



UNIONE EUROPEA
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



*Mitigazione dei rischi naturali per la sicurezza e la mobilità
nelle aree montane del Mezzogiorno: Il contributo dei Collaboratori di Ricerca*

ANALISI DI STRUTTURE ED INFRASTRUTTURE VIARIE E INDIVIDUAZIONE DELLE STRATEGIE DI INTERVENTO OTTIMALI PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO SISMICO

Responsabile Scientifico: Prof. Donatello Cardone

Scuola di Ingegneria (SI – UNIBAS)

*Relatore: **Angelo Anelli***

Ruolo: Contrattista

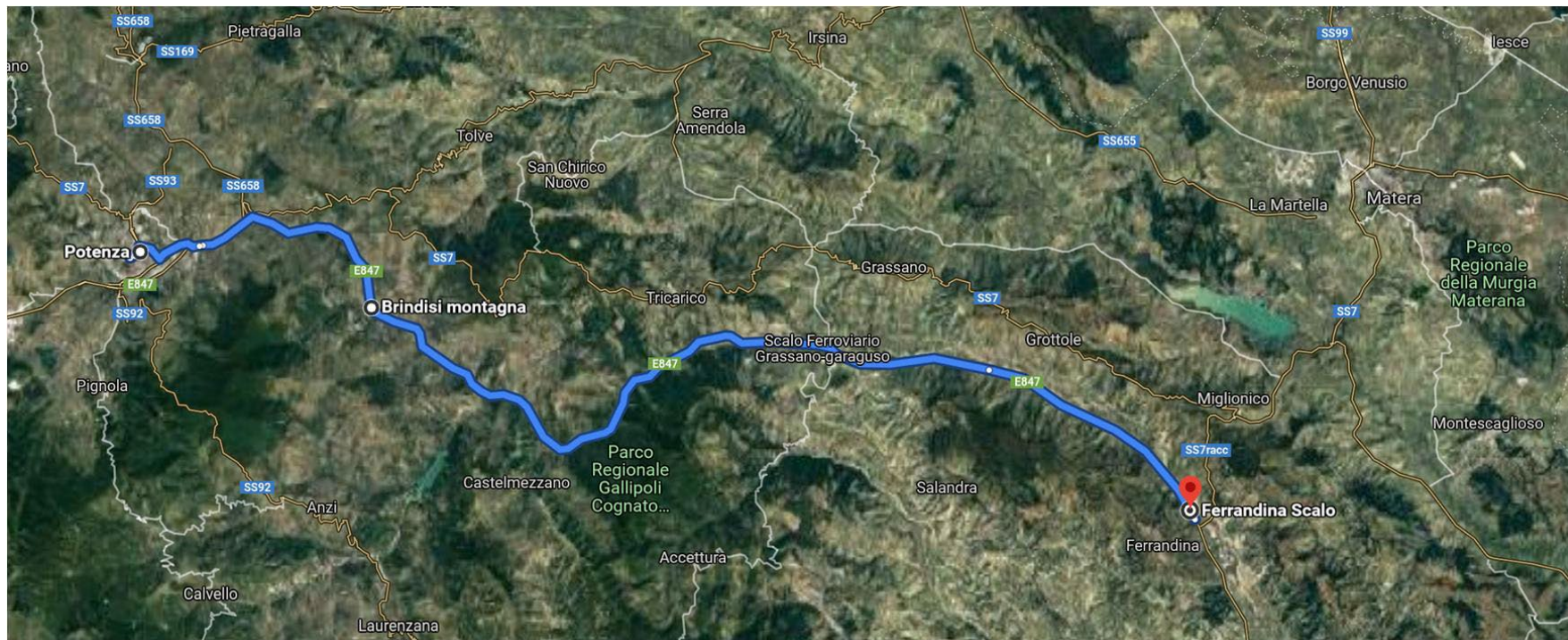
15 Gennaio 2024

- Valutare le **PRESTAZIONI SISMICHE** dei ponti e viadotti presenti lungo il tracciato della SS 407 BASENTANA;
- Proporre una **STRATEGIA DI INTERVENTO** sulla base delle criticità riscontrate;
- Sviluppare le **CURVE DI FRAGILITA'** pre e post intervento.



1. Descrizione del caso studio;
2. Implementazione dei modelli numerici;
3. Identificazione degli stati limite e verifiche di sicurezza;
4. Definizione della strategia di intervento;
5. Costruzione delle curve di fragilità pre e post intervento;
6. Conclusioni e sviluppi futuri.

RETE VIARIA: SS 407 "Basentana"



