



UNIONE EUROPEA
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Ministero dell'Università
e della Ricerca



*Mitigazione dei rischi naturali per la sicurezza e la mobilità
nelle aree montane del Mezzogiorno*

Influenza della corrosione delle armature sul comportamento meccanico di pile da ponte

Amedeo Flora, Vito Possidente, Giuseppe Forlenza, Donatello Cardone



Scuola di Ingegneria, Università della Basilicata, Potenza.

22-23 Giugno 2023



UNIONE EUROPEA
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Estratto da: Secondo convegno annuale del progetto MITIGO - 22-23 Giugno 2023 - Sommari degli interventi e presentazioni

© 2023 Università degli Studi della Basilicata

Editrice Universosud – Potenza

ISBN 9791281551008



Pubblicazione realizzata con il cofinanziamento dell'Unione Europea – FESR, PON Ricerca e Innovazione 2014-2020.

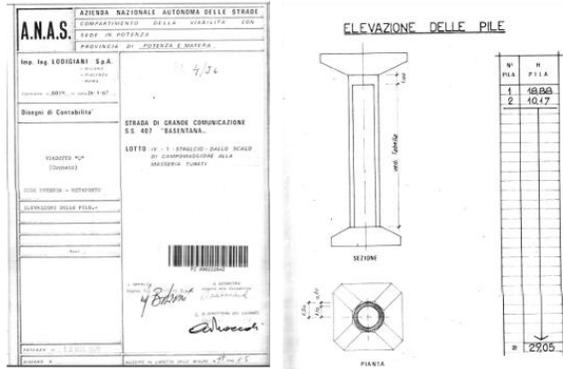
www.ponricerca.gov.it

O.R.6.1

Influenza del degrado sulle prestazioni sismiche viadotti SS407

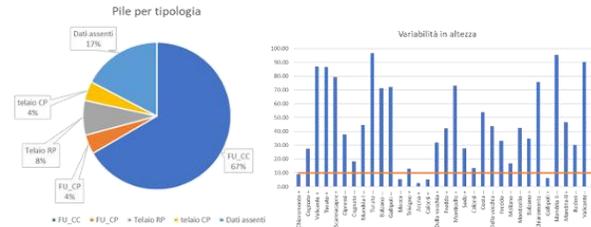
DATABASE

Raccolta di dati geometrici e meccanici relativi a tutte le pile della tratta Potenza-Ferrandina (circa 100 viadotti)

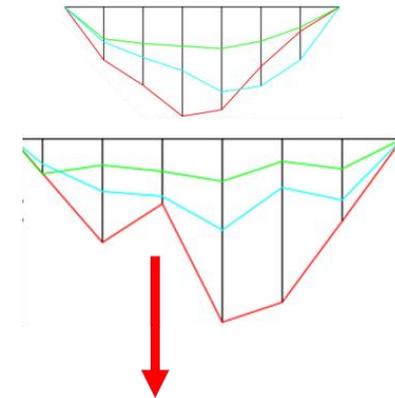


ANALISI STATISTICA

Definizione di schemi di viadotto rappresentativi



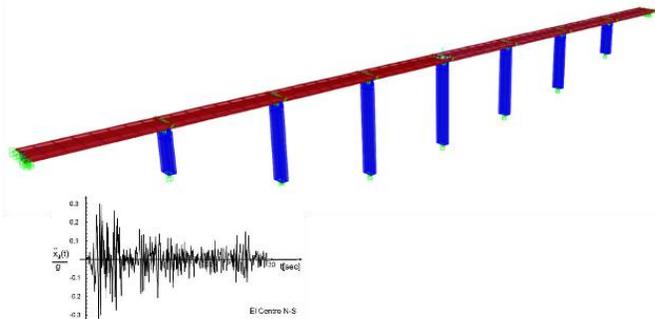
CASI STUDIO



Selezione di possibile casi studio diversi per numero di campate, schema plano-altimetrico e variabilità in altezza delle pile

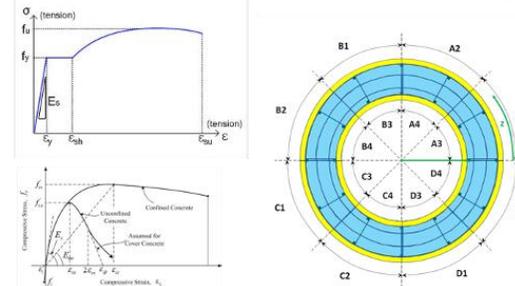
PRESTAZIONI SISMICHE VIADOTTO

Analisi dinamiche nonlineari per diversi scenari di degrado al fine di valutare l'influenza sulle prestazioni sismiche di un selezionato caso studio pilota



MODELLAZIONE COMPORTAMENTO PILE

Analisi pushover di modelli a fibre con e senza degrado



SCENARI DI DEGRADO



Valutazione dello stato di degrado delle pile delle opere della rete sulla base delle più recenti schede di ispezione

U_1		INTENSITÀ		
		BASSA	MEDIA	ALTA
ESTENSION	BASSA	C1	C1	B4
	MEDIA	C1	B4	B3
	ALTA	B4	B3	B2



PILE – MECCANISMI DUTTILI (Flessione)





PILE – MECCANISMI FRAGILI (Taglio)



2. COMPORTAMENTO SISMICO DI PONTI ESISTENTI



ROTTURA APPARECCHI DI APPOGGIO (IN ACCIAIO FISSI/MOBILI)



2. COMPORTAMENTO SISMICO DI PONTI ESISTENTI

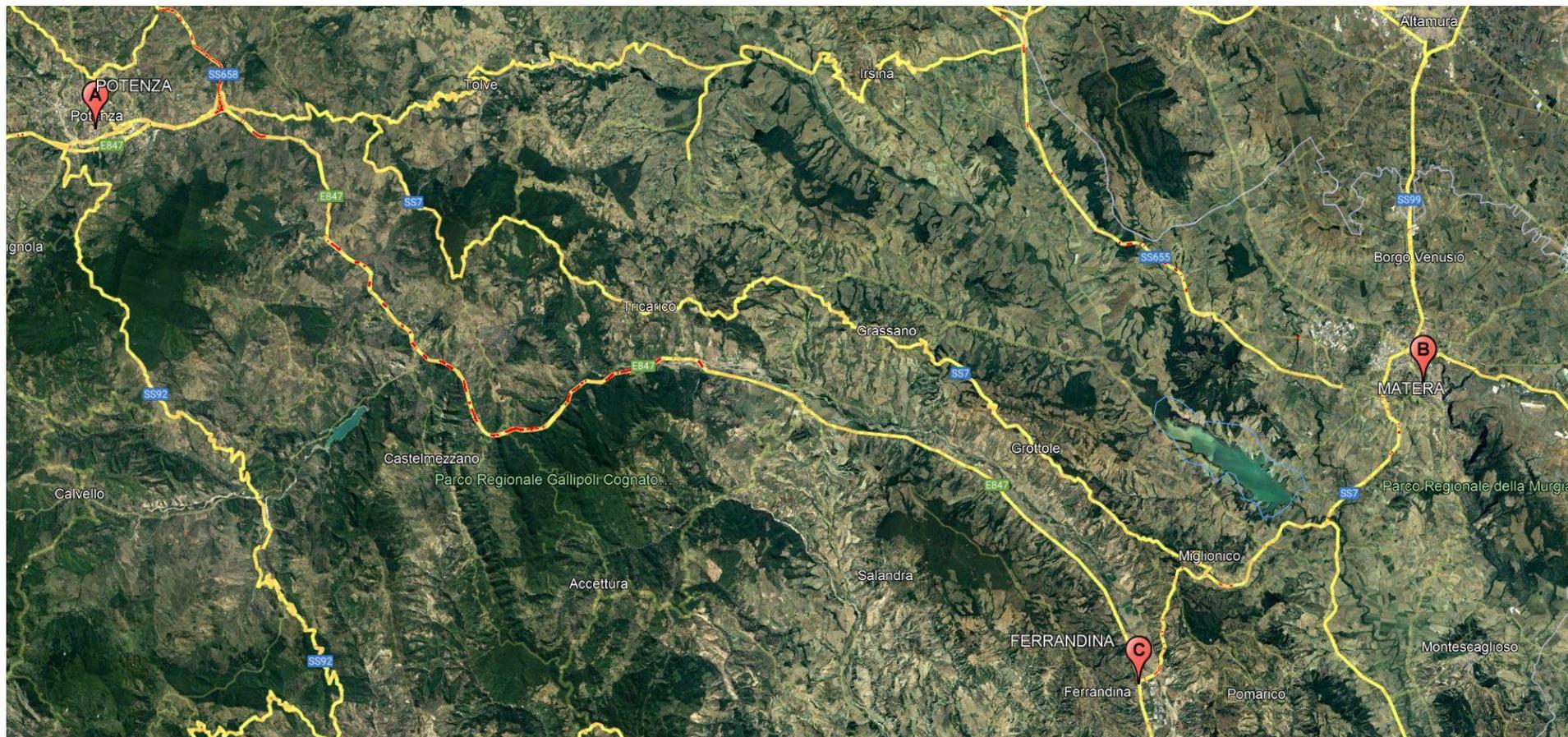


ROTTURA APPARECCHI DI APPOGGIO (IN NEOPRENE

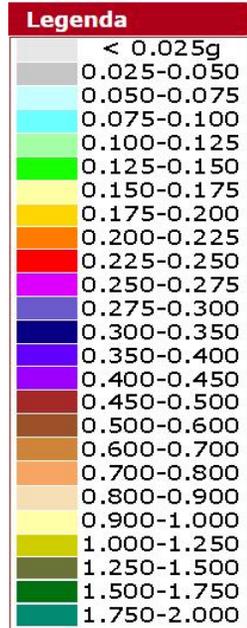
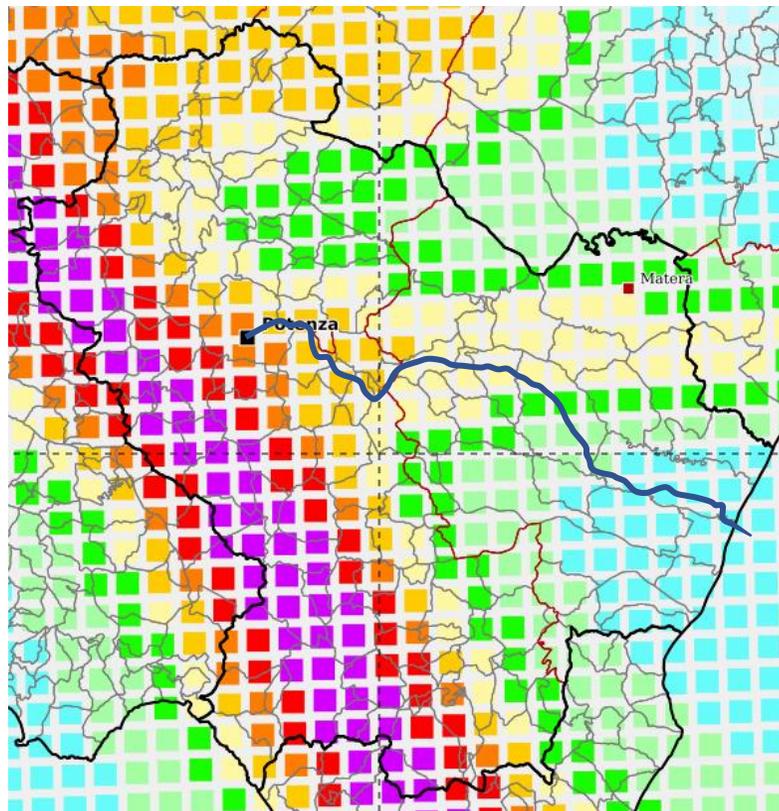




SS407 Basentana (Tratta da Potenza a Ferrandina)



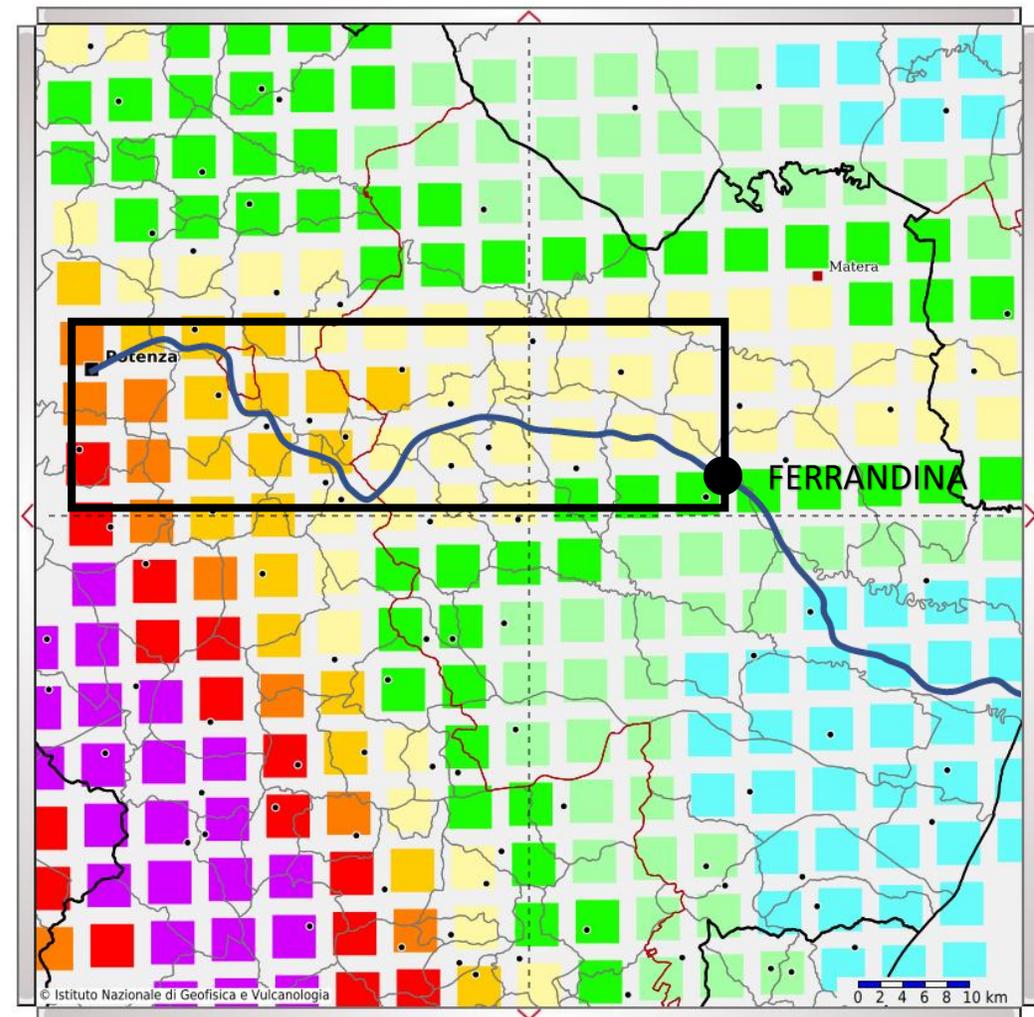
4. PERICOLOSITÀ SISMICA



Parametro dello scuotimento:

Probabilità in 50 anni:

Percentile:



**PGA (500 anni, suolo A)
lungo tratta di interesse**

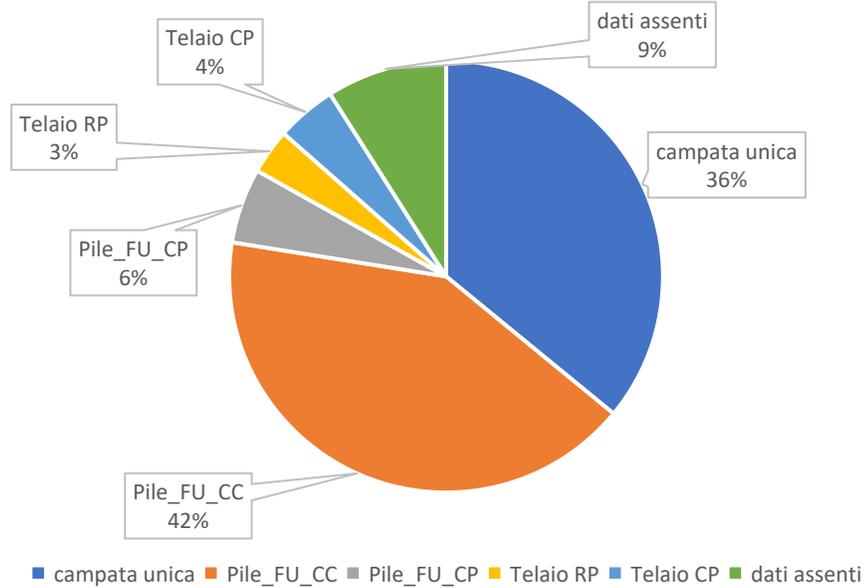
0.200 – 0.225
0.175 – 0.200
0.150 – 0.175
0.125 – 0.150
0.100 – 0.125
0.075 – 0.100

