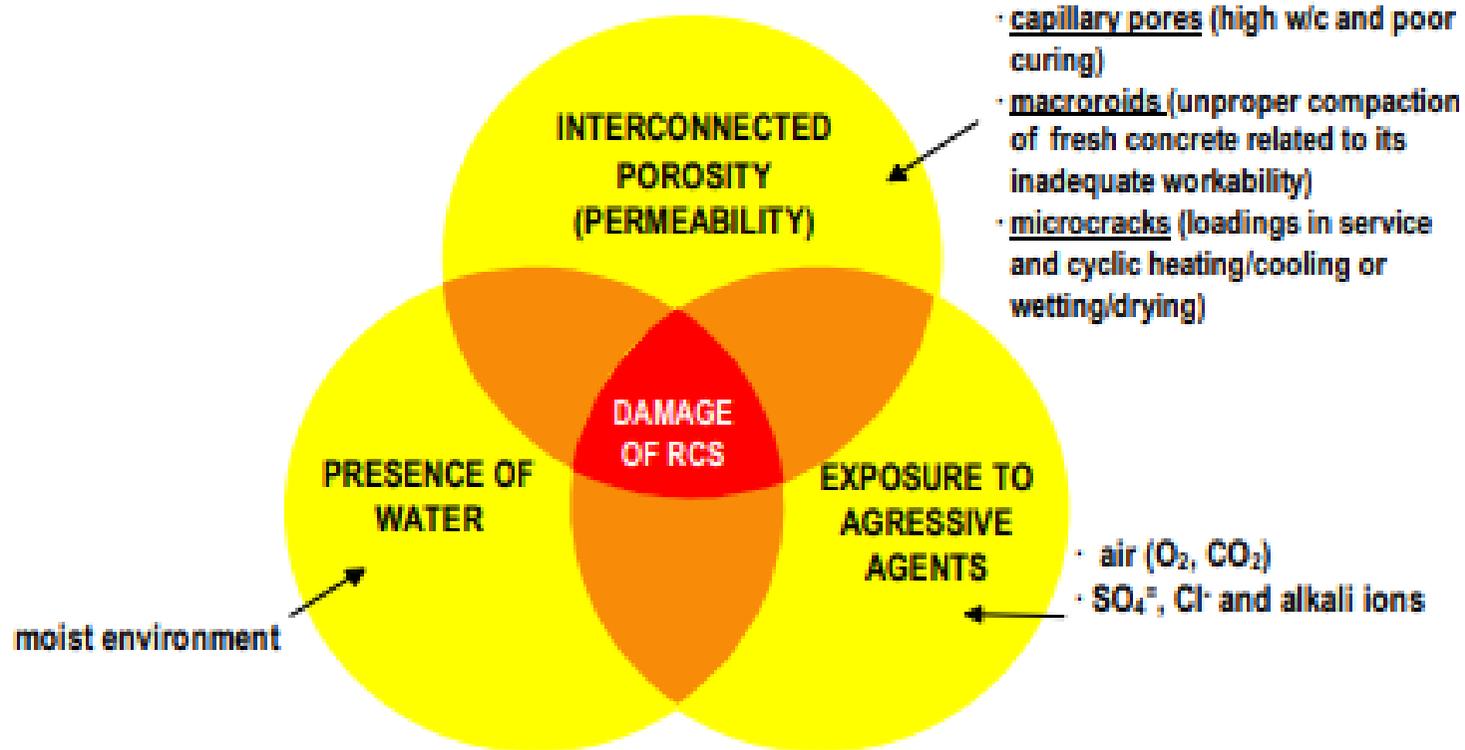
**IL DEGRADO  
DELLE  
STRUTTURE IN  
C.A. E C.A.P.**

- 1. Aspetti chimico-fisici**
- 2. Aspetti meccanici**
- 3. Metodi di calcolo**

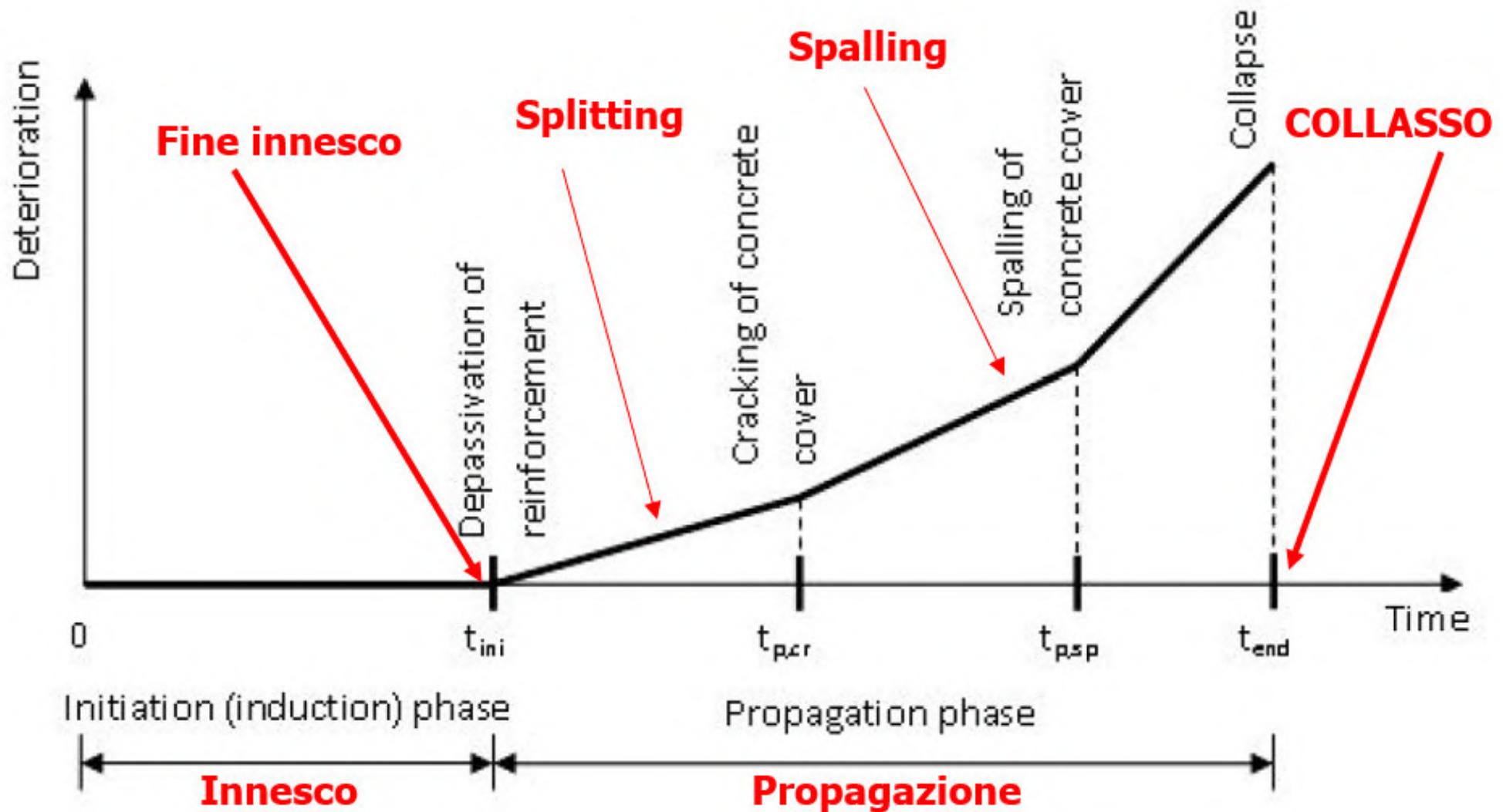


Cercheremo di mostrare un «filo logico»

## DAMAGE OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES (RCS)

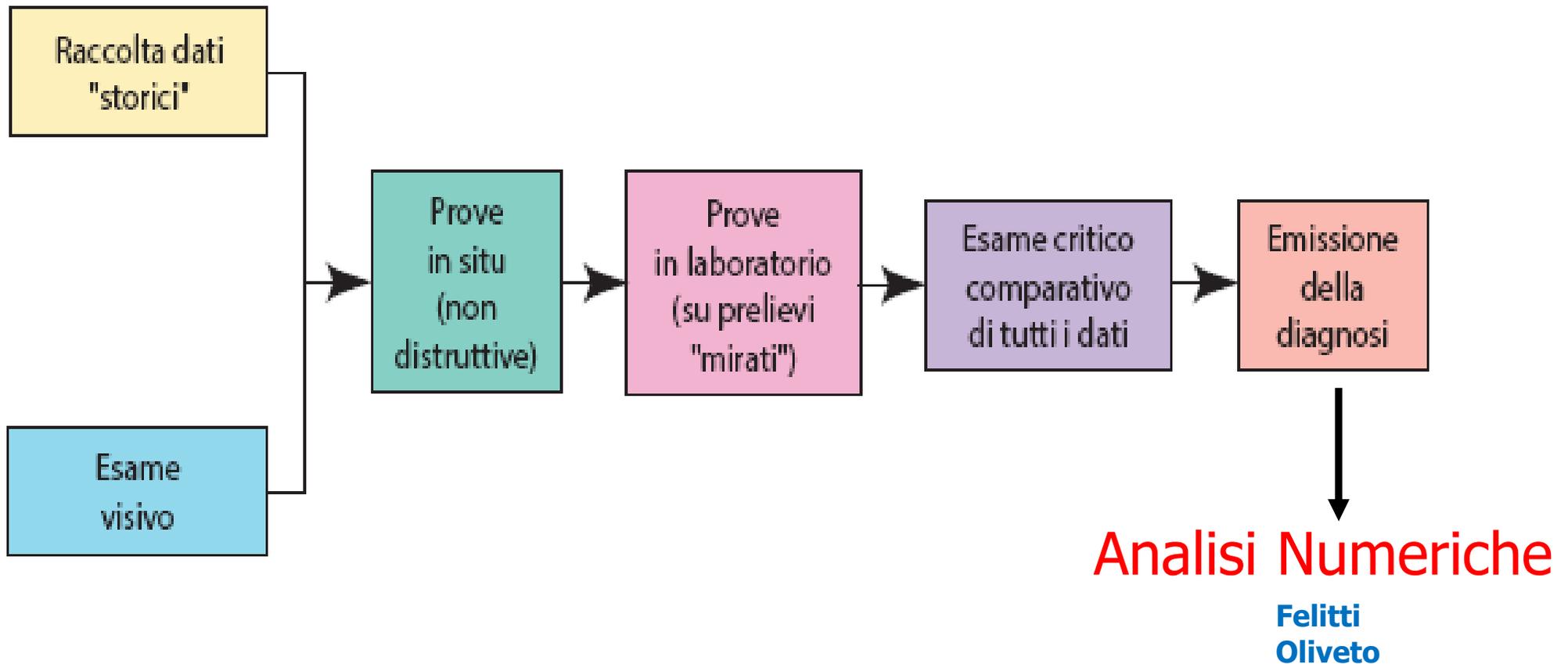


**Figure 3. Ternary representation of the damage of RCS.**



# Percorso diagnostico

M. Collepari



**Perché ???**

# Collasso 2018

Ponte sul Polcevera



# Collasso 2020



**Ponte sul  
fiume Magra**

# Collasso 2023

SS177



Supplemento ordinario alla "Gazzetta Ufficiale", n. 42 del 20 feb

Spedito in abb. post. - art. 1, comma 1  
Legge 27-02-2004, n. 46 - Filiale di Roma

GAZZETTA  UFFICIALE  
DELLA REPUBBLICA ITALIANA

PARTE PRIMA

Roma - Martedì, 20 febbraio 2018

SI PUBBLICA TUTTI I  
GIORNI NON FESTIVI

DIREZIONE E REDAZIONE PRESSO IL MINISTERO DELLA GIUSTIZIA - UFFICIO PUBBLICAZIONE LEGGI E DECRETI - VIA ARENULA, 70 - 00186 ROMA  
AMMINISTRAZIONE PRESSO L'ISTITUTO POLIGRAFICO E ZECCA DELLO STATO - VIA SALARIA, 991 - 00138 ROMA - CENTRALINO 06-85081 - LIBRERIA DELLO STATO  
PIAZZA G. VERDI, 1 - 00198 ROMA

N. 8

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE  
E DEI TRASPORTI

DECRETO 17 gennaio 2018.

**Aggiornamento delle «Norme tecniche per  
le costruzioni».**



Trova (1/20) ×

 ⚙

Precedente

Avanti

**20 voci sulla parola  
«degrado»**

Supplemento ordinario alla "Gazzetta Ufficiale", n. 35 del 11 feb

Spedito in abb. post. - art. 1, comma 1  
Legge 27-02-2004, n. 46 - Filiale di Roma

GAZZETTA  UFFICIALE  
DELLA REPUBBLICA ITALIANA

PARTE PRIMA

Roma - Lunedì, 11 febbraio 2019

SI PUBBLICA TUTTI I  
GIORNI NON FESTIVI

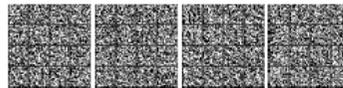
DIREZIONE E REDAZIONE PRESSO IL MINISTERO DELLA GIUSTIZIA - UFFICIO PUBBLICAZIONE LEGGI E DECRETI - VIA ARENULA, 70 - 00186 ROMA  
AMMINISTRAZIONE PRESSO L'ISTITUTO POLIGRAFICO E ZECCA DELLO STATO - VIA SALARIA, 691 - 00138 ROMA - CENTRALINO 06-85081 - LIBRERIA DELLO STATO  
PIAZZA G. VERDI, 1 - 00198 ROMA

N. 5

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE  
E DEI TRASPORTI

CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.

**Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento  
delle «Norme tecniche per le costruzioni»» di cui al de-  
creto ministeriale 17 gennaio 2018.**



Trova (1/12)  

Precedente Avanti

**12 voci sulla parola  
«degrado»**



*Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibile*  
*Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici*

Trova (1/92)  
degrado  
Precedente Avanti

**LINEE GUIDA PER  
LA CLASSIFICAZIONE E GESTIONE DEL RISCHIO,  
LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA  
ED IL MONITORAGGIO DEI PONTI ESISTENTI**

Allegate al parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n. 54/2022,  
espresso dall'Assemblea Generale in data 10.06.2022.

**92 voci sulla parola  
«degrado»**

**LINEE GUIDA PER  
LA CLASSIFICAZIONE E GESTIONE DEL RISCHIO,  
LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA  
ED IL MONITORAGGIO DEI PONTI ESISTENTI**

Nelle verifiche occorre considerare le eventuali carenze dovute a problemi di durabilità, in particolare, l'eventuale riduzione della sezione dovuta a degrado o dilavamento del calcestruzzo superficiale che può comportare la riduzione della sezione utile, l'eventuale diminuzione di area di acciaio dovuta alla corrosione, l'eventuale assenza o carenza di staffe causate dalla corrosione delle stesse che in genere hanno copriferro ridotto o l'eventuale inefficacia delle staffe dovute alla corrosione degli spigoli d'armatura. Occorre porre attenzione agli sbalzi laterali dei ponti, particolarmente esposti agli effetti del degrado; è bene che essi siano verificati per gli effetti di urto, svio e azione delle barriere di sicurezza nelle condizioni più sfavorevoli di carichi previsti dalla verifica di sicurezza prescelta.

**Approvate nel maggio del 2020**

**Il danno localizzato nel c.a.**



1. Corrosione staffe;
2. Corrosione barre long.
3. Splitting;
4. Spalling;
5. Riduzione aderenza all'interfaccia;
6. Possibile rottura delle staffe;
7. Possibile instabilità delle barre longitudinali;
8. Crisi locale del calcestruzzo a compressione.



**VARIAZIONE DEGLI INDICATORI GLOBALI DI RISCHIO E DEGLI INDICI DI ROBUSTEZZA STRUTTURALE !**

**Il danno localizzato nel c.a.p.**

- **Assenza di copriferro**
- **Cattivo riempimento guaine**
- **Carbonatazione**
- **Cloruri provenienti dai sali disgelanti**

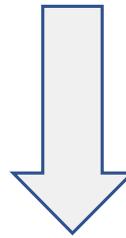
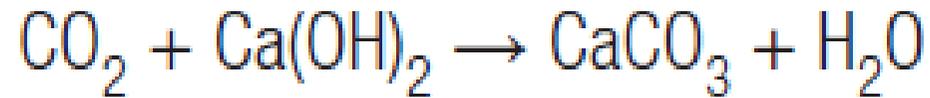


**PENETRAZIONE  
DELL'ANIDRIDE  
CARBONICA IN  
SEZIONI IN  
CALCESTRUZZO  
ARMATO**

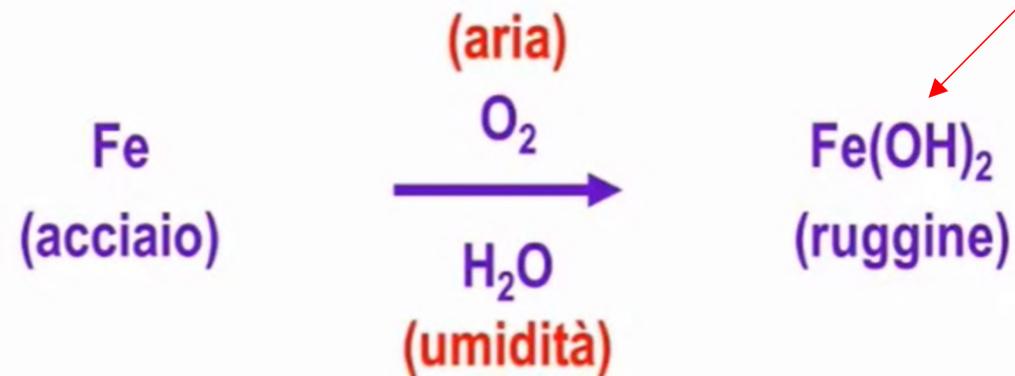
**QUANDO L'ANIDRIDE CARBONICA (complice) VIENE A CONTATTO CON IL CALCESTRUZZO, NEUTRALIZZA I COMPONENTI ALCALINI E IL PH PASSA DA VALORI  $> 13$  A VALORI  $< 11$ .**

**IN TALI CONDIZIONI – PENETRATO TUTTO IL COPRIFERRO – IL FILM PROTETTIVO DIVENTA POROSO E INCOERENTE, PERDENDO, LA CAPACITA' DI PROTEGGERE IL SUBSTRATO METALLICO. ATTRAVERSO LE FESSURE PRESENTI SUL CALCESTRUZZO, PENETRANO OSSIGENO E ACQUA (killer) ALIMENTANDO LA CORROSIONE DELLE BARRE DI ARMATURA CON CONSEGUENTE ESPULSIONE DEI COPRIFERRI.**

## REAZIONE DI CARBONATAZIONE

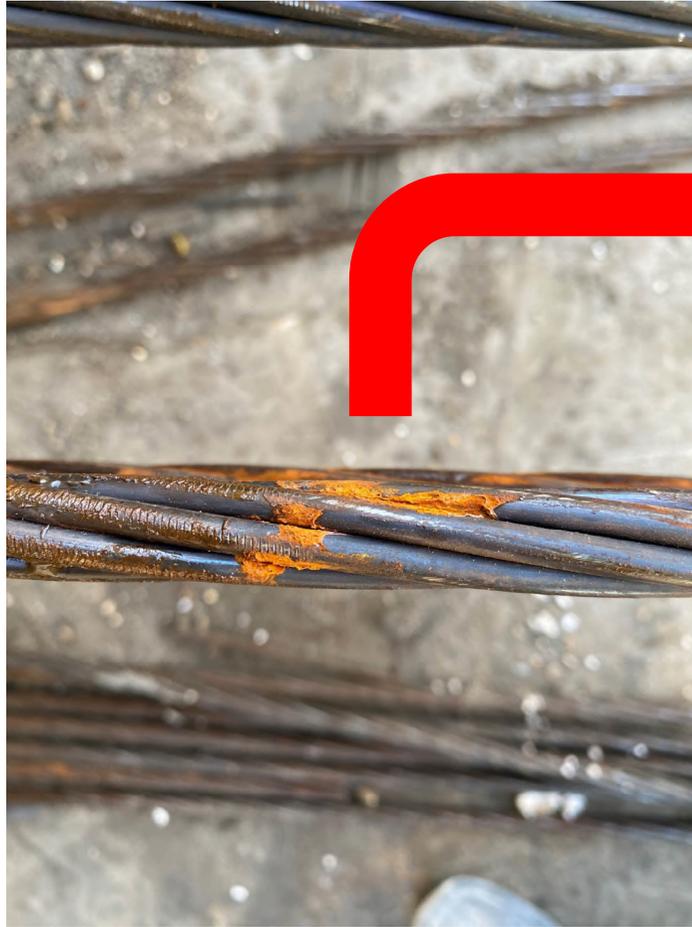


## PROCESSO DI CORROSIONE

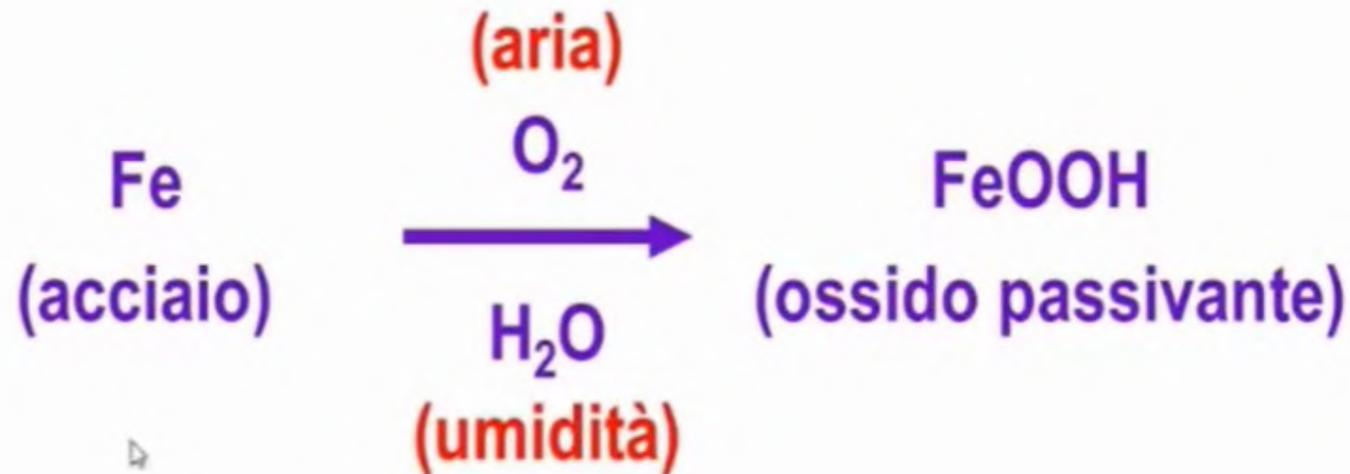


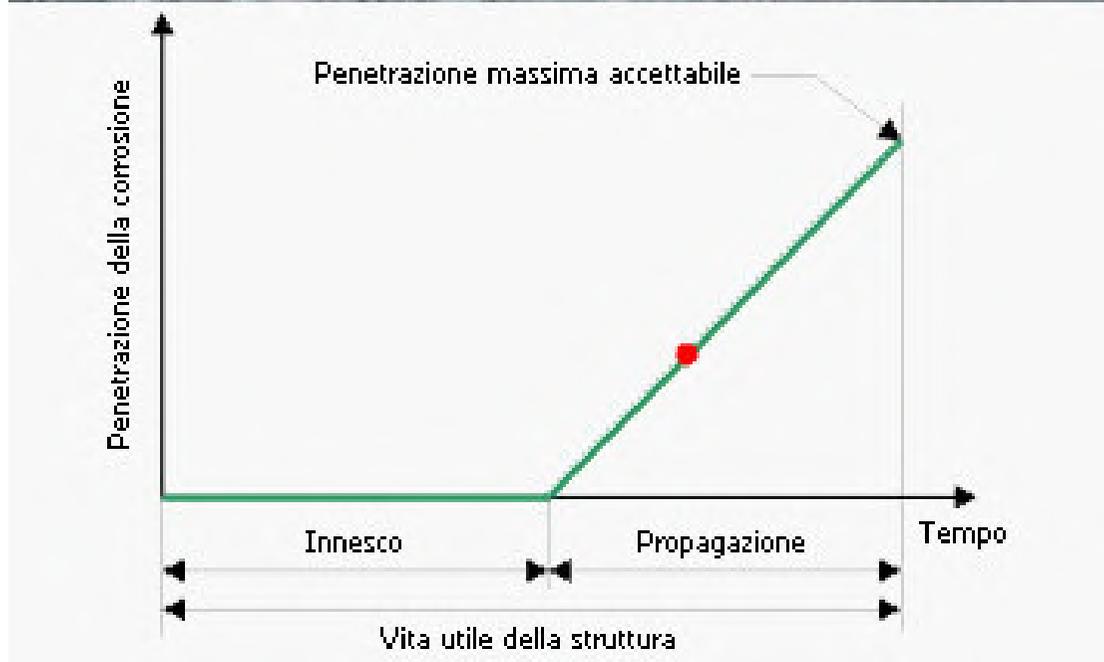
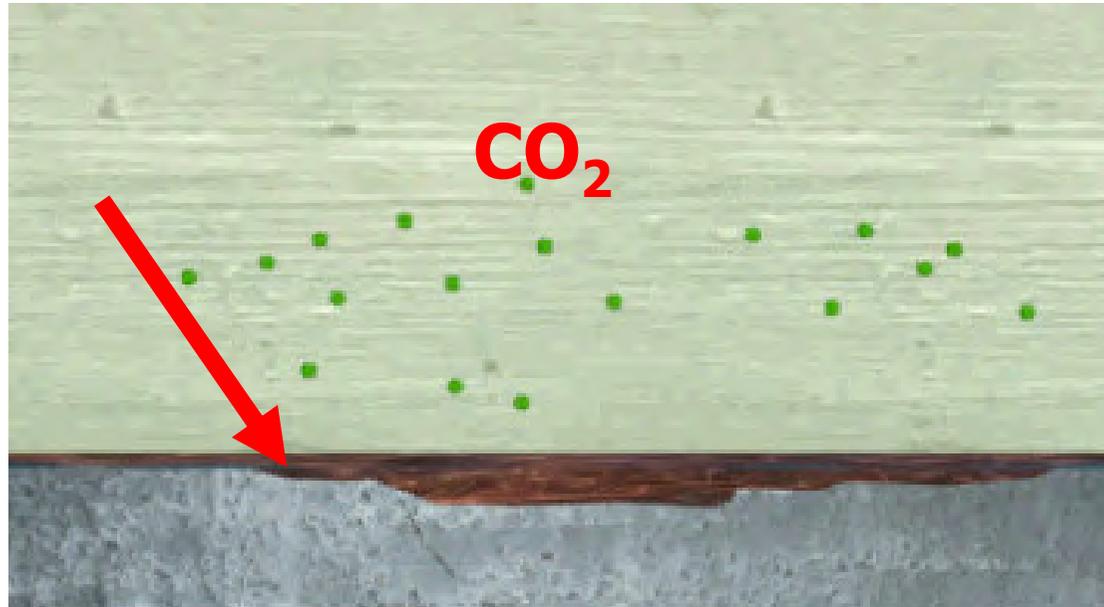
# **IDROSSIDO FERROSO**





All'interno del cls PH = 13 per la presenza di  $\text{Ca}(\text{OH})_2$







# ANALISI LOCALI

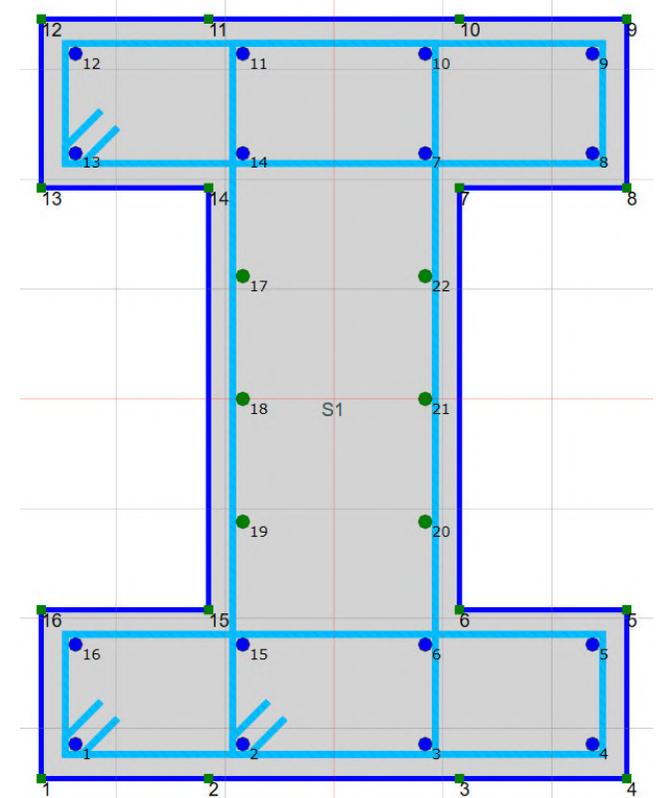
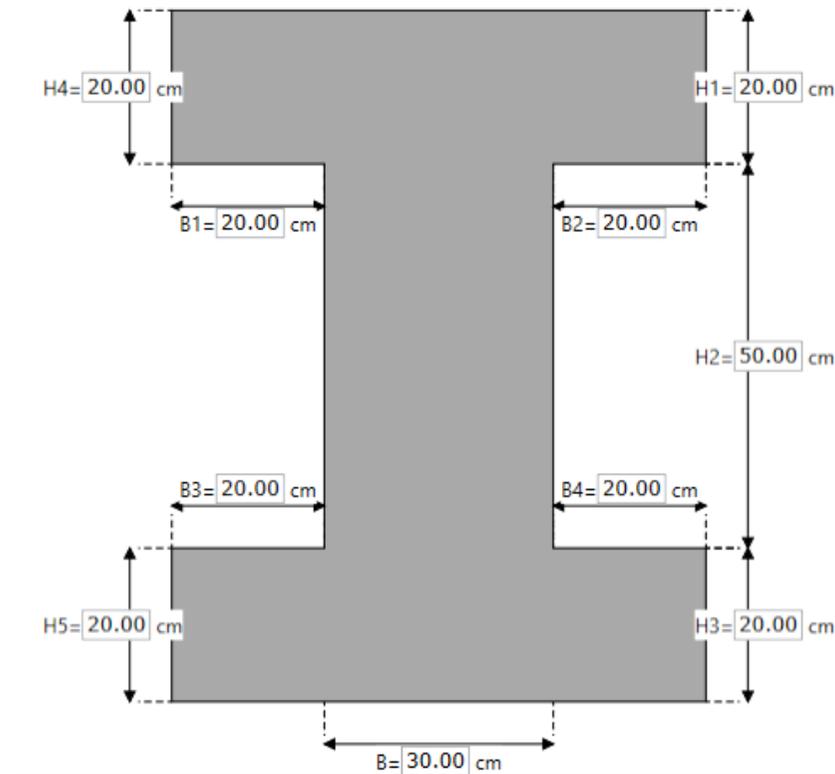


**Sezione NON PRE-fessurata**



## Dati:

- Geometria a doppio T
- $a = 30 \text{ mm}$
- $K = 9 \text{ mm/anni}^{0,5}$
- $I_{\text{corr}} = 3 \text{ mA/m}^2$
- C25/30
- FeB44K (fi 16)
- Staffe fi 8/15"



# EFFECTS OF CORROSION

CONTECVET IN309021. A validated user's manual for assessing the residual life of concrete structures. (2001). DG Enterprise, CEC.