PONTI E VIADOTTI DELLA RETE VIARIA

POTENZA - METAPONTO

	Viadotto	Coordinate GPS
1	Tiera di vaglio +	40°39'22.86"N, 15°52'28.81"E
2	Difesa I +	40°39'15.78"N, 15°53'17.49"E
3	Difesa I +	40°39'14.71"N, 15°53'23.83"E
4	Basento +	40°39'3.07"N, 15°53'46.01"E
5	PO_SS407_6072	40°39'6.41"N, 15°55'35.74"E
6	PO_SS407_6476	40°38'57.12"N, 15°55'51.25"E
7	PO_SS407_6957	40°38'53.10"N, 15°56'7.37"E
8	Grancia I +	40°37'49.51"N, 15°57'0.33"E
9	Grancia II +	40°37'25.38"N, 15°57'2.05"E
10	Brindisi I +	40°36'50.64"N, 15°57'10.60"E
11	Brindisi II +	40°36'41.48"N, 15°57'15.20"E
12	Giaconte +	40°36'38.74"N, 15°57'23.94"E
13	Gianni +	40°36'18.95"N, 15°58'22.38"E
14	Mecca +	40°36'17.53"N, 15°58'41.99"E
15	Coronati +	40°35'55.68"N, 15°59'3.68"E
16	Brutto +	40°35'40.01"N, 15°59'9.05"E
17	Pietra +	40°35'24.89"N, 15°59'42.60"E
18	Adamo +	40°34'57.17"N, 16° 0'31.79"E
19	Trivigno +	40°34'51.89"N, 16° 0'50.77"E
20	Sodo +	40°34'36.22"N, 16° 1'0.65"E
21	Albano +	40°34'28.46"N, 16° 1'14.07"E
22	Freddo +	40°34'19.37"N, 16° 1'32.64"E
23	Moliano +	40°34'17.38"N, 16° 2'9.17"E
24	Monticello +	40°34'14.69"N, 16° 2'23.47"E
25	Calcesi +	40°33'25.75"N, 16° 3'28.56"E
26	Arena +	40°33'15.35"N, 16° 3'36.90"E
27	Della vecchia +	40°33'3.92"N, 16° 3'46.55"E
28	Balzano +	40°32'41.95"N, 16° 4'28.04"E
29	Gallipoli +	40°32'52.37"N, 16° 4'59.67"E
30	Scannacape +	40°33'1.30"N, 16° 5'25.10"E
31	Vallone +	40°33'6.12"N, 16° 5'49.39"E
32	Ruderi +	40°33'58.50"N, 16° 6'46.59"E
33	Mandria II +	40°34'2.33"N, 16° 6'49.09"E
34	Chiaromonte +	40°34'36.52"N, 16° 7'8.26"E
35	Fattore +	40°34'42.73"N, 16° 7'15.02"E
36	Valicante +	40°34'52.89"N, 16° 7'57.99"E
37	Cognato +	40°35'8.15"N, 16° 8'15.96"E
38	Turato +	40°35'10.73"N, 16° 8'23.64"E
39	Calciano I +	40°35'32.20"N, 16° 9'20.79"E
40	Tricarico I +	40°35'52.46"N, 16°10'2.31"E
41	Tricarico II +	40°35'55.05"N, 16°10'20.36"E
42	Tricarico III +	40°35'59.57"N, 16°10'41.43"E
43	Calciano II +	40°35'58.53"N, 16°10'56.26"E
44	Calciano III +	40°35'48.26"N, 16°13'1.61"E
45	Garaguso +	40°35'39.66"N, 16°14'38.39"E
46	Auletta +	40°35'34.67"N, 16°14'48.99"E
47	Vallone Scamarce	40°35'9.21"N, 16°16'48.57"E
48	Salandra	40°34'57.99"N, 16°21'2.36"E
49	Concone	40°31'40.55"N, 16°27'49.20"E



METAPONTO-POTENZA

	Viadotto	Coordinate GPS
50	PO_SS407<_6476	40°38'57.12"N, 15°55'51.25"E
51	PO_SS407<_6957	40°38'52.78"N, 15°56'8.97"E
52	Grancia I --	40°37'47.72"N, 15°57'0.49"E
53	Grancia II --	40°37'25.14"N, 15°57'2.63"E
54	Brindisi I -	40°36'49.74"N, 15°57'11.02"E
55	Brindisi II --	40°36'41.01"N, 15°57'17.15"E
56	Giaconte --	40°36'32.24"N, 15°57'47.23"E
57	Gianni --	40°36'20.29"N, 15°58'32.02"E
58	Mecca --	40°36'16.20"N, 15°58'46.97"E
59	Coronati --	40°35'45.94"N, 15°59'4.74"E
60	Brutto --	40°35'39.84"N, 15°59'10.69"E
61	Pietra --	40°35'20.94"N, 15°59'51.36"E
62	Adamo --	40°34'56.79"N, 16° 0'35.76"E
63	Trivigno --	40°34'50.13"N, 16° 0'54.22"E
64	Ferrovia --	40°34'40.82"N, 16° 0'59.05"E
65	Sodo --	40°34'31.60"N, 16° 1'8.60"E
66	Albano --	40°34'28.55"N, 16° 1'14.10"E
67	Freddo --	40°34'16.82"N, 16° 1'42.45"E
68	Moliano --	40°34'16.31"N, 16° 2'20.24"E
69	Monticello --	40°34'11.09"N, 16° 2'39.26"E
70	Costa --	40°33'39.48"N, 16° 3'18.00"E
71	Calcesi --	40°33'22.28"N, 16° 3'31.83"E
72	Della vecchia --	40°32'58.36"N, 16° 3'54.88"E
73	Balzano --	40°32'46.26"N, 16° 4'46.56"E
74	Gallipoli --	40°33'3.51"N, 16° 5'34.88"E
75	Vallone --	40°33'10.00"N, 16° 5'56.94"E
76	Cipressi --	40°33'11.77"N, 16° 6'6.55"E
77	Carvotto II --	40°33'14.45"N, 16° 6'13.13"E
78	Carvotto I --	40°33'17.79"N, 16° 6'16.71"E
79	Ruderi --	40°34'1.08"N, 16° 6'47.59"E
80	Mandria II --	40°34'17.94"N, 16° 6'50.22"E
81	Mandria I --	40°34'34.81"N, 16° 7'6.42"E
82	Chiaromonte --	40°34'41.13"N, 16° 7'11.66"E
83	Fattore --	40°34'43.94"N, 16° 7'16.84"E
84	Valicante --	40°35'6.20"N, 16° 8'10.40"E
85	Cognato --	40°35'9.83"N, 16° 8'19.92"E
86	Turato --	40°35'22.69"N, 16° 8'50.25"E
87	Calciano I --	40°35'48.16"N, 16° 9'39.44"E
88	Tricarico I --	40°35'53.32"N, 16°10'6.26"E
89	Calciano II --	40°35'50.21"N, 16°11'10.78"E