Fonte: <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>

6. TIPOLOGIE PILE



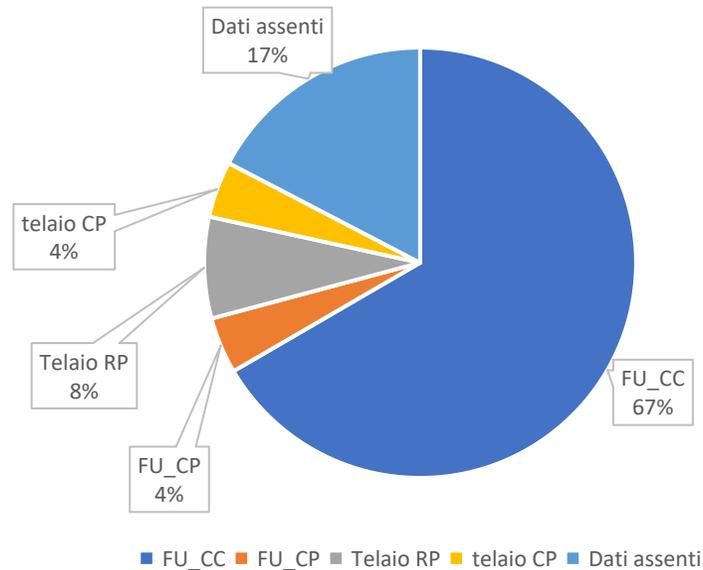
Viadotti per tipologia di pile



VIADOTTI	
campata unica	32
Pile_FU_CC	37
Pile_FU_CP	5
Telaio RP	3
Telaio CP	4
dati assenti	8
TOTALE	89

~73%

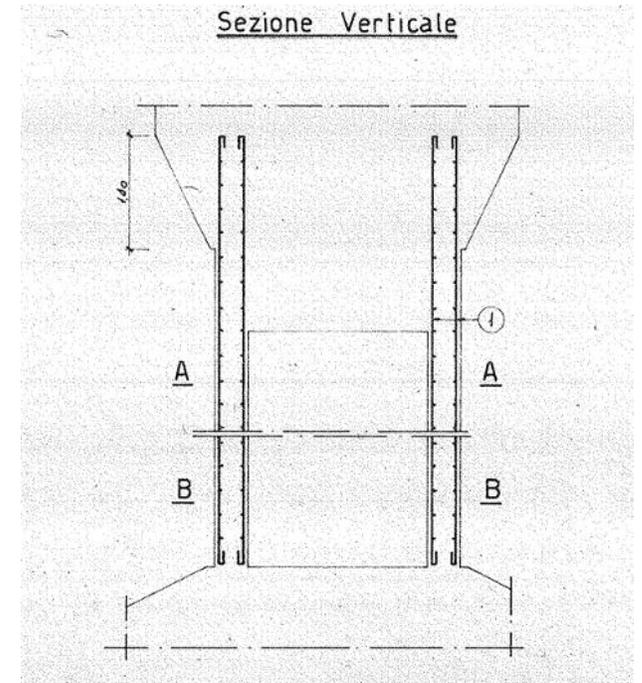
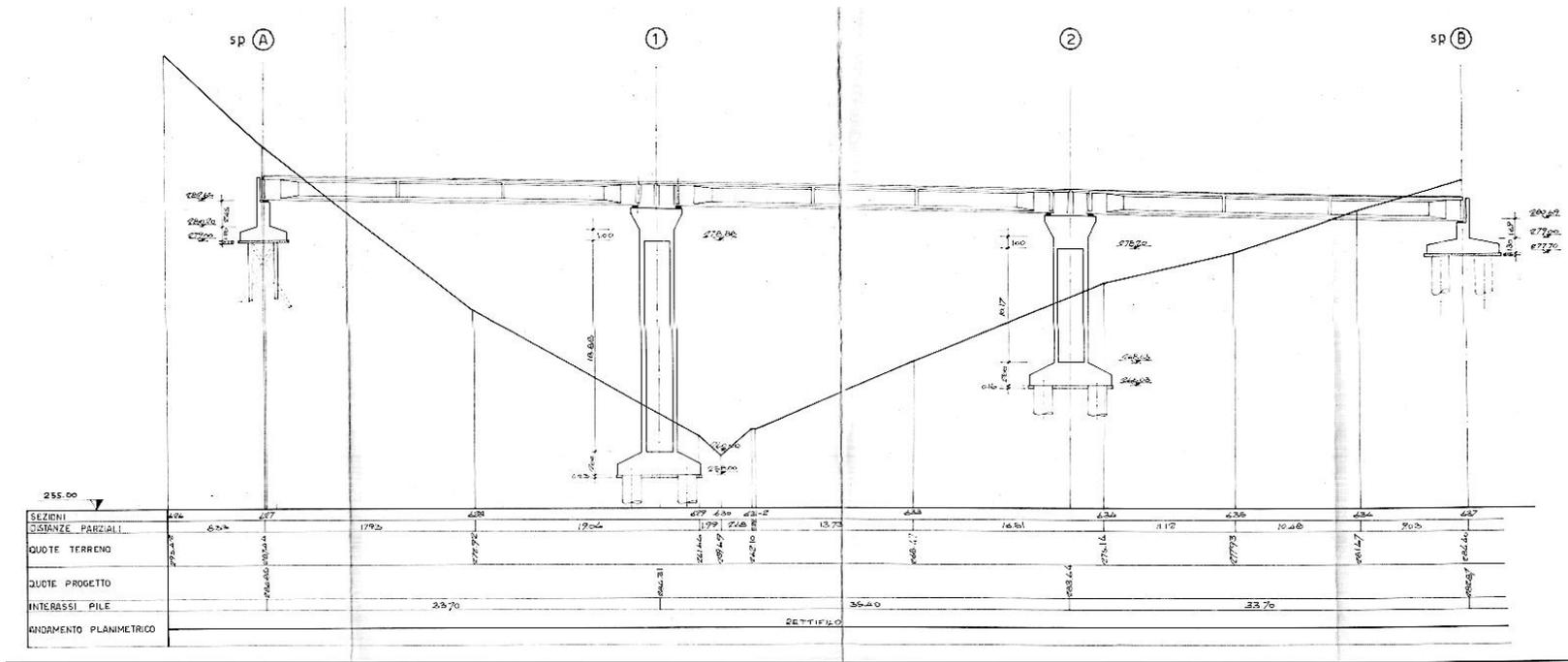
Pile per tipologia



PILE	
FU_CC	315
FU_CP	20
Telaio RP	36
telaio CP	20
Dati assenti	82
TOTALE	473

~70%

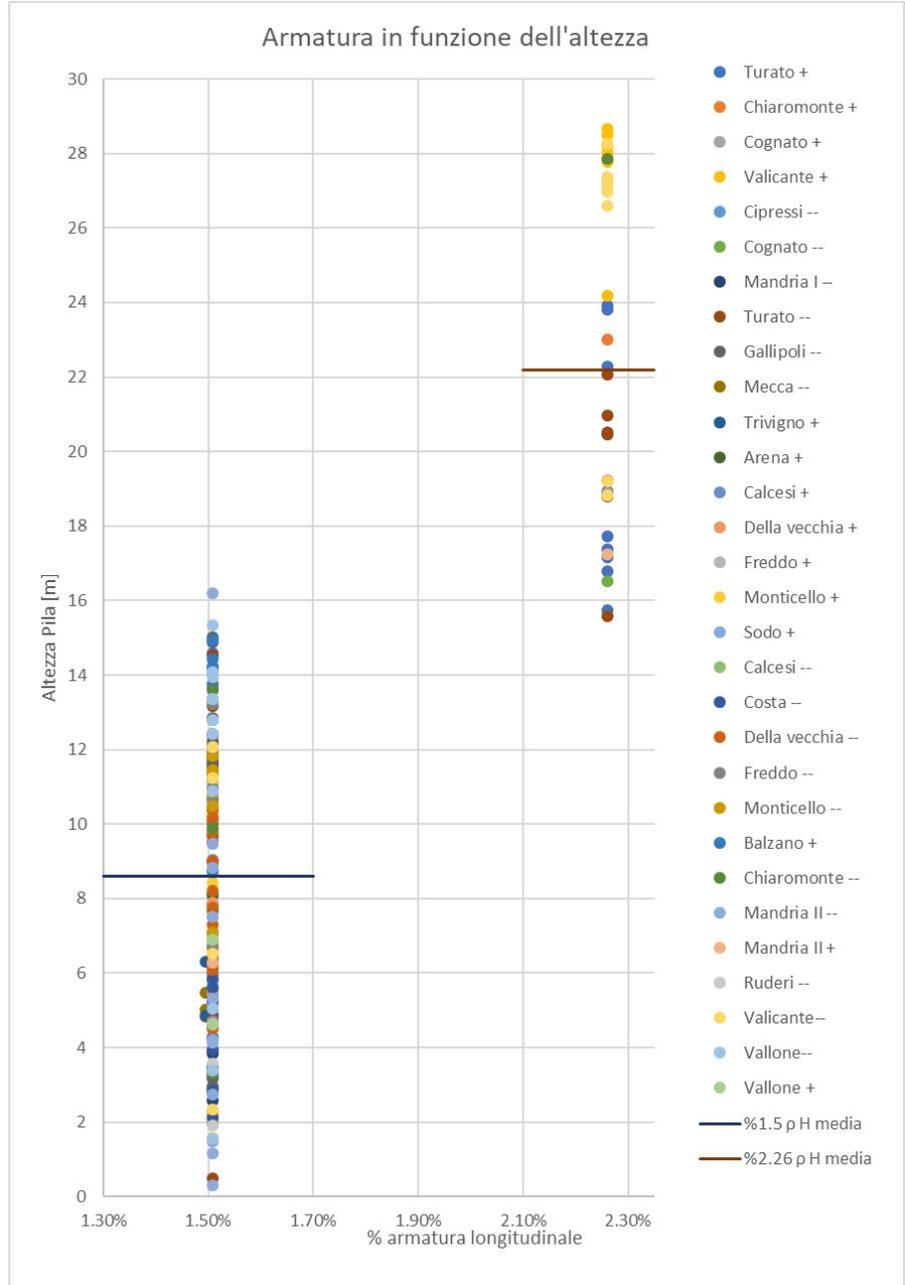
6.1. CARATTERISTICHE TIPO



- Impalcati a travata semplicemente appoggiata (cuscinetti in neoprene)
- Luce = 35m
- Fondazioni: plinti su pali

- Pile a fusto unico circolari cave
- Dest = 3.00 m
- Dint = 2.20 m
- Spessore = 0.40 m
- Hmax = 30 m

6.1. CARATTERISTICHE PILA TIPO



Percentuali di armatura:

$$\rho_l = \frac{A_{long}}{A} \qquad \rho_t = \frac{A_{st} \cdot p}{A \cdot s_{st}} + \frac{\Sigma(A_{leg} \cdot l_{leg})}{A \cdot s_{leg}}$$

A = area sezione trasversale pila
p = perimetro sezione (conf.) di calcestruzzo
A_{long} = area totale di armatura longitudinale
A_{st} = area sezione staffa
s_{st} = passo staffe

A_{leg} = area legature (se presenti)
s_{leg} = passo legature
l_{leg} = lunghezza legature

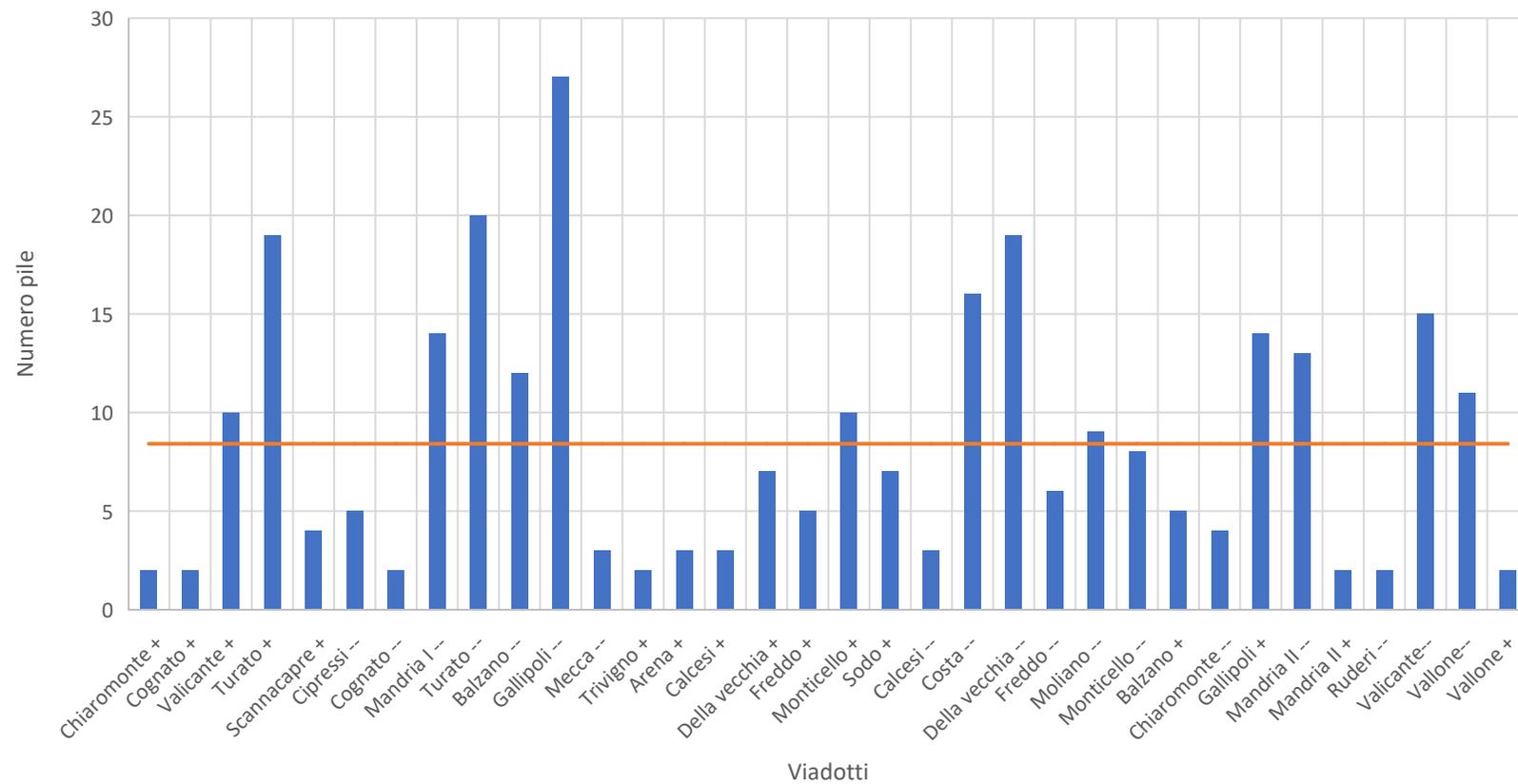
% armatura longitudinale	Altezza [m]	N. Barre	Diametro barre [mm]	Passo staffe
1.5 %	< 16	40+40	28	0.25 ÷ 0.30
2.26 %	>16	80+40	28	0.25 ÷ 0.30