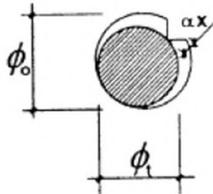
\* In the Lack of Measurement

## From Corrosion rate to maximum cross-section loss

EN 206

$$P_{pit}(t) = p(t) = 0.0116\alpha t_p I_{corr}$$

$P_{pit}(t)$ : maximum pit depth at the time of analysis  
 $\alpha$ : pitting factor, set equal to 10  
 $t_p$ : propagation period  
 $I_{corr}$ : corrosion rate



Exposure Classes		$I_{CORR}$ [ $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ]	
0	No risk of corrosion	~ 0.01	
Carbonation		1.1.1.2 Partially carbonated	Totally carbonated
C1	Dry	~ 0.01	~ 0.01
C2	Wet - rarely - Dry	0.1 - 0.5	0.2 - 0.5
C3	Moderate humidity	0.05 - 0.1	0.1 - 0.2
C4	Cyclic wet - dry	0.01 - 0.2	0.2 - 0.5
D1	Moderate humidity	0.1 - 0.2	0.1 - 0.2
D2	Wet - rarely - dry	0.1 - 0.5	0.1 - 0.5
D3	Cyclic wet - dry	0.5 - 5	0.5 - 5
S1	Airborne sulphur	0.5 - 5	0.5 - 5
S2	Submerged	0.5 - 1.0	0.5 - 1.0
S3	Tidal zone	1 - 10	1 - 10

PER PASSARE DA:  
 microampere/cm<sup>2</sup>  $\Rightarrow$  milliampere/mq

DEVI MOLTIPLICARE PER IL FATTORE 10

Corrente elettrica / Area  $\downarrow$

1 = 10

Microampere / Centimetro quadrato  $\downarrow$     Milliampere / Metro quadrato  $\downarrow$

Formula    moltiplica il valore dell'unità di corrente elettrica / area per 10

XS1						
Time [years]	50	60	70	80	90	100
$P_{pit}(t)$ [mm]	0.39	2.37	4.34	6.31	8.28	10.25

XS2						
Time [years]	50	60	70	80	90	100
$P_{pit}(t)$ [mm]	0.75	1.33	1.91	2.49	3.07	3.65

XS3						
Time [years]	50	60	70	80	90	100
$P_{pit}(t)$ [mm]	4.93	7.83	10.73	13.63	16.5	19.43

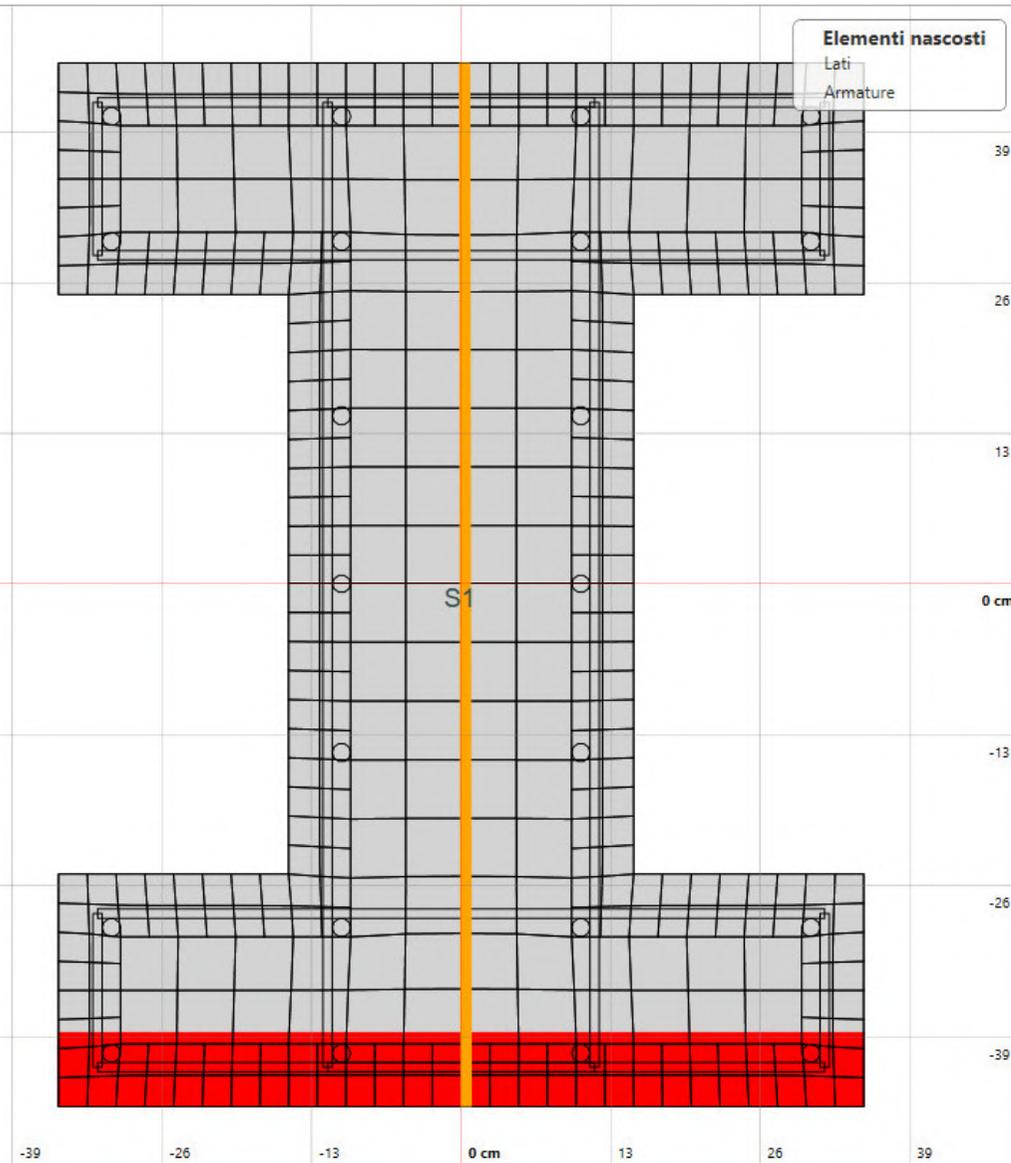
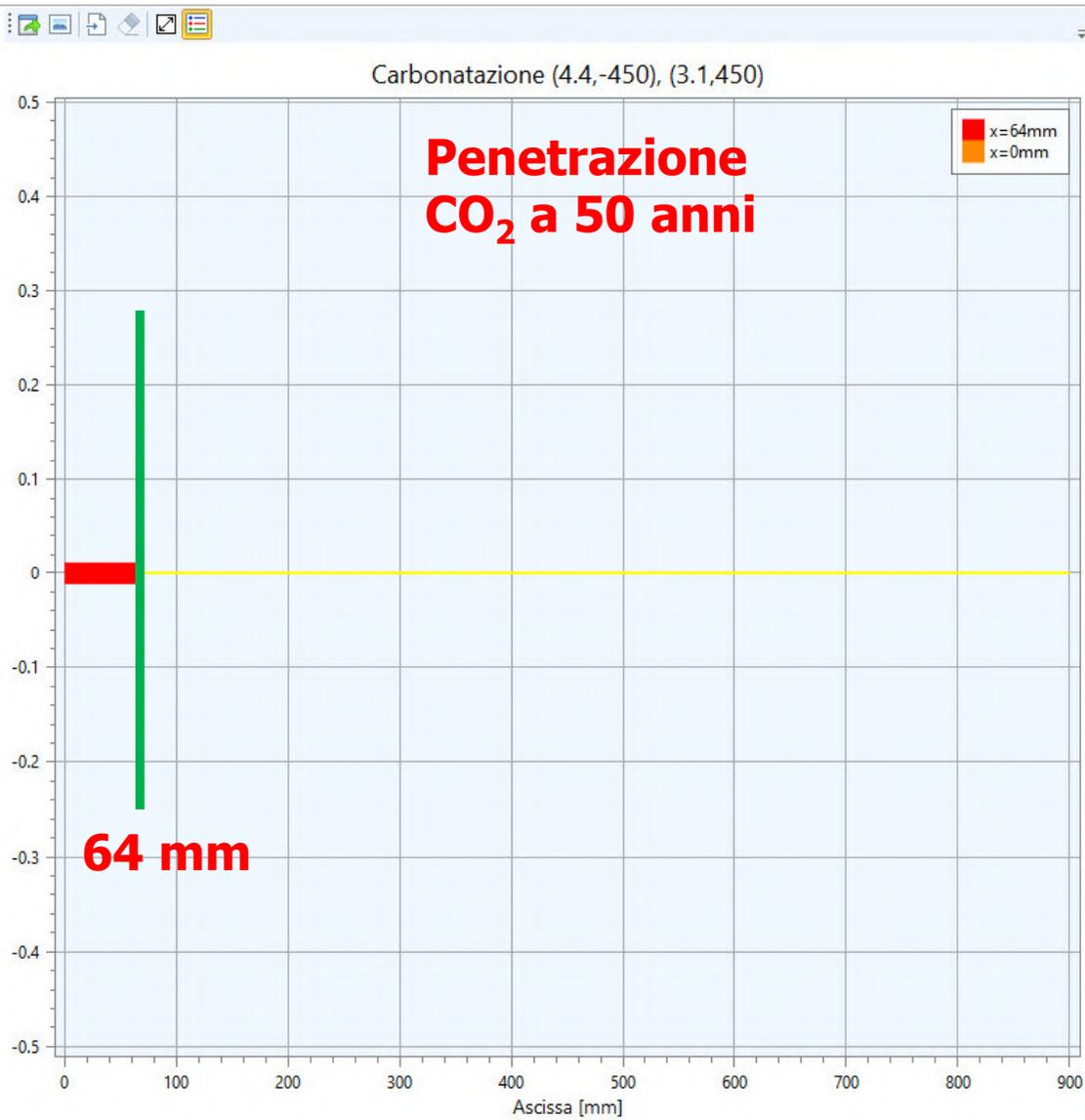
Input Parameter			
Exposure	XS1	XS2	XS3
$I_{corr}$ [ $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ]	1.7	0.5	2.5

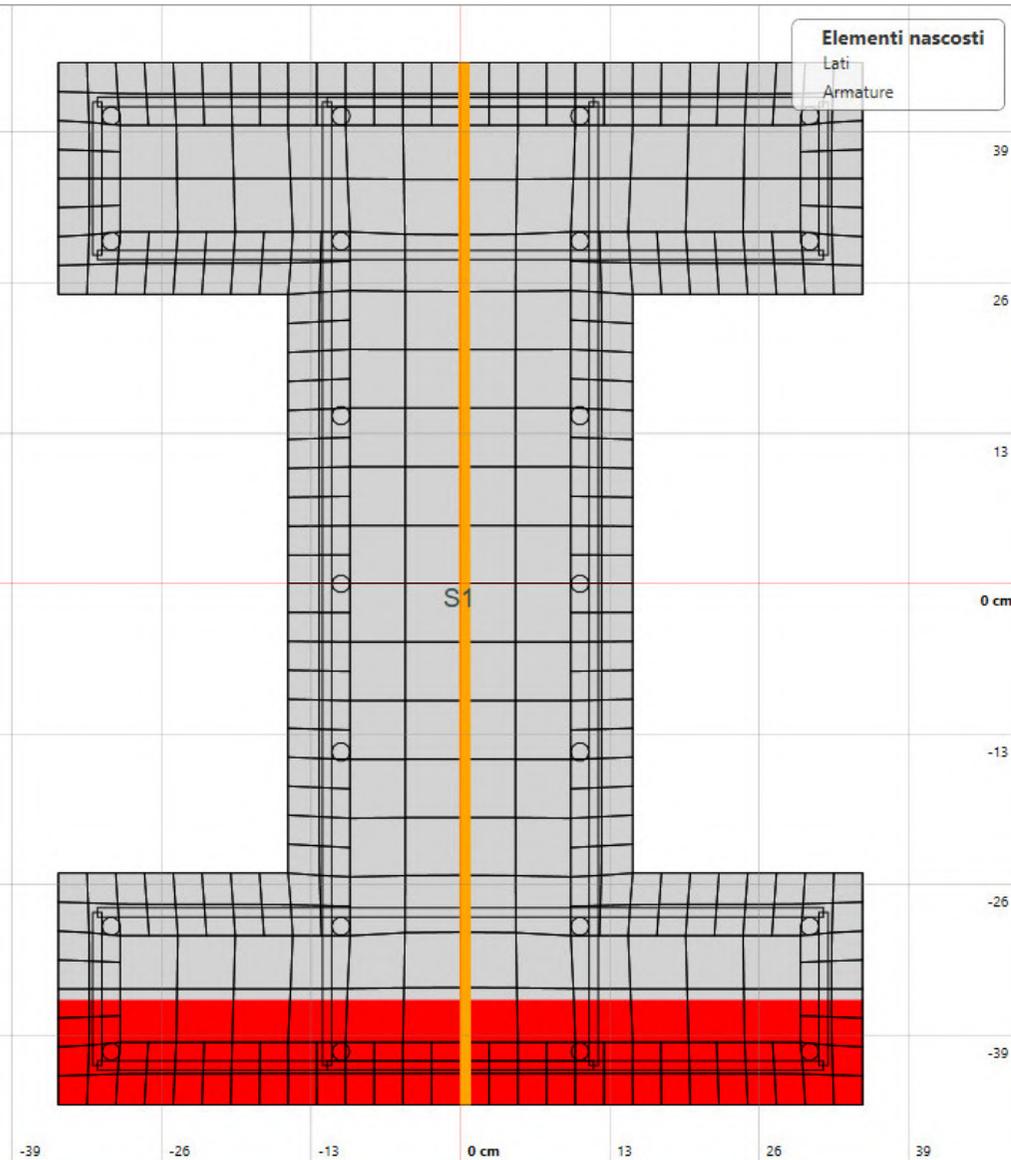
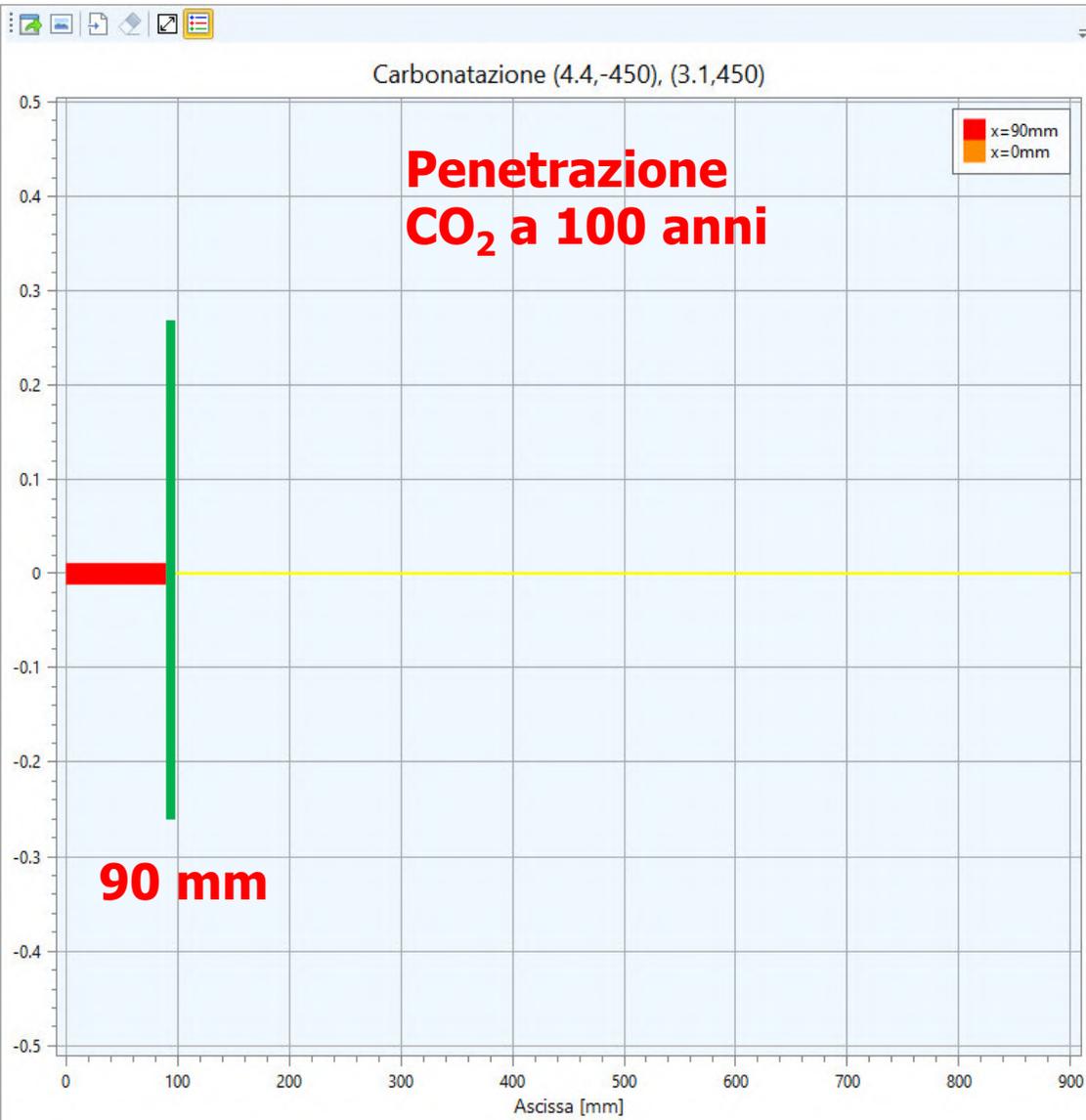
VALORI DA CONSIDERARE NELLA CARBONATAZIONE

## Valori limite per la composizione e le proprietà del calcestruzzo

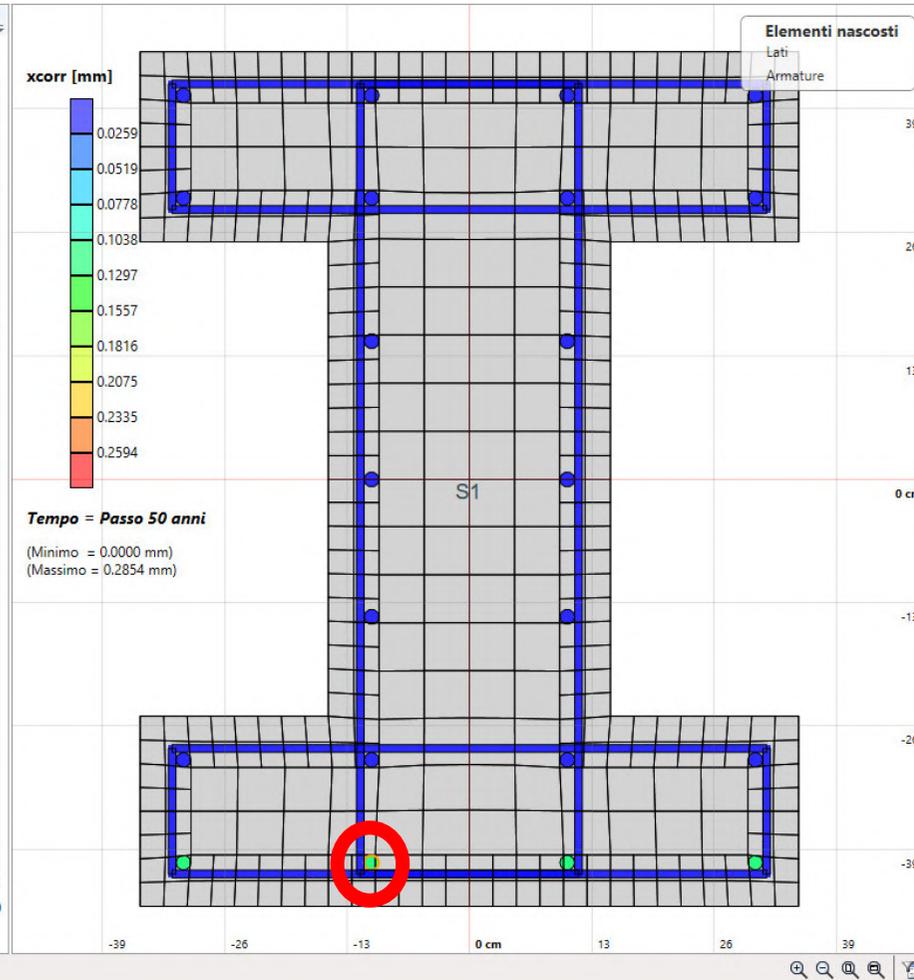
	Classi di esposizione																	
	Nessun rischio di corrosione dell'armatura	Corrosione delle armature indotta dalla carbonatazione				Corrosione delle armature indotta da cloruri						Attacco da cicli di gelo/disgelo				Ambiente aggressivo per attacco chimico		
		Acqua di mare						Cloruri provenienti da altre fonti										
	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
Massimo rapporto $a/c$	-	0,60		0,55	0,50	0,50	0,45		0,55	0,50	0,45	0,50	0,50		0,45	0,55	0,50	0,45
Minima classe di resistenza	C12/15	C25/30		C30/37	C32/40	C32/40	C35/45		C30/37	C32/40	C35/45	C32/40	C25/30		C30/37	C30/37	C32/40	C35/45
Minimo contenuto in cemento ( $\text{kg/m}^3$ ) <sup>d)</sup>	-	300		320	340	340	360		320	340	360	320	340		360	320	340	360
Contenuto minimo in aria (%)												b)	4,0 <sup>a)</sup>					
Altri requisiti						E' richiesto l'utilizzo di cementi resistenti all'acqua di mare secondo UNI 9156						E' richiesto l'utilizzo di aggregati conformi alla UNI EN 12620 di adeguata resistenza al gelo/disgelo				In caso di esposizione a terreno o acqua del terreno contenente solfati nei limiti del prospetto 2 della UNI EN 206:2014, è richiesto l'impiego di cementi resistenti ai solfati <sup>c)</sup>		

- a) Quando il calcestruzzo non contiene aria inglobata, le sue prestazioni devono essere verificate rispetto ad un calcestruzzo aerato per il quale è provata la resistenza al gelo/disgelo, da determinarsi secondo UNI CEN/TS 12390 -9, UNI CEN/TR 15177 o UNI 7087 per la relativa classe di esposizione. Il valore minimo di aria inglobata del 4% può ritenersi adeguato per calcestruzzi specificati con  $D_{\text{upper}} > 20\text{mm}$ ; per  $D_{\text{upper}}$  inferiori il limite minimo andrà opportunamente aumentato (ad esempio 5% per  $D_{\text{upper}}$  tra 12 mm e 16 mm).
- b) Qualora si ritenga opportuno impiegare calcestruzzo aerato anche in classe di esposizione XF1 si adottano le specifiche di composizione prescritte per le classi XF2 e XF3.
- c) Cementi resistenti ai solfati sono definiti dalla UNI EN 197-1 e su base nazionale dalla UNI 9156. La UNI 9156 classifica i cementi resistenti ai solfati in tre classi: moderata, alta e altissima resistenza solfatica. La classe di resistenza solfatica del cemento deve essere prescelta in relazione alla classe di esposizione del calcestruzzo secondo il criterio di corrispondenza della UNI 11417-1.
- d) Quando si applica il concetto di valore  $k$  il rapporto massimo  $a/c$  e il contenuto minimo di cemento sono calcolati in conformità al punto 5.2.2.





# Profondità di penetrazione a 50 anni calcolata con le analisi diffusive



Asta	
Tipologia	I 70x90 (Cls)
Lunghezza [cm]	300.00
Rinforzo	Nessuno
Tipo elemento	Trave
Copriferro [cm]	3.00
Criteri di progetto	Crit_Prog (1)

Calcolo	
Passo Fibre cop. [cm]	2.50

Varie	
Diffusività	
wspal [cm]	0.10
mesh D. ["]	15

Sezione S1	
Fibra	
Z [mm]	-404.00

Primo Degrado	
t inn.	18.00
Angolo inn. ["]	270

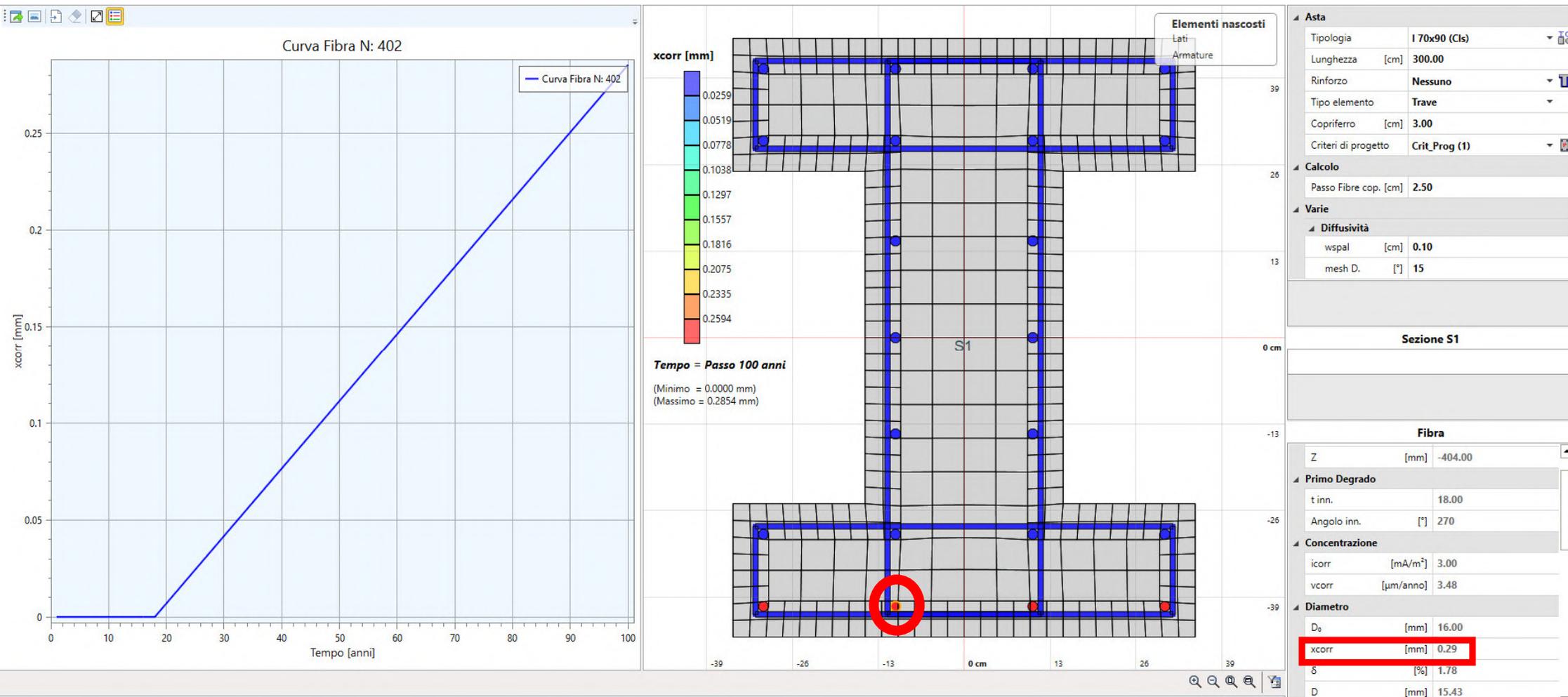
  

Concentrazione	
icorr [mA/m <sup>2</sup> ]	3.00
vcorr [µm/anno]	3.48

Diametro	
D <sub>a</sub> [mm]	16.00
xcorr [mm]	0.11
δ [%]	0.70
D [mm]	15.78

# Profondità di penetrazione a 100 anni calcolata con le analisi diffusive

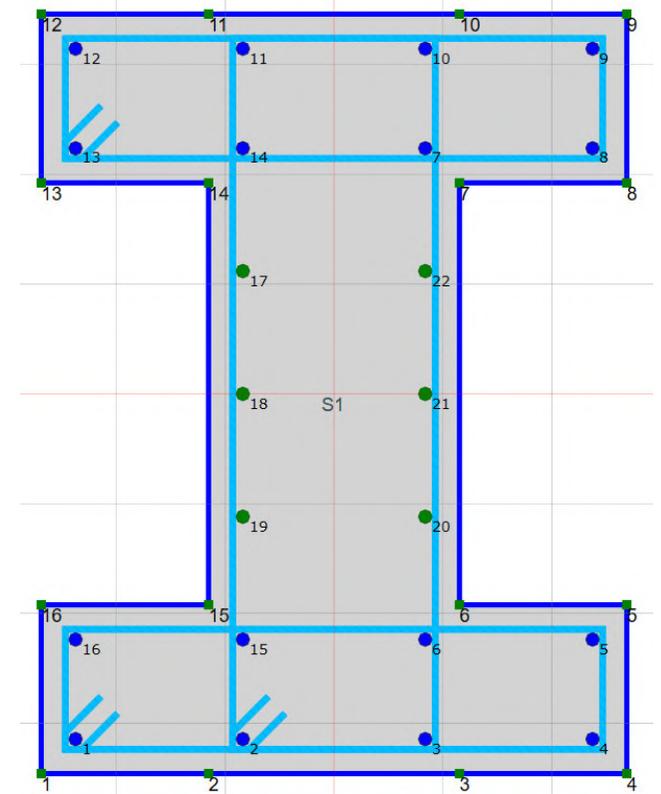
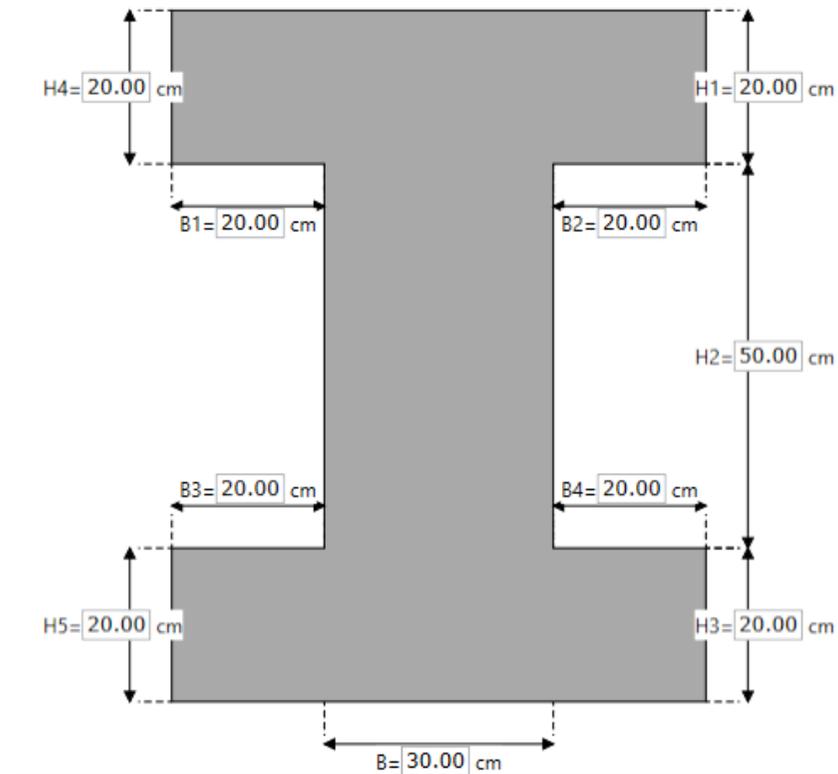


**Sezione PRE-fessurata**



## Dati:

- Geometria a doppio T
- $a = 30 \text{ mm}$
- $w = 1 \text{ mm}$
- $I_{\text{corr}} = 3 \text{ mA/m}^2$
- C25/30
- FeB44K (fi 16)
- Staffe fi 8/15"



**PENETRAZIONE DEI  
CLORURI IN  
SEZIONI IN  
CALCESTRUZZO  
ARMATO**

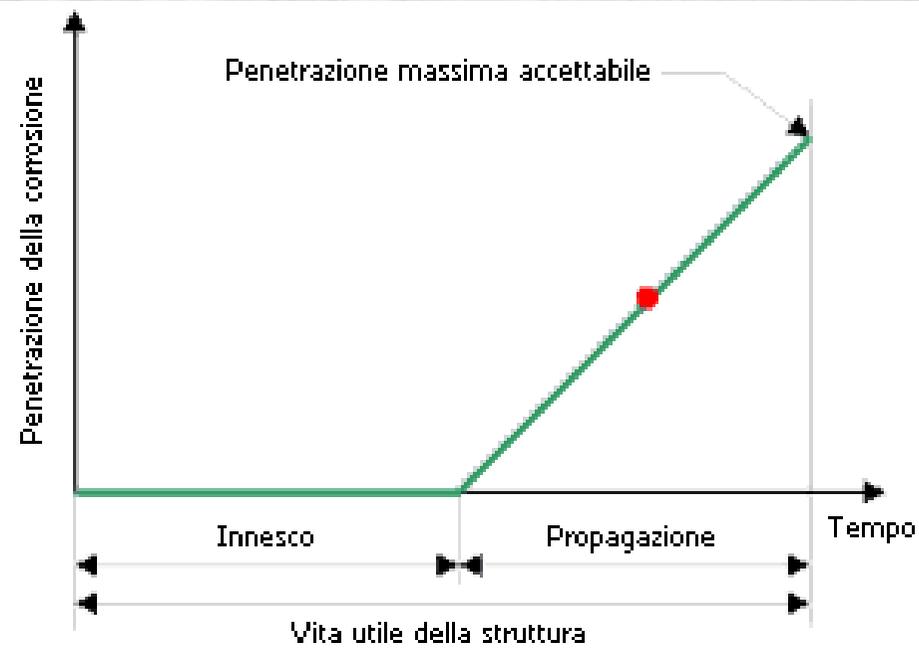
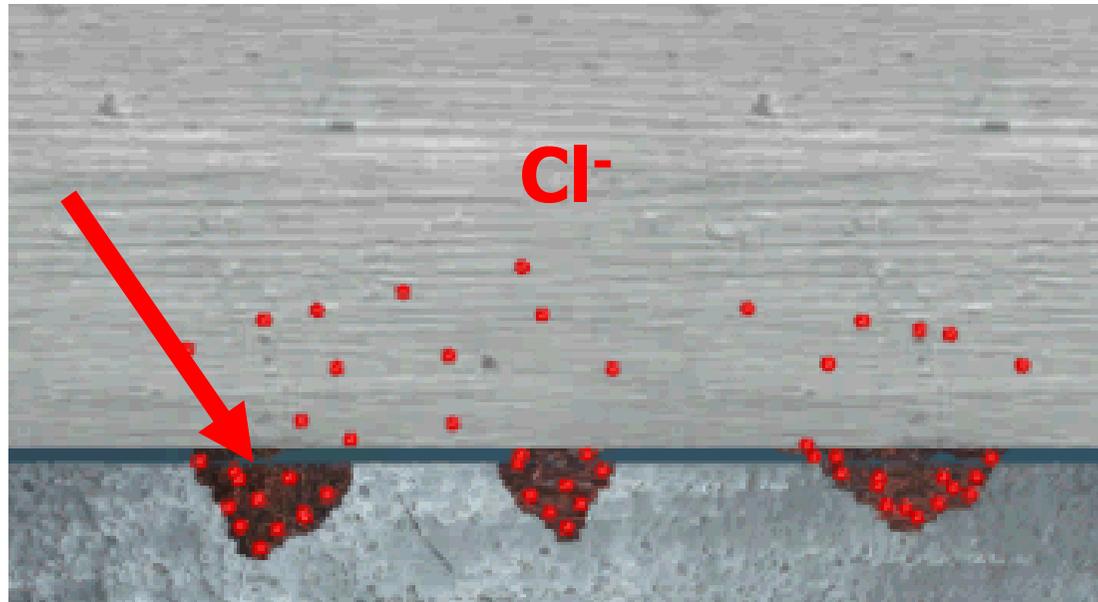
**I CLORURI SONO GENERALMENTE PRESENTI NELL'ACQUA DI MARE E, ARTIFICIALMENTE, NEI SALI DISGELANTI!**