ELABORATI PROGETTUALI

Viadotto **H media** **H min** **Hmax**

Chiaromonte 21,1 19,2 23,0

Cognato 14,8 10,7 18,9

Valicante 21,9 2,8 28,7

Turato 14,8 2,0 23,9

Scannacapre 4,8 1,0 9,2

Trivigno 5,6 4,9 6,3

Arena 7,9 7,7 8,1

Calcesi 6,0 5,6 6,5

Della vecchia 6,1 4,2 8,7

Freddo 9,9 5,7 11,9

Monticello 7,7 2,1 11,0

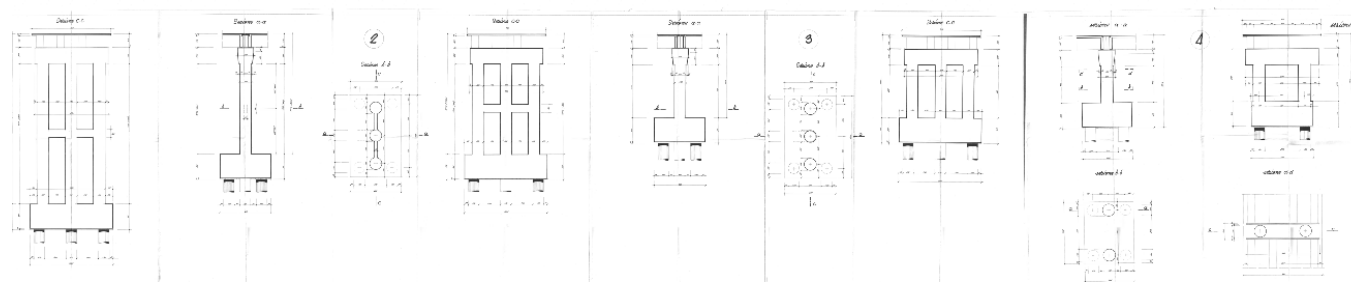
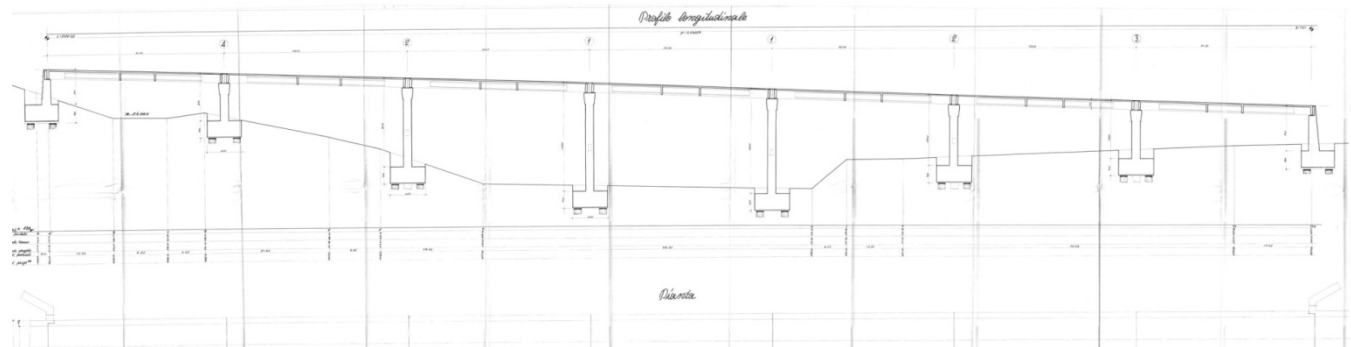
Sodo 7,1 5,1 11,0