- Acciaio tipo Aq50

6.2. ANALISI DEL CAMPIONE



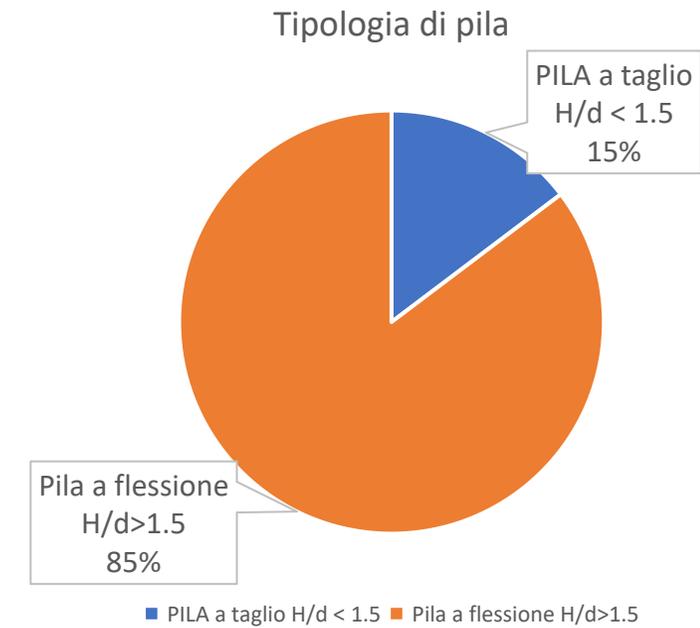
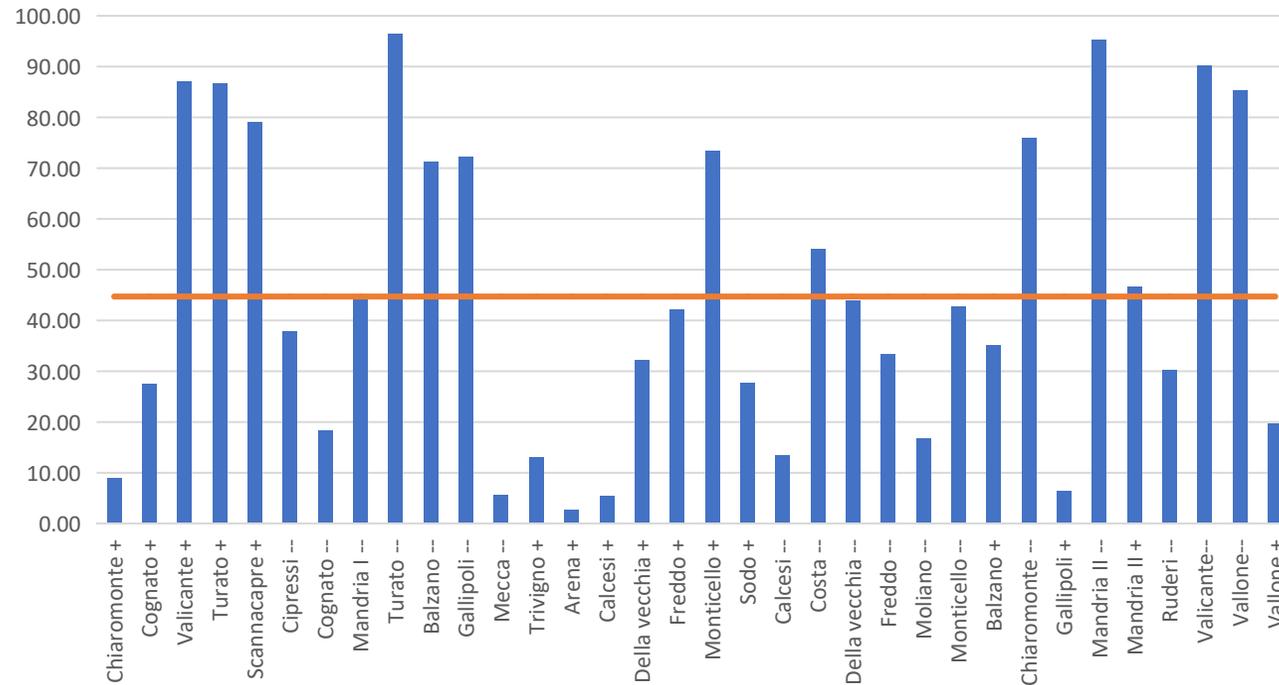
N. pile per viadotto



6.2. ANALISI DEL CAMPIONE



Variabilità in altezza



Variabilità altezza pile:

$$VH = 100 * (H_{media} - H_{min}) / H_{media}$$

H_{media} = altezza media pile
 H_{min} = altezza minima pila

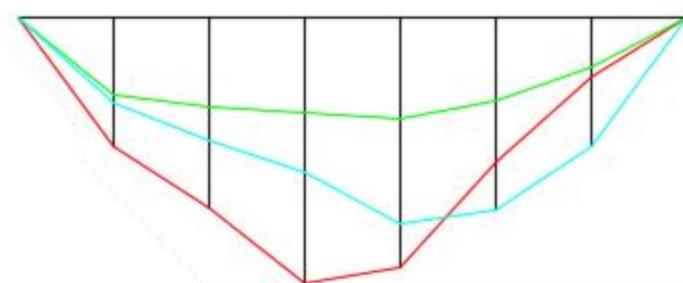
Tipologia di pila	n
PILA a taglio H/d < 1.5	42
Pila a flessione H/d > 1.5	244

6.3. GRUPPI DI OPERE



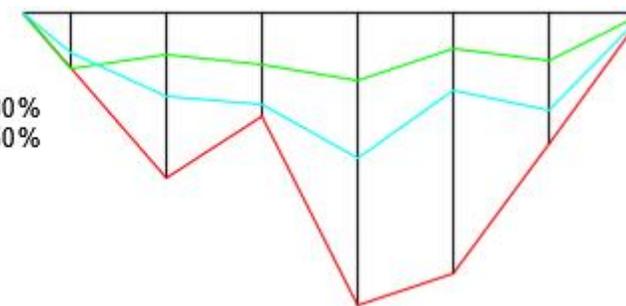
- **SHORT** viadotti da 2 a 4 campate
- **MEDIUM** viadotti da 5 a 8 campate
- **LONG** viadotti da 9 a 15 campate
- **VERY LONG** viadotti maggiori di 15 campate

Configurazione a V



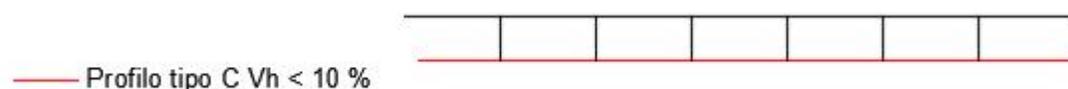
- Profilo V1 con $10\% < V_h < 30\%$
- Profilo V2 con $30\% < V_h < 50\%$
- Profilo V3 con $V_h > 50\%$

Configurazione a W

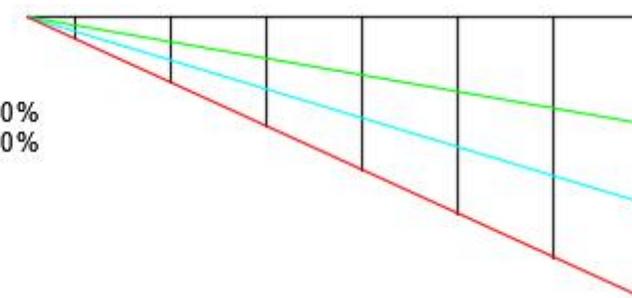


- Profilo W1 con $10\% < V_h < 30\%$
- Profilo W2 con $30\% < V_h < 50\%$
- Profilo W3 con $V_h > 50\%$

Configurazione a C

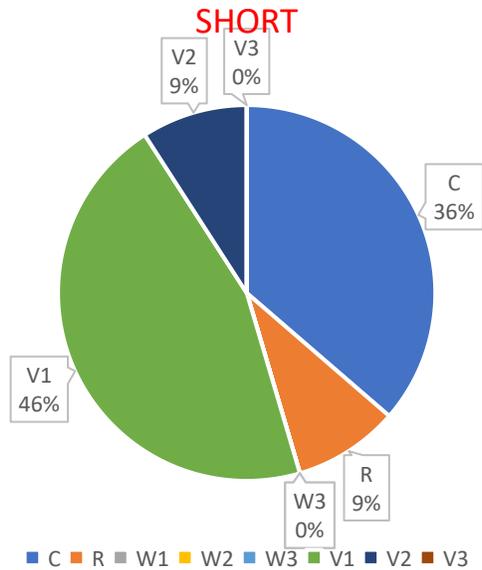


Configurazione a R

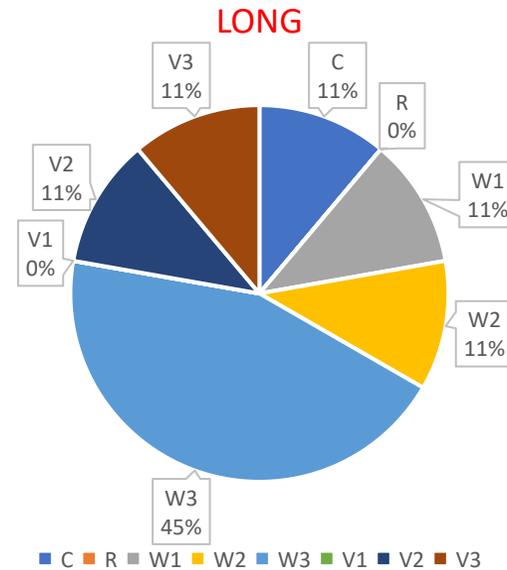


- Profilo R1 con $10\% < V_h < 30\%$
- Profilo R2 con $30\% < V_h < 50\%$
- Profilo R3 con $V_h > 50\%$

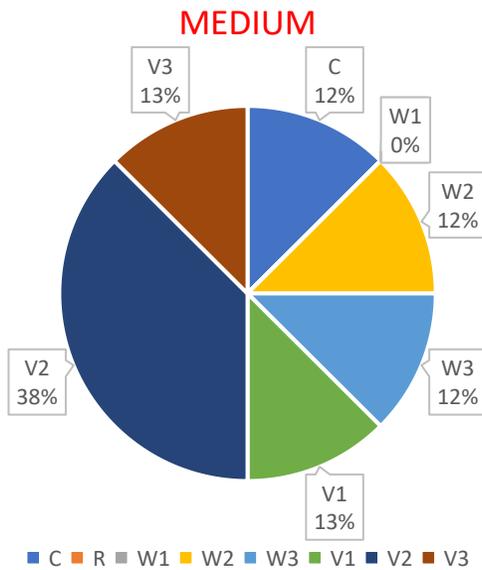
6.4. PROFILI TIPO RAPPRESENTATIVI



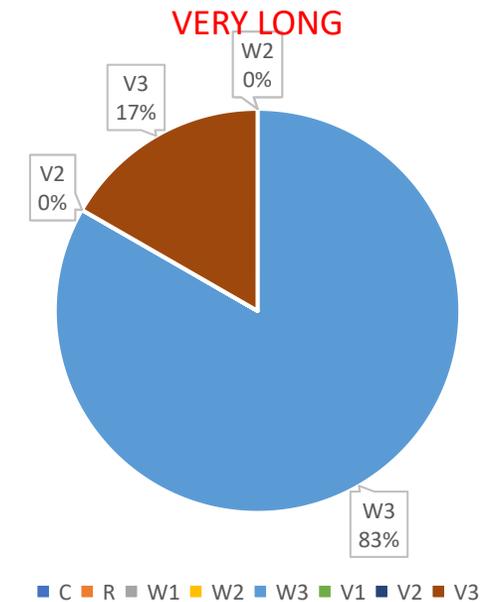
SHORT	
Orografia	n
C	4
R	1
W1	0
W2	0
W3	0
V1	5
V2	1
V3	0
Totale	11



LONG	
Orografia	n
C	1
R	0
W1	1
W2	1
W3	4
V1	0
V2	1
V3	1
Totale	9



MEDIUM	
Orografia	n
C	1
R	0
W1	0
W2	1
W3	1
V1	1
V2	3
V3	1
Totale	8



VERY LONG	
Orografia	n
C	0
R	0
W1	0
W2	0
W3	5
V1	0
V2	0
V3	1
Totale	6

7. VALUTAZIONE DELLO STATO DI DEGRADO



SCHEDE DI ISPEZIONE

A	B	C	D	E	F
Elemento	Voto	Estensione	Link Foto Difetto		
Data di ispezione - 10-09-2021				00-00	
Pila: 1 di 7				19-01	
Fusti: 1 di 1				19-01-20-01	
→ Cls dilavato/ammalorato	4	30%		19-01-20-01-02-10	
→ Lesioni modeste e diffuse	4	20%		19-01-20-01-14-11	
→ Efflorescenze	5	20%		19-01-20-01-21-162	
→ Tracce di scolo	3	20%		19-01-20-01-31-161	
Pulvini: 1 di 1				19-01-21-01	
→ Tracce di scolo	5	10%		19-01-21-01-31-163	
Pila: 2 di 7				19-02	
Fusti: 1 di 1				19-02-20-01	
→ Macchie di umidita'	4	20%		19-02-20-01-01-17	
→ Cls dilavato/ammalorato	3	20%		19-02-20-01-02-18	
→ Armatura ordinaria scoperta/ossidata	4	20%		19-02-20-01-04-164	
→ Lesioni modeste e diffuse	4	10%		19-02-20-01-14-20	
→ Tracce di scolo	3	20%		19-02-20-01-31-19	
Pulvini: 1 di 1				19-02-21-01	
→ Tracce di scolo	4	10%		19-02-21-01-31-165	
Pila: 3 di 7				19-03	
Fusti: 1 di 1				19-03-20-01	
→ Cls dilavato/ammalorato	3	40%		19-03-20-01-02-23	
→ Lesioni modeste e diffuse	4	40%		19-03-20-01-14-21	
→ Tracce di scolo	4	10%		19-03-20-01-31-166	
→ Staffe scoperte/ossidate	3	70%		19-03-20-01-34-22	
Pulvini: 1 di 1				19-03-21-01	
→ Tracce di scolo	4	10%		19-03-21-01-31-167	
Pila: 4 di 7				19-04	
Fusti: 1 di 1				19-04-20-01	
→ Cls dilavato/ammalorato	3	40%		19-04-20-01-02-24	
→ Efflorescenze	4	30%		19-04-20-01-21-169	
→ Tracce di scolo	4	30%		19-04-20-01-31-168	
Pulvini: 1 di 1				19-04-21-01	
→ Tracce di scolo	4	10%		19-04-21-01-31-170	
Fondazione: 1 di 1			https://iesse.strada.it	19-04-22-01	
→ Scalzamento fondazioni	5	40%		19-04-22-01-40-25	
Pila: 5 di 7				19-05	
Fusti: 1 di 1				19-05-20-01	

DOCT	Pagina 1 di 128	
PROGETTO RAM – Manuale di Ispezione Principale	16_186_13_MN_RAM_Ispezione Principale Ponti_Manuale_2018-06-04_rev1.doc	

Scheda di Ispezione Principale Manuale di Ispezione	
SEZIONI	TITOLO
Sezione I	INTRODUZIONE
Sezione II	MANUALE PER L'ESECUZIONE DELL'ISPEZIONE PRINCIPALE
Sezione III	ALLEGATI

Degradi su PILE	
codice	Denominazione
2	Cls dilavato / ammalorato
4	Armatura Ordinaria Scoperta / Ossidata
5	Lesioni in Corrispondenza Staffe
34	Staffe scoperte/ossidate
56	Lesioni in Corrispondenza Ferri di armatura
94	Riduzione Sezione Armatura
96	Armatura Verticale Deformata
98	Distacco Spigoli
104	Riduzione Sezione Resistente del CLS