**LO IONE CLORURO (complice), AL PARI DELL'ANIDRIDE CARBONICA, PENETRANDO IL COPRIFERRO, DANNEGGIA LOCALMENTE IL FILM DI OSSIDO PROTETTIVO. CON L'INGRESSO DI OSSIGENO E ACQUA (killer), POI, SI GENERA CORROSIONE ED ESPULSIONE DEL COPRIFERRO (la «ruggine» ha un volume di circa 4-6 volte superiore a quello del metallo che l'ha generata).**

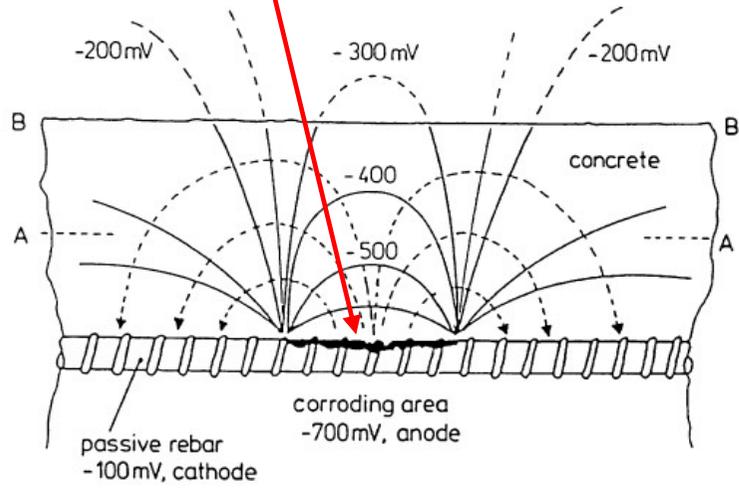
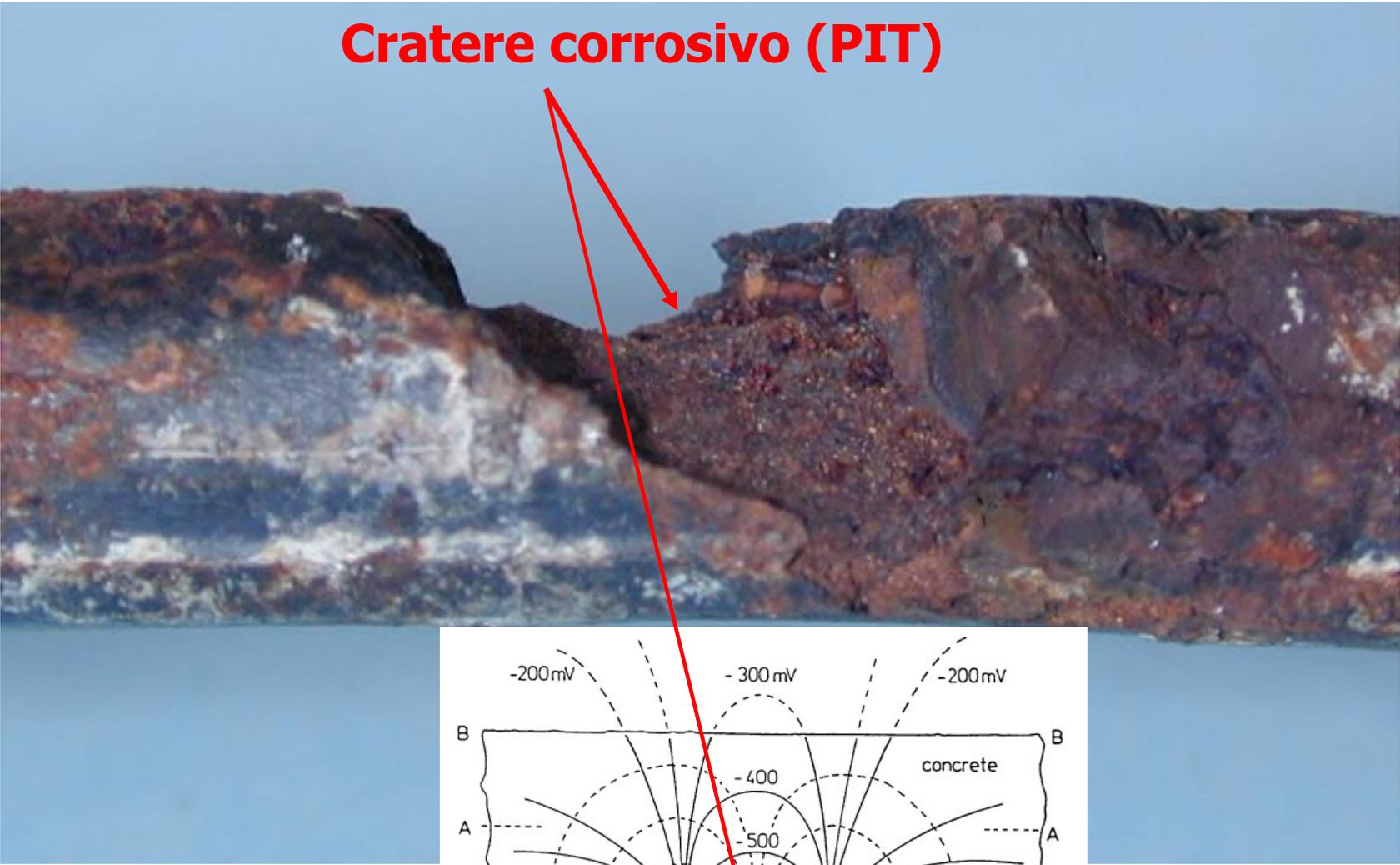
## Valori limite per la composizione e le proprietà del calcestruzzo

	Classi di esposizione																	
	Nessun rischio di corrosione dell'armatura	Corrosione delle armature indotta dalla carbonatazione				Corrosione delle armature indotta da cloruri						Attacco da cicli di gelo/disgelo				Ambiente aggressivo per attacco chimico		
						Acqua di mare			Cloruri provenienti da altre fonti									
		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2
Massimo rapporto <i>a/c</i>	-	0,60		0,55	0,50	0,50	0,45		0,55	0,50	0,45	0,50	0,50		0,45	0,55	0,50	0,45
Minima classe di resistenza	C12/15	C25/30		C30/37	C32/40	C32/40	C35/45		C30/37	C32/40	C35/45	C32/40	C25/30		C30/37	C30/37	C32/40	C35/45
Minimo contenuto in cemento (kg/m <sup>3</sup> ) <sup>d)</sup>	-	300		320	340	340	360		320	340	360	320	340		360	320	340	360
Contenuto minimo in aria (%)												b)	4,0 <sup>a)</sup>					
Altri requisiti						E' richiesto l'utilizzo di cementi resistenti all'acqua di mare secondo UNI 9156						E' richiesto l'utilizzo di aggregati conformi alla UNI EN 12620 di adeguata resistenza al gelo/disgelo				In caso di esposizione a terreno o acqua del terreno contenente solfati nei limiti del prospetto 2 della UNI EN 206:2014, è richiesto l'impiego di cementi resistenti ai solfati <sup>c)</sup>		

- a) Quando il calcestruzzo non contiene aria inglobata, le sue prestazioni devono essere verificate rispetto ad un calcestruzzo aerato per il quale è provata la resistenza al gelo/disgelo, da determinarsi secondo UNI CEN/TS 12390 -9, UNI CEN/TR 15177 o UNI 7087 per la relativa classe di esposizione. Il valore minimo di aria inglobata del 4% può ritenersi adeguato per calcestruzzi specificati con  $D_{upper} > 20\text{mm}$ ; per  $D_{upper}$  inferiori il limite minimo andrà opportunamente aumentato (ad esempio 5% per  $D_{upper}$  tra 12 mm e 16 mm).
- b) Qualora si ritenga opportuno impiegare calcestruzzo aerato anche in classe di esposizione XF1 si adottano le specifiche di composizione prescritte per le classi XF2 e XF3.
- c) Cementi resistenti ai solfati sono definiti dalla UNI EN 197-1 e su base nazionale dalla UNI 9156. La UNI 9156 classifica i cementi resistenti ai solfati in tre classi: moderata, alta e altissima resistenza solfatica. La classe di resistenza solfatica del cemento deve essere prescelta in relazione alla classe di esposizione del calcestruzzo secondo il criterio di corrispondenza della UNI 11417-1.
- d) Quando si applica il concetto di valore *k* il rapporto massimo *a/c* e il contenuto minimo di cemento sono calcolati in conformità al punto 5.2.2.



# Cratere corrosivo (PIT)

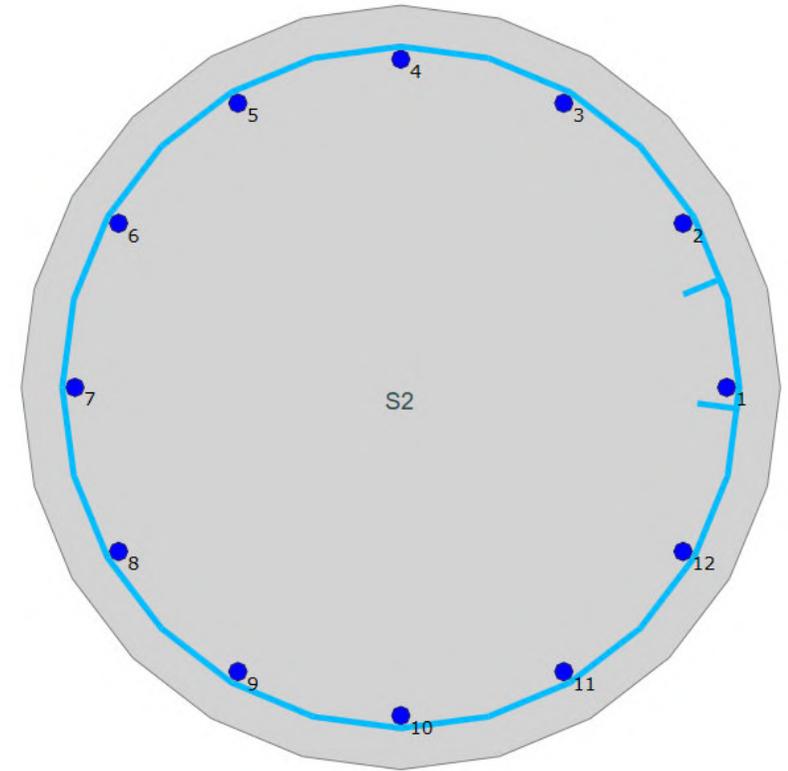


Pietro Pedferri

**Sezione NON PRE-fessurata**

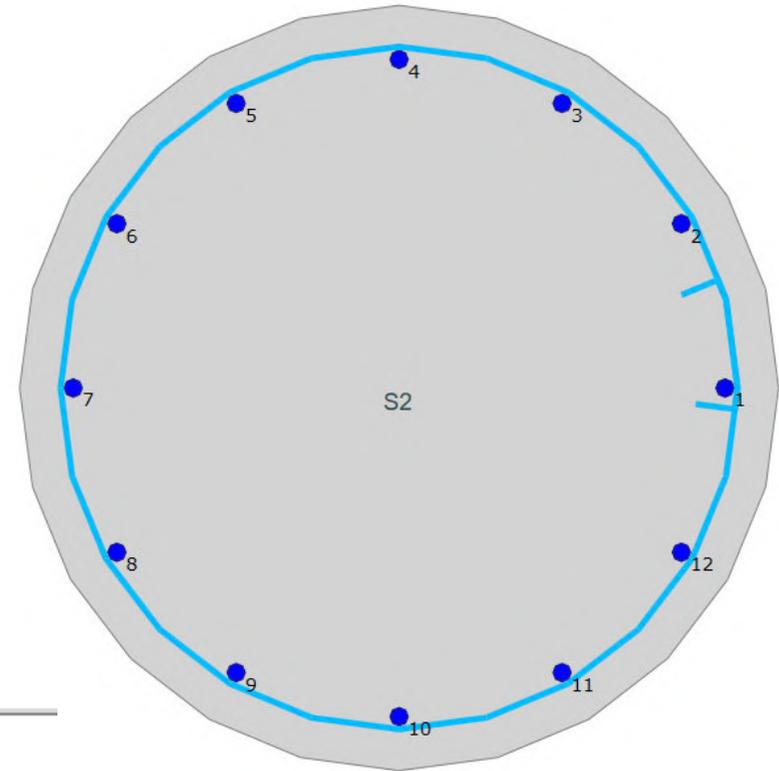


**ESEMPIO DI  
DANNO  
LOCALIZZATO  
ALLA BASE DI  
UNA PILA DA  
PONTE**



## Dati:

- Pila diametro sezione = 100 cm
- $a = 30$  mm
- $C_0 = 0$
- $D_{RCM,0} = 10 \times 10^{-12}$  (m<sup>2</sup>/s) = 315,36 mm<sup>2</sup>/anni
- $k_e, k_t = 1$
- $A(t) = (t_0/t)^\alpha$
- $\alpha = 0,3$
- $t_0 = 28$  gg = 0,0767 anni
- $C_{crit} = 0,5\%$
- $C_s = 1,5\%$
- $\Delta x = 0$
- C25/30
- FeB44K (12 fi 24)
- Staffe fi 8/15"



Condizioni di Diffusione Lato 3-4				
	Condizione di diffusione	Attiva	cs [%]	Fessurato
1	CdD (1)	<input checked="" type="checkbox"/>	1.50	<input type="checkbox"/>

$$\operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \int_0^z e^{-\eta^2} d\eta$$

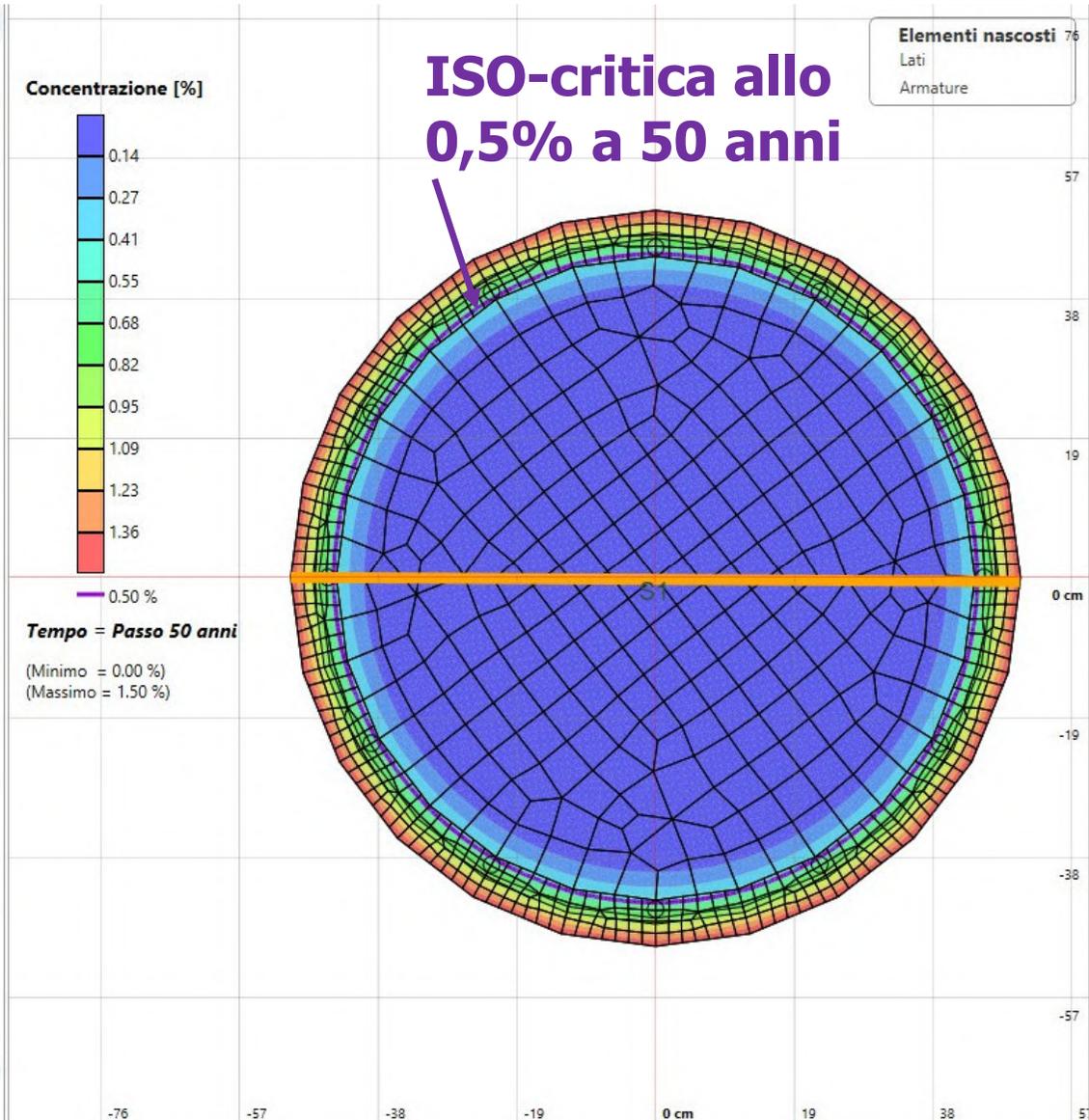
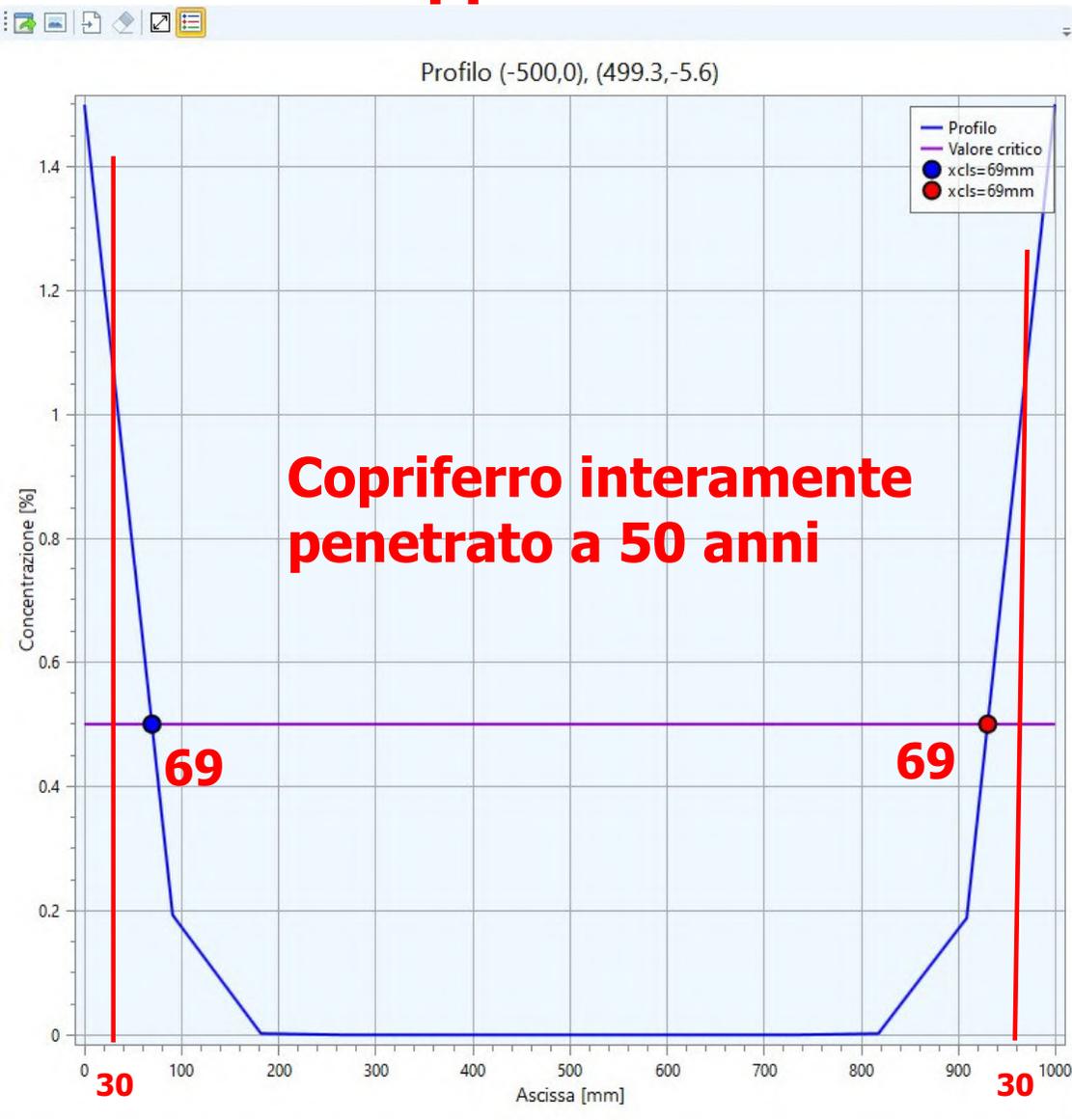
$$C(x = a, t) = C_0 + (C_{S,\Delta x} - C_0) \cdot \left[ 1 - \operatorname{erf} \frac{a - \Delta x}{2 \cdot \sqrt{D_{app,c}(t) \cdot t}} \right]$$

**Soluzione equazione di FICK**

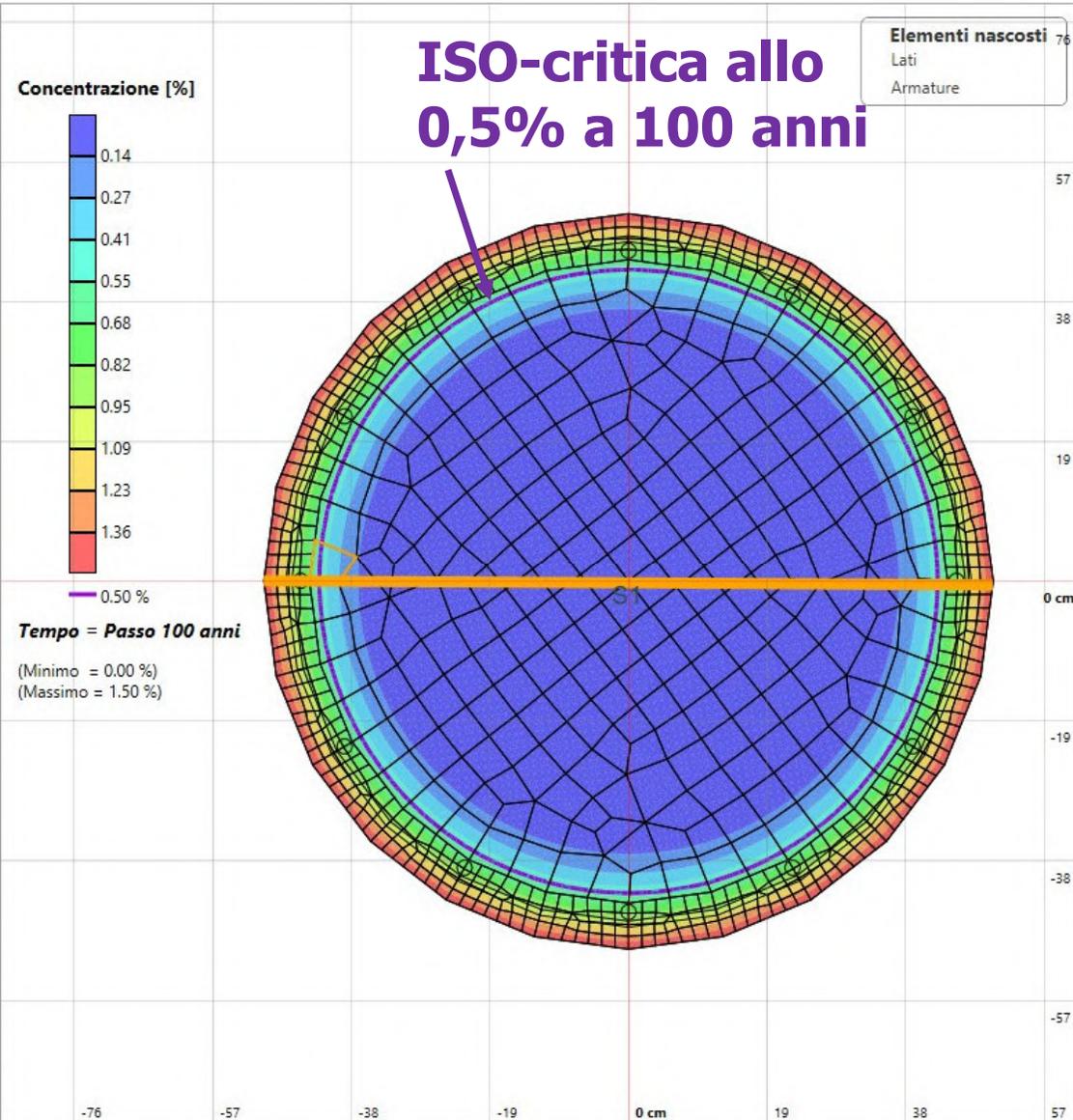
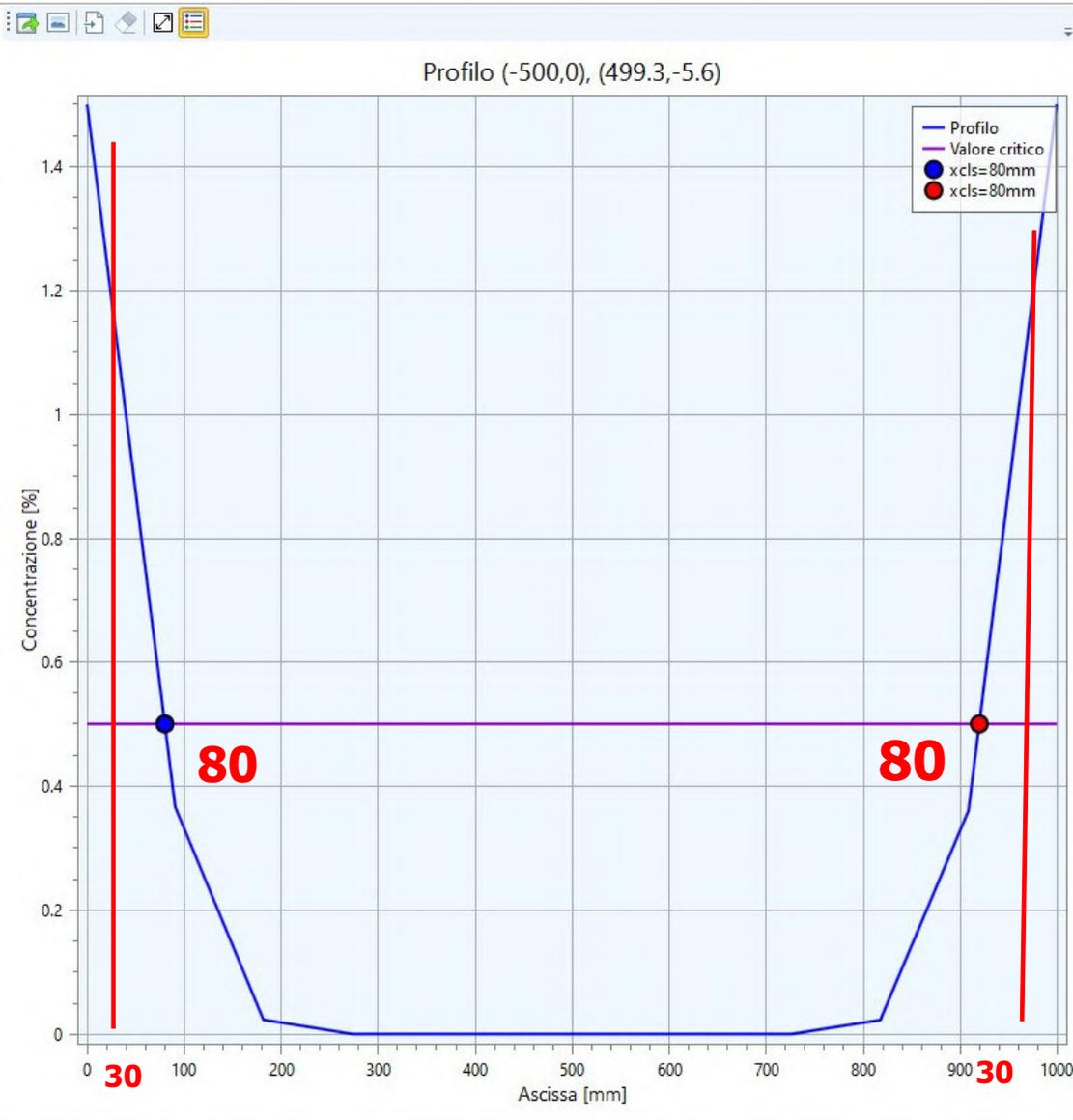
$$D_{app,c}(t) = k_e \cdot D_{RCM,0} \cdot k_t \cdot A(t)$$

$$A(t) = \left( \frac{t_0}{t} \right)^a$$

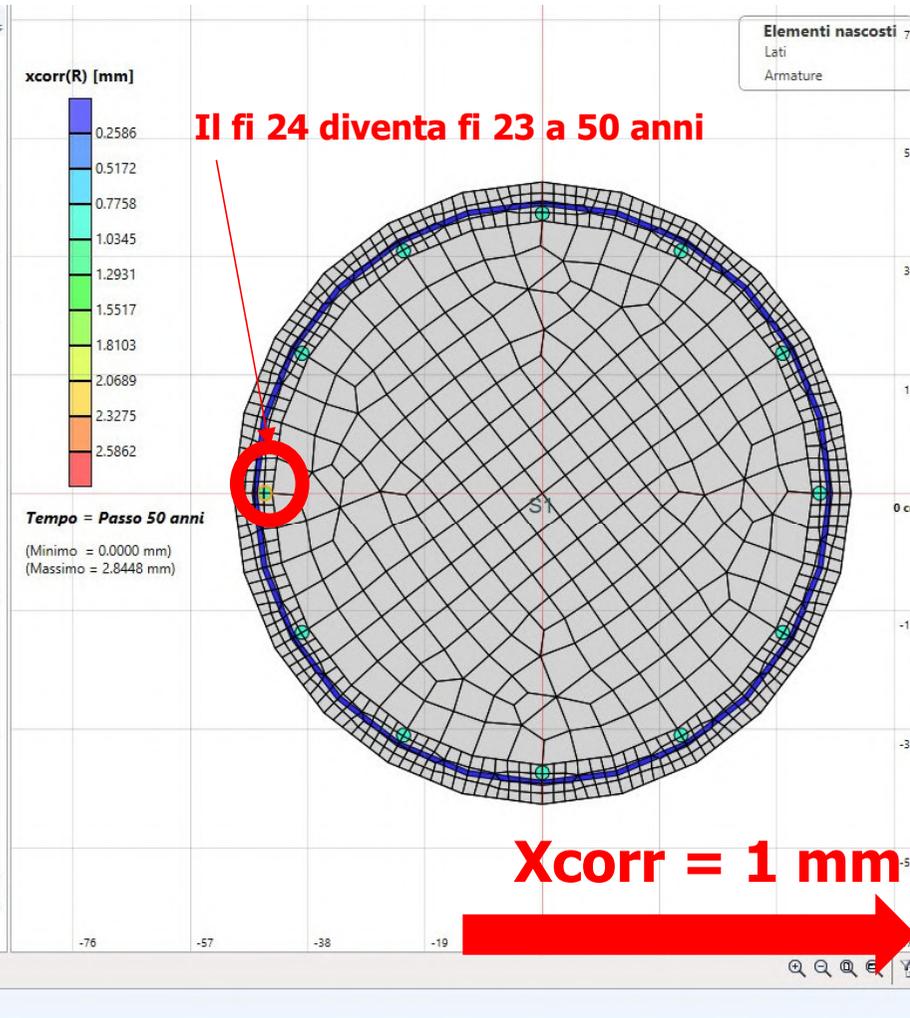
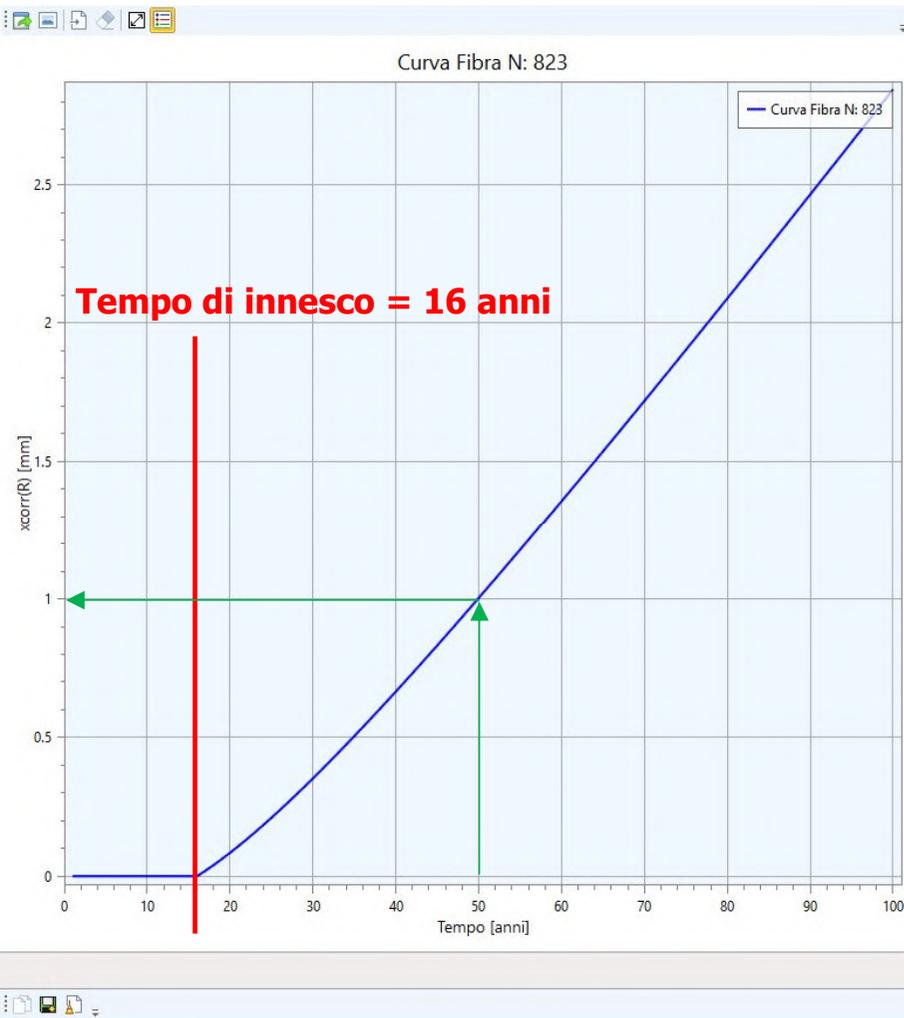
# Mappa delle concentrazioni dei cloruri a 50 anni