Balzano 13,5 8,7 15,0

Gallipoli 12,4 11,6 13,4

Mandria II 11,8 6,3 17,2

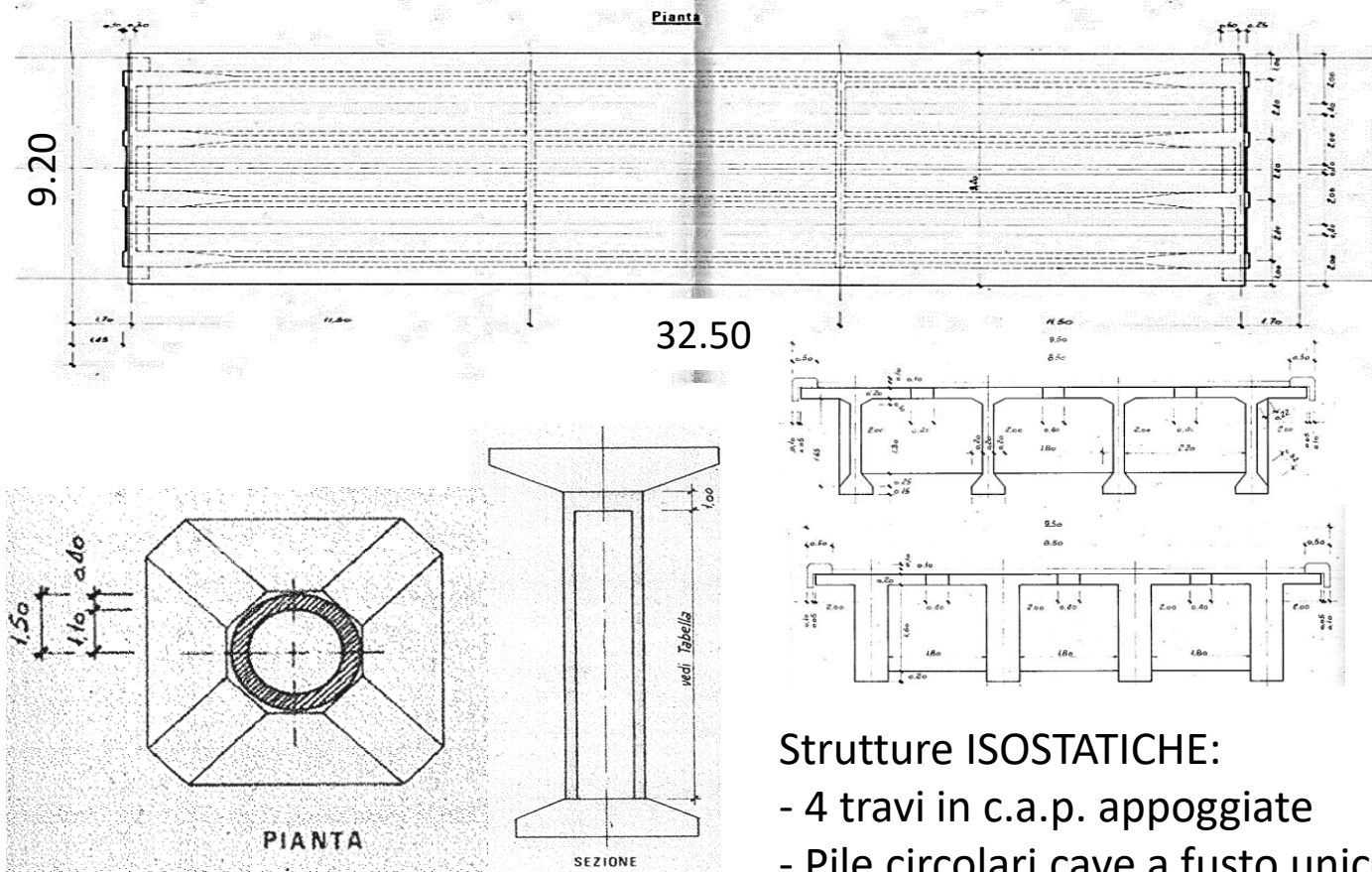
Vallone 5,8 4,6 6,9



ELABORATI PROGETTUALI

Viadotto **H media** **H min** **Hmax**

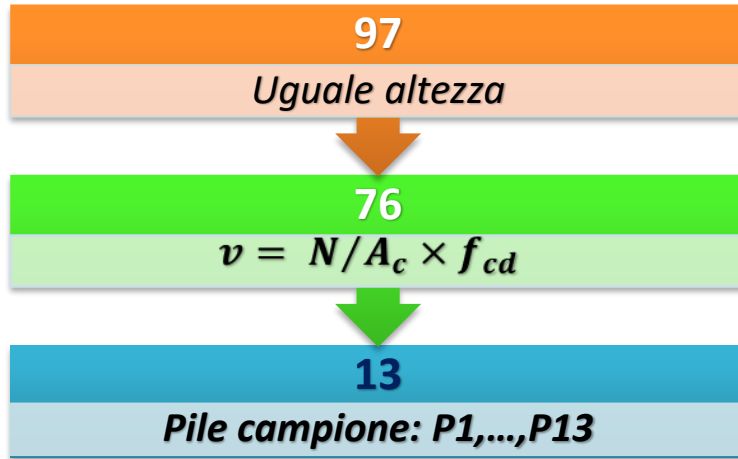
Chiaromonte	21,1	19,2	23,0
Cognato	14,8	10,7	18,9
Valicante	21,9	2,8	28,7
Turato	14,8	2,0	23,9
Scannacape	4,8	1,0	9,2
Trivigno	5,6	4,9	6,3
Arena	7,9	7,7	8,1
Calcesi	6,0	5,6	6,5
Della vecchia	6,1	4,2	8,7
Freddo	9,9	5,7	11,9
Monticello	7,7	2,1	11,0
Sodo	7,1	5,1	11,0
Balzano	13,5	8,7	15,0
Gallipoli	12,4	11,6	13,4
Mandria II	11,8	6,3	17,2
Vallone	5,8	4,6	6,9



Strutture ISOSTATICHE:

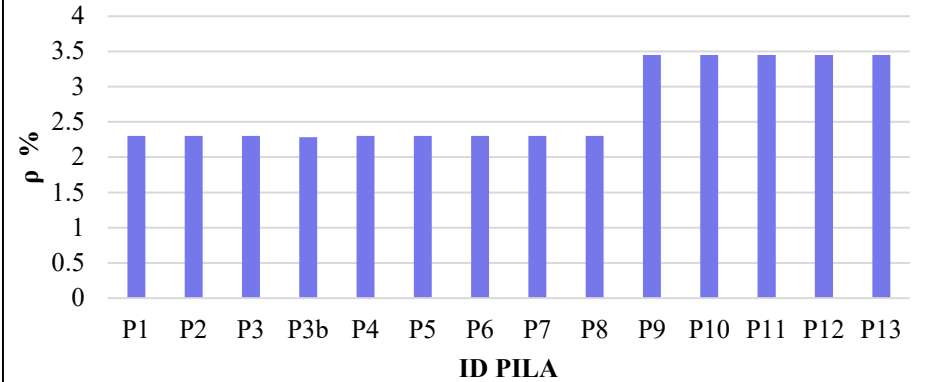
- 4 travi in c.a.p. appoggiate
- Pile circolari cave a fusto unico

PRECEDENTE STUDIO

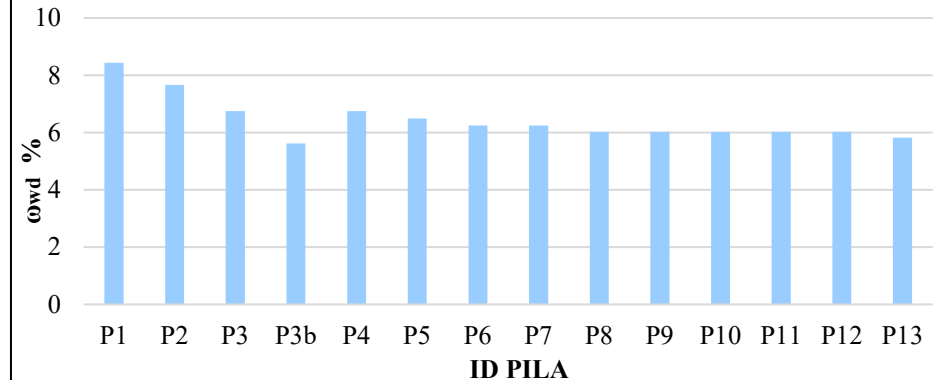


- Resistenza a taglio inadeguata
- Scarsa duttilità

ARMATURA LONGITUDINALE



ARMATURA TRASVERSALE

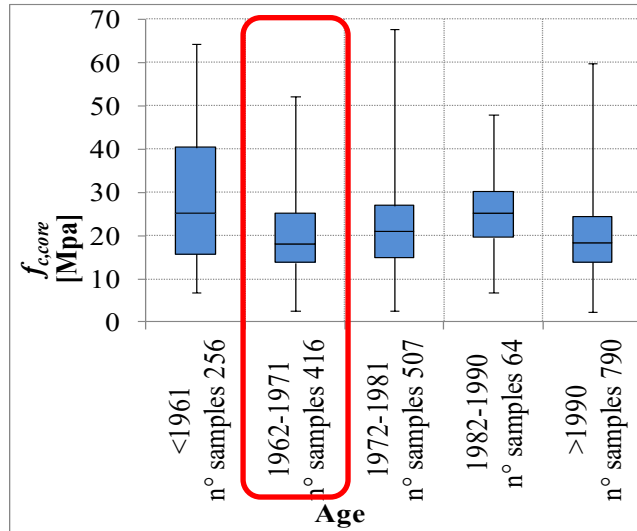


CALCESTRUZZO

Contratto n. 8019 in dat. 26-1-67

Disegni di Contabilita'

Vona (2022)



$f_c = 14, 18, 24 \text{ MPa}$

ACCIAIO

INDICAZIONE dei LAVORI	POSIZ.	PARTI SIMILI	N°	LUNGHEZZA
Art. 65 - Acciaio del tipo Ag. 50-60, ecc.				