RIDUZIONE SEZIONE
RESISTENTE CLS



CLS AMMALORATO

7.1. DEGRADO DA CORROSIONE



LESIONI IN CORRISPONDENZA
DELLE STAFFE



LESIONI IN CORRISPONDENZA
DEI FERRI DI ARMATURA



STAFFE SCOPERTE/OSSIDATE

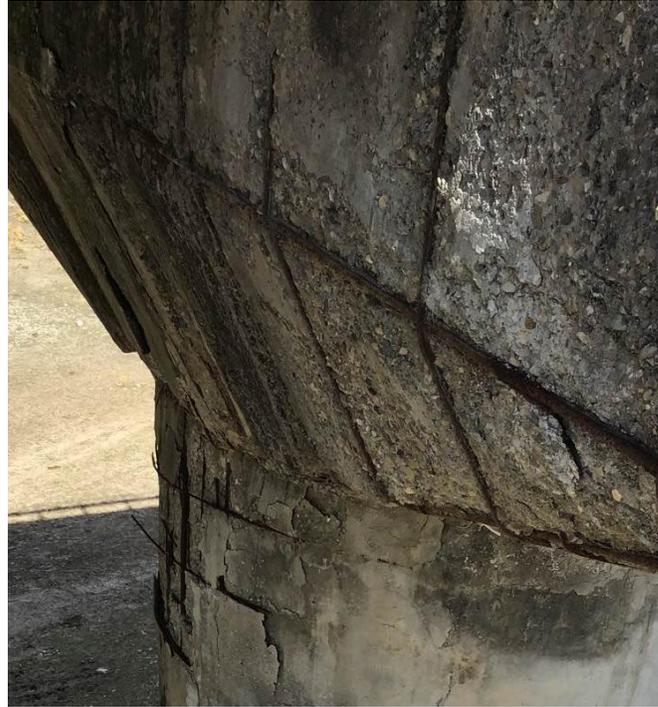


ARMATURA ORDINARIA
SCOPERTA/OSSIDATA

7.1. DEGRADO DA CORROSIONE



ARMATURA VERTICALE
DEFORMATA



ARMATURA VERTICALE
DEFORMATA



RIDUZIONE SEZIONE
ARMATURA



I diversi difetti sono stati aggregati sia a livello di pila che successivamente a livello di intero viadotto tenendo conto di:

- Intensità
- Estensione
- Gravità intrinseca
- Localizzazione

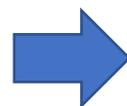
7.2. VALUTAZIONE DELL'INDICE DI DIFETTOSITA' PILE E DEL LIVELLO DI DIFETTOSITA' OPERA



GRAVITA' INTRINSECA

(per ciascun difetto)

Difetti PILE		Gravità difetto	
Codice difetto	Denominazione		
2	Cls dilavato / ammalorato	G2	G3
4	Armatura Ordinaria Scoperta / Ossidata	G3	G4
5	Lesioni in Corrispondenza Staffe	G2	
34	Staffe scoperte/ossidate	G3	G4
56	Lesioni in Corrispondenza Ferri di armatura	G2	
94	Riduzione Sezione Armatura	G4	G5
96	Armatura Verticale Deformata	G4	G5
98	Distacco Spigoli	G2	G3
104	Riduzione Sezione Resistente del CLS	G3	G4



INTENSITA' ED ESTENSIONE

(Per ciascun difetto e ciascuna pila)

Classe / Indice di degrado		ESTENSIONE									
		[10%]	[20%]	[30%]	[40%]	[50%]	[60%]	[70%]	[80%]	[90%]	[100%]
INTENSITA'	bassa	H 1	G 2								
	medio-bassa	H/G 1.5	G 2	G 2	G/F 2.5						
	media	G 2	G 2	G 2	F 3						
	medio alta	G 2	G/F 2.5	G/F 2.5	F 3						
	alta	G 2	F 3								



INDICE DI DIFETTOSITA'

(Aggregazione difetti a livello di ciascuna pila e di intero viadotto)

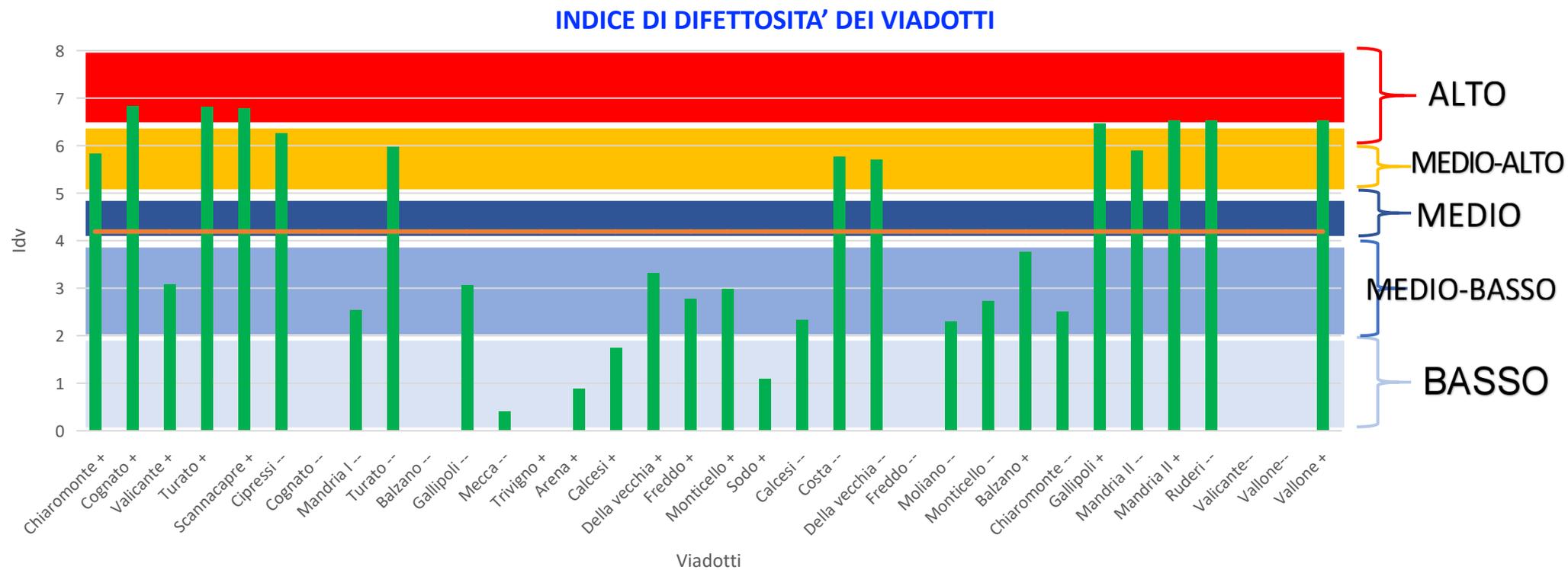
$$I_{dp} = A \sum_{i=1}^n 10^B$$

LIVELLO DI DIFETTOSITA' (LG20)

ALTO
MEDIO-ALTO
MEDIO
MEDIO-BASSO
BASSO



7.3. LIVELLO DI DIFETTOSITA'



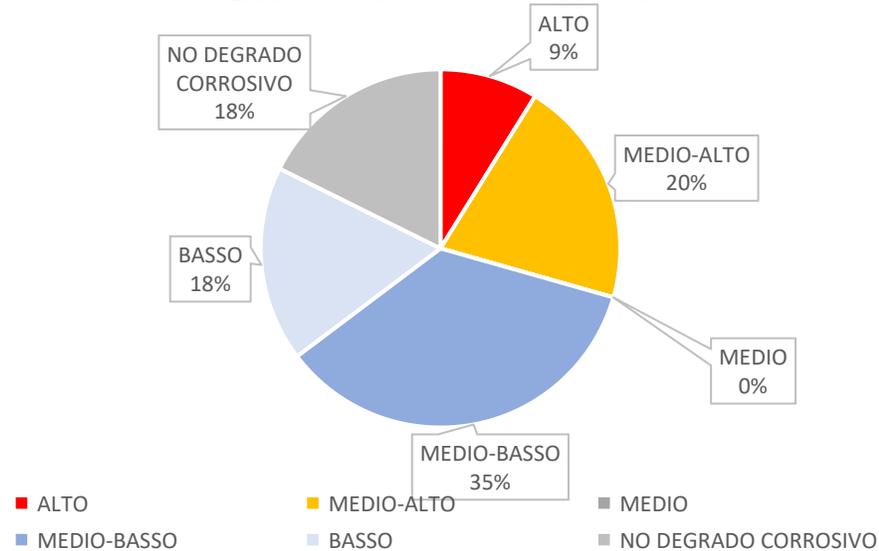
Stato di fatto al 31.12.2021

(NB. Sono in corso lavori di ripristino di gran parte dei viadotti sopra elencati)

7.3. LIVELLO DI DIFETTOSITÀ



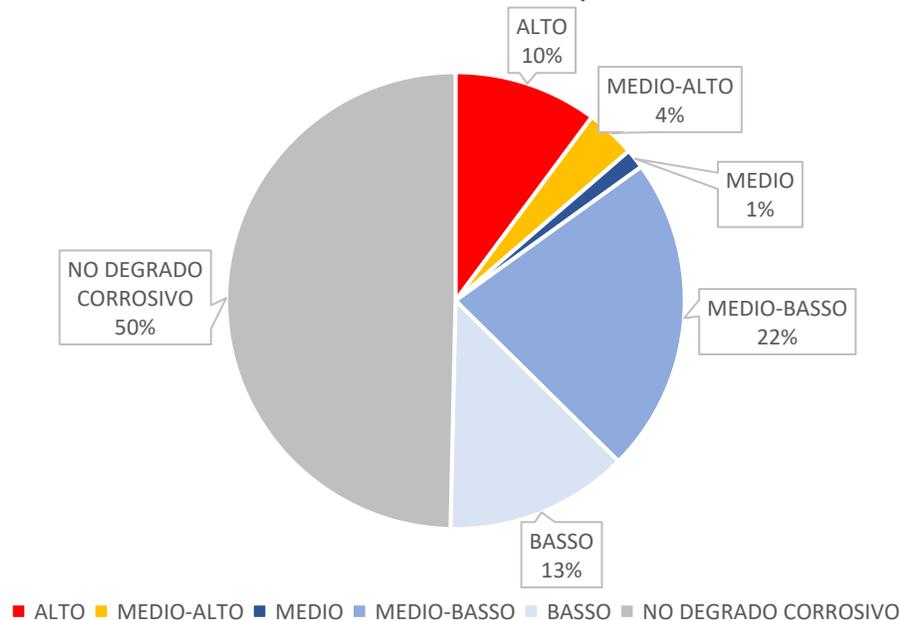
Livello di difettosità viadotto



Livello di difettosità per viadotti	N
ALTO	6
MEDIO-ALTO	7
MEDIO	0
MEDIO-BASSO	9
BASSO	6
NO DEGRADO CORROSIVO	6

Stato di fatto al 31.12.2021

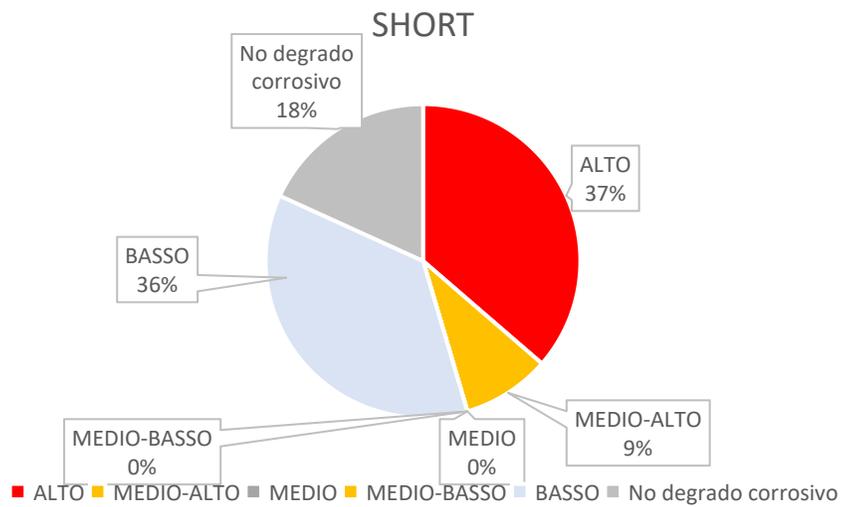
Livello di difettosità pile



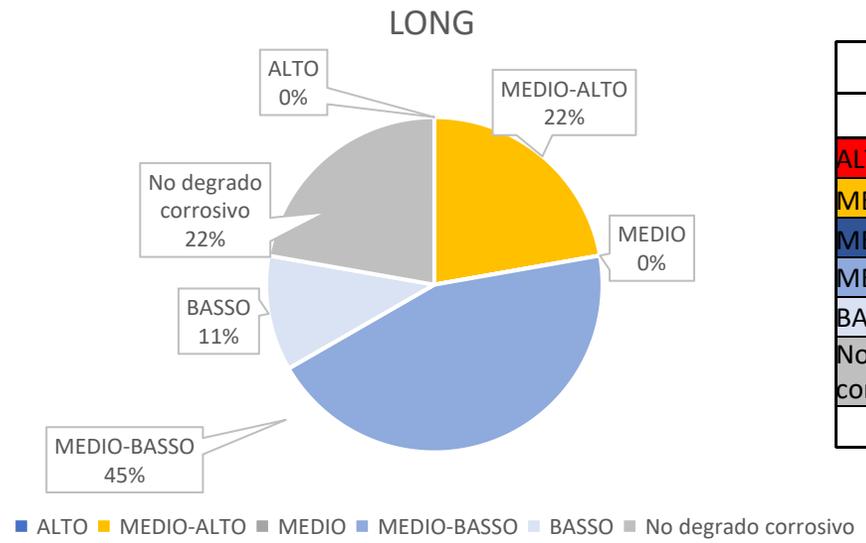
Livello di difettosità per pile	N
ALTO	29
MEDIO-ALTO	10
MEDIO	4
MEDIO-BASSO	64
BASSO	37
NO DEGRADO CORROSIVO	142

Stato di fatto al 31.12.2021

7.3. LIVELLO DI DIFETTOSITÀ



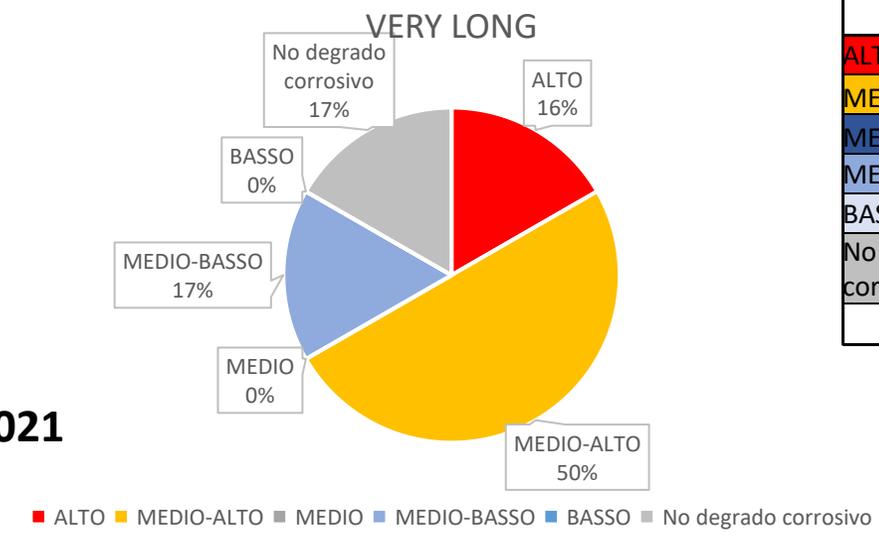
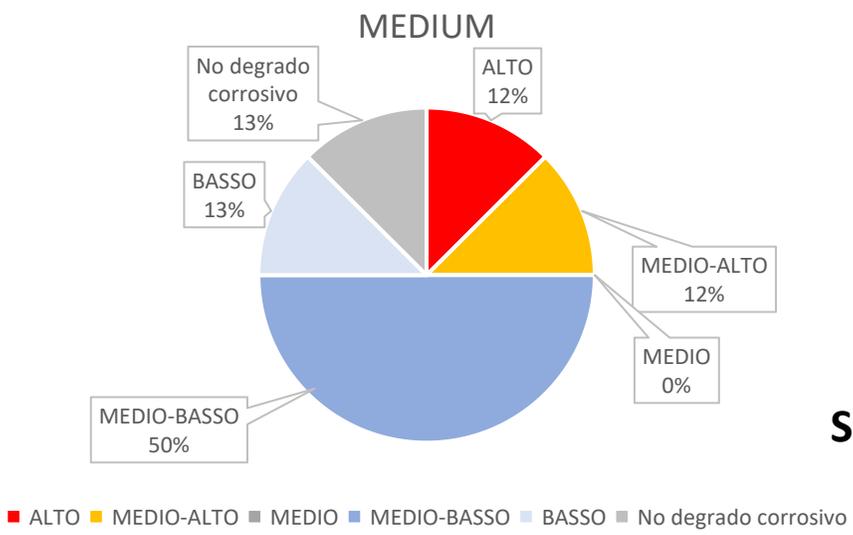
SHORT	
LG20	N
ALTO	4
MEDIO-ALTO	1
MEDIO	0
MEDIO-BASSO	0
BASSO	4
No degrado corrosivo	2
Totale	11