# Mappa delle concentrazioni dei cloruri a 100 anni

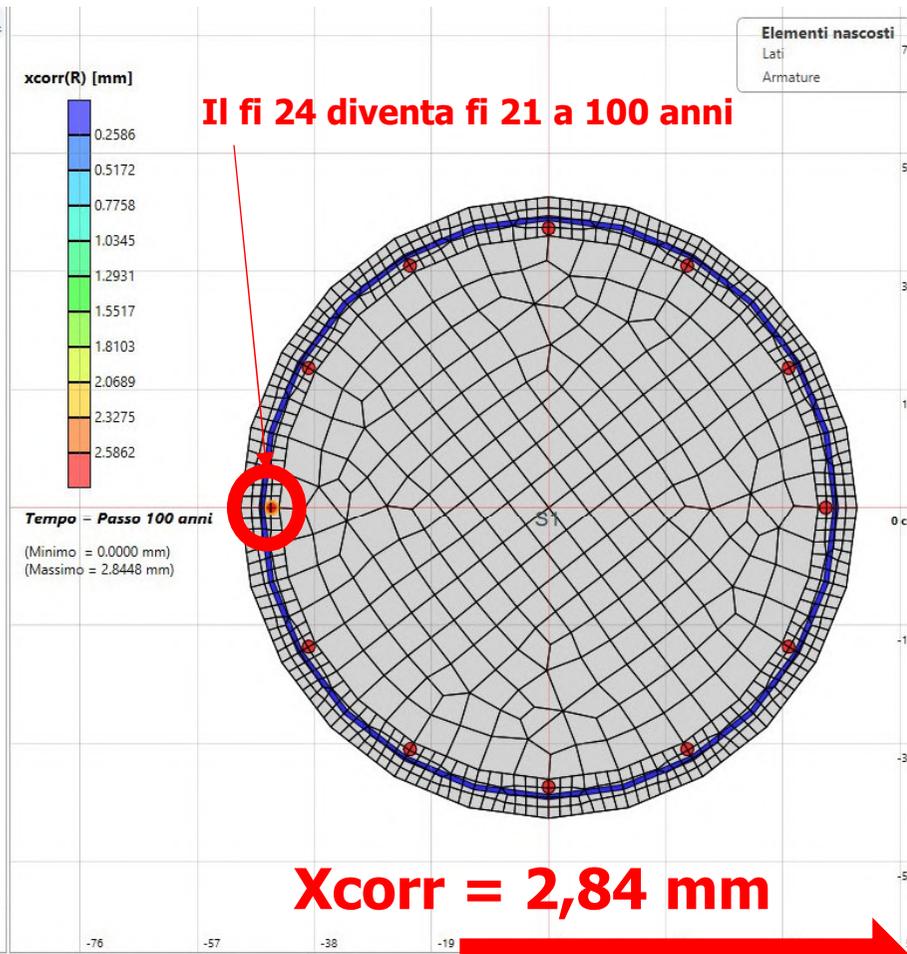
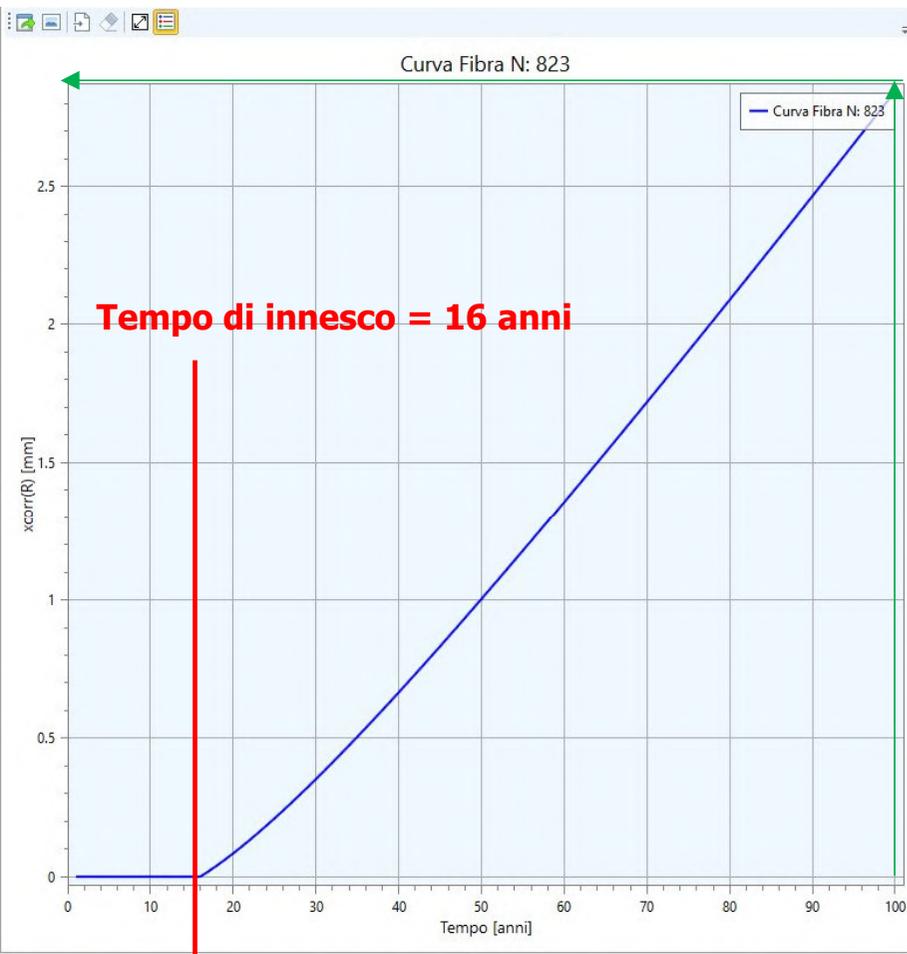


# Profondità di penetrazione a 50 anni calcolata con le analisi diffusive



Asta	
Tipologia	C Ø=100 (Cls)
Lunghezza [cm]	450.00
Rinforzo	Nessuno
Tipo elemento	Pilastro
Copriferro [cm]	3.00
Criteri di progetto	Crit_Prog (1)
Calcolo	
Passo Fibre cop. [cm]	2.00
Varie	
Diffusività	
DRCM0	315.36
ke	1.00
kt	1.00
alpha	0.30
t0	0.0767
wspal [cm]	0.10
Angolo [°]	15
Sezione S1	
Varie	
Tipologia mesh	Quadrilateri
Passo mesh FEM [cm]	1.00
Fibra	
Diametro	
D <sub>o</sub> [mm]	24.00
R	6.00
xcorr(R) [mm]	1.00
δ(R) [%]	4.18
D	23.00
Sezione	

# Profondità di penetrazione a 100 anni calcolata con le analisi diffusive



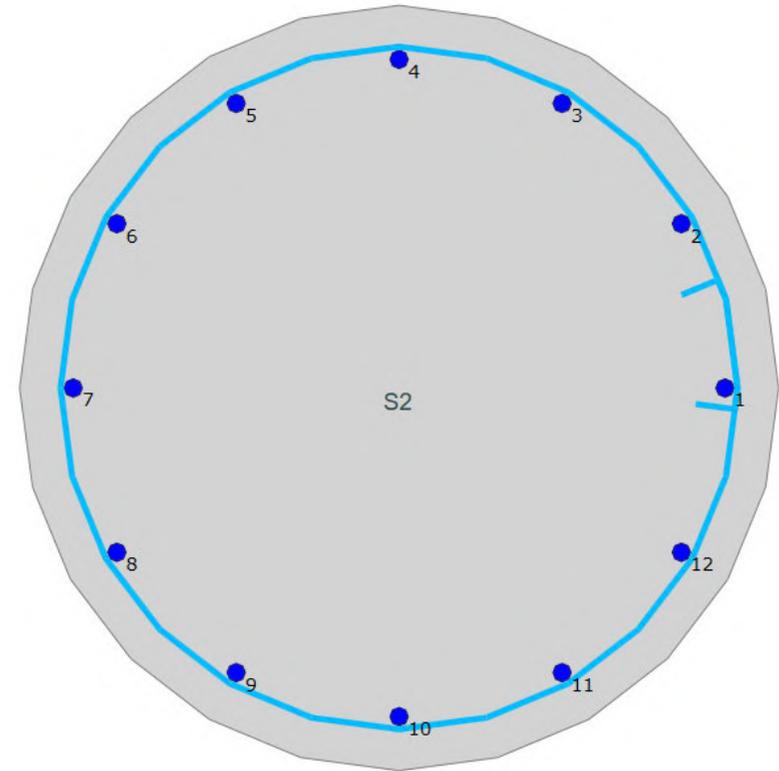
Asta	
Tipologia	C Ø=100 (Clc)
Lunghezza [cm]	450.00
Rinforzo	Nessuno
Tipo elemento	Pilastro
Copriferro [cm]	3.00
Criteri di progetto	Crit_Prog (1)
Calcolo	
Passo Fibre cop. [cm]	2.00
Varie	
Diffusività	
DRCM0	315.36
ke	1.00
kt	1.00
alpha	0.30
t0	0.0767
wspal [cm]	0.10
Angolo [°]	15
Sezione S1	
Varie	
Tipologia mesh	Quadrilateri
Passo mesh FEM [cm]	1.00
Fibra	
Diametro	
D <sub>o</sub> [mm]	24.00
R	6.00
xcorr(R) [mm]	2.84
σ <sub>(R)</sub> [MPa]	11.83
D	21.16

**Sezione PRE-fessurata**



## Dati:

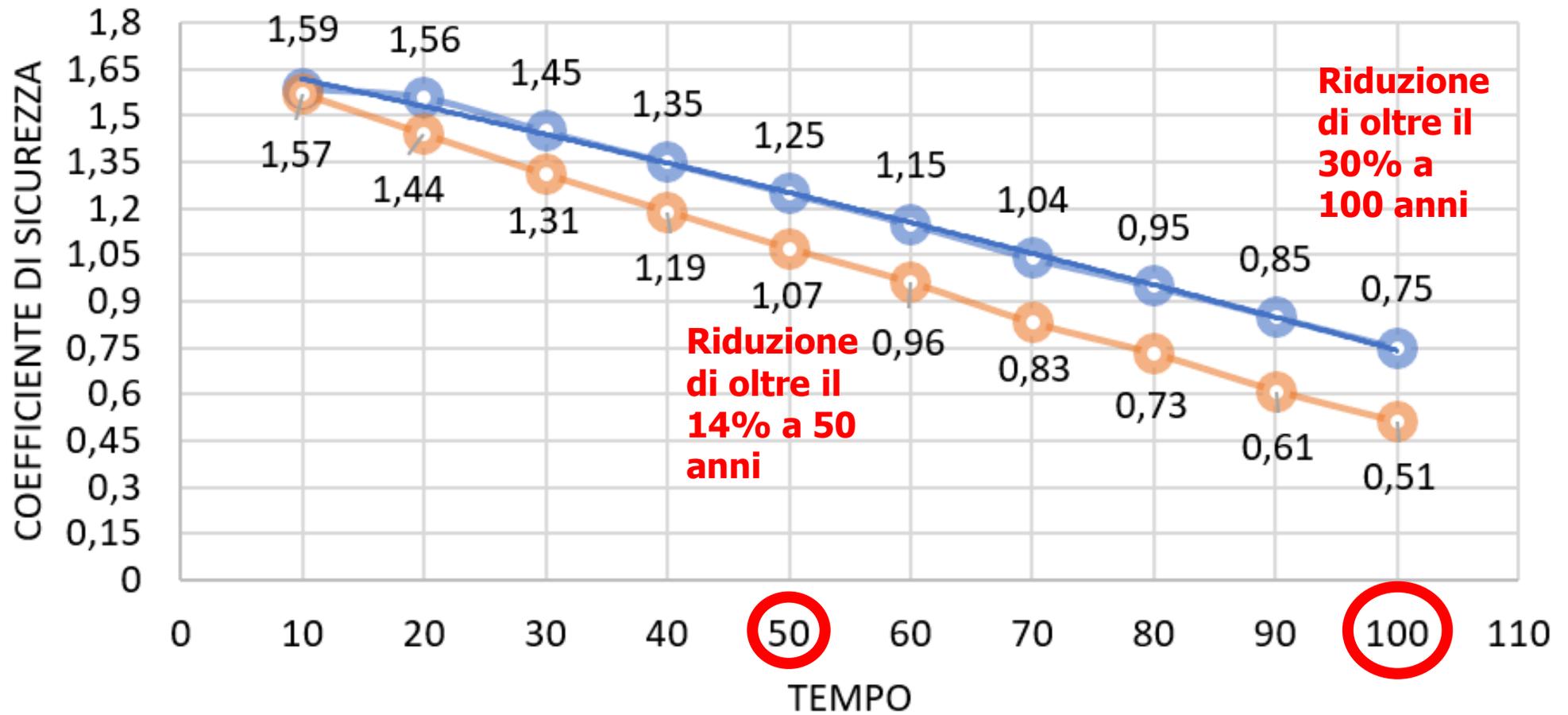
- Pila diametro sezione = 100 cm
- $a = 30$  mm
- $C_0 = 0$
- $D_{RCM} = 10 \times 10^{-12}$  (m<sup>2</sup>/s) = 315,36 mm<sup>2</sup>/anni
- **DCR =  $1,6 \times 10^4$  (mm<sup>2</sup>/anno)**
- **W = 0,5 mm**
- **sm = 50 mm**
- **h\_w = 2 cm**
- $k_e, k_t = 1$
- $A(t) = (t_0/t)^\alpha$
- **alfa = 0,3**
- **$t_0 = 28$  gg = 0,0767 anni**
- $C_{crit} = 0,5\%$
- $C_s = 1,5\%$
- $\Delta x = 0$
- C25/30
- FeB44K (12 fi 24)
- Staffe fi 8/15"



# Andamento nel tempo del coefficiente di sicurezza allo SLU

Linea blu = INTEGRA

Linea arancione = FESSURATA



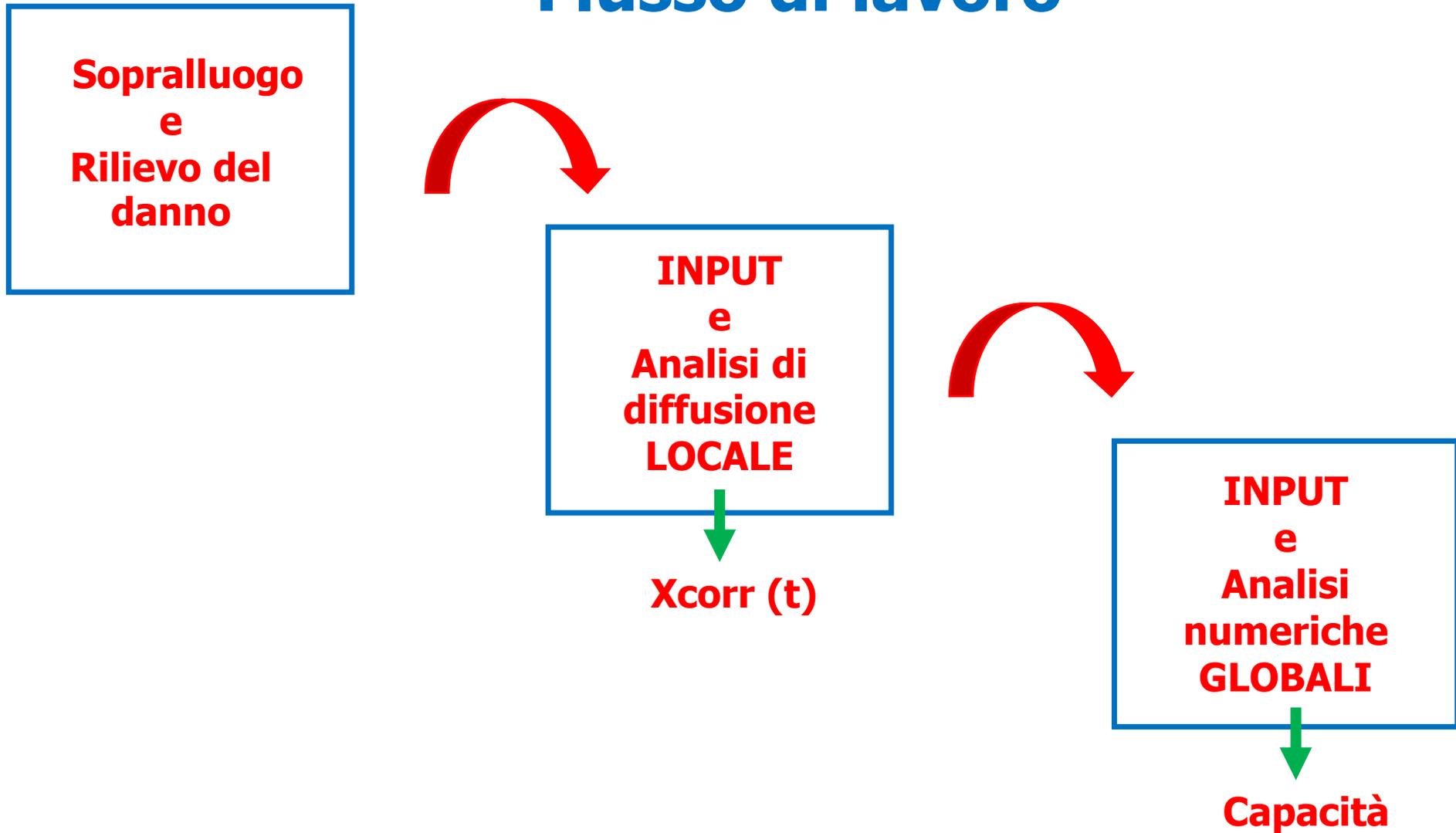
# ANALISI GLOBALI



# **STUDIO DELLE CURVE DI CAPACITA' IN UNA PILA DA PONTE**

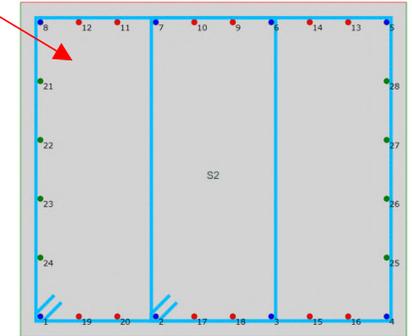
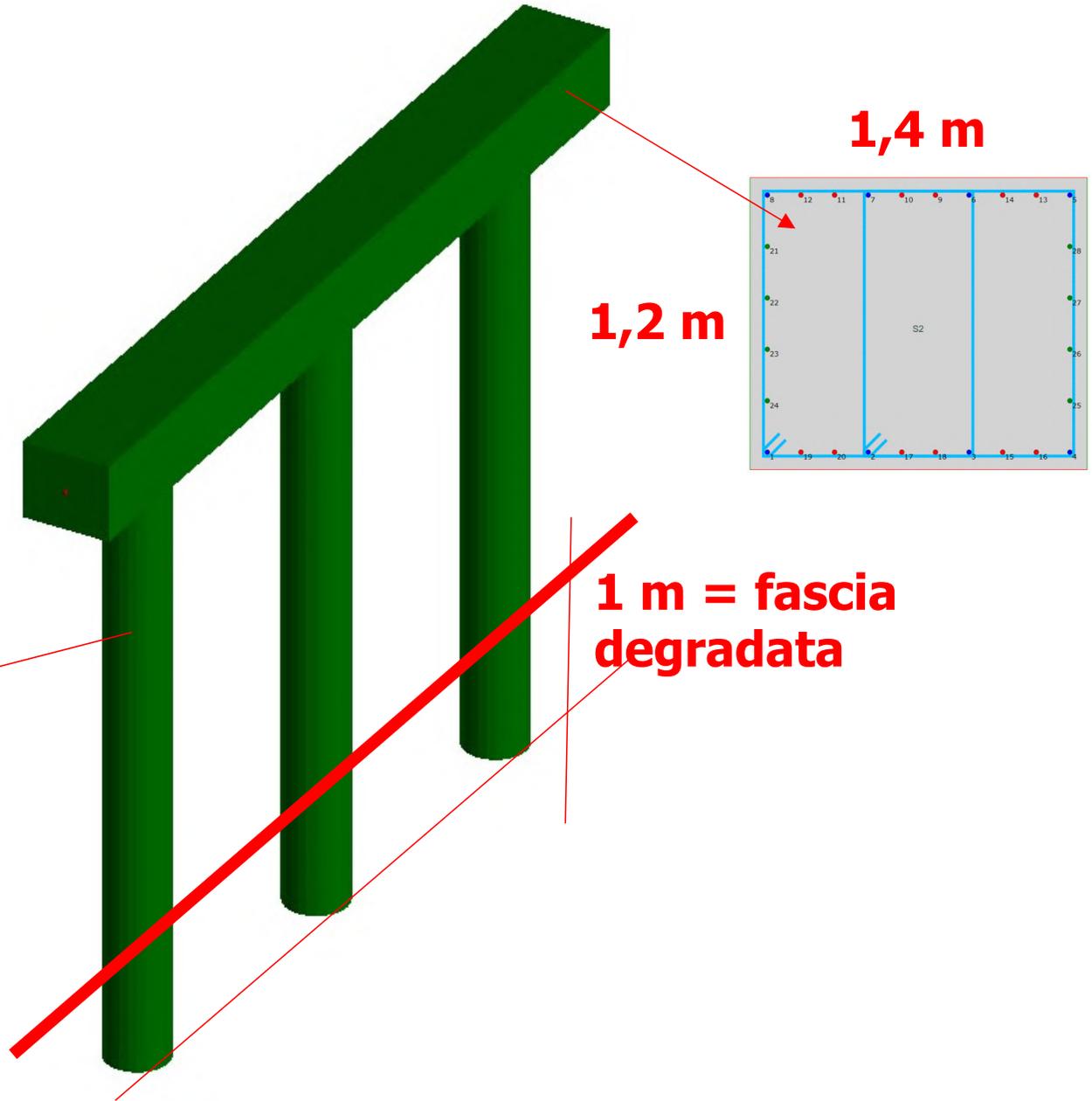
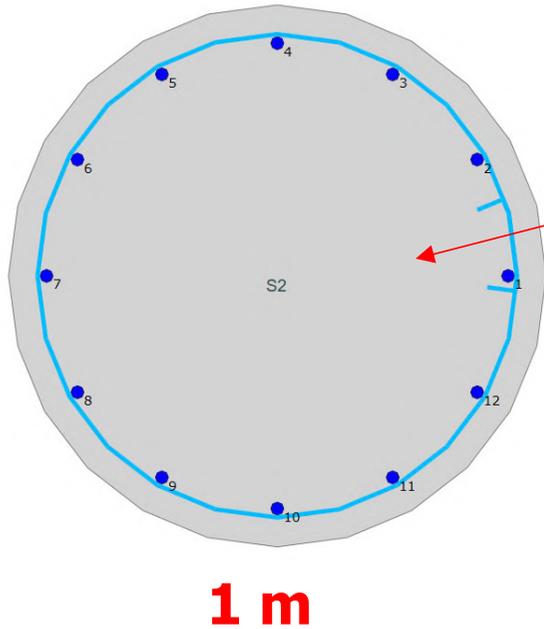
- Il caso della sezione non PRE - fessurata

# Flusso di lavoro

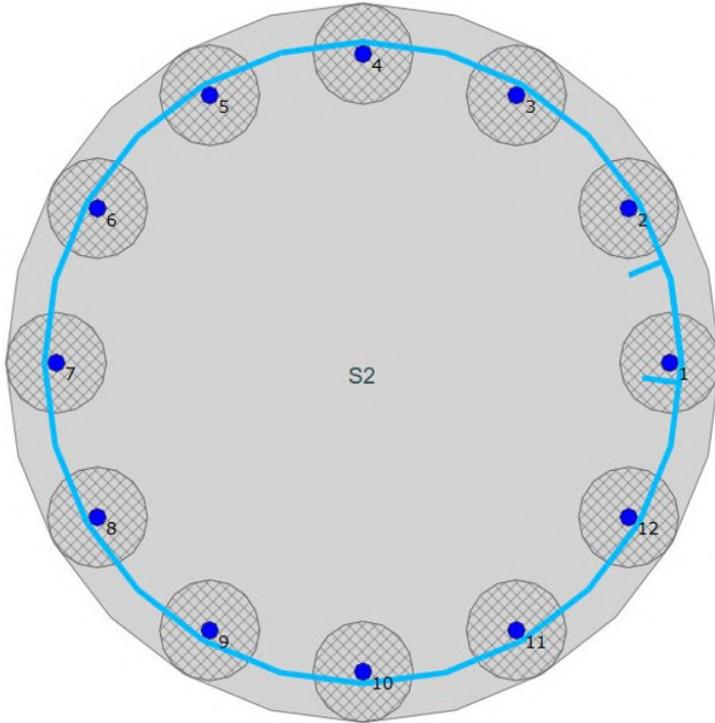


## Dati pila da ponte a telaio:

- Diametro pila = 100 cm
- Altezza pila = 880 cm
- Interasse = 500 cm
- Barre longitudinali 12 fi 24
- Staffe fi 8/15"
- Calcestruzzo C25/30



## Penetrazione corrosione: parametro Xcorr



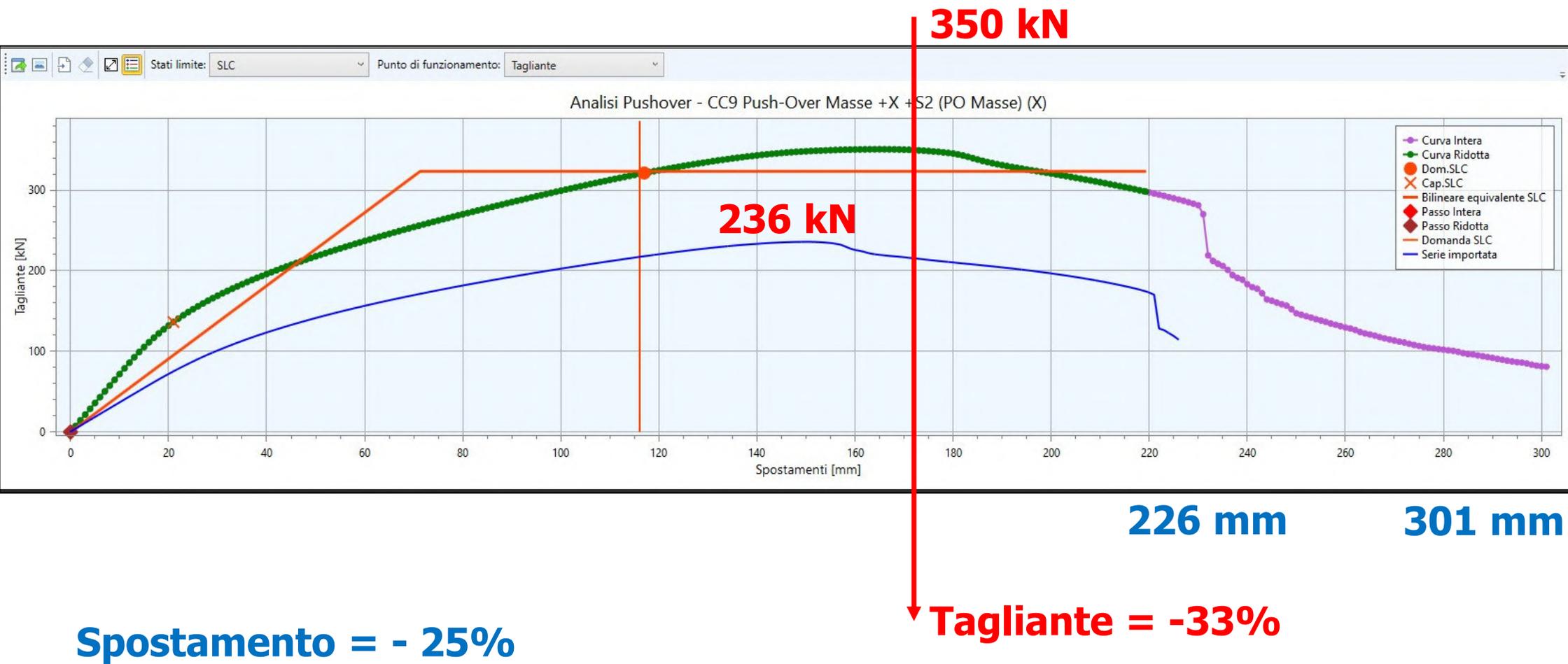
Varie	
Nome	<b>COLORURI 50 anni</b>
Tipo Modello	Corrosione Localizzata
Modello Corrosione Localizzata	Rodriguez, Vidal
x [mm]	1.00 /6
R	6

Varie	
Nome	<b>COLORURI 100 anni</b>
Tipo Modello	Corrosione Localizzata
Modello Corrosione Localizzata	Rodriguez, Vidal
x [mm]	2.84 /6
R	6