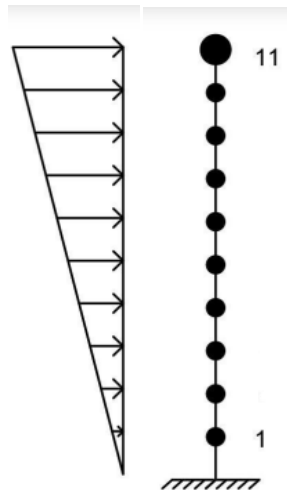
Verderame et al. (2011)

Periodo1950-1972	Comune	AQ42	AQ50	AQ60	ALE	
n°prove	1464	3520	3278	949	461	
Media	276.47	322.34	370.90	435.45	512.06	
Mediana	276.45	320.80	369.30	428.30	500.20	
Dev.St.	25.10	26.59	31.84	50.06	65.41	
min	165.20	211.90	212.80	294.30	260.80	
max	386.20	486.30	557.00	656.80	884.20	
kurtosi	4.320	4.728	6.186	6.652	6.749	
LogNormal	μ	5.618	5.775	5.912	6.070	6.230
	σ	0.091	0.082	0.084	0.109	0.122
Normal	μ	276.47	322.34	370.90	435.45	512.06
	σ	25.10	26.59	31.84	50.06	65.41

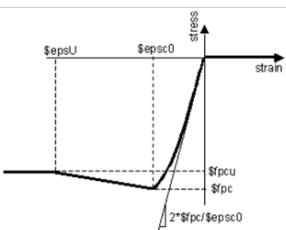
$f_y = 369.3, 428.3 \text{ MPa}$

INCERTEZZE NELLA MODELLAZIONE E NELLA DEFINIZIONE DEGLI STATI LIMITE: 12

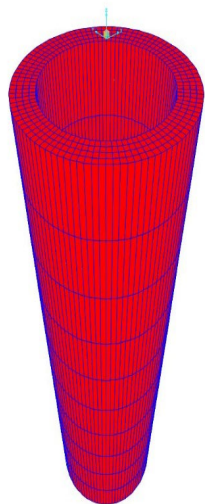
MODELLI PER OGNI TIPOLOGIA DI PILA



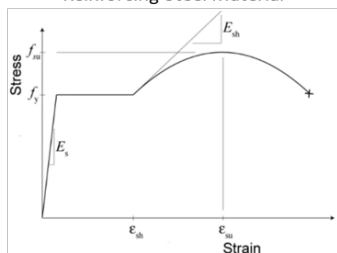
Concrete01



Confined and Unconfined RC
(deduced from *Mander et al. 1988*)



Reinforcing Steel Material



Buckling (*Dhakal and Maekawa, 2002*)

► Condizioni integre

$$f_c = 14, 18, 24 \text{ MPa}$$

$$f_y = 369.3, 428.3 \text{ MPa}$$

Condizioni degradate

$$f_c = 14, 18, 24 \text{ MPa}$$

$$f_y = 369.3, 428.3 \text{ MPa}$$

Concrete cover spall (3m)

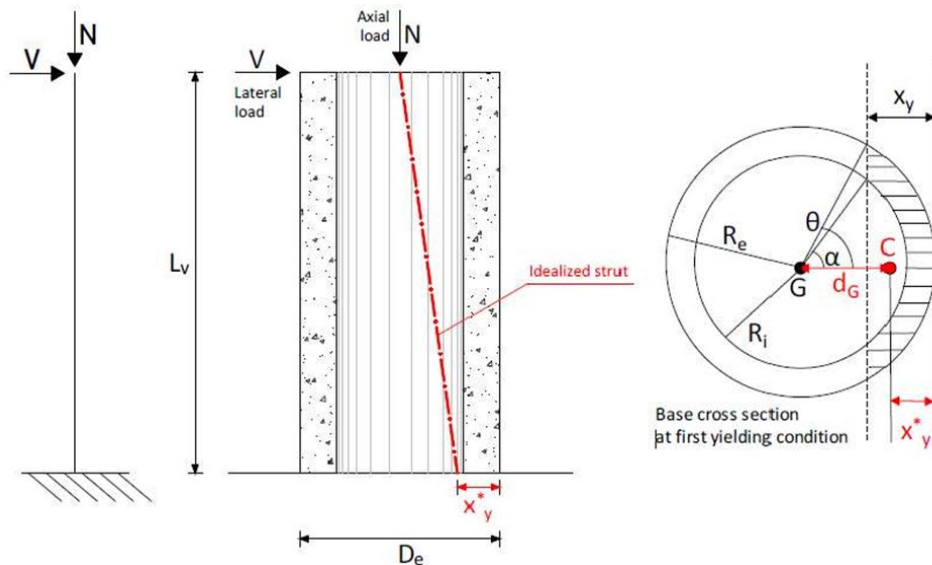
Without transv. bars (3m)

CL=30% in long. bars (3m)

(Imperatore et al. 2017)



Resistenza a taglio per le sezioni circolari cave: meccanismo di rottura di *Cassese et al. 2019*



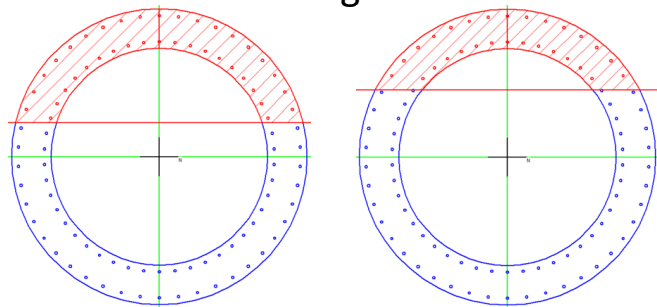
$$V_{R,mod} = V_{N,mod} + k \cdot (V_{c,mod} + V_{s,mod})$$

$$V_{N,mod} = s_e \cdot \frac{(D_e - x_y^*(N))}{2L_v} \cdot N$$

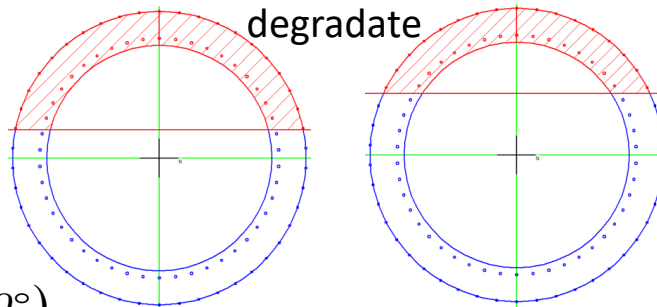
$$V_{c,mod} = \alpha \cdot \beta \cdot 0.33 \sqrt{f_c} \cdot \lambda \cdot 0.9 \pi \cdot (R_e^2 - R_i^2)$$

$$V_{s,mod} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yw} \cdot (D_e - x(N) - c) \cdot \cot(30^\circ)$$