LONG	
LG20	N
ALTO	0
MEDIO-ALTO	2
MEDIO	0
MEDIO-BASSO	4
BASSO	1
No degrado corrosivo	2
Totale	9

MEDIUM

LG20	N
ALTO	1
MEDIO-ALTO	1
MEDIO	0
MEDIO-BASSO	4
BASSO	1
No degrado corrosivo	1
Totale	8



VERY LONG

LG20	N
ALTO	1
MEDIO-ALTO	3
MEDIO	0
MEDIO-BASSO	1
BASSO	0
No degrado corrosivo	1
Totale	6

Stato di fatto al 31.12.2021

7.3. LIVELLO DI DIFETTOSITÀ



GRUPPI	OROGRAFIA		
	C	V	W
SHORT	ARENA +	VALLONE +	
MEDIUM		DELLA VECCHIA +	MOLIANO +
		CIPRESSI --	SCANNACAPRE +
LONG			MONTICELLO +
			MANDRIA II --
VERY LONG			DELLA VECCHIA – TURATO --

Livello di difettosità viadotto
ALTO
MEDIO-ALTO
MEDIO
MEDIO-BASSO
BASSO
NO DEGRADO CORROSIVO

Stato di fatto al 31.12.2021

(NB Sono in corso lavori di ripristino per gran parte dei viadotti sopra elencati)

8. CASI STUDIO SELEZIONATI



Viadotto Moliano+

Viadotto Monticello+



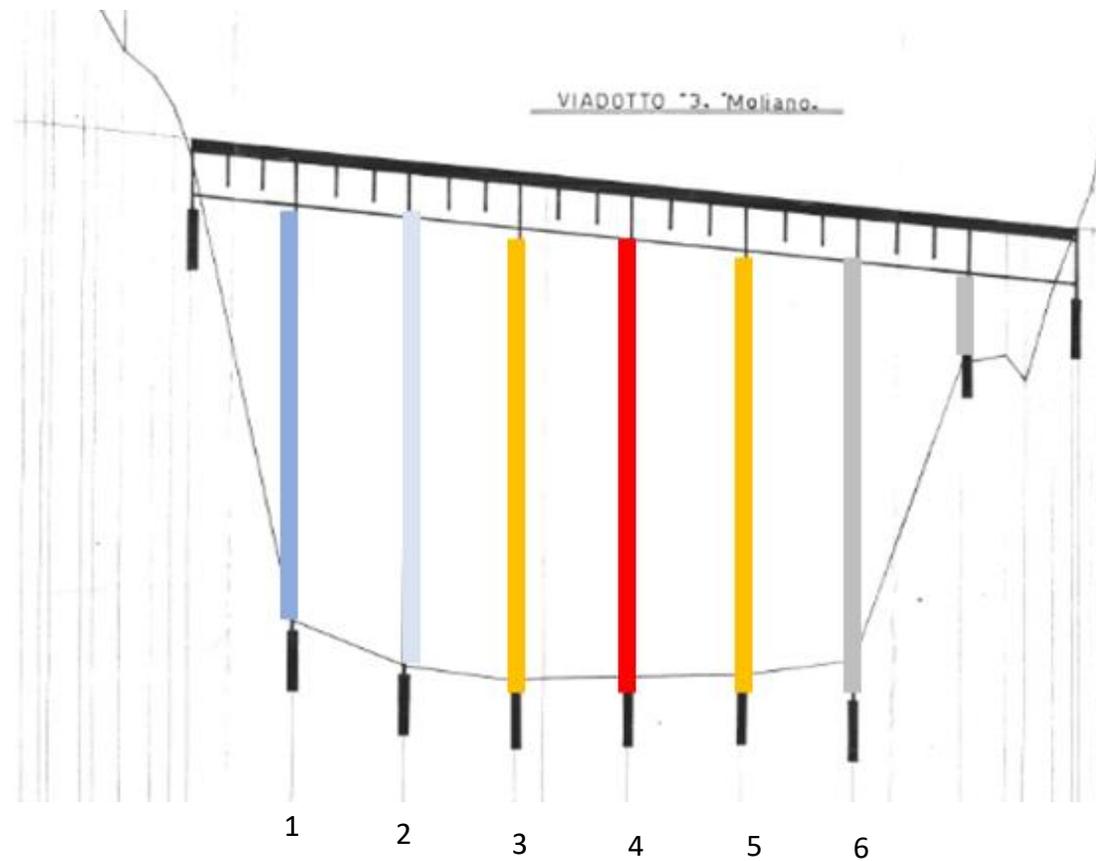
8. CASI STUDIO SELEZIONATI



8. CASI STUDIO SELEZIONATI – Viadotto Moliano+



MOLIANO +		
Lunghezza	281	m
campate	8	
l camp max	35.15	m
interferenza	fiume	
zona sismica	2	
Altitudine media	446	m
Layout	MEDIUM	
Orografia	V	
Hmin	0.4	m
Hmax	12.43	m
Hmedia	7.04	m



Livello di difettosità viadotto
ALTO
MEDIO-ALTO
MEDIO
MEDIO-BASSO
BASSO
NO DEGRADO CORROSIVO

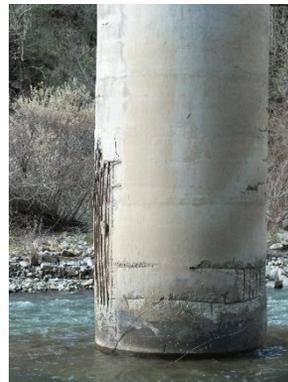
Stato di fatto al 31.12.2021
(NB. Le pile 2 e 6 sono state già oggetto di ripristino)



PILA 3



PILA 4



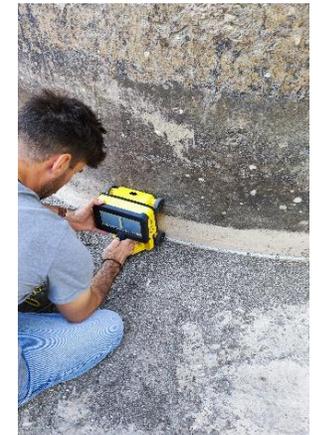
PILA 5



8. IDENTIFICAZIONE DEGRADO



- Misure dirette in sito
- Rilievi con Sistema Aeromobile a Pilotaggio Remoto (SAPR)
- Indagini Termografiche
- Rilievi con GEORADAR



FILMATO

2022-10-05 17:04:09
+16.04241 +40.570



2022-10-05 09:28:24
+16.04159 +40.570





- *Georeferenziazione (topografica) infrastruttura*



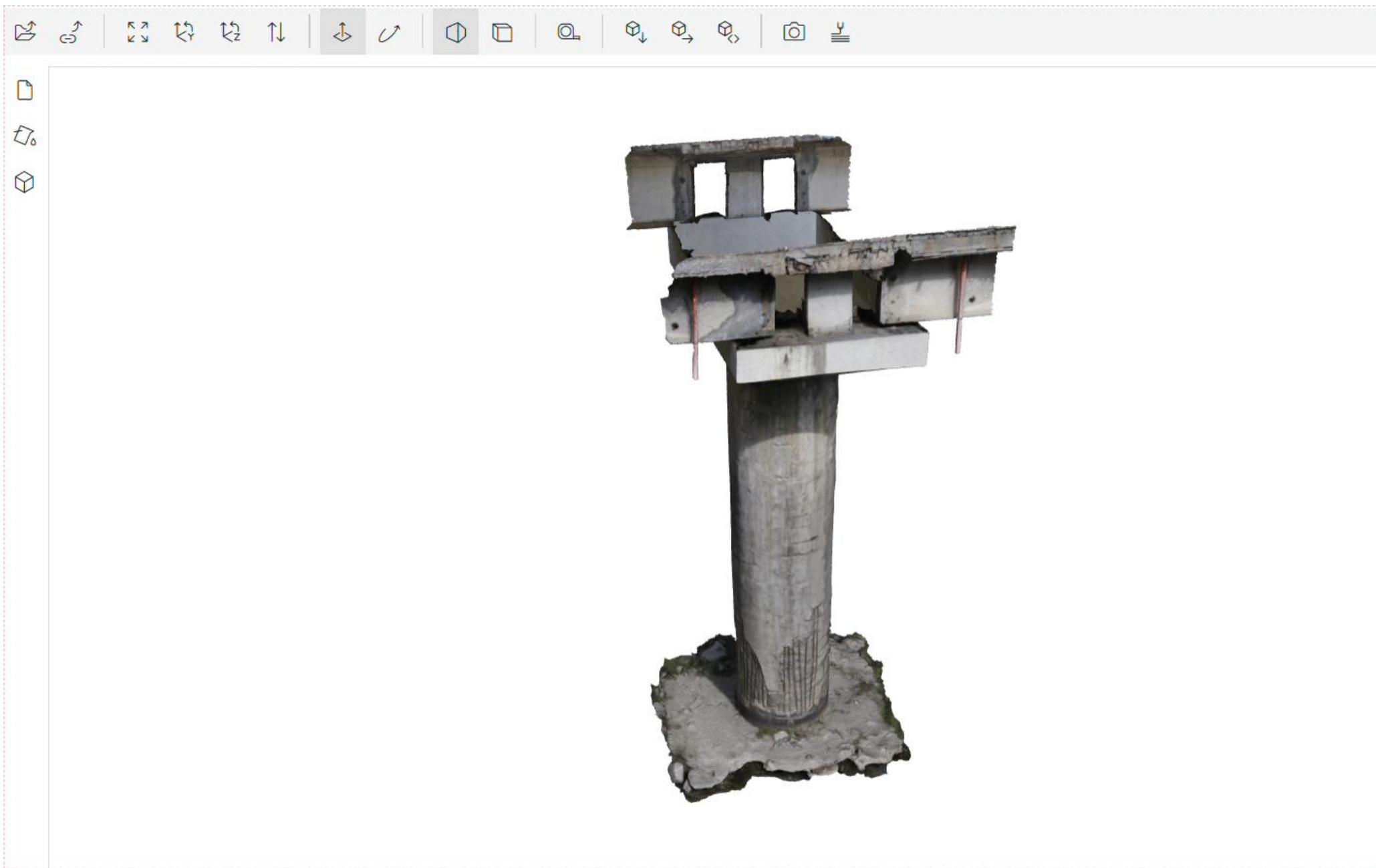
- *Orto-foto infrastruttura (in CAD)*



- *Generazione modelli 3D singole pile*



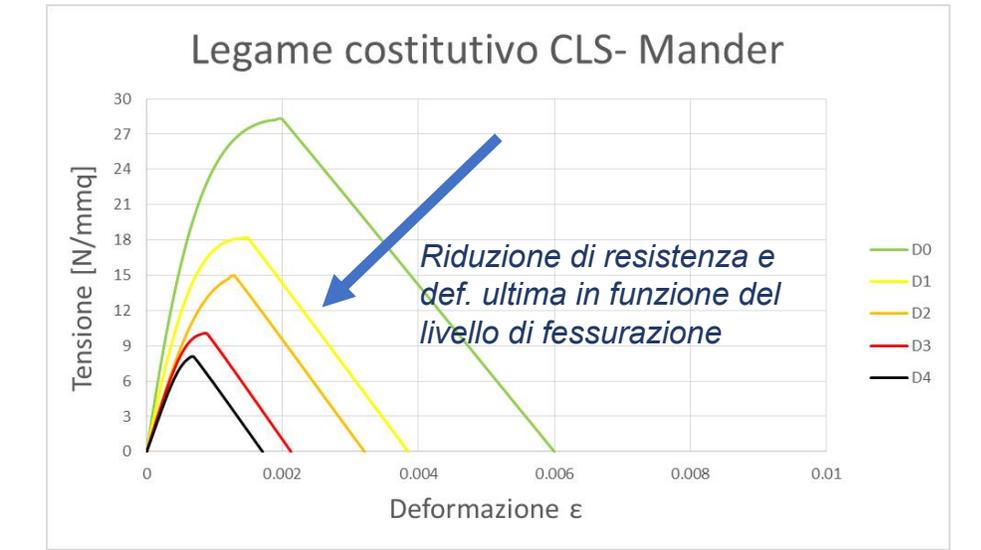
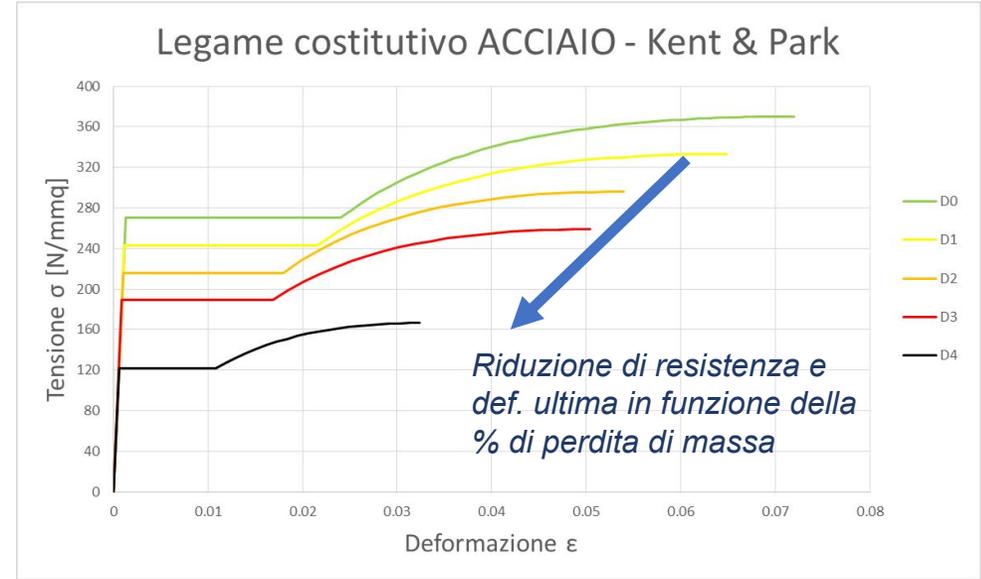
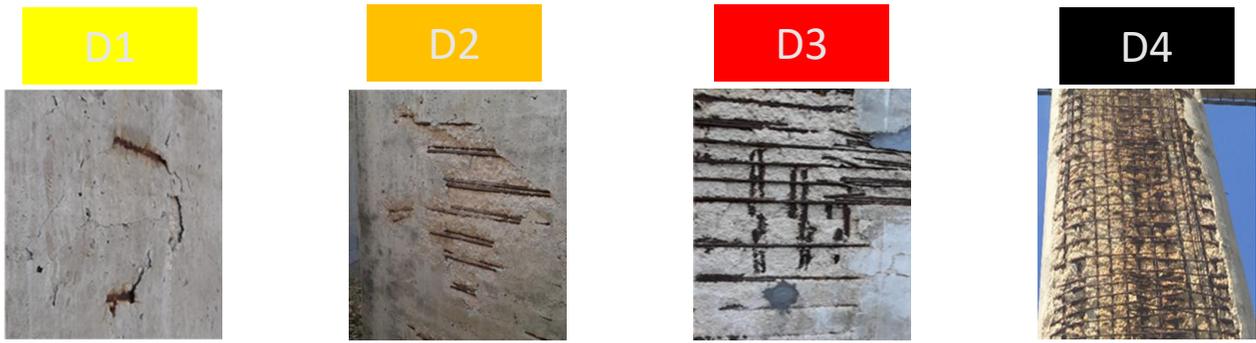
8. IDENTIFICAZIONE DEGRADO - SAPR





- *Individuazione zone copriferro distaccato*
- *Individuazione zone copriferro fortemente ammalorato*

8. MODELLAZIONE DEGRADO



Scenario	Livello di degrado			
	w_cr	Psi_L	Psi_T	W_cr_nucleo
D0	0	0	0	0
D1	1	0.05	0.05	0
D2	3	0.15	0.15	1
D3	espulso	0.2	0.2	3
D4	espulso	0.3	0.3	espulso