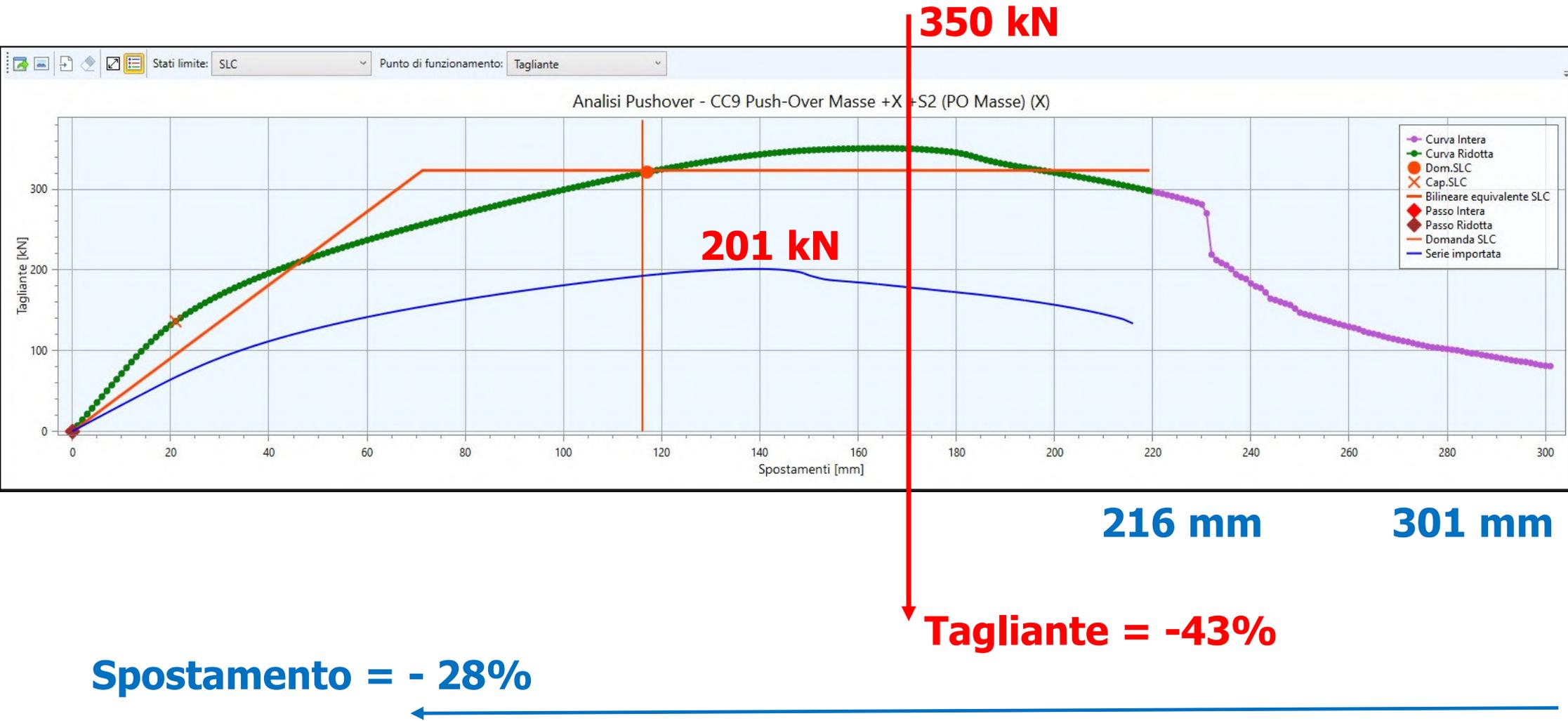
**Sezione con indicazione delle aree di calcestruzzo degradato**

# **LA RISPOSTA STRUTTURALE**

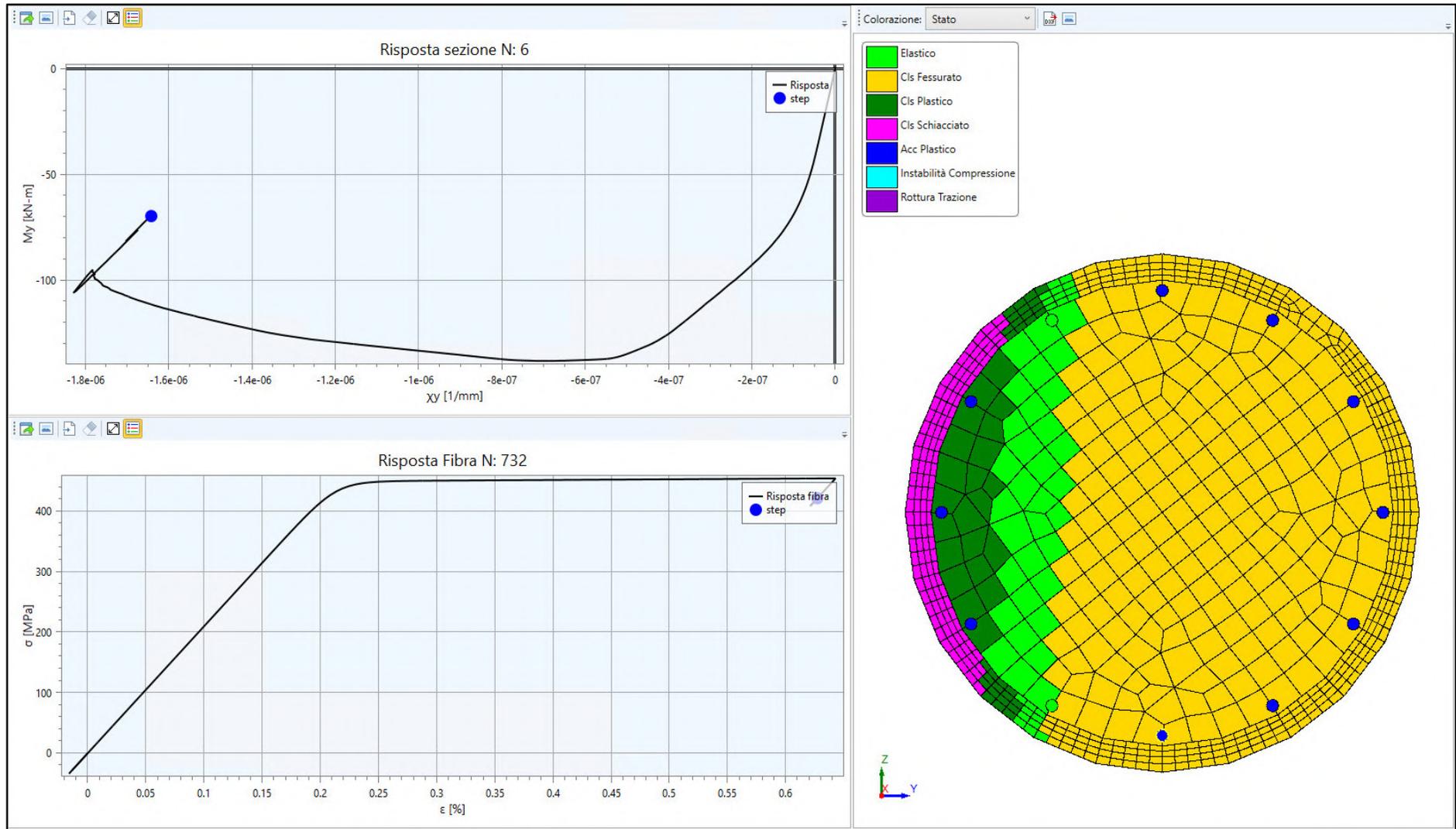
# CURVE DI CAPACITA': Confronto tra struttura integra e step a 50 anni



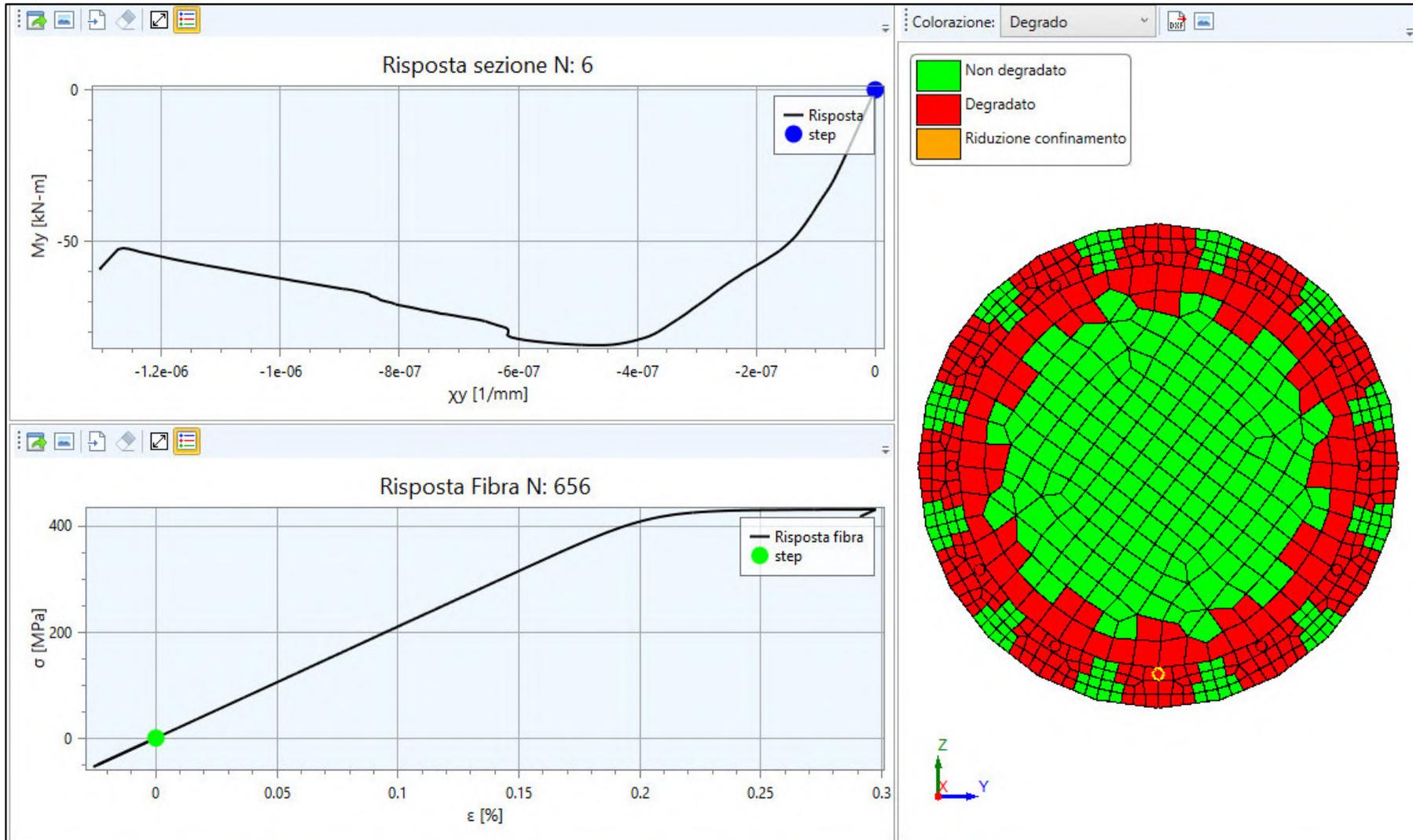
# CURVE DI CAPACITA': Confronto tra struttura integra e step a 100 anni



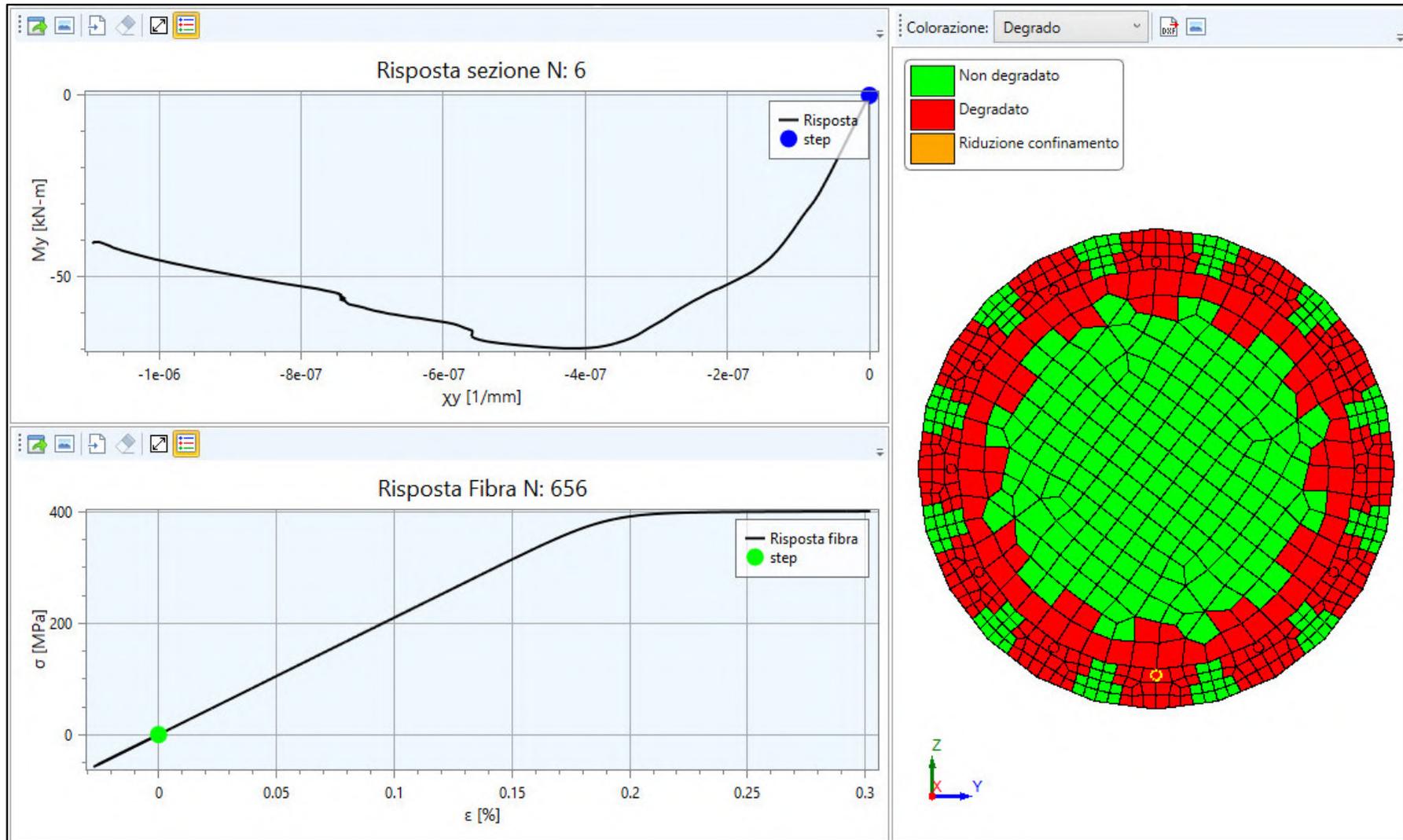
# MOMENTO-CURVATURA: INTEGRA



# MOMENTO-CURVATURA: 50 ANNI

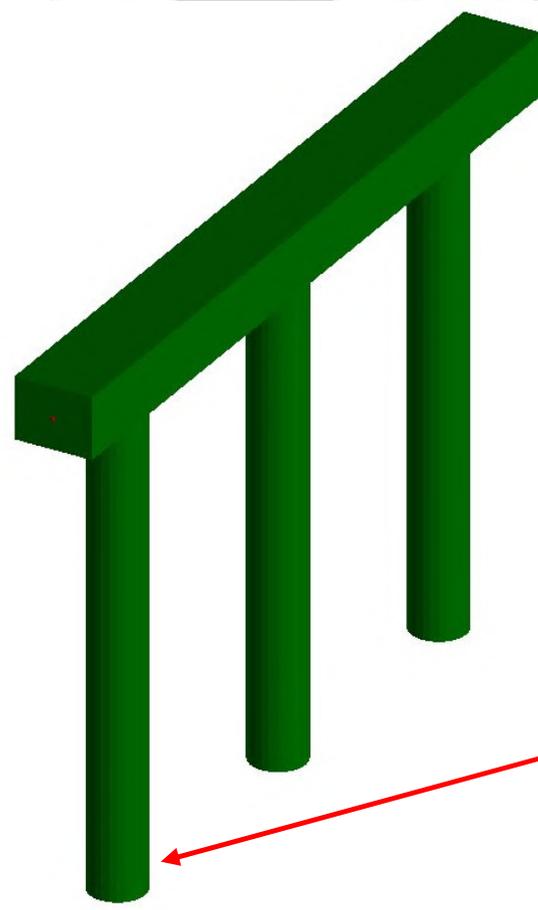


# MOMENTO-CURVATURA: 100 ANNI

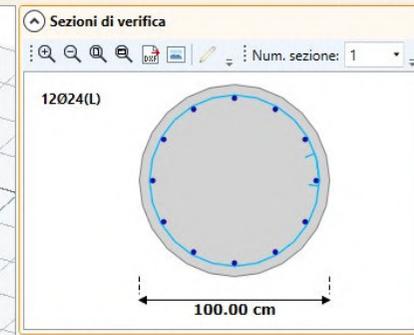


# STRUTTURA INTEGRA

$\xi_E = 0,81$  (SLV – globale)



$\xi_E = 0,79$  (SLV – locale)



Sezioni di verifica

12024(L)

100.00 cm

Generale Opzioni Cerca

**Asta 1 (2-1) [Pilastro]**

**Comportamento**

Tipo	Fragile
Fattore di Comportamento	1.50
Attenzione	Verifiche OK

**Vulnerabilità**

**Dati Vulnerabilità**

NomeVer	Slc -> Capacità Defo...
PGA_C	0.284
PGA_D	0.358
$\zeta_E$	0.79
Esito	Verifiche non superate

**Verifiche**

AreaTors	[mm <sup>2</sup> ]	0.00
<b>Stabilità</b>	Necessaria	
Slv	S=0.42	
Slc	S=0.42	
Sld	S=0.43	
Slo	S=0.85	
Esito	Verifiche non superate	

Eventi

```
#####Globale ASNL#####
PGA SLC | PGA_C = 0.256 | PGA_D = 0.358 |  $\zeta_E$  = 0.71 | Tr_C = 983 | Tr_D = 1950.00 |  $\zeta_E$ (tr) = 0.50
PGA SLV | PGA_C = 0.241 | PGA_D = 0.299 |  $\zeta_E$  = 0.81 | Tr_C = 611 | Tr_D = 949.00 |  $\zeta_E$ (tr) = 0.64
PGA SLD | PGA_C = 0.294 | PGA_D = 0.122 |  $\zeta_E$  = 2.40 | Tr_C = 611 | Tr_D = 101.00 |  $\zeta_E$ (tr) = 6.05
PGA SLO | PGA_C = 0.208 | PGA_D = 0.095 |  $\zeta_E$  = 2.20 | Tr_C = 547 | Tr_D = 60.00 |  $\zeta_E$ (tr) = 9.12
#####
#####Verifiche locali#####
PGA SLV | PGA_C = 0.295 | PGA_D = 0.299 |  $\zeta_E$  = 0.99 | Tr_C = 923 | Tr_D = 949.00 |  $\zeta_E$ (tr) = 0.97 | Non Trovata in Asta 1 (2-1) [Pilastro] -> Slv -> Capacità Deformativa -> DirY
```

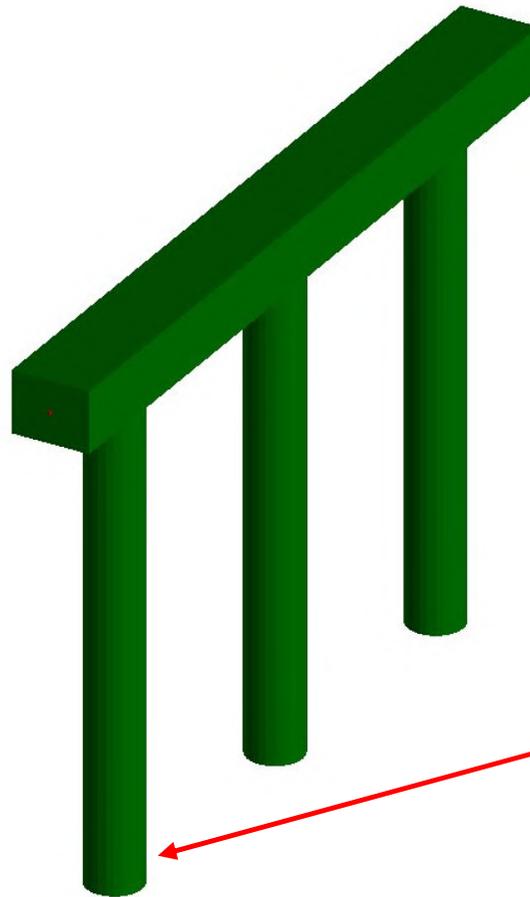
**Dati Vulnerabilità**

Dati per la valutazione di vulnerabilità (sismica o moltiplicatore dei carichi statici).

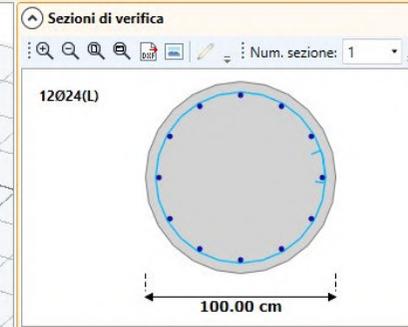
Esegui verifica Modifica Esporta

# STRUTTURA A 50 ANNI

$\xi_E = 0,69$  (SLV – globale)



$\xi_E = 0,63$  (SLV – locale)



Generale Opzioni Cerca

### Asta 1 (2-1) [Pilastro]

<b>Comportamento</b>	
Tipo	Fragile
Fattore di Comportamento	1.50
Attenzione	Verifiche OK

<b>Vulnerabilità</b>	
<b>Dati Vulnerabilità</b>	
NomeVer	Slc -> Capacità Defo...
PGA_C	0.227
PGA_D	0.358
$\zeta_E$	0.63
Esito	Verifiche non superate

<b>Verifiche</b>	
AreaTors	[mm <sup>2</sup> ] 0.00
<b>Stabilità</b> <span style="float:right">Necessaria</span>	
Slv	S=0.47
Slc	S=0.47
Sld	S=0.66
Slo	S=0.82
Esito	Verifiche non superate

**Dati Vulnerabilità**  
Dati per la valutazione di vulnerabilità (sismica o moltiplicatore dei carichi statici).

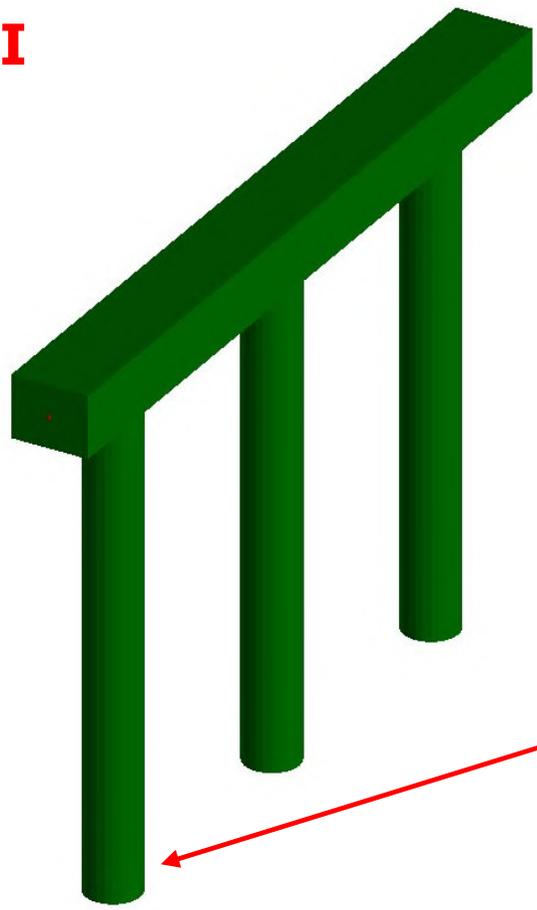
Esegui verifica Modifica Esporta

Eventi

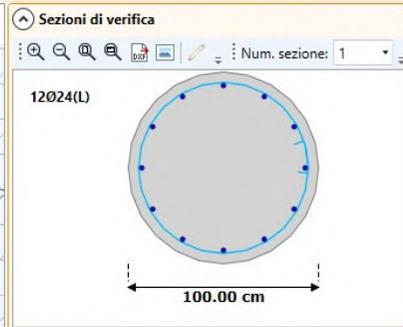
```
#####Globale ASNL#####
PGA SLC | PGA_C = 0.197 | PGA_D = 0.358 | zeta_E = 0.55 | Tr_C = 577 | Tr_D = 1950.00 | zeta_E(tr) = 0.30
PGA SLV | PGA_C = 0.205 | PGA_D = 0.299 | zeta_E = 0.69 | Tr_C = 441 | Tr_D = 949.00 | zeta_E(tr) = 0.46
PGA SLD | PGA_C = 0.271 | PGA_D = 0.122 | zeta_E = 2.22 | Tr_C = 441 | Tr_D = 101.00 | zeta_E(tr) = 4.37
PGA SLO | PGA_C = 0.190 | PGA_D = 0.095 | zeta_E = 2.00 | Tr_C = 420 | Tr_D = 60.00 | zeta_E(tr) = 7.00
#####
#####Verifiche locali#####
PGA SLV | PGA_C = 0.236 | PGA_D = 0.299 | zeta_E = 0.79 | Tr_C = 585 | Tr_D = 949.00 | zeta_E(tr) = 0.62 | Non Trovata in Asta 1 (2-1) [Pilastro] -> Slv -> Capacità Deformativa -> DirY
```

# STRUTTURA A 100 ANNI

$\xi_E = 0,67$  (SLV – globale)



$\xi_E = 0,61$  (SLV – locale)



Generale Opzioni Cerca

### Asta 1 (2-1) [Pilastro]

Comportamento	
Tipo	Fragile
Fattore di Comportamento	1.50
Attenzione	Verifiche OK

Dati Vulnerabilità	
NomeVer	Slc -> Capacità Defo...
PGA_C	0.219
PGA_D	0.358
$\zeta_E$	0.61
Esito	Verifiche non superate

Verifiche	
AreaTors	[mm <sup>2</sup> ] 0.00
Stabilità <span style="float:right">Necessaria</span>	
Slv	S=0.51
Slc	S=0.51
Sld	S=0.74
Slo	S=0.79
Esito	Verifiche non superate

Dati Vulnerabilità  
Dati per la valutazione di vulnerabilità (sismica o moltiplicatore dei carichi statici).

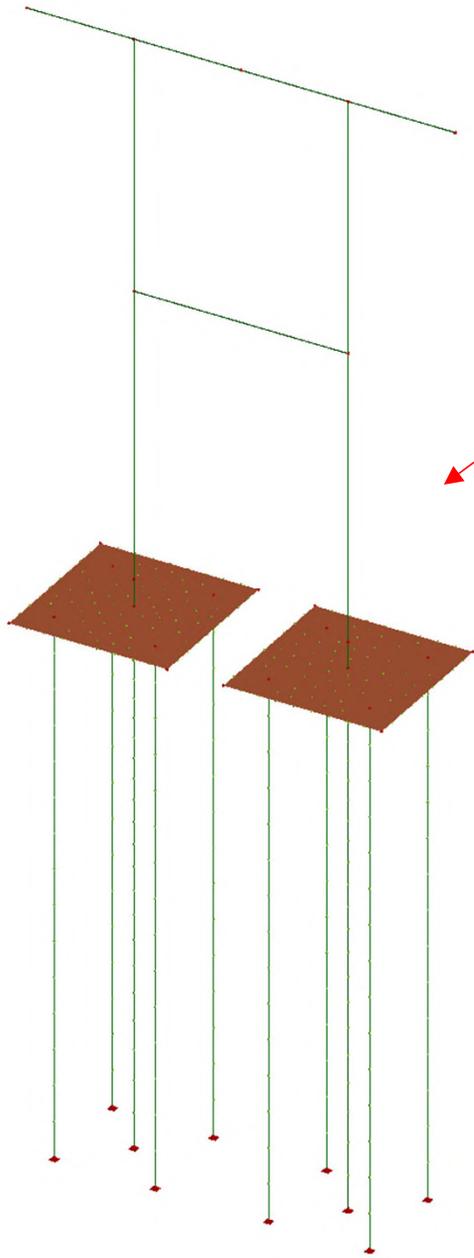
Esegui verifica Modifica Esporta

#### Eventi

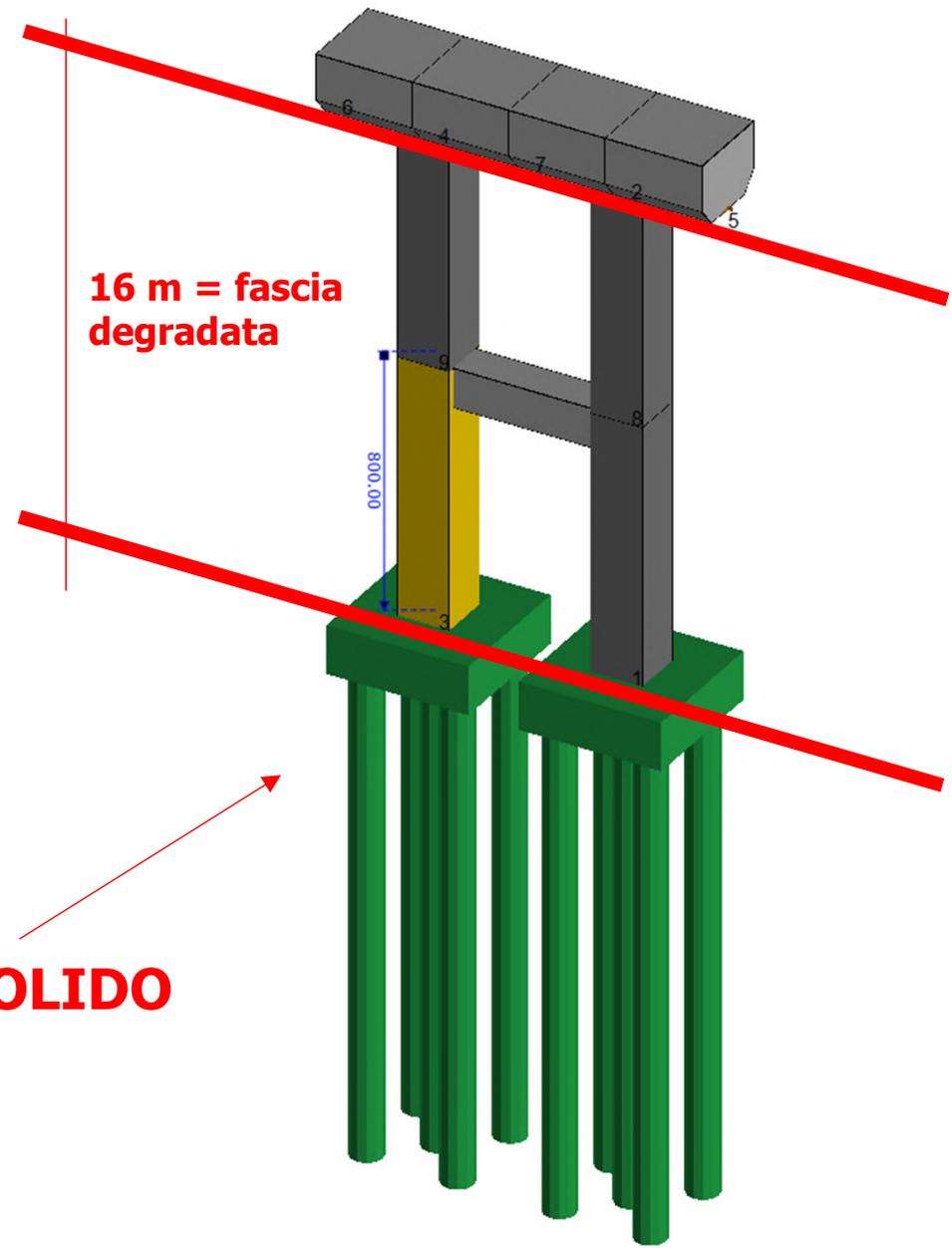
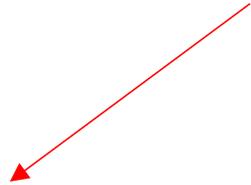
```
#####Globale ASNL#####
PGA SLC | PGA_C = 0.191 | PGA_D = 0.358 |  $\zeta_E$  = 0.54 | Tr_C = 544 | Tr_D = 1950.00 |  $\zeta_E$ (tr) = 0.28
PGA SLV | PGA_C = 0.200 | PGA_D = 0.299 |  $\zeta_E$  = 0.67 | Tr_C = 416 | Tr_D = 949.00 |  $\zeta_E$ (tr) = 0.44
PGA SLD | PGA_C = 0.255 | PGA_D = 0.122 |  $\zeta_E$  = 2.08 | Tr_C = 416 | Tr_D = 101.00 |  $\zeta_E$ (tr) = 4.12
PGA SLO | PGA_C = 0.178 | PGA_D = 0.095 |  $\zeta_E$  = 1.88 | Tr_C = 353 | Tr_D = 60.00 |  $\zeta_E$ (tr) = 5.88
#####
#####Verifiche locali#####
PGA SLV | PGA_C = 0.228 | PGA_D = 0.299 |  $\zeta_E$  = 0.76 | Tr_C = 545 | Tr_D = 949.00 |  $\zeta_E$ (tr) = 0.57 | Non Trovata in Asta 1 (2-1) [Pilastro] -> Slv -> Capacità Deformativa -> DirY
```