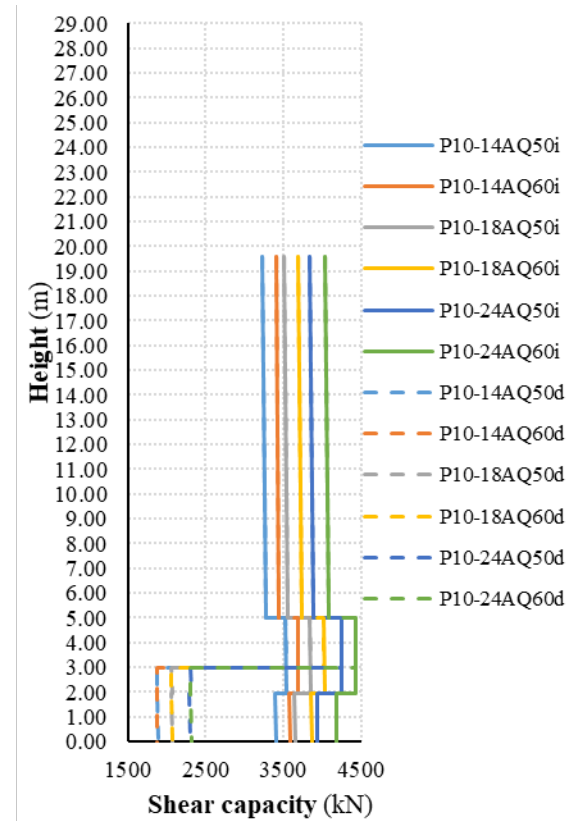
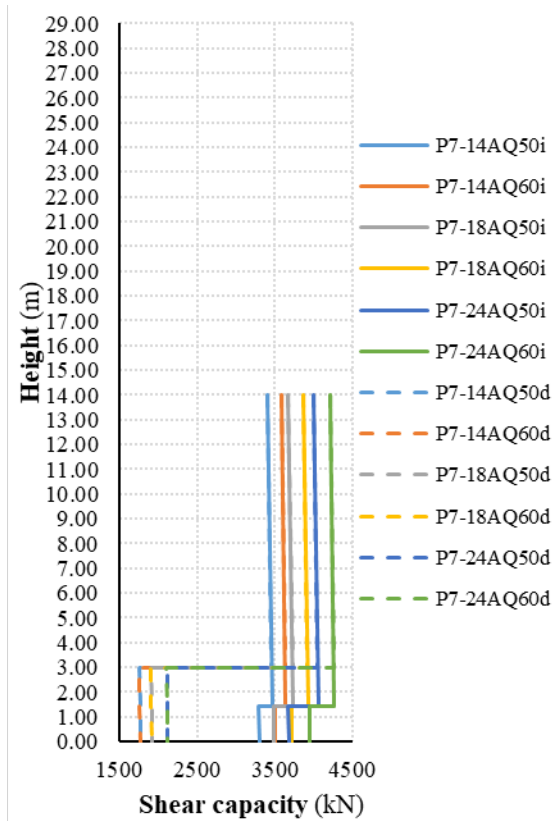
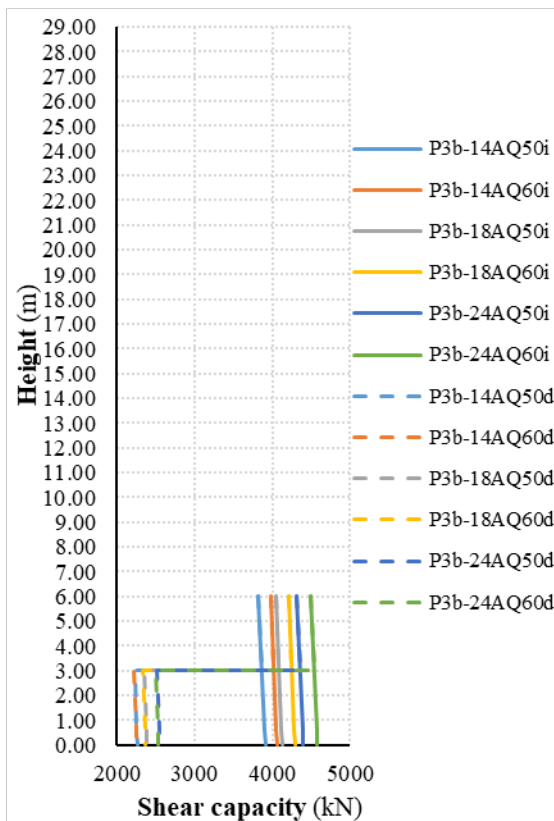
Condizioni
integre