- Psi_L e Psi_T = % riduzione massa
- W_cr = dimensione fessure cls

8. MODELLAZIONE DEGRADO



PILA 3

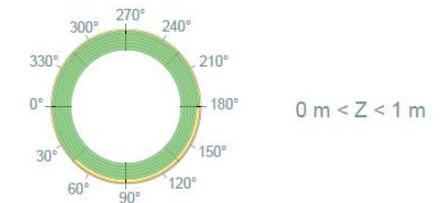
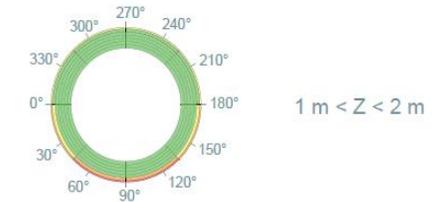
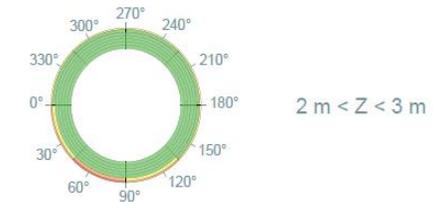
Rappresentazione Prospettica



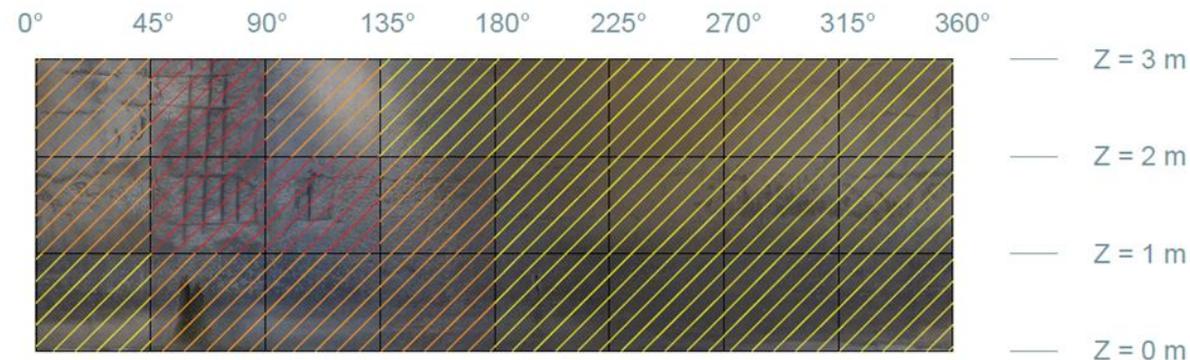
Scenario	Livello di degrado
D0	nullo
D1	basso
D2	medio
D3	alto
D4	molto alto



Rappresentazione in sezione



Rappresentazione Superficie Laterale

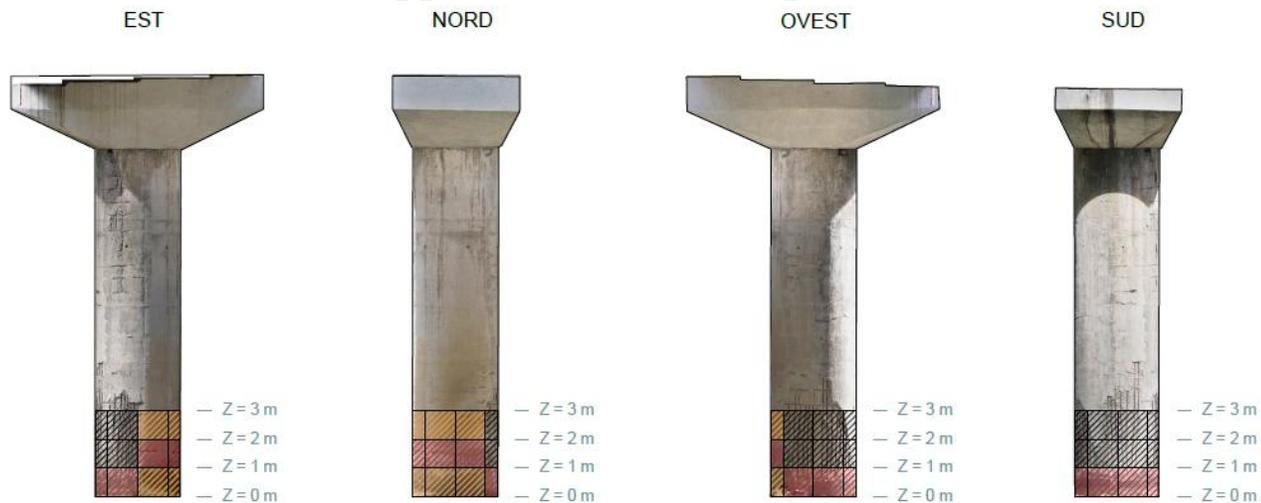


8. MODELLAZIONE DEGRADO



PILA 4

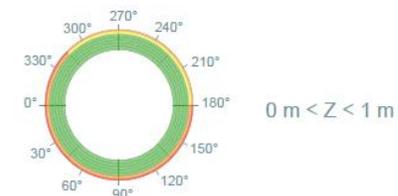
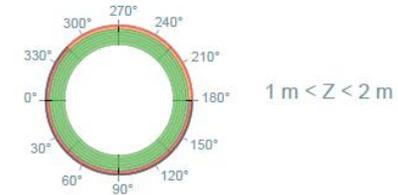
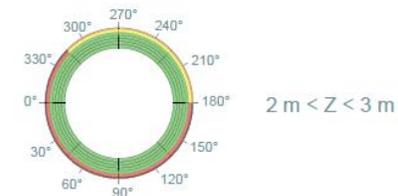
Rappresentazione Prospettica



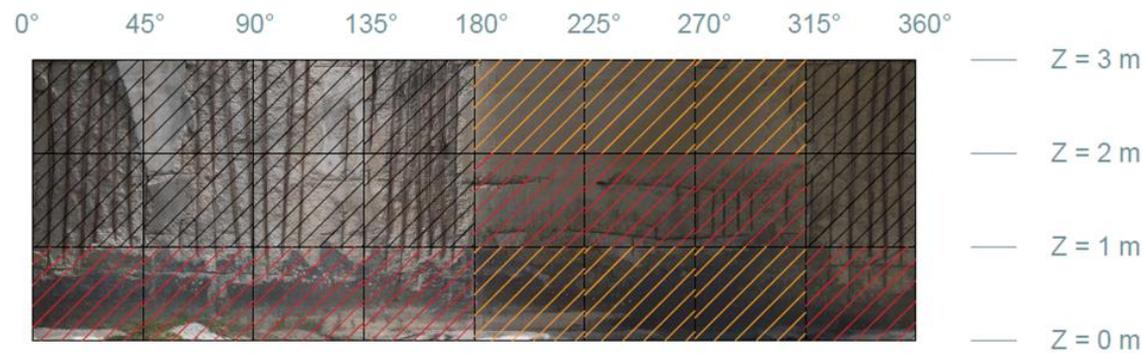
Scenario	Livello di degrado
D0	nullo
D1	basso
D2	medio
D3	alto
D4	molto alto



Rappresentazione in sezione



Rappresentazione Superficie Laterale

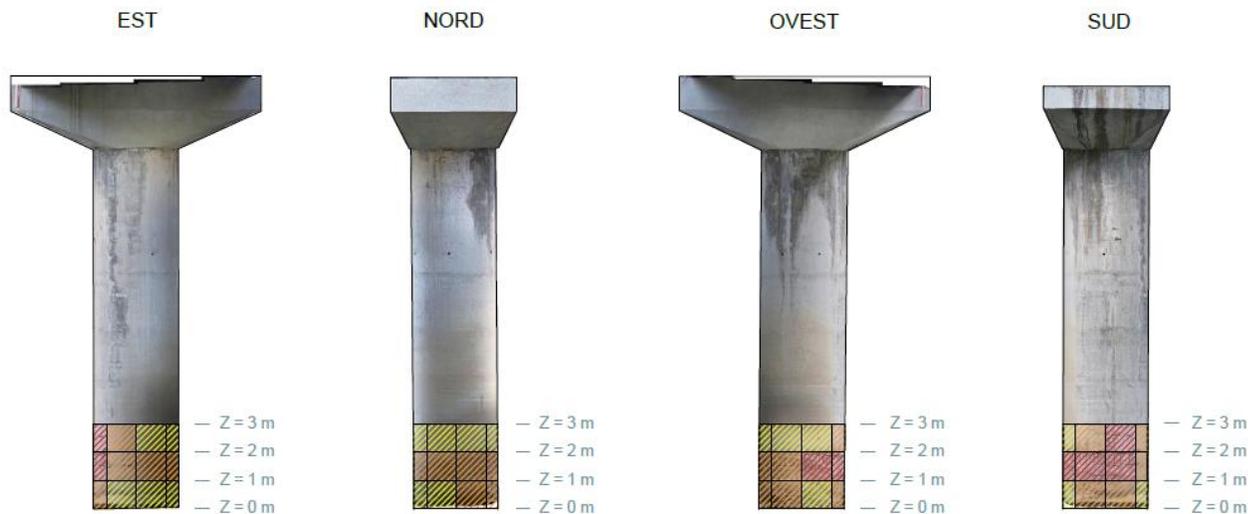


8. MODELLAZIONE DEGRADO



PILA 5

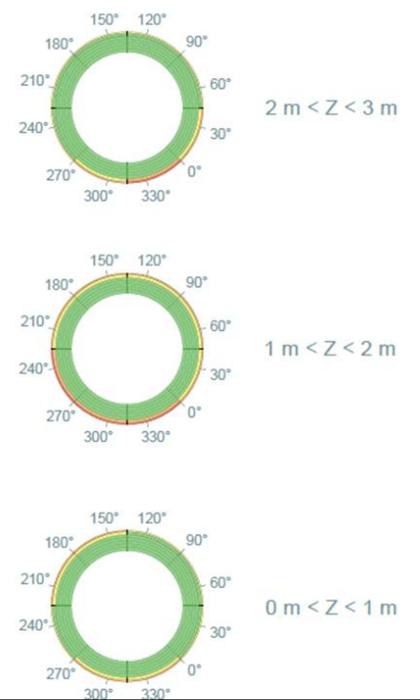
Rappresentazione Prospettica



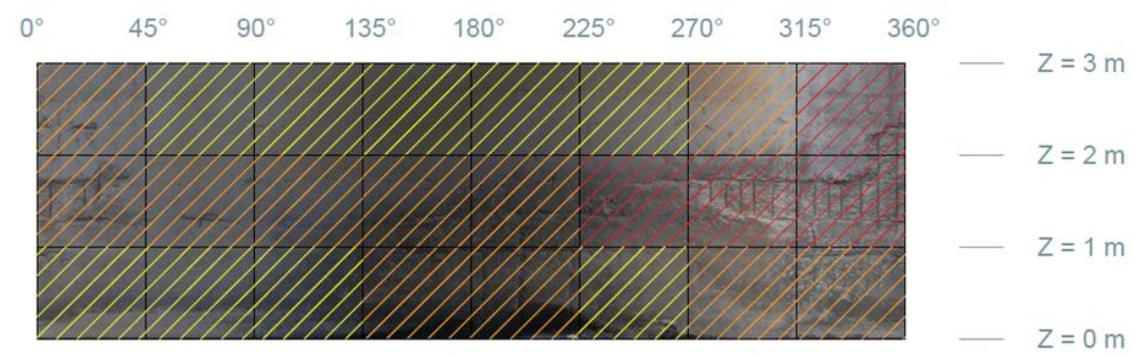
Scenario	Livello di degrado
D0	nullo
D1	basso
D2	medio
D3	alto
D4	molto alto



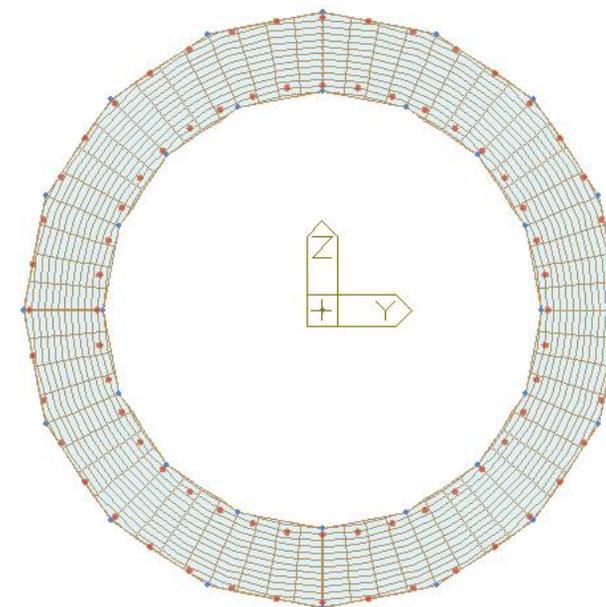
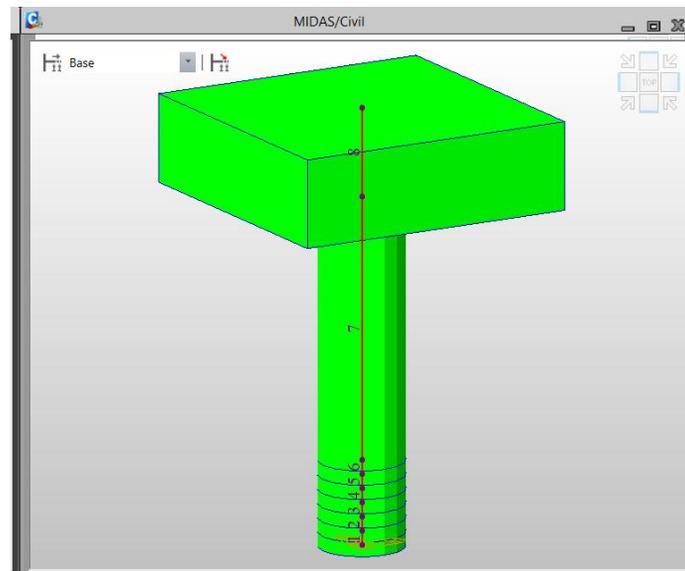
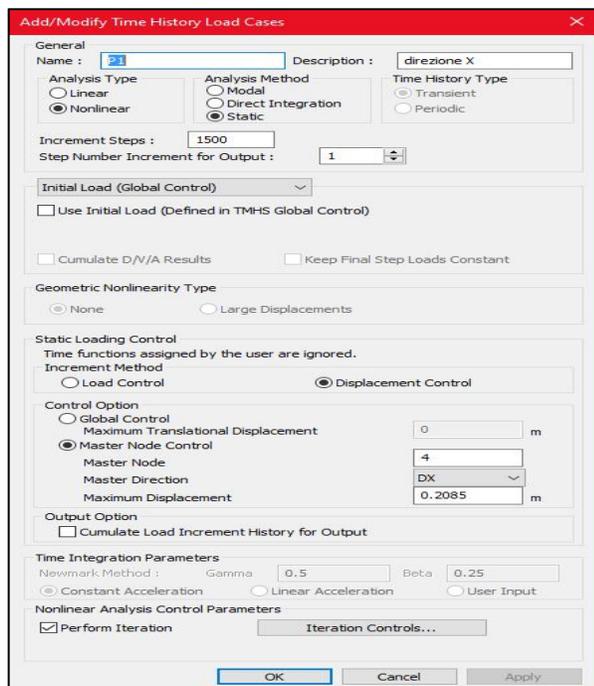
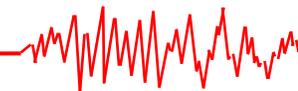
Rappresentazione in sezione



Rappresentazione Superficie Laterale



8. ANALISI PUSHOVER



Modellazione Pile:

- Incastro alla base
- 6 elementi *beam* zona cerniera plastica (0.5m)
- 1 elemento *beam* zona non dissipativa
- Sezioni suddivise in fibre (circa 800 cls e 80 acciaio)
- Pulvino rigido
- Massa distribuita lungo il fusto e concentrata in testa

Parametri dell'Analisi:

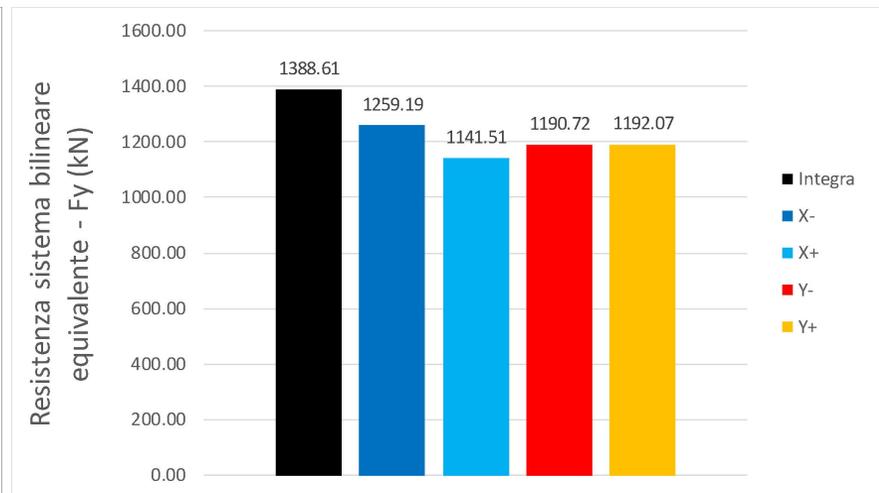
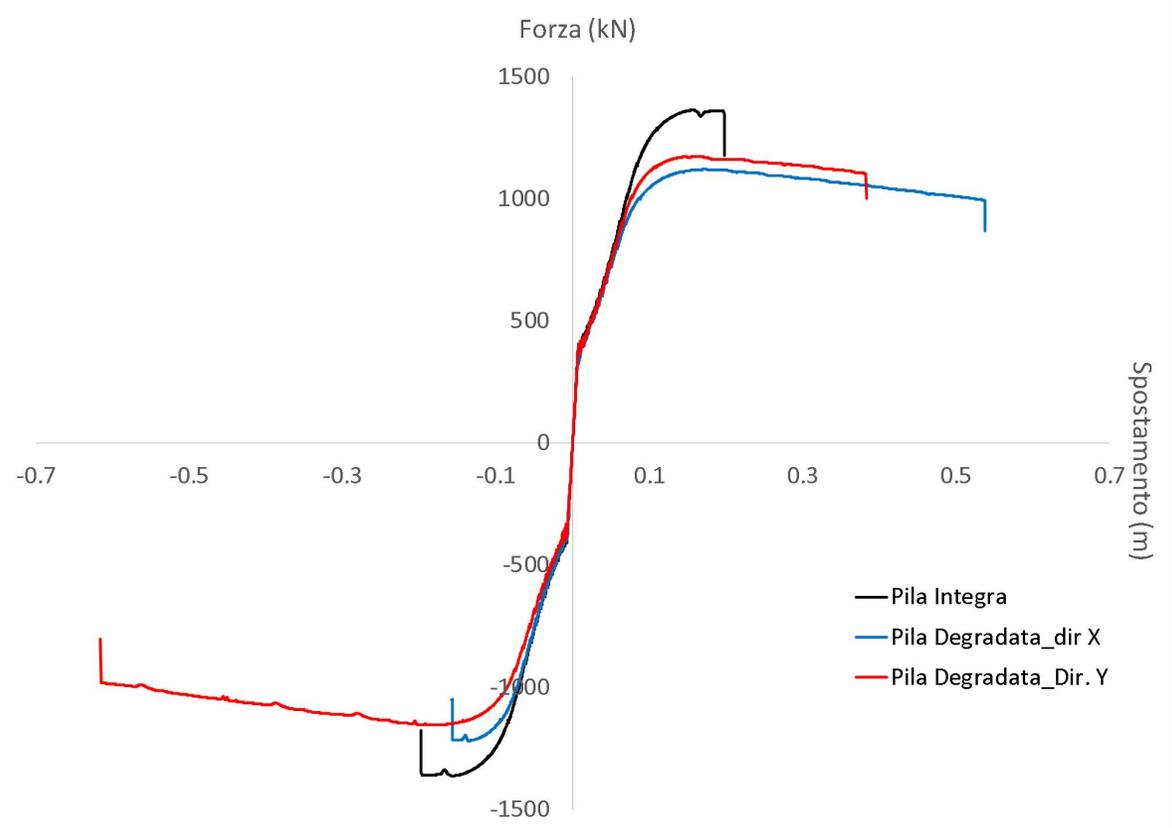
- In controllo di spostamento
- Nodo controllo in testa alla pila
- 1500 step



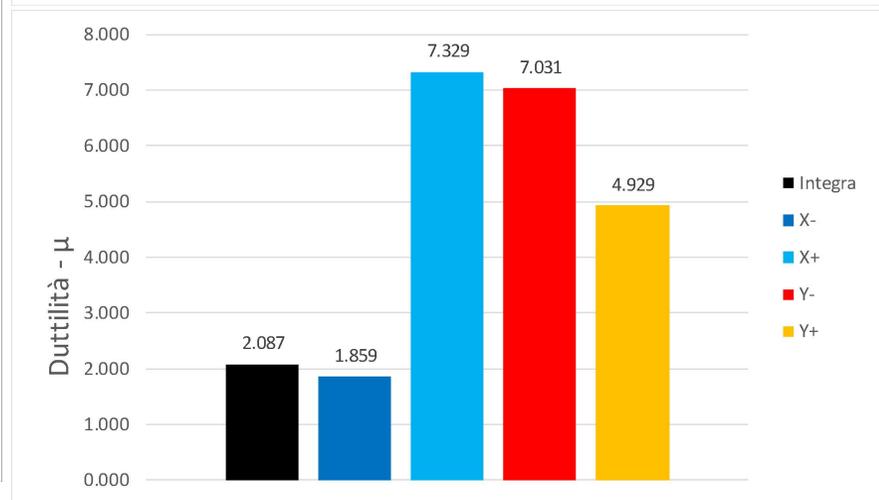
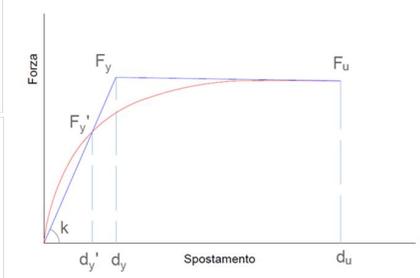


PILA 3

PILA 3 - Confronto Curve Forza-Spostamento



$$\Delta F_{y(d-i)} = -17,8\%$$

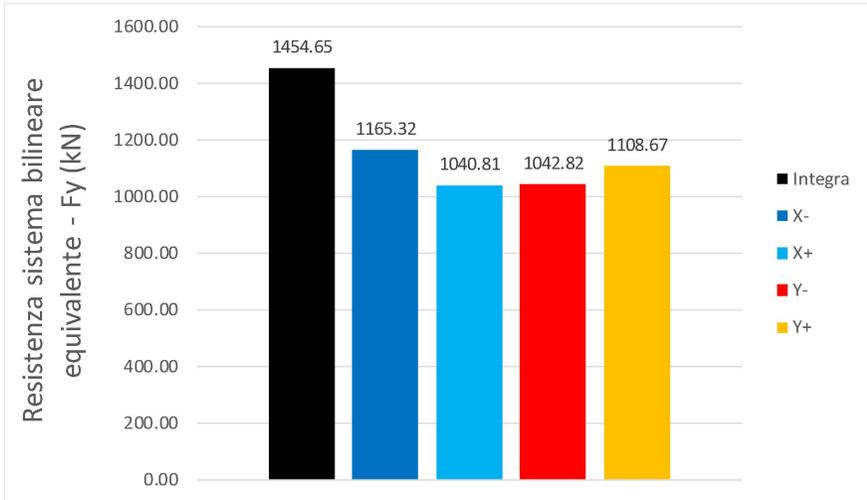
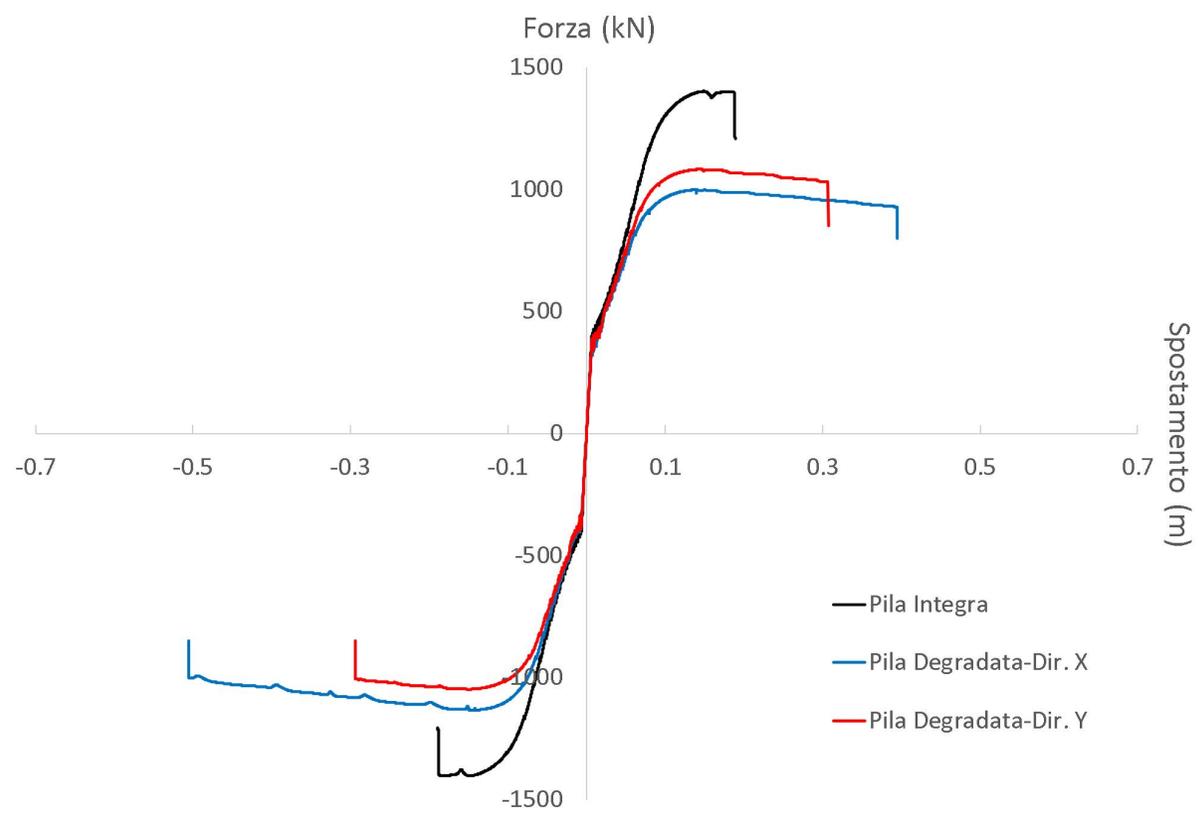


$$\Delta \mu_{(d-i)} = -12\%$$

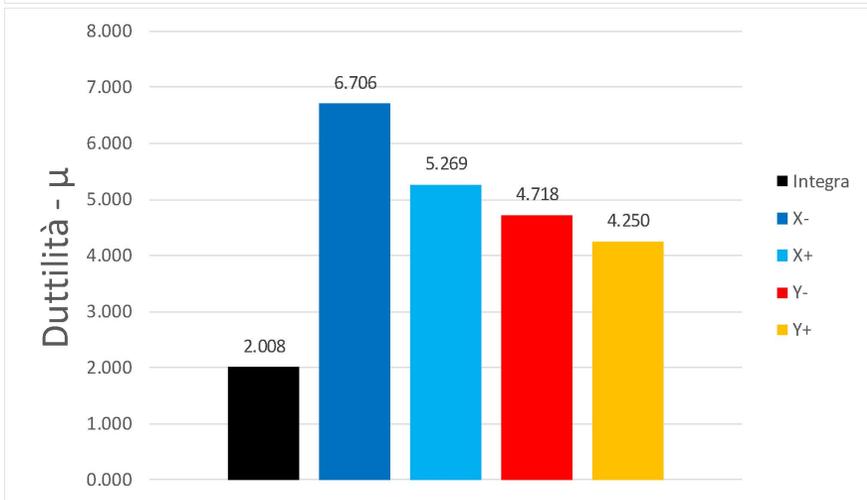
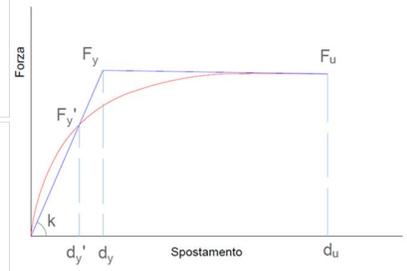


PILA 4

PILA 4 -Confronto Curve Forza-Spostamento



$$\Delta F_{y(d-i)} = -28,3\%$$

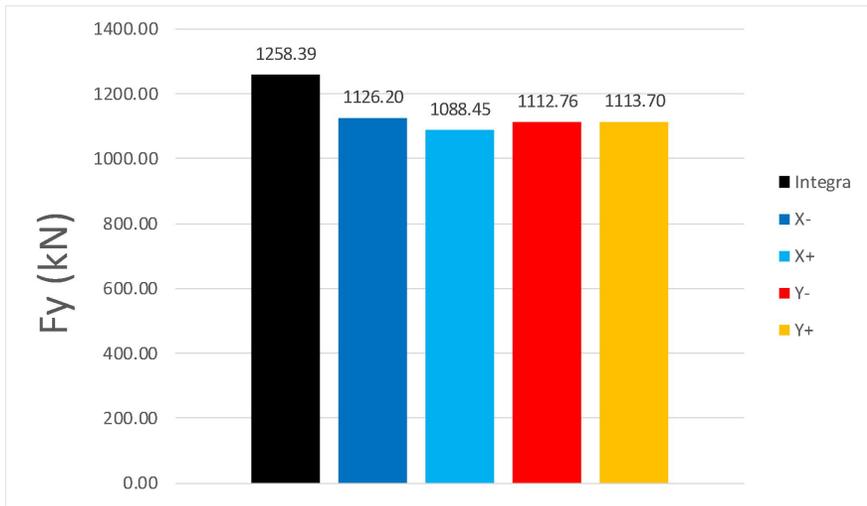
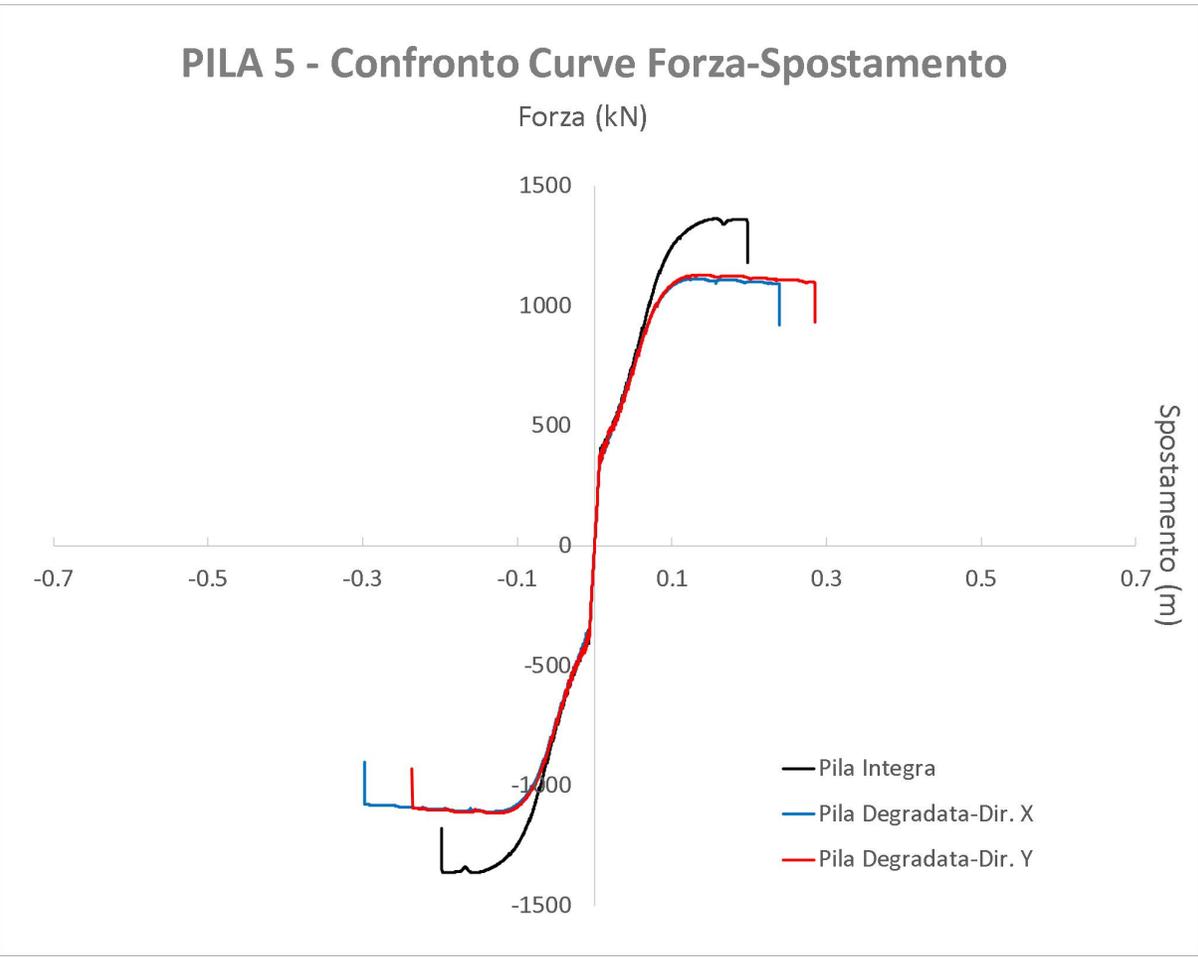