# **STUDIO DELLE CURVE DI CAPACITA' IN UNA PILA DA PONTE SU PALI**

- Il caso della sezione non PRE - fessurata

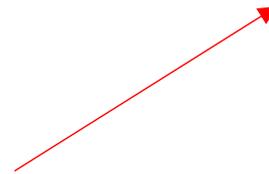


**Modello FEM**



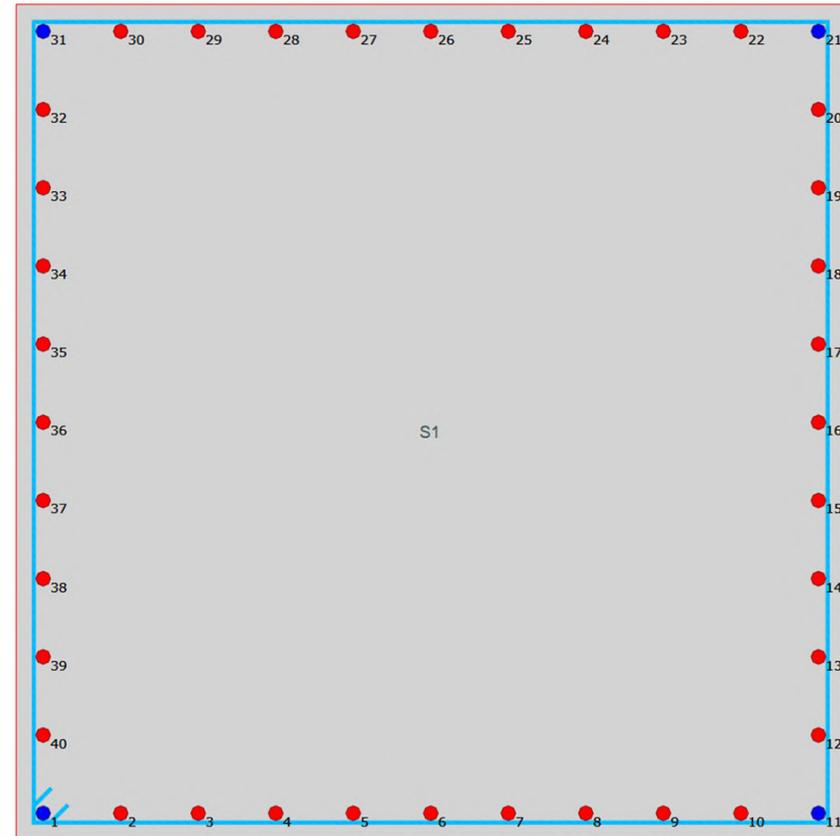
**16 m = fascia degradata**

**Modello SOLIDO**

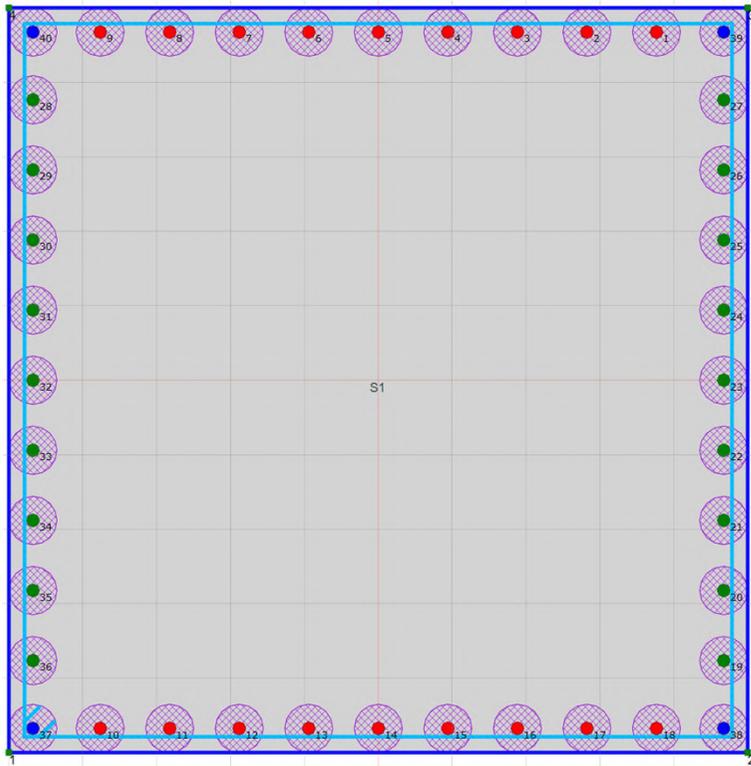


## Dati:

- Sezione pilastri = 160x160 cm
- a = 30 mm
- $C_0 = 0$
- $D_{RCM,0} = 10 \times 10^{-12} \text{ (m}^2/\text{s)} = 315,36 \text{ mm}^2/\text{anni}$
- $k_e, k_t = 1$
- $A(t) = (t_0/t)^\alpha$
- $\alpha = 0,3$
- $t_0 = 28 \text{ gg} = 0,0767 \text{ anni}$
- $C_{crit} = 0,5\%$
- $C_s = 2,5\%$
- $\Delta x = 0$
- C25/30
- FeB44K (40 fi 28)
- Staffe fi 8/15"

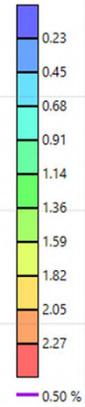


# Sezione dei pilastri costituendi la pila: modello di degrado alla Rodriguez applicato a tutte le barre Fi 28



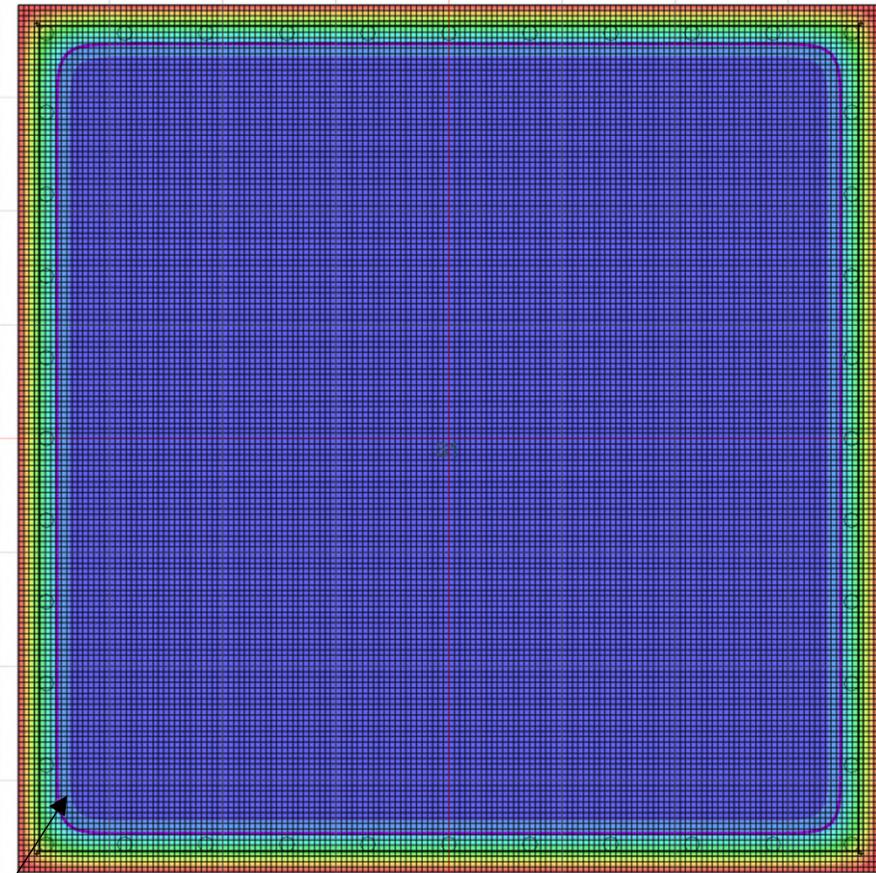
## Sezione dei pilastri: concentrazione dei cloruri a 50 anni

Concentrazione [%]



Tempo = Passo 50 anni

(Minimo = 0.00 %)  
(Massimo = 2.50 %)



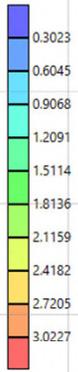
Isocritica allo 0,5%

Elementi nascosti  
Lati  
Armature

0 cm

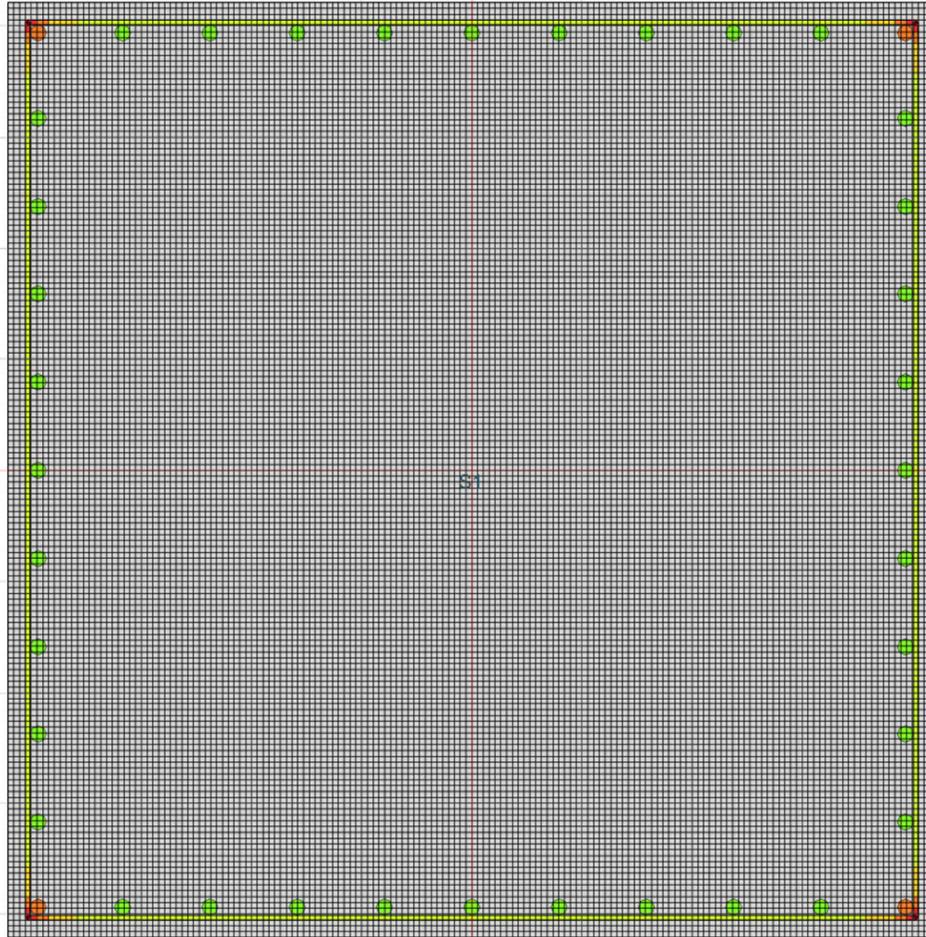
-126 -105 -84 -63 -42 -21 0 cm 21 42 63 84

xcorr(R) [mm]



Tempo = Passo 50 anni

(Minimo = 0.0000 mm)  
(Massimo = 3.3250 mm)



Elementi nascosti

Lati  
Armature

Asta	
Tipologia	RETTANGOLARE
Lunghezza [cm]	300.00
Tipo elemento	Trave
Copriferro [cm]	3.00
Criteri di progetto	Crit_Prog (1)
Calcolo	
Passo Fibre cop. [cm]	2.50

Sezione S1	
Varie	
Tipologia mesh	Quadrilateri
Passo mesh FEM [cm]	1.00

Fibra	
Coordinate	
Y [mm]	-748.00
Z [mm]	-451.80
Primo Degrado	
t inn.	9.00
Angolo inn.	180
Concentrazione	
icorr [mA/m <sup>2</sup> ]	0.80
vcorr [μm/anno]	7.53
Diametro	
D <sub>o</sub> [mm]	28.00
R	6.00
xcorr(R) [mm]	1.85
δ(R) [%]	6.61
D	26.15
Sezione	
A <sub>so</sub> [mm <sup>2</sup> ]	615.75
δA <sub>s</sub> [%]	12.79
A <sub>s</sub> [mm <sup>2</sup> ]	537.01
A <sub>s</sub> /A <sub>so</sub> [%]	87.21
Resistenza	
f <sub>sy0</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	450.00
δf <sub>sy</sub> [%]	6.39
f <sub>sy</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	421.228
f <sub>sy</sub> /f <sub>sy0</sub> [%]	93.61
f <sub>su0</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	540.00
f <sub>su</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	505.473

**Sezione dei pilastri:  
Mappa delle penetrazioni della corrosione localizzata.**

**Tempo di innesco = 9 anni**

**Xcorr = 2 mm circa**

# **CENNI SULLE TECNICHE DI INTERVENTO PER STRUTTURE IN C.A.**

Incremento di rigidezza



FRP

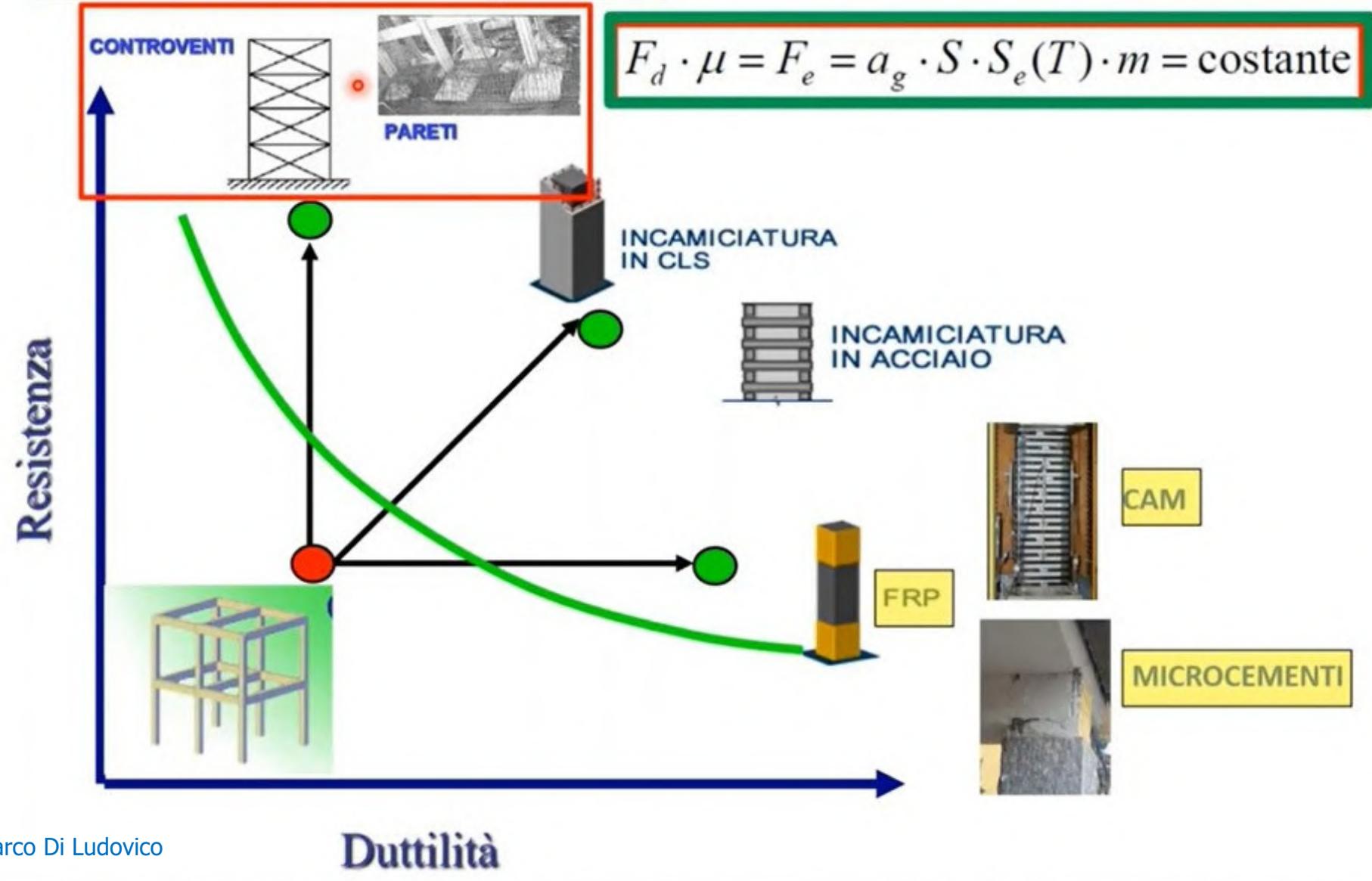
Acciaio

CAM

Ringorosso in C.a.



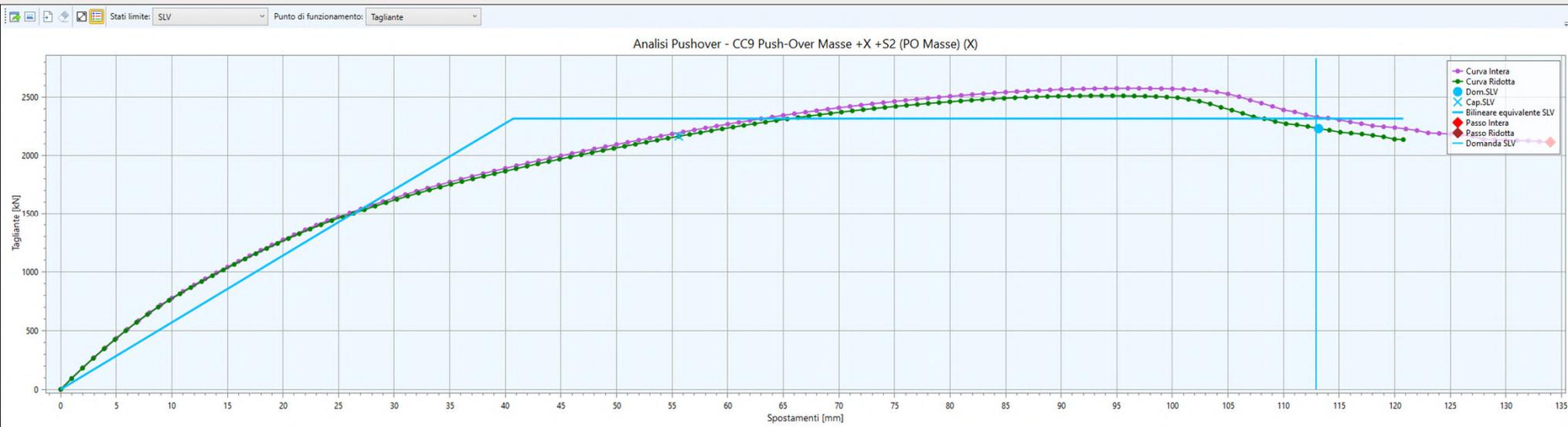
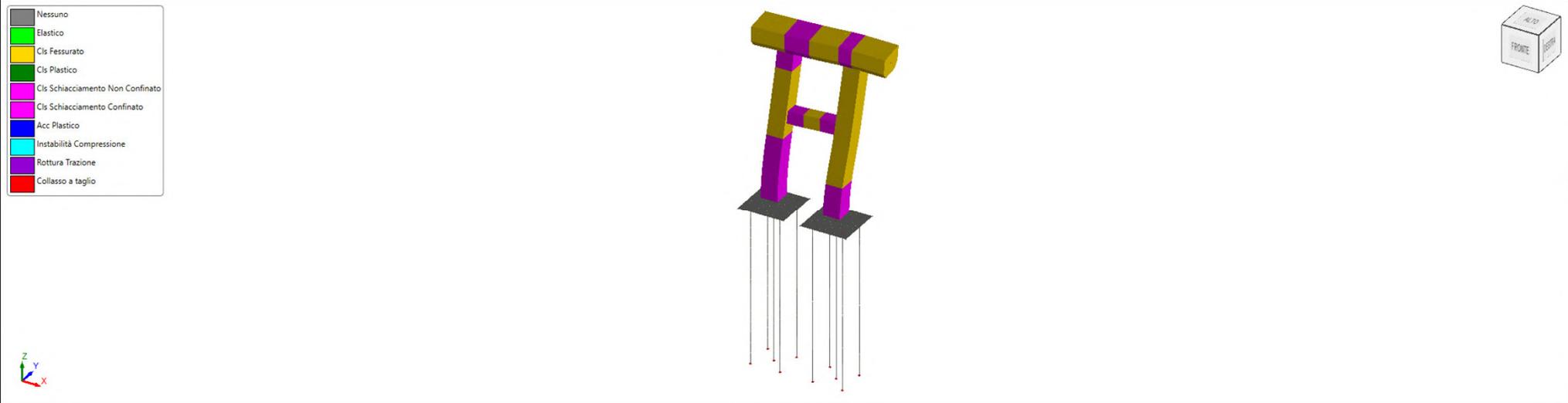
# Incremento di capacità



**CURVE DI CAPACITA' IN DIREZIONE**

**X**

# Struttura integra (barre del Fi 28)



Ricerca

Numero elementi: Nodo

Casi di calcolo: CC9 Push-Over Mas

Condizioni: SLU

CC01

Generale

Deformata

Diagrammi Aste

Diagrammi Piastre

Stato delle sezioni

Definizione filtro

Generale

Analisi

N. passi lineare	10
N. passi NL	20

Sistema Reale

$\gamma$	1.0252
----------	--------

Sistema SDOF Equivalente

$m^*$	[Kg]	1096256.815
-------	------	-------------

Verifiche

$\alpha_u / \alpha_1$	1.161
-----------------------	-------

SLC

SLV

$\xi$ [%]	5.00
$T^*$ [sec]	0.872
$k^*$ [kN/m]	56927.393
$P^*y$ [kN]	2317.53
$\delta e^*$ [cm]	4.071
$P^*max$ [kN]	2317.53
$\delta u^*$ [cm]	12.077
$Se(T^*)$ SLV [g]	0.598
$q^*$	2.77
$d^*$ Dom SL [cm]	11.293
Passo Dom	<b>Passo 117</b>
$d^*$ Cap SL [cm]	5.526
Passo Cap	<b>Passo 58</b>
PGA_D	0.4377
PGA_C	0.2155
$\zeta_E$	0.49
$f_s$	0.49
Esito	
Ast.Cap.Def.	<b>Asta Calcolo 1</b>

SLD

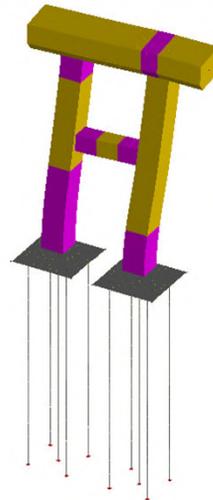
SLO

Steps

Passo 135

# Struttura con degrado sui pilastri (barre ridotte al Fi 26)

- Nessuno
- Elastico
- Cls Fessurato
- Cls Plastico
- Cls Schiacciamento Non Confinato
- Cls Schiacciamento Confinato
- Acc Plastico
- Instabilità Compressione
- Rottura Trazione
- Collasso a taglio



Ricerca  
 Numero elementi:

Casi di calcolo CC9 Push-Over Mas  
 Condizioni SLU  
 CC01

Generale  
 Deformata  
 Diagrammi Aste  
 Diagrammi Piastre  
 Stato delle sezioni  
 Definizione filtro

Generale

Analisi  
 N. passi lineare 10  
 N. passi NL 20

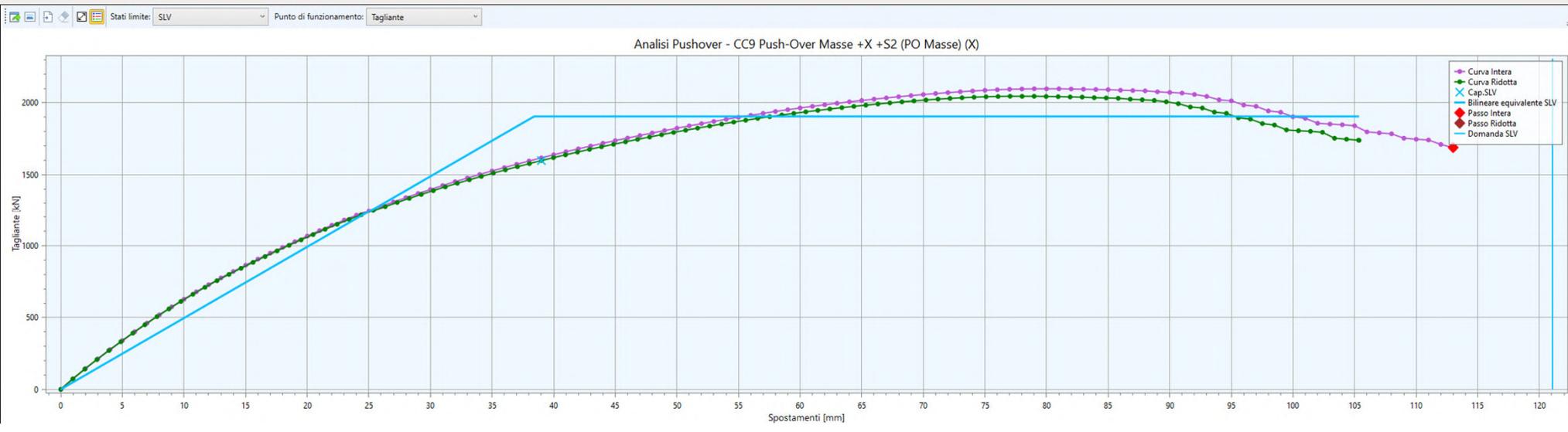
Sistema Reale  
 $\gamma$  1.0254

Sistema SDOF Equivalente  
 $m^*$  [Kg] 1097510.986

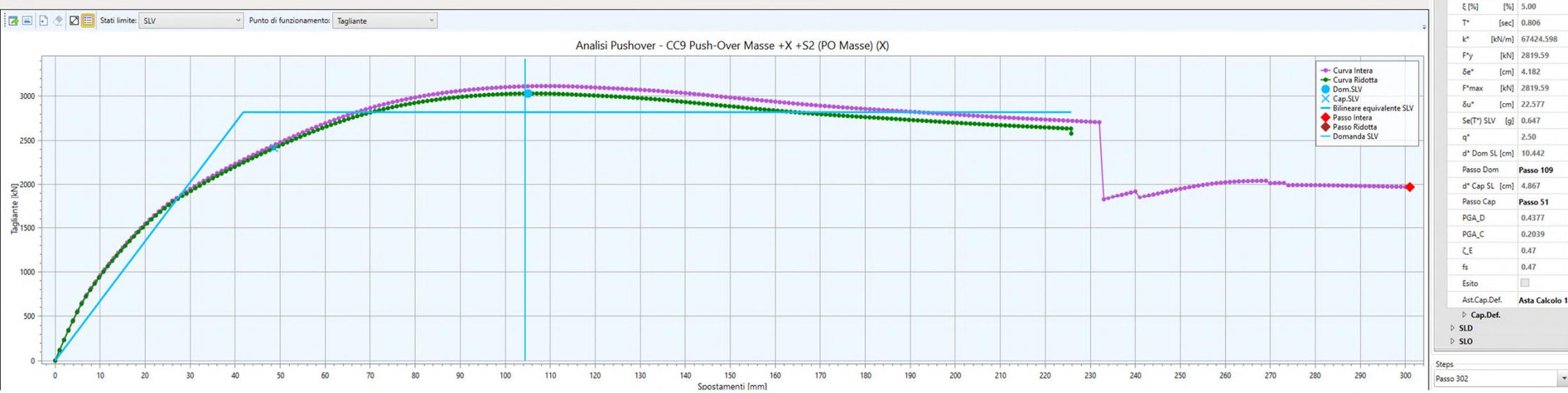
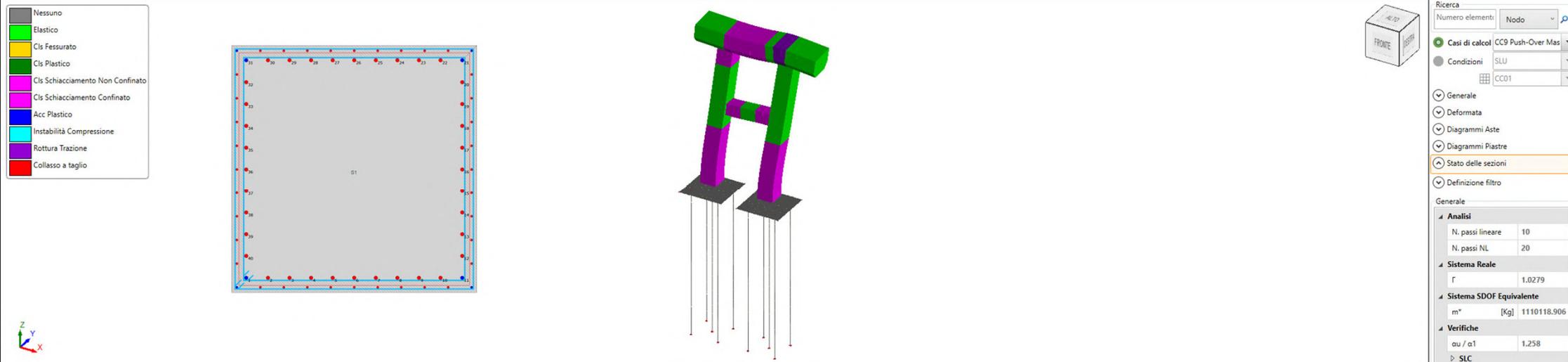
Verifiche  
 $\alpha / \alpha_1$  1.28

SLC  
 SLV  
 $\xi$  [%] 5.00  
 $T^*$  [sec] 0.935  
 $k^*$  [kN/m] 49586.142  
 $F_y$  [kN] 1904.90  
 $\delta e^*$  [cm] 3.842  
 $F_{max}$  [kN] 1904.90  
 $\delta u^*$  [cm] 10.536  
 $Se(T^*)$  SLV [g] 0.558  
 $q^*$  3.15  
 $d^*$  Dom SL [cm] 12.107  
 Passo Dom  
 $d^*$  Cap SL [cm] 3.898  
 Passo Cap **Passo 41**  
 PGA\_D 0.4377  
 PGA\_C 0.141  
 $\zeta_E$  0.32  
 $f_s$  0.32  
 Esito   
 Ast.Cap.Def. **Asta Calcolo 1**  
 Cap.Def.  
 SLD  
 SLO

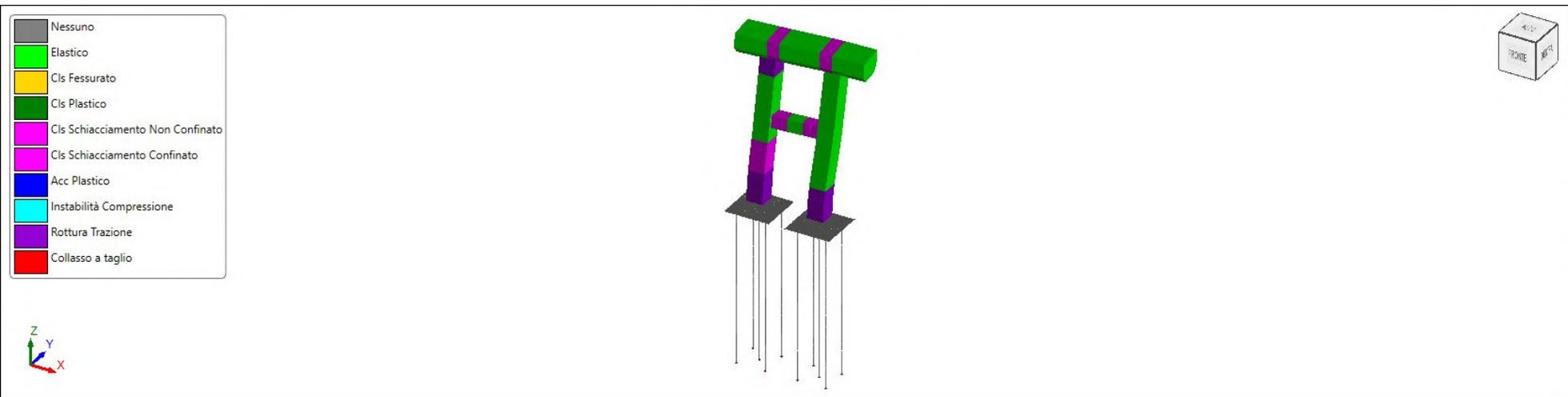
Steps  
 Passo 114



# Struttura rinforzata mediante incamiciatura: Barre esistenti del Fi 26. Rinforzo da 5 cm: betoncino a ritiro compensato C45/55 e barre di integrazione 40 Fi16