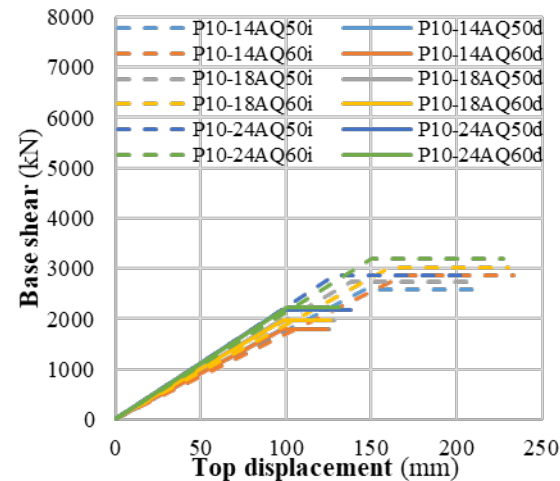
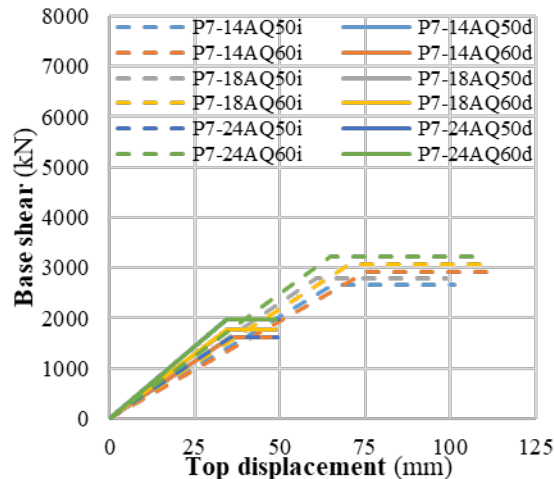
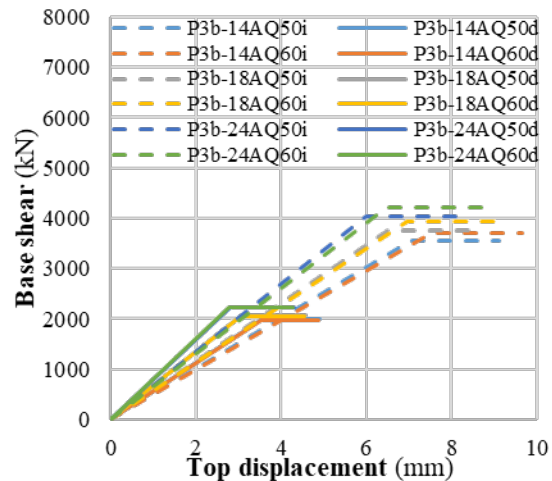
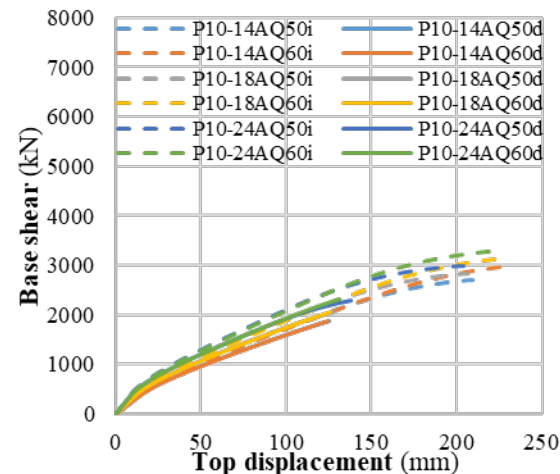
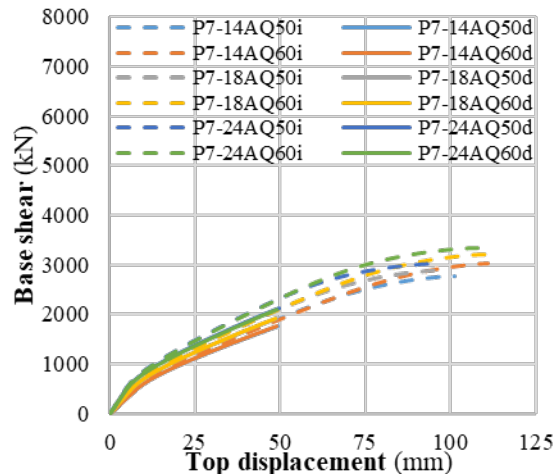
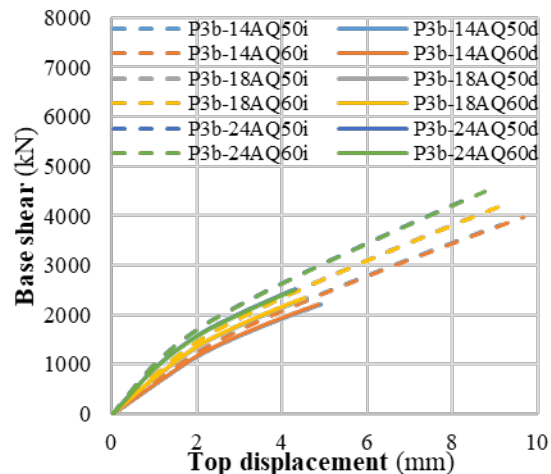