$$\Delta \mu_{(d-i)} = +104\%$$

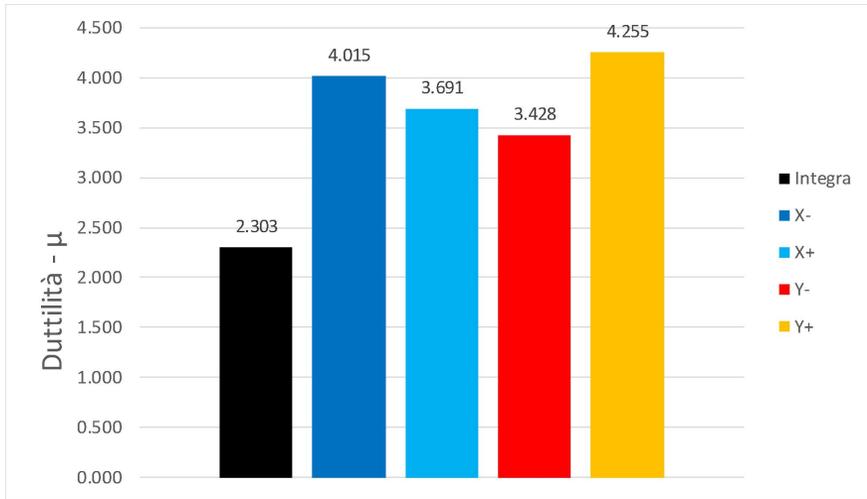
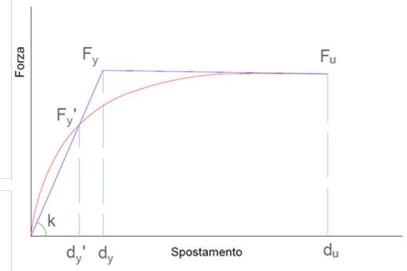


PILA 5

PILA 5 - Confronto Curve Forza-Spostamento



$$\Delta F_{y(d-i)} = -13,5\%$$

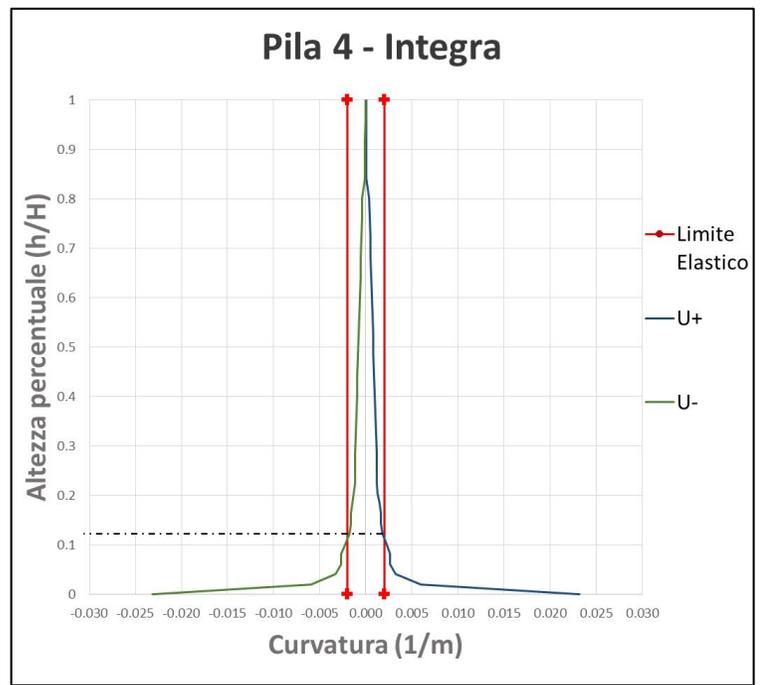


$$\Delta \mu_{(d-i)} = +48\%$$

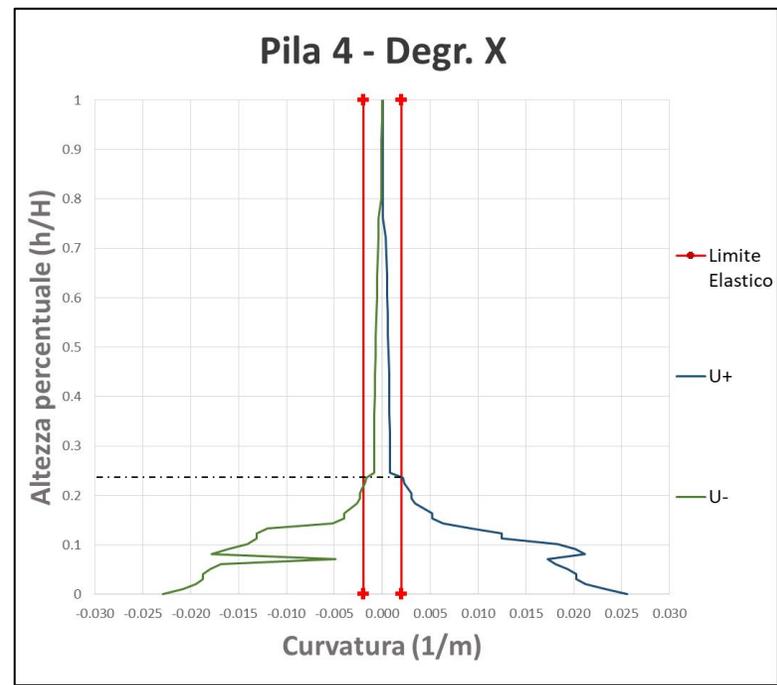
8. RISULTATI



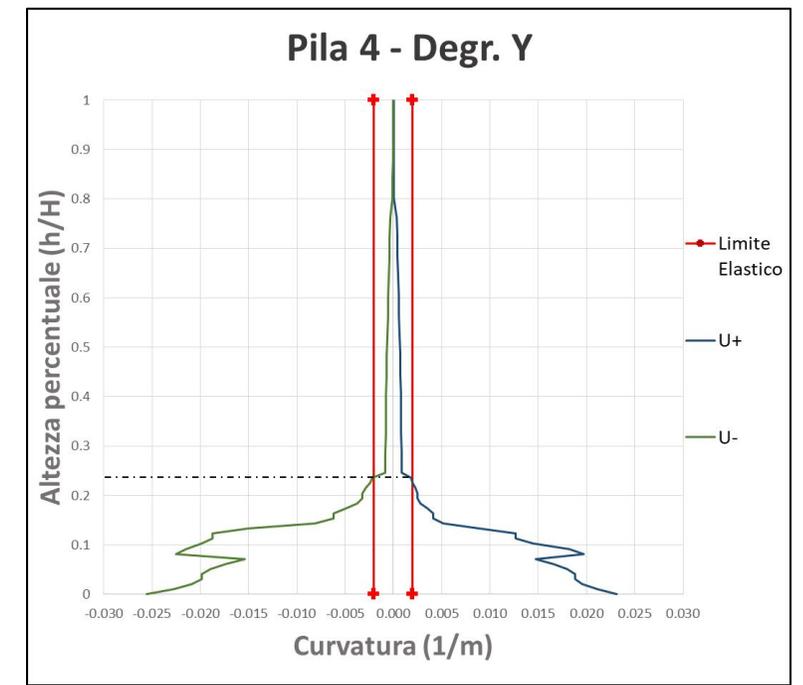
PILA 4



$$h_{CP} = 0,12 \cdot H$$



$$h_{CP} = 0,23 \cdot H$$



$$h_{CP} = 0,24 \cdot H$$

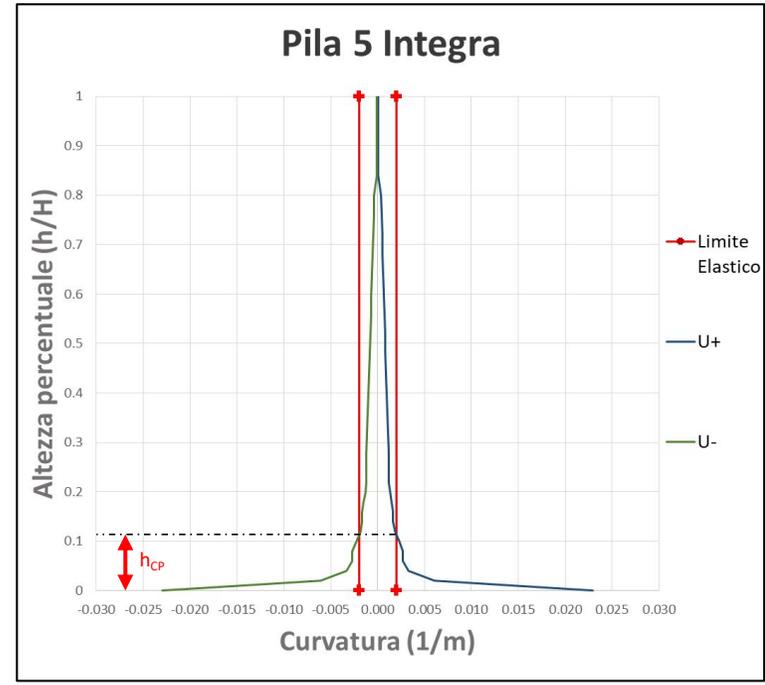
h_{CP} = lunghezza della cerniera plastica
 χ = curvatura
 ϕ_{pl} = rotazione plastica
 μ = duttilità



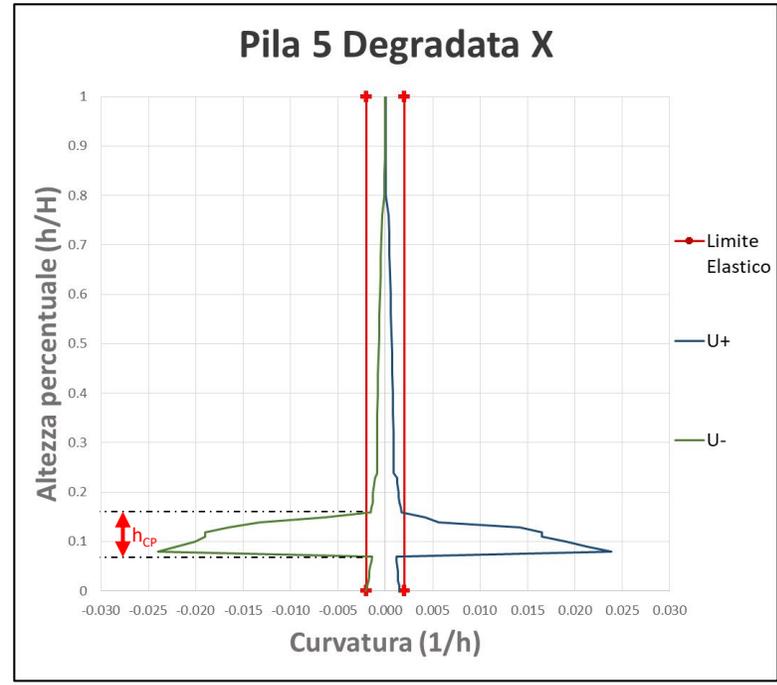
8. RISULTATI



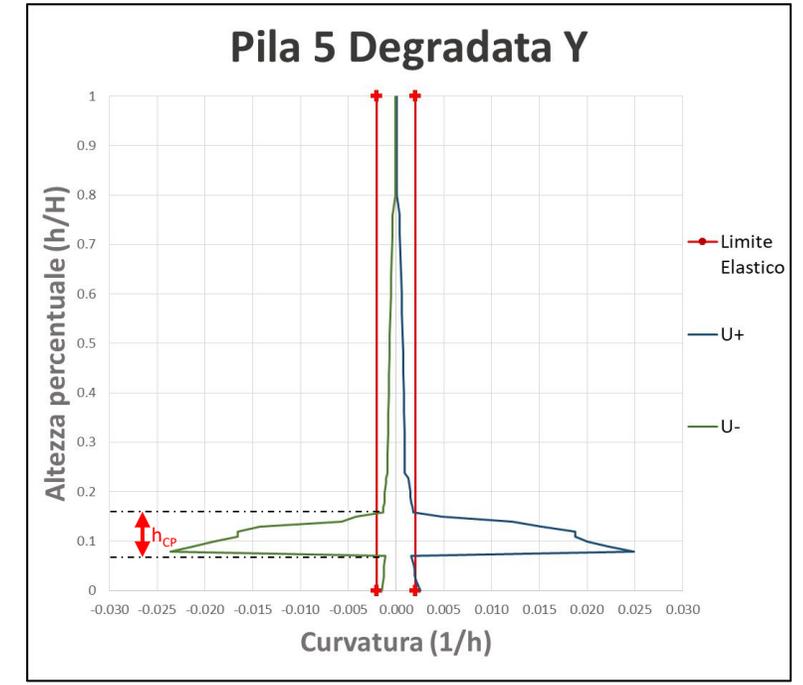
PILA 5



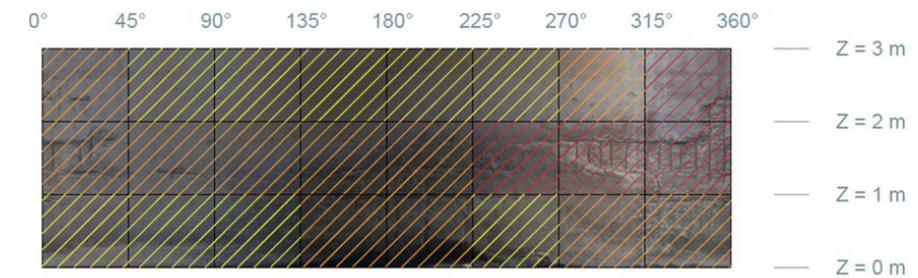
- Formazione cerniera plastica alla base della pila



- Formazione cerniera plastica tra 0.06H e 0.18H



Maggior degrado presente in tale zona



Scenario	Livello di degrado
D0	nullo
D1	basso
D2	medio
D3	alto
D4	molto alto

View Structure Node/Element Properties Boundary Load Analysis Results PSC Pushover Design Rating Query Tools

Dynamic View Render View Select Activities Grids/Snap Display Window Window Tile

Redraw Initial View Previous View Dynamic View Point View Named View Hidden Select Unselect Select Previous Active Inactive All Inverse Active UCS/GCS Grids Snap Display New Window Close Next Previous Tile Horizontally Tile Vertically Cascade

Tree Menu

Tables Works Group Report

- Works
 - Analysis Control Data
 - Eigenvalue Analysis [Type=Eigenve
 - Structures
 - Nodes : 3526
 - Elements : 3268
 - Properties
 - Material : 3
 - Section : 13
 - Thickness : 2
 - Boundaries
 - Supports : 15
 - Elastic Link : 64
 - Plate End Release : 168
 - Rigid Link : 764
 - Masses
 - Loads to Masses : 2
 - Static Loads
 - Static Load Case 1 [Barrier ; Barrier]
 - Static Load Case 2 [Wearing Surface
 - Static Load Case 3 [Prestress ;]
 - Static Load Case 4 [self weight ;]
 - Moving Load Analysis
 - Moving Load Code [EUROCODE]
 - Traffic Surface Lanes : 2
 - Vehicles : 2