# Struttura rinforzata con FRP (barre esistenti del Fi 26)



Diagrammi Piastre

Stato delle sezioni

Definizione filtro

Generale

**Analisi**

N. passi lineare	10
N. passi NL	20

**Sistema Reale**

$\Gamma$	1.0254
----------	--------

**Sistema SDOF Equivalente**

$m^*$	[Kg]	1096091.897
-------	------	-------------

**Verifiche**

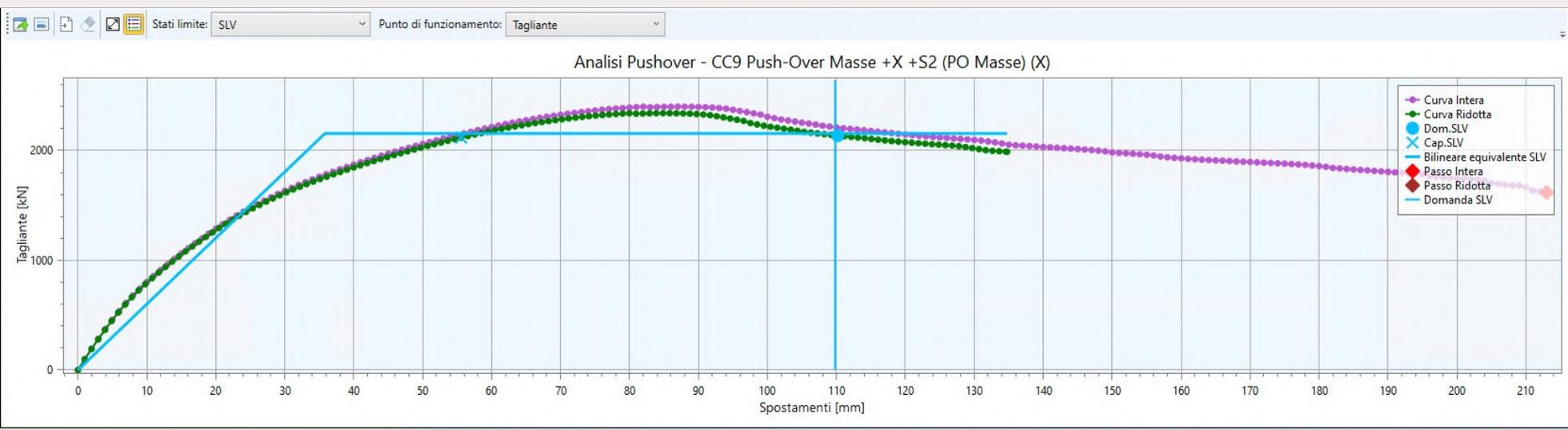
$\alpha / \alpha_1$	1.105
---------------------	-------

**SLC**

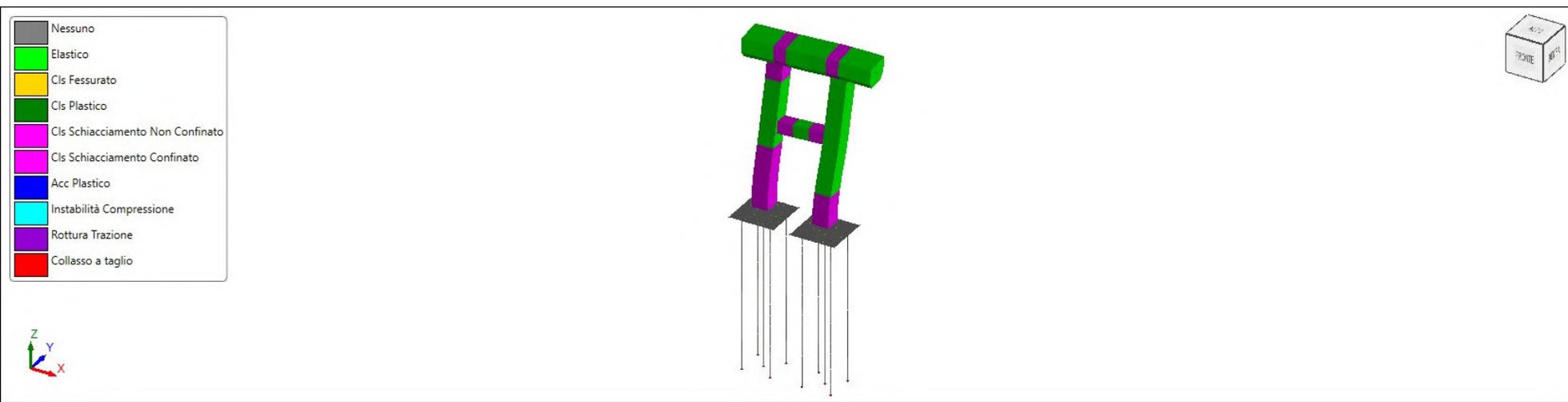
**SLV**

$\xi$ [%]	[%]	5.00
$T^*$	[sec]	0.848
$k^*$	[kN/m]	60186.719
$F^*y$	[kN]	2155.28
$\delta e^*$	[cm]	3.581
$F^*max$	[kN]	2155.28
$\delta u^*$	[cm]	13.476
$Se(T^*)$ SLV	[g]	0.615
$q^*$		3.07
$d^*$ Dom SL	[cm]	10.982
Passo Dom	<b>Passo 114</b>	
$d^*$ Cap SL	[cm]	5.516
Passo Cap	<b>Passo 58</b>	
PGA_D	0.4377	
PGA_C	0.2216	
$\zeta_E$	0.51	
$f_s$	0.50	
Esito	<input type="checkbox"/>	
Ast.Cap.Def.	<b>Asta Calcolo 1</b>	

**Cap.Def.**



# Struttura rinforzata con Sistema CAM (barre esistenti del Fi 26)



Diagrammi Plastre

Stato delle sezioni

Definizione filtro

Generale

Analisi

N. passi lineare	10
N. passi NL	20

Sistema Reale

$\Gamma$	1.0254
----------	--------

Sistema SDOF Equivalente

$m^*$	[Kg]	1096067.749
-------	------	-------------

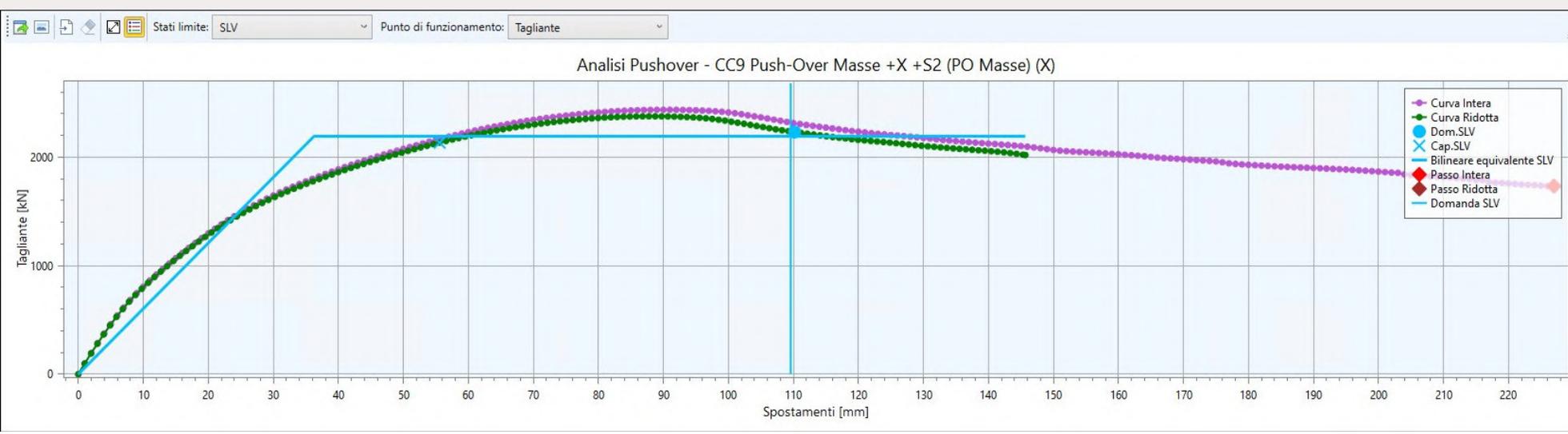
Verifiche

$\alpha u / \alpha 1$	1.113
-----------------------	-------

SLC

SLV

$\xi$ [%]	5.00
$T^*$ [sec]	0.846
$k^*$ [kN/m]	60428.627
$F^*y$ [kN]	2191.15
$\delta e^*$ [cm]	3.626
$F^*max$ [kN]	2191.15
$\delta u^*$ [cm]	14.568
$Se(T^*)$ SLV [g]	0.616
$q^*$	3.02
$d^*$ Dom SL [cm]	10.96
Passo Dom	<b>Passo 114</b>
$d^*$ Cap SL [cm]	5.533
Passo Cap	<b>Passo 58</b>
PGA_D	0.4377
PGA_C	0.222
$\zeta_E$	0.51
$f_s$	0.50
Esito	<input type="checkbox"/>
Ast.Cap.Def.	<b>Asta Calcolo 1</b>

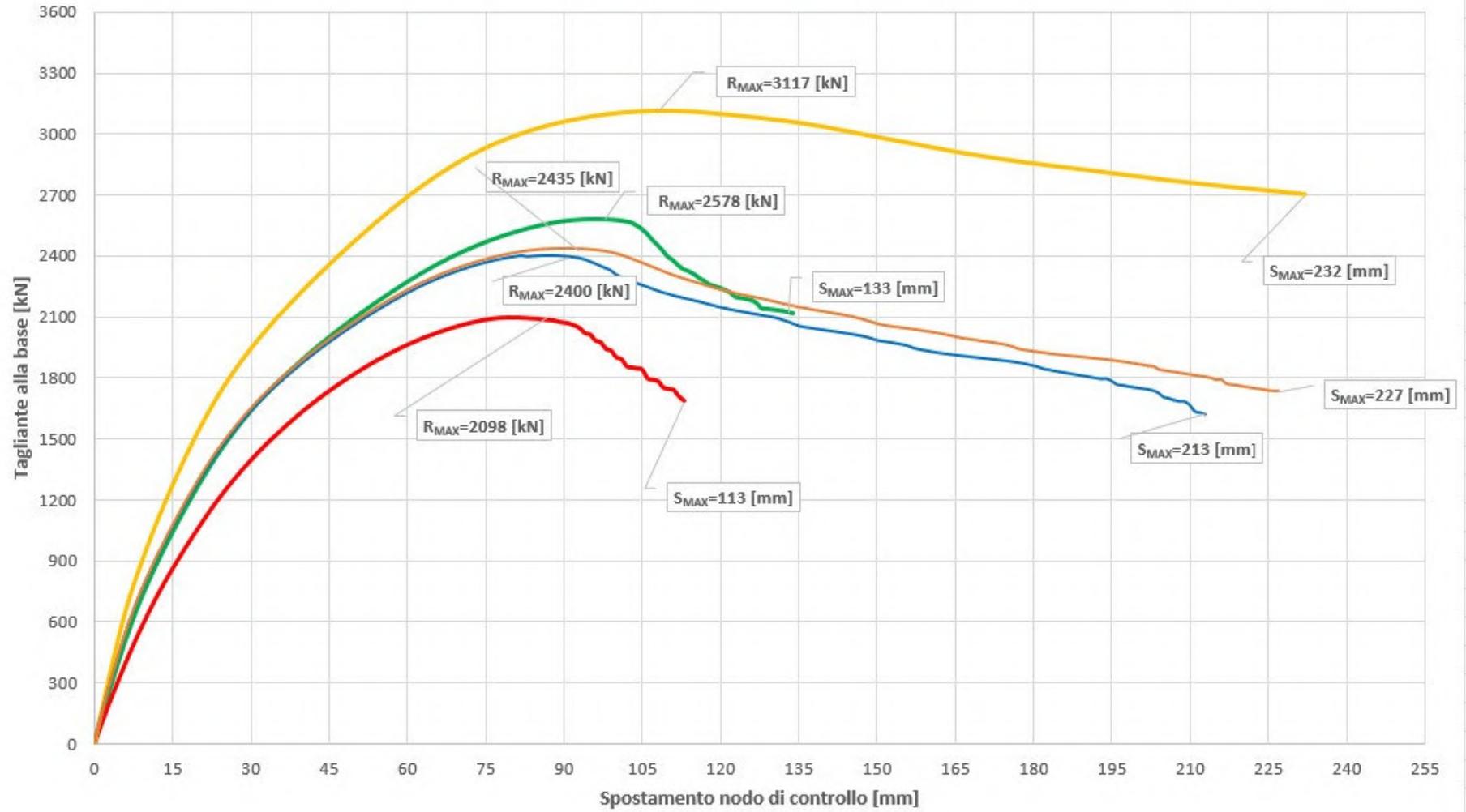


**CONFRONTO  
CURVE DI CAPACITA' IN DIREZIONE**

**X**

### Curve di capacità direzione X

Integra Degradata Incamiciata FRP CAM

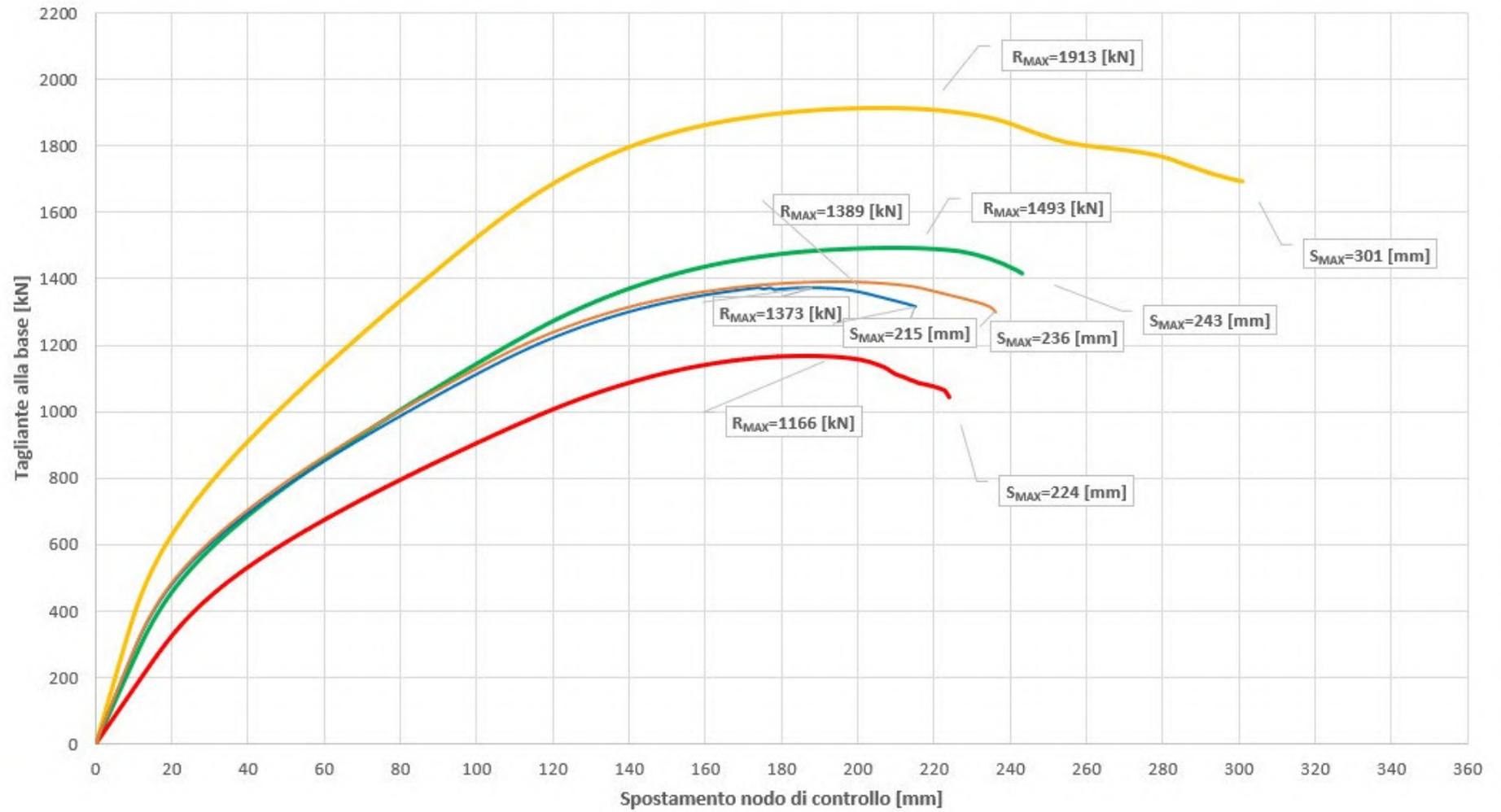


**CONFRONTO  
CURVE DI CAPACITA' IN DIREZIONE**

**Y**

### Curve di capacità direzione Y

Integra Degradata Incamiciata FRP CAM



# **ESEMPI DI RIPRISTINO STRUTTURALE MEDIANTE INCAMICIATURA**

[https://issuu.com/stradeeautostrade\\_edi-cem/docs/s\\_a136\\_4-2019/120](https://issuu.com/stradeeautostrade_edi-cem/docs/s_a136_4-2019/120)

# RIPRISTINO STRUTTURALE AD ALTA QUOTA

**B100, LA POMPA PER CALCESTRUZZO E BETONCINO DELLA BUNKER UTILIZZATA  
DALL'IMPRESA SPECIALIZZATA TE.VIA SRL NEGLI INTERVENTI DI RIPARAZIONE  
E MANUTENZIONE DEL VIADOTTO TRIGNO**

**N**ell'ambito della manutenzione programmata di opere d'arte dell'area compartimentale ANAS del Molise l'impresa Te.Via Srl di Vermezzo (MI), in qualità di affidataria del Consorzio stabile Grandi Lavori Scarl, sta realizzando due importanti progetti seguiti dall'Ing. Roberto Sciancalepore come Responsabile del Procedimento e dall'Ing. Leopoldo Perone come Direttore dei Lavori.

Il primo intervento è sulla S.S. 650 "Trignina", importante strada di collegamento tra il Molise e l'Abruzzo, e riguarda interventi di riparazione e manutenzione di parti del viadotto Trigno 2, uno dei numerosi presenti su questo importante asse di collegamento. Il viadotto si compone di 13 campate di circa 75 m per una lunghezza complessiva di 975 m. Le pile sono del tipo monocolonna a sezione rettangolare cava con larghezza costante nel lato di dimensione maggiore e variabile nel lato corto con misure di 10,60x4,7 m in pianta.

Il secondo intervento riguarda il rinforzo strutturale sul viadotto di scavalco del fiume Trigno a Montenero di Bisaccia (CB) sulla S.S. 16 "Adriatica". Il lavoro, in una delle sue parti, ha riguardato l'incamiciatura delle 19 pile costituite da due telai composti a loro volta da file di sei colonne di sezione quadrata (di 1x0,60 m) di altezza pari a 4,40 m.

Si tratta di un intervento di rinforzo strutturale ottenuto con l'incamiciatura delle colonne aumentandone lo spessore di 10 cm e utilizzando betoncino a elevata resistenza additivato a fibre d'acciaio pompato in cassette.

T. Viadotto Trigno 2 sulla S.S. 650



2. La spruzzatura della malta Basf MasterEmaco 5 499 FR tramite la B100



4. La B100 in fase di mescolazione e pompaggio del materiale

## IL RIPRISTINO DEI CALCESTRUZZI AMMALORATI

Gli interventi riguardano la riparazione delle pile 2 e 6 del viadotto Trigno e, nello specifico, il ripristino dei calcestruzzi ammalorati sulle quattro facciate. Le riparazioni prevedono una idrodemolizione ad alta pressione (2.800 bar) per uno spessore

che va dai 3 agli 8 cm, un'integrazione delle armature e il successivo ripristino dimensionale con malta cementizia premiscelata teotropica additivata con fibre lunghe polimeriche ad altissima tenacità, a espansione contrastata in aria, Basf MasterEmaco 5 499 FR. La successiva impermeabilizzazione completa l'opera di

riparazione e ripristino.

Un intervento come se ne vedono tanti in questi ultimi anni, ma reso complesso dalla altezza delle pile e dalla quantità di materiale da apportare. La pile 2, infatti, è alta 48 m e la pile 6 raggiunge i 79 m di altezza. La posa della malta è stata eseguita con l'ausilio della pompa per calcestruzzo, intonaci e betoncini B100 della Bunker.

La macchina di concezione semplice e robusta si è rivelata fin da subito di facile utilizzo e di grande affidabilità: dotata di miscelatore e compressore, ha permesso in completa autonomia e continuità la preparazione e la spruzzatura del materiale fibronforzato fornito in sacchi.

Il lavoro di applicazione è stato svolto in totale sicurezza e comodità grazie a un sistema ascensore-binario a cremagliera che copre l'intera superficie della pile.

Le altezze raggiunte, circa 50 m, e i quantitativi giornalieri impiegati, nell'ordine di circa 16.000-18.000 kg di malta posata, rendono bene l'idea della validità della pompa, considerando anche la presenza di fibre "lunghe" nell'impasto, quindi di non facile gestione.



3. La superficie della pile pronta per l'applicazione della malta



4. L'impermeabilizzazione della superficie



5. Il sistema di ascensore-binario a cremagliera per lavorare su tutta la superficie della pile

#### L'INTERVENTO STRUTTURALE DI INCAMICIATURA

La Bunker B100, grazie alla sua versatilità, è stata scelta anche per il lavoro di rinforzo strutturale del viadotto di scavalco del fiume Trigno a Montenero di Bisaccia sulla S.S. 16 "Adriatica"; infatti con la semplice sostituzione dello statore/rotore, è stato possibile utilizzare la medesima pompa impiegata nel consolidamento del viadotto Trigno della S.S. 650.



7. La B100 durante la preparazione del materiale e il getto del betonino

Dopo aver idrodemolito per circa 2/3 cm le superfici e posato l'armatura dei ferri aggiuntiva, si è proceduto con la cassetta in conci di altezza pari a 2 m per ognuna delle sei pile. Per il getto è stato utilizzato un betonino cementizio colabile auto-compattante fibronforzato con fibre di acciaio lunghe, di consistenza fluida, dotato di elevatissime prestazioni meccaniche ed elevata duttilità, Mapei Planitop HPC Floor 46.



8. Il pompaggio del betonino con il kit di tubazioni in acciaio



9. L'armatura aggiuntiva del palanco

#### La Te.Via Srl

Nel 2002 Abramo e Maurizio Basso Abbondanza e Angelo Pifferi decisero di unire le loro esperienze costituendo Te.Via Srl, Azienda altamente specializzata nel ripristino, recupero e ricostruzione di infrastrutture per il trasporto (ponti, viadotti e gallerie).



Oggi Te.Via ha sede a Vermezzo in un'area complessiva di 3.000 m<sup>2</sup>: la struttura operativa può contare su uno staff tecnico di 30 operatori tecnici specializzati coordinati direttamente da Abramo Basso Abbondanza.

È in grado di intervenire su tutto il territorio nazionale; in dieci anni di attività ha realizzato oltre 100 interventi distinguendosi per la capacità di operare con estrema duttilità in un settore altamente specializzato. Esegue idrodemolizioni, rinforzi con materiali compositi, sollevamento di ponti e viadotti, precompressione aggiuntiva con trefoli e barre, posizionamento giunti di dilatazione. È qualificata per l'esecuzione di lavori pubblici con Attestazione SOA per le categorie OG1 - d, II e OG3 - d, IV rilasciata da COOP SpA e ha inoltre un sistema di gestione della qualità con certificazione UNI EN ISO 9001: 2000 rilasciata da DNV.

Te.Via possiede inoltre un sistema di gestione della salute e sicurezza sul lavoro conforme alla Norma. Mediante specifici cicli di lavorazione è in grado di intervenire nella ricostruzione, il ripristino e la manutenzione di infrastrutture per il trasporto (ponti, viadotti, gallerie, aeroporti e ferrovie). Opere per il ripristino di strutture in calcestruzzo armato in campo civile, industriale e stradale.

Il pompaggio del betonino all'interno del cassero è stato eseguito utilizzando il kit pompaggio, consistente di tubazioni in acciaio con diametro 80 mm. La difficoltà delle operazioni di getto era dovuta alla elevata "collosità" del materiale, alla dimensione dell'inerte 6/8 mm e alla presenza di fibre di acciaio lunghe, che avrebbero potuto causare un "effetto ponte" intasando le tubazioni.

La pompa Bunker ha superato tranquillamente le operazioni di convezionamento del materiale.

#### La pompa Bunker B100

Da oltre 30 anni, la Bunker Tek sp.ed produce macchine e attrezzature per la spruzzatura e il pompaggio di calcestruzzo, malte e conglomerati cementizi contribuendo all'evoluzione di questo settore.

La B100 rappresenta una delle macchine più versatili e interessanti della gamma. Si tratta della pompa per calcestruzzo a cavità elicoidale, più piccola al mondo.

A totale funzionamento oleodinamico, con regolazione progressiva della portata e della pressione, è unica sul mercato in quanto in grado di sostituire - in alcune circostanze - macchine di categoria superiore molto più costose e di difficile manovrabilità.

Con la B100 è possibile pompare malte e calcestruzzo con inerti fino a 25 mm, spruzzare intonaci e betoncini (spritz beton) e iniettare micropali e tranci.



Caratteristica peculiare della B100 è la separazione tra la centralina e la pompa. Il collegamento tra le due unità è assicurato da una resistente tubazione flessibile con innesti rapidi, permettendo l'alimentazione anche a notevole distanza.

Questa originale soluzione consente alla B100 di avere peso e dimensioni ridotte facilitandone il trasporto e il posizionamento nei cantieri di difficile accesso: centri storici, scarpate, ecc.

Un ulteriore vantaggio è che la pompa può essere alimentata anche da un'altra macchina operatrice: un escavatore, una perforatrice, munita di adeguate presa di potenza.

Questo significa che è possibile acquistare solo la pompa, riducendo l'investimento.

La centralina idraulica è una vera e propria unità di potenza che, con i suoi 37 kW e 90 l di portata d'olio è capace di alimentare in sicurezza non solo la B100 ma anche alcuni utensili idraulici: perforatori, trivelle, seghe.

11. La centralina oleodinamica e la pompa B100 collegate mediante la tubazione flessibile con innesti rapidi

Dopo aver posto alcune domande al Responsabile di Cantiere dell'impresa Te.Via, il Geom. Fabrizio Cominazzini, è emerso che i cantieri - iniziati nell'autunno del 2018 - proseguono regolarmente senza problemi e con buoni risultati in termini di attrezzature utilizzate e di prodotto applicato giornalmente (18.000 kg).

La B100 della Bunker, data la sua affidabilità e semplicità d'uso, rappresenta una sostanziale e valida collaborazione nell'utilizzo e nella posa delle moderne malte e betoncini di nuova concezione: una pompa estremamente versatile che permette di mescolare e pompare diverse tipologie di materiali e malte preconfezionate, risultando idonea per varie tipologie di lavori, dalla spruzzatura di intonaci e betoncini fibronforzati al pompaggio di calcestruzzo.

#### DATI TECNICI

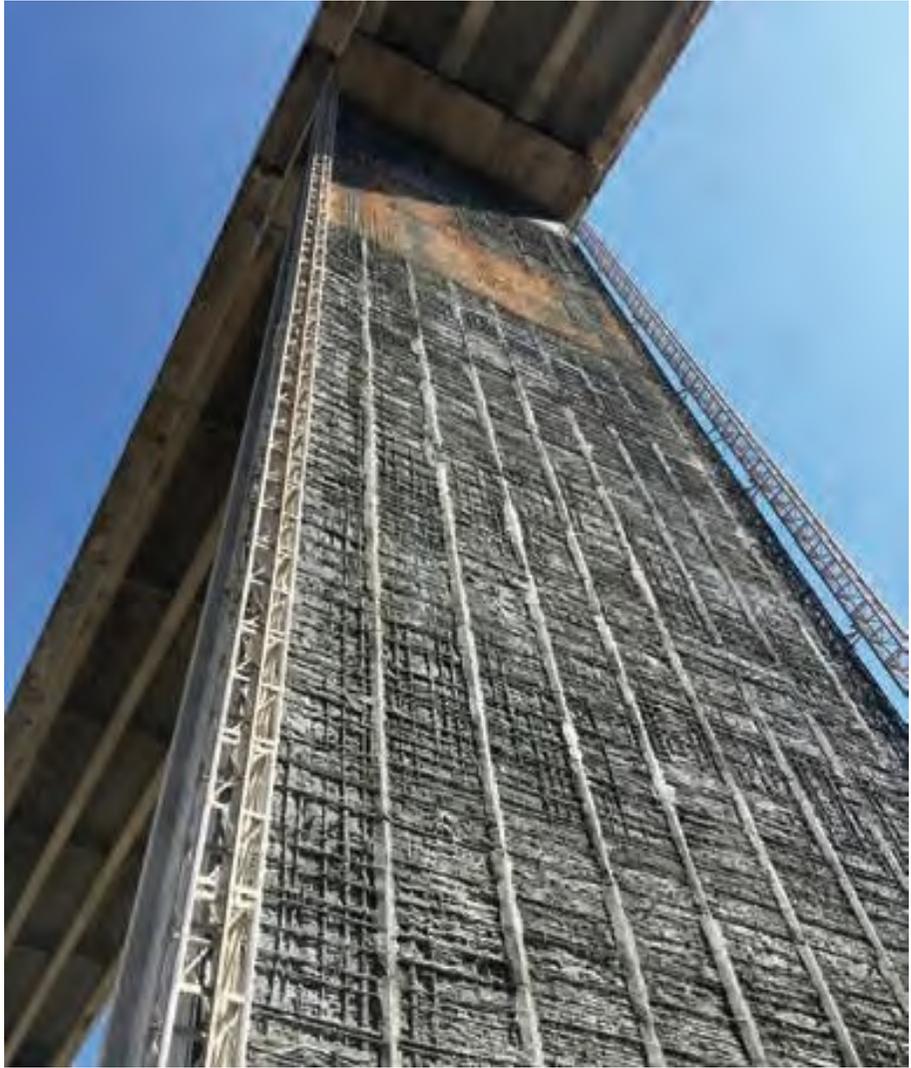
Centralina oleodinamica  
Motore diesel: 37 kW  
Motore elettrica: 18,5 kW  
Portata idraulica: 90 l/min  
Pressione idraulica: 140 bar

Pompa B100  
Altezza: 805 mm (1.460 mm con mescolatore)  
Lunghezza: 2.420 mm  
Larghezza: 900 mm  
Peso: 420 kg  
Capacità della tramoggia: 180-350 l



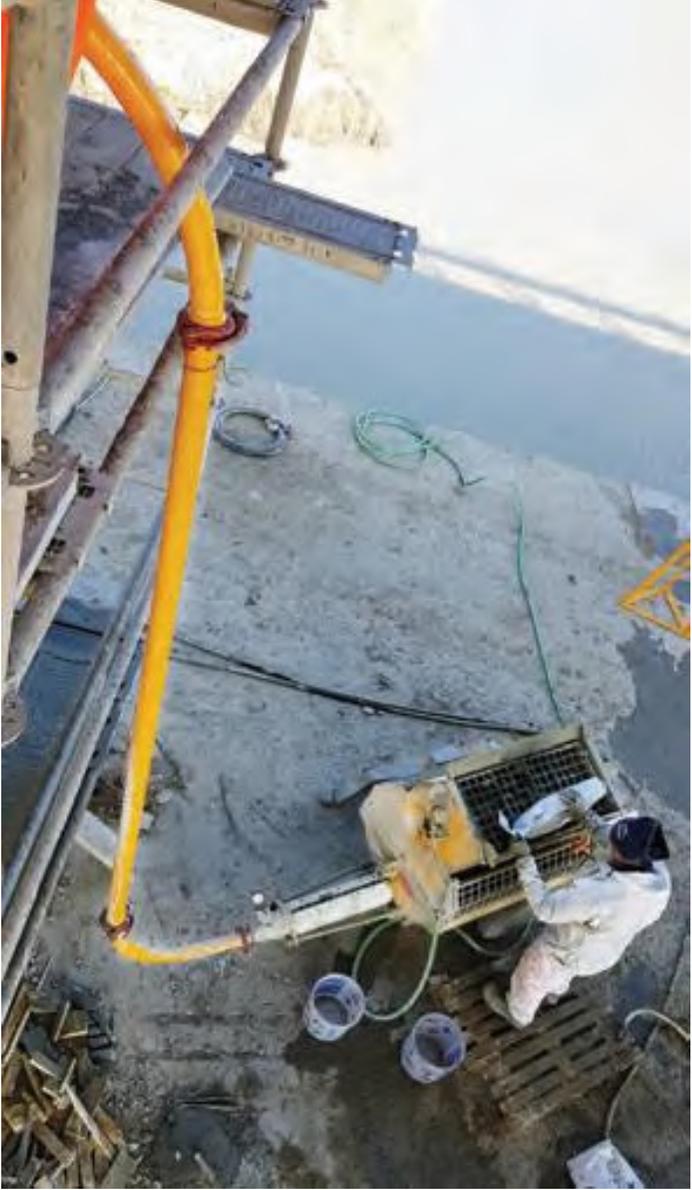
**Con malta cementizia Tixotropica**





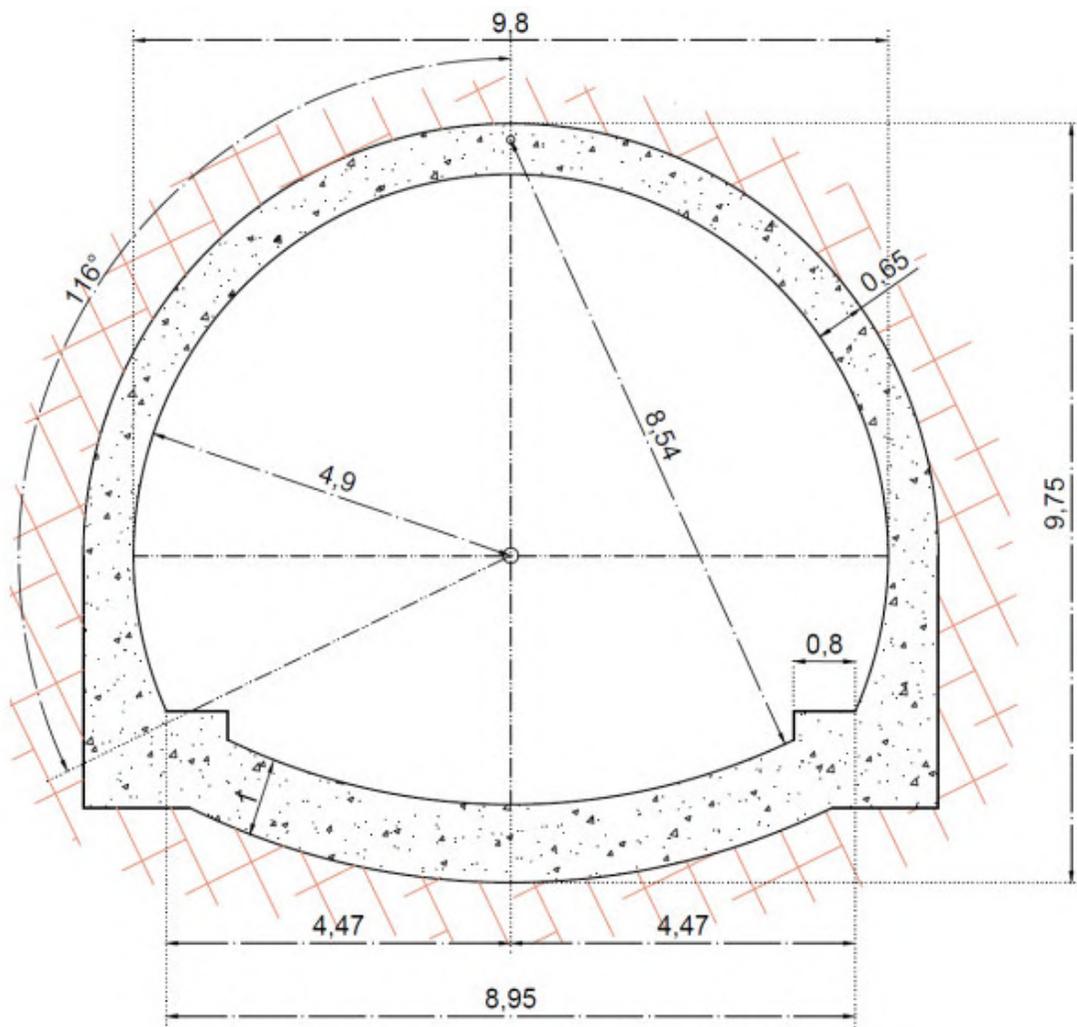
## Con malta cementizia Colabile





**STIMA CAPACITA'  
PORTANTE  
RIVESTIMENTO  
GALLERIA IN C.A.**

## Geometria rivestimento galleria



## Articolo di riferimento

Safety criteria and numerical analyses of Concrete Lining of Railway Tunnels in fire situation

Criteri di verifica ed analisi numeriche del rivestimento in c.a. di gallerie ferroviarie in condizioni di incendio

D. de Silva<sup>1</sup>, E. Di Marino<sup>2</sup>, E. Nigro<sup>3</sup>, A. Viglione<sup>4</sup>

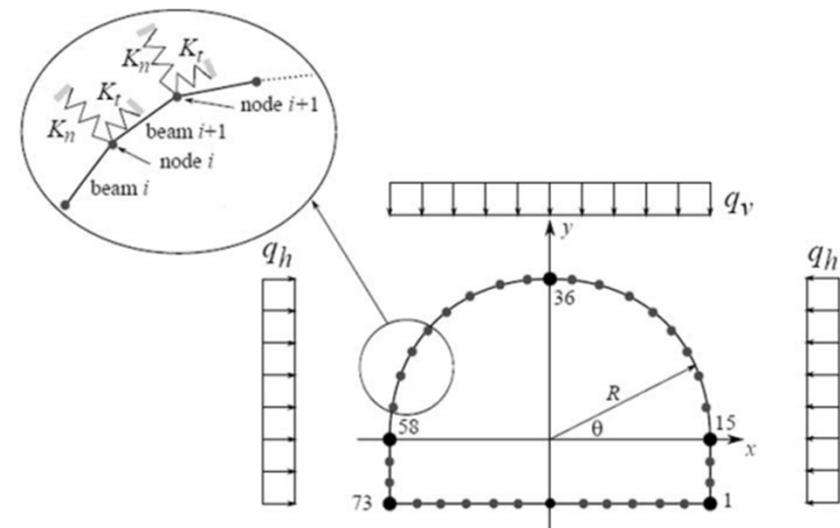
<sup>1</sup> Department of Structures for Engineering and Architecture, University of Naples Federico II, Napoli, Italy

<sup>2</sup> Department of Structures for Engineering and Architecture, University of Naples Federico II, Napoli, Italy

<sup>3</sup> Department of Structures for Engineering and Architecture, University of Naples Federico II, Napoli, Italy

<sup>4</sup> RFI - Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane, Technical Head Office, Standard for Infrastructure, Tunnelling, Italy

## Modello geo-strutturale



# Scenario di degrado all'intradosso del rivestimento della galleria - Aggressione CO<sub>2</sub> -

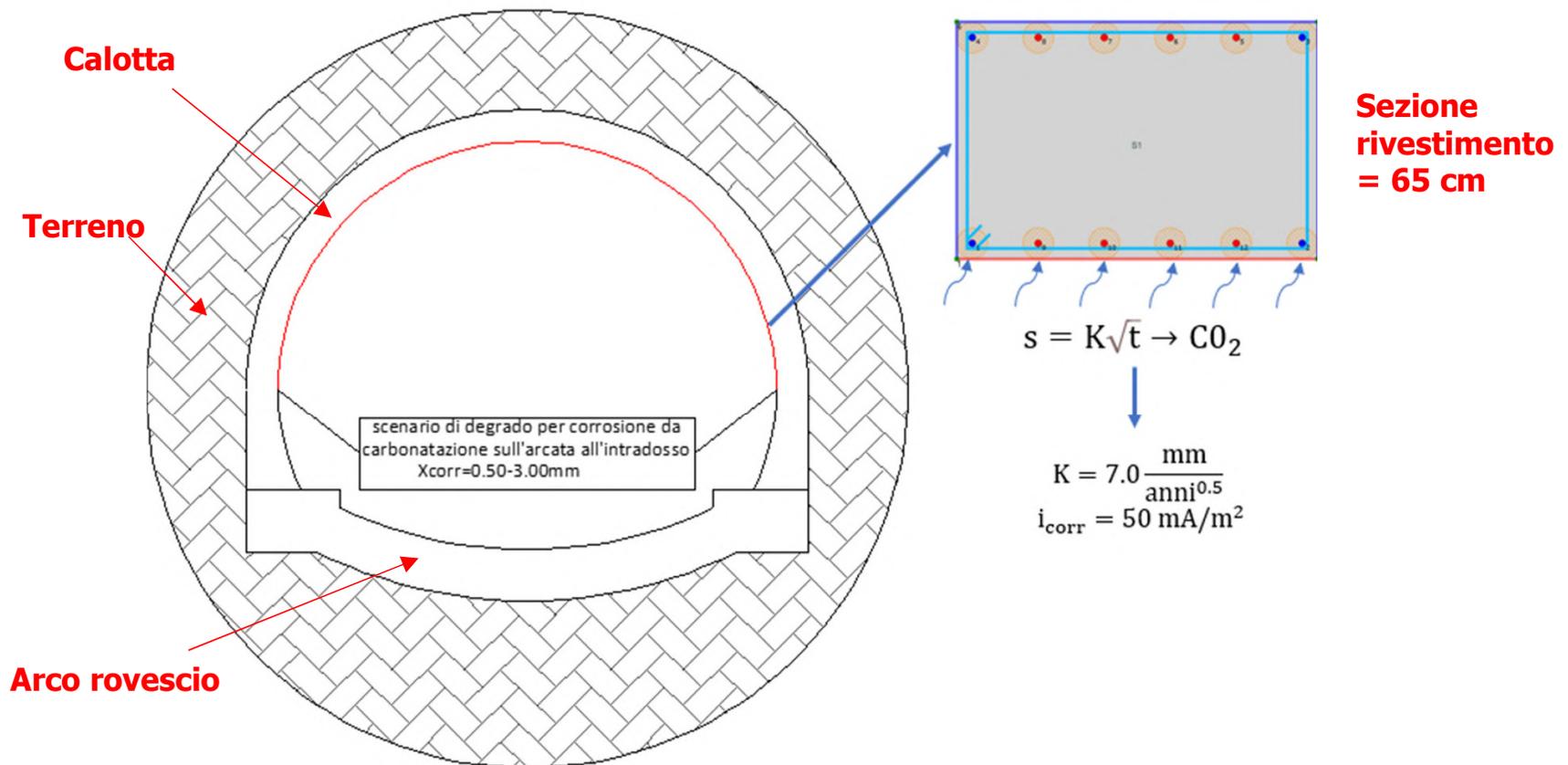
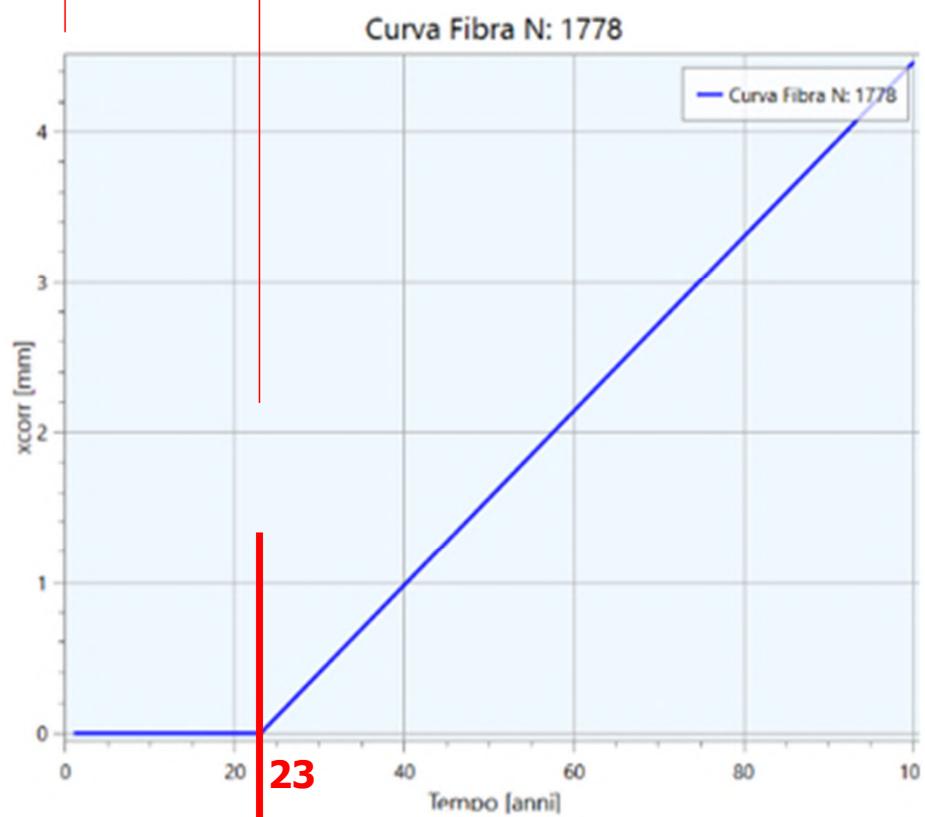
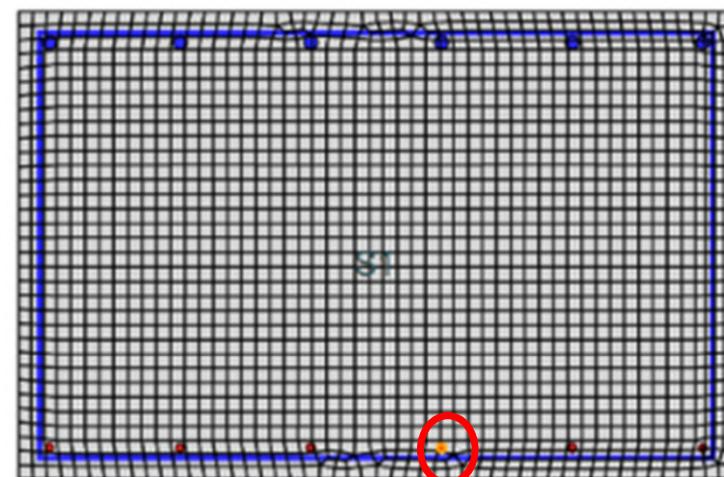
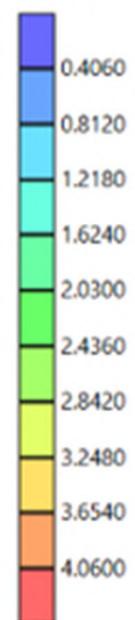


Fig.3. Sezione della galleria - Scenario di degrado arcata intradosso

**Tempo  
di  
innesco  
pari a  
23 anni**



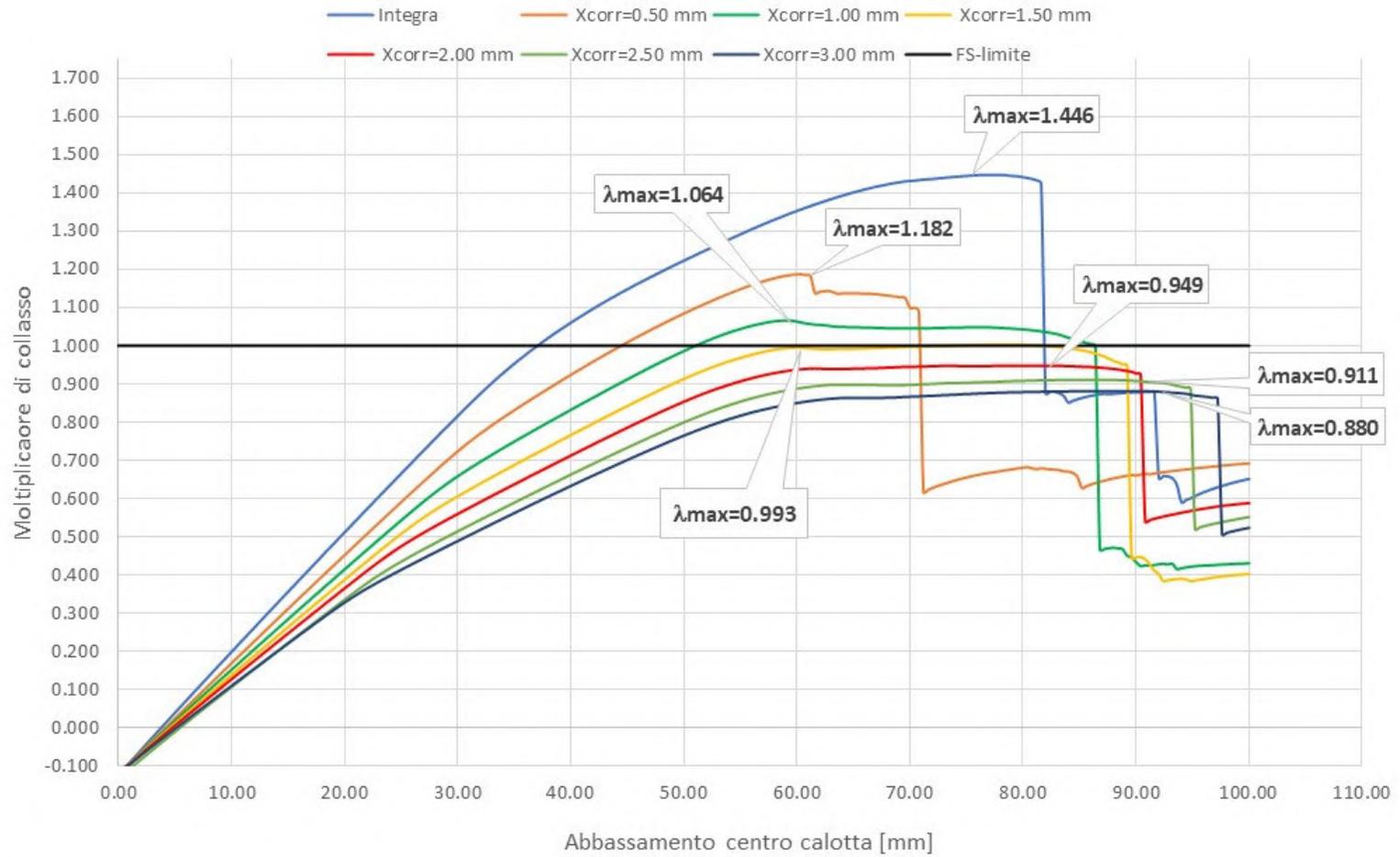
xcorr [mm]



**Tempo = Passo 100 anni**

(Minimo = 0.0000 mm)  
(Massimo = 4.6600 mm)

### Curve di capacità



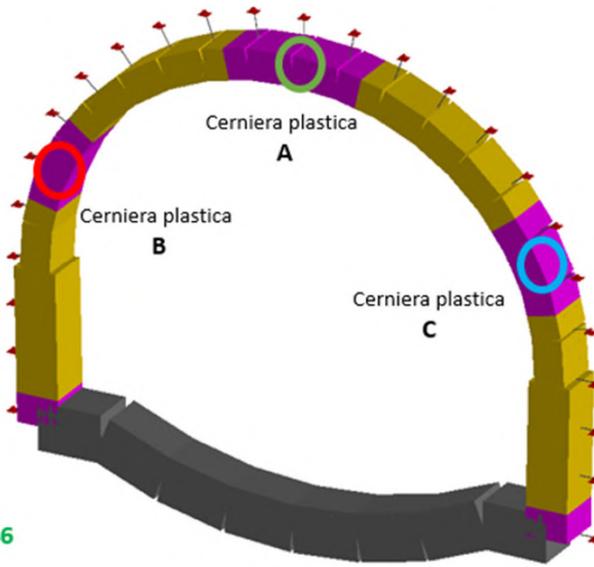
# ANALISI PUSH-DOWN – CURVA CAPACITA, MECCANISMO E MOLTIPLICATORE DI COLLASSO

Integra

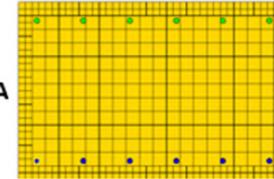
$\lambda_{MAX}=1.446$  Formazione di un cinematismo nell'arcata con rottura cerniere alle reni

Legenda stato di danno

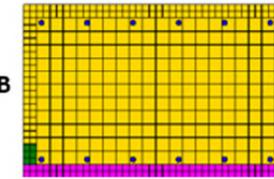
- Nessuno
- Elastico
- Cls Fessurato
- Cls Plastico
- Cls Schiacciamento Non Confinato
- Cls Schiacciamento Confinato
- Acc Plastico
- Instabilità Compressione
- Rottura Trazione
- Collasso a taglio



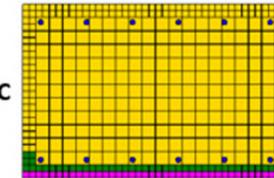
Sezione A



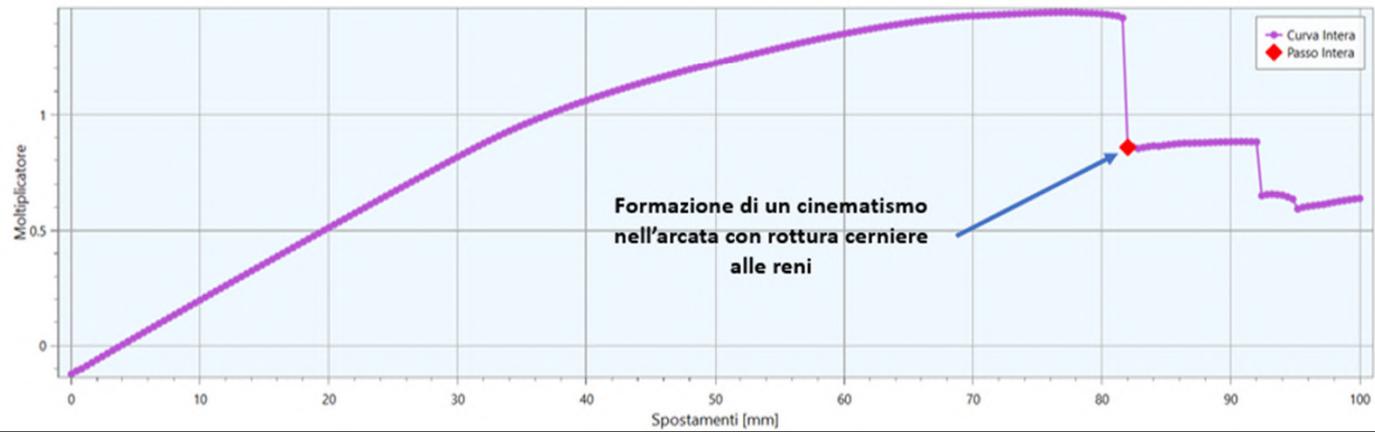
Sezione B



Sezione C



Struttura integra -  $\lambda_{MAX}=1.446$

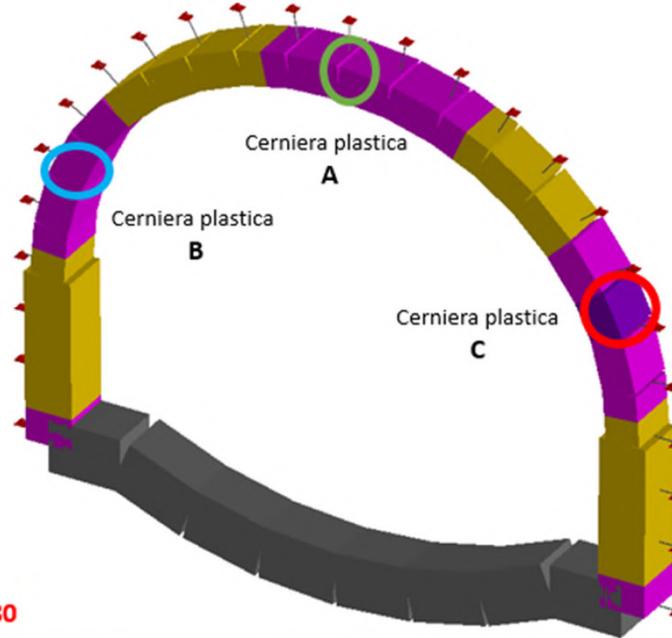


$x_{CORR}=3.0$  mm

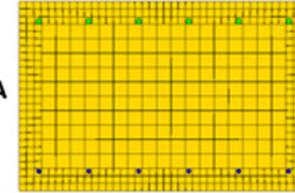
$\lambda_{MAX}=0.880$  Formazione di un cinematismo nell'arcata con rottura cerniera destra alle reni

**Legenda stato di danno**

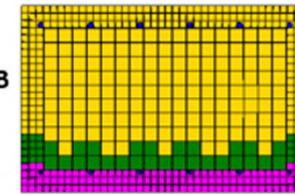
- Nessuno
- Elastico
- ClS Fessurato
- ClS Plastico
- ClS Schiacciamento Non Confinato
- ClS Schiacciamento Confinato
- Acc Plastico
- Instabilità Compressione
- Rottura Trazione
- Collasso a taglio



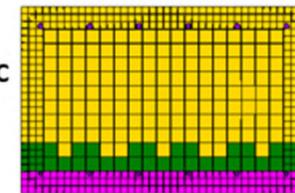
Sezione A



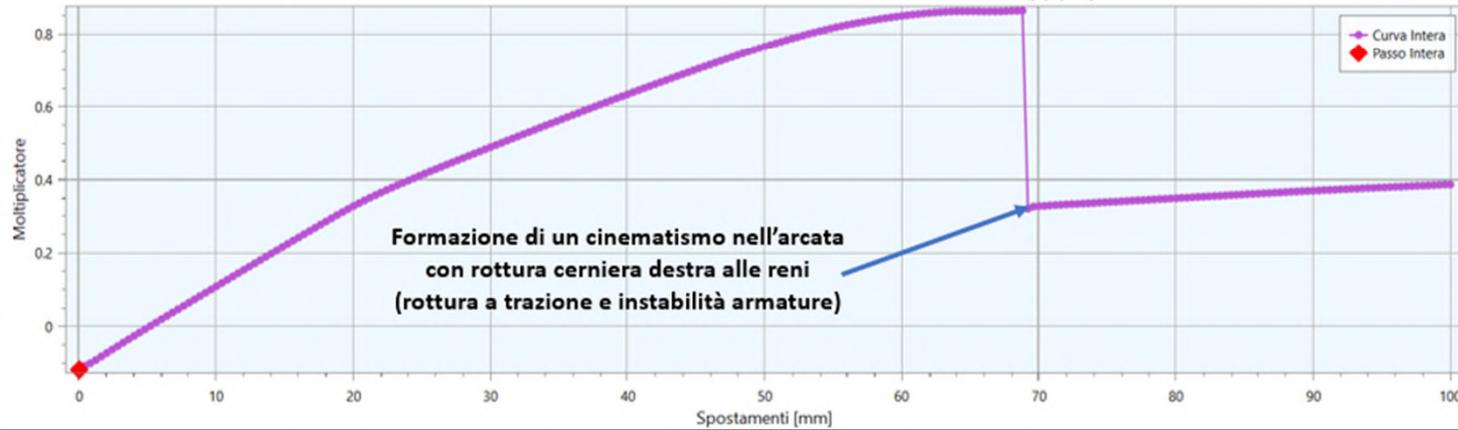
Sezione B



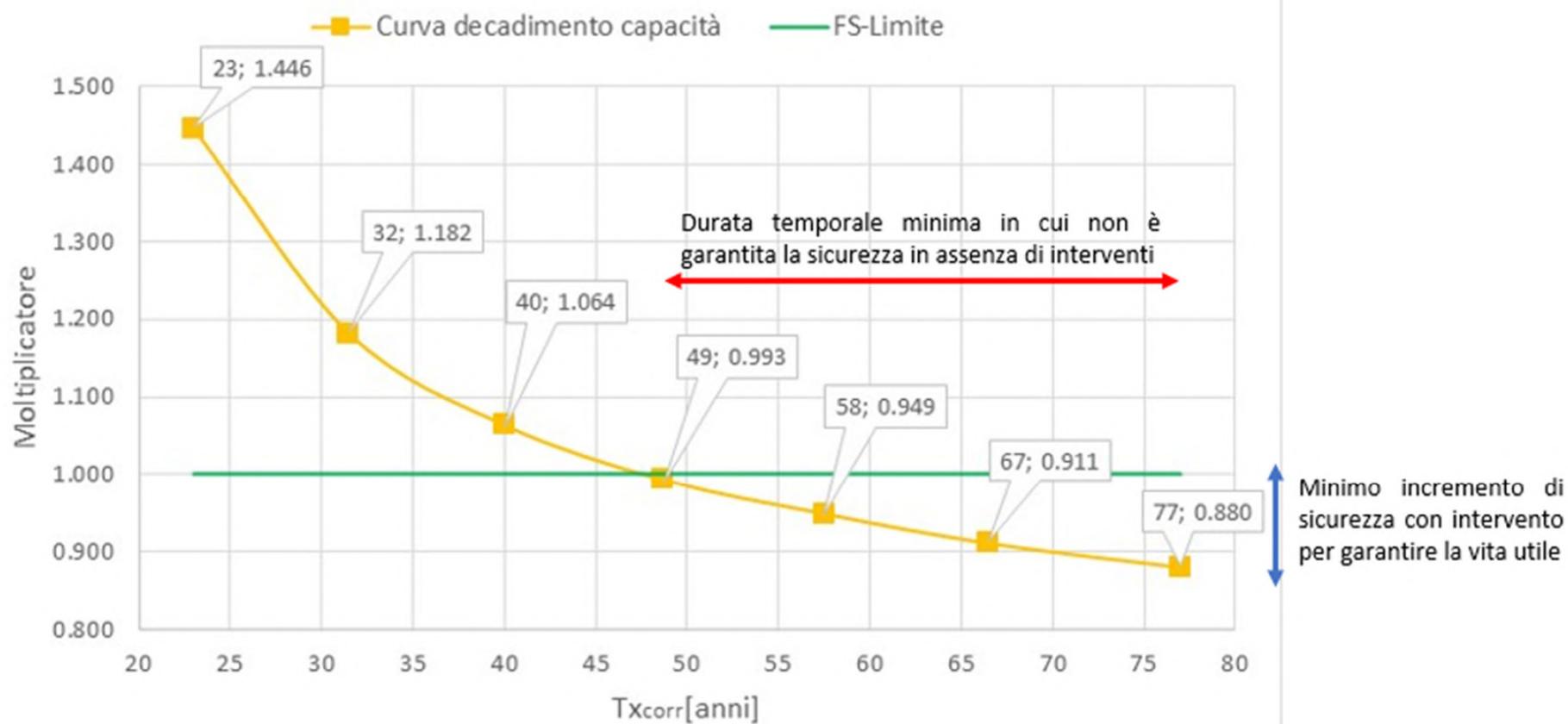
Sezione C



$x_{CORR}=3.00$  mm -  $\lambda_{MAX}=0.880$



## Andamento moltiplicatore di collasso - vita struttura



**Dai risultati sopra riportati si possono trarre le seguenti considerazioni:**

- **La galleria in assenza di degrado è idonea staticamente a sopportare le principali azioni (spinta in calotta/piedritti) con moltiplicatore di collasso pari a 1.446. Il probabile meccanismo di collasso coinvolge l'arcata in corrispondenza delle sezioni alle reni più sollecitate;**
- **L'innesco della corrosione inizia dopo un periodo di 23 anni come definito dall'analisi diffusiva;**
- **Per un livello di corrosione variabile tra 0.5 e 1.00 mm rispettivamente dopo 32 e 40 anni la capacità portante della galleria si riduce a 1.064 con variazione massima del 36% con ridotto margine di sicurezza;**
- **Un livello di corrosione pari a 1.50 mm con fattore di sicurezza 0.993 rappresenta una condizione limite ad un tempo di 49 anni;**
- **Per livelli di corrosione superiore a 1.50 e fino a 3.00 mm pari a 77 anni, la struttura non è idonea staticamente a sopportare i carichi di progetto e la riduzione del moltiplicatore di collasso è superiore al 65%;**
- **Il meccanismo di collasso della galleria in condizioni di degrado interessa la parte esposta dell'arcata con collasso delle sezioni alle reni (singola o simultaneamente) per rottura a trazione e instabilità a compressione dell'acciaio del rivestimento.**

QUADERNI DI PATOLOGIA EDILIZIA

MATTEO FELITTI, LUCIA ROSARIA MECCA

## IL DEGRADO DELLE STRUTTURE IN CALCESTRUZZO ARMATO

Diagnosi, monitoraggio e soluzioni per il recupero

II Edizione ampliata e aggiornata



Con casi studio online  
illustrati e commentati

MAGGIOLI  
EDITORE

Matteo Felitti, Francesco Oliveto  
Danilo Pelle, Filippo Valvona

## VALUTAZIONE DI PONTI E VIADOTTI ESISTENTI SOGGETTI A RISCHIO STRUTTURALE IN CONDIZIONI STATICHE, SISMICHE E DI DEGRADO

ASPETTI INNOVATIVI SULLE TECNICHE DI MODELLAZIONE, ANALISI E VERIFICHE  
PER LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA DI LIVELLO 4 ASSOCIATA AL RISCHIO SISMICO,  
STRUTTURALE, TRANSITABILITÀ E DEGRADO

- Approccio Multilivello per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio di ponti e viadotti
- Valutazione della vulnerabilità associata al rischio sismico
- Valutazione della vulnerabilità associata al rischio strutturale
- Valutazione della transitabilità di ponti e viadotti
- Valutazione della vulnerabilità di ponti e viadotti soggetti a degrado
- Esempi e casi di studio

Associato al volume le licenze full (90 gg) dei software professionali  
Degrado Next e Fata Next di STACEC

CONSTRUZIONI, ANTISISMICA & NORMATIVA TECNICA  
Direzione scientifica Andrea Barocci

MAGGIOLI  
EDITORE



**ARTICOLI: <https://www.ingenio-web.it/articoli/autori/felitti-matteo/>**

**SOFTWARE: <https://www.stacec.com/?AspxAutoDetectCookieSupport=1>**

**GRAZIE PER  
L'ATTENZIONE.**

**Matteo Felitti**

**Strutturista ed Esperto in Degrado del Calcestruzzo Armato**

**ISPETTORE PONTI, VIADOTTI E PASSERELLE**

**ENGINEERING & CONCRETE CONSULTING**

**Università degli Studi di Napoli Federico II**

**Email:**

**[ingegneria.cls@gmail.com](mailto:ingegneria.cls@gmail.com)**

**[matteo.felitti@unina.it](mailto:matteo.felitti@unina.it)**

**Cell. 348.8525102**