Condizioni
degradate

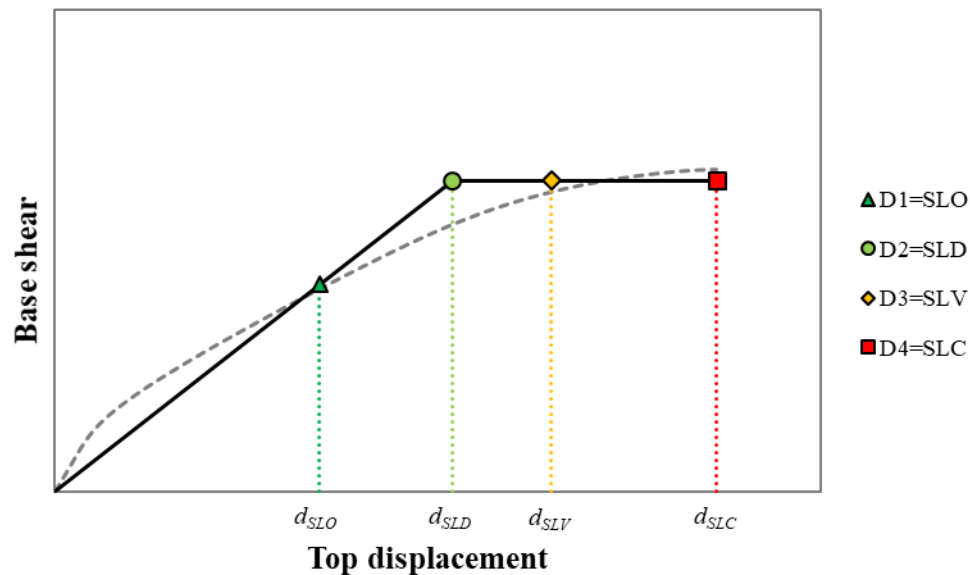


zeroLength Element

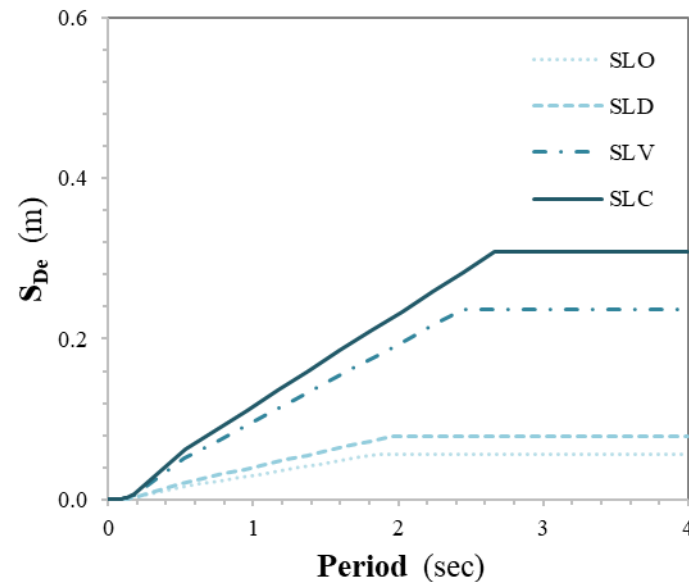




CAPACITÀ



DOMANDA



$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \begin{cases} \rightarrow T \geq T_C & \Rightarrow S_{D_i}(T) = S_{D_e}(T) \\ \rightarrow T < T_C & \Rightarrow S_{D_i}(T) = \frac{S_{D_e}(T)}{q} \cdot \left[1 + (q-1) \cdot \frac{T_C}{T} \right] \end{cases}$$

$$q = \max\left(\frac{m \cdot S_e(T)}{F_y}; 1\right)$$



Type of bridge pier		Damage state			
		SLO ($d_{SLO}/S_{Di}(T)$)	SLD ($d_{SLD}/S_{Di}(T)$)	SLV ($d_{SLV}/S_{Di}(T)$)	SLC ($d_{SLC}/S_{Di}(T)$)
P1	Min	2.04	2.39	1.09	0.89
	Max	4.39	5.13	2.33	2.55
P2	Min	1.56	1.83	0.57	0.49
	Max	3.41	4.00	1.82	1.98
P3	Min	0.89	1.03	0.27	0.29
	Max	2.12	2.45	1.08	1.07
P3b	Min	0.93	1.08	0.27	0.28
	Max	1.99	2.30	1.03	0.92
P4	Min	0.83	0.93	0.33	0.35
	Max	2.08	2.40	1.06	1.07
P5	Min	0.79	0.90	0.38	0.41
	Max	1.96	2.26	1.07	1.16
P6	Min	0.89	1.00	0.44	0.49
	Max	2.02	2.27	1.15	1.28
P7	Min	1.09	1.22	0.53	0.59
	Max	2.12	2.39	1.22	1.36
P8	Min	1.22	1.37	0.59	0.66
	Max	2.21	2.49	1.27	1.41
P9	Min	1.73	1.95	0.81	0.87
	Max	2.98	3.36	1.66	1.85
P10	Min	1.87	2.10	0.88	0.93
	Max	3.12	3.51	1.65	1.84
P11	Min	2.27	2.56	1.09	1.22
	Max	3.27	3.67	1.74	1.93
P12	Min	2.30	2.59	1.10	1.23
	Max	3.31	3.72	1.76	1.96
P13	Min	2.44	2.74	1.16	1.29
	Max	3.77	4.05	1.87	2.08



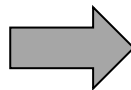
- Valutazione dello stato di fatto,
- Considerazioni tecniche ed economiche,
- Evitare la chiusura al traffico



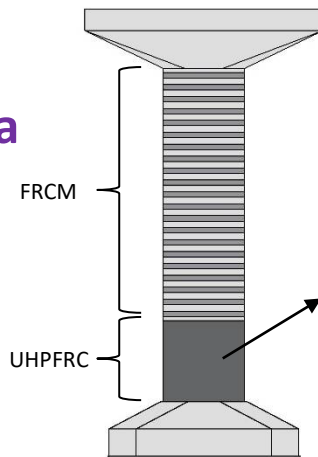
P3-P5 } **Incamiciatura in c.a. a tutt'altezza**

P1-P2
P6*
P7-P10 } **Ricostruzione volumetrica con UHPFRC**

P11-P13 } * Integrazione con FRCM



- **Resistenza flessionale**
- **Resistenza a taglio**
- **Duttilità**
- **Durabilità**

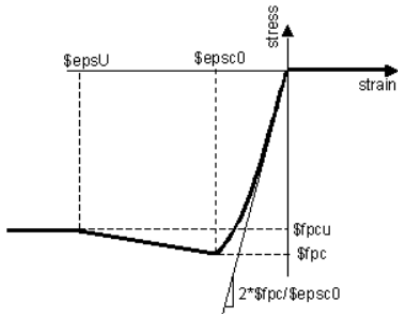


- ✓ Resistenza a compressione maggiore di 150 MPa
- ✓ Comportamento a trazione incrudente fino a valori di deformazione significativi
- ✓ Elimina completamente le varie forme di degrado (impermeabilità, acqua/cemento <0,2)
- ✓ Self-healing (dosaggio di cemento >600 kg/m³)
- ✓ Elevata lavorabilità e rapida essiccazione
- ✓ Comportamento autocompattante
- ✓ Può non richiedere armature di rinforzo

Incamiciatura in c.a.

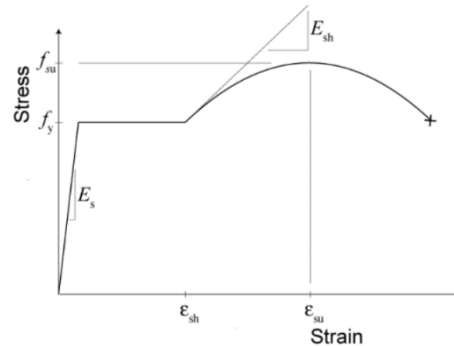
- Camicia 16 cm di Cls C80/95
- Armature B450C:
70 Φ 28 in direzione longitudinale
 Φ 10/120'' in direzione trasversale

Concrete01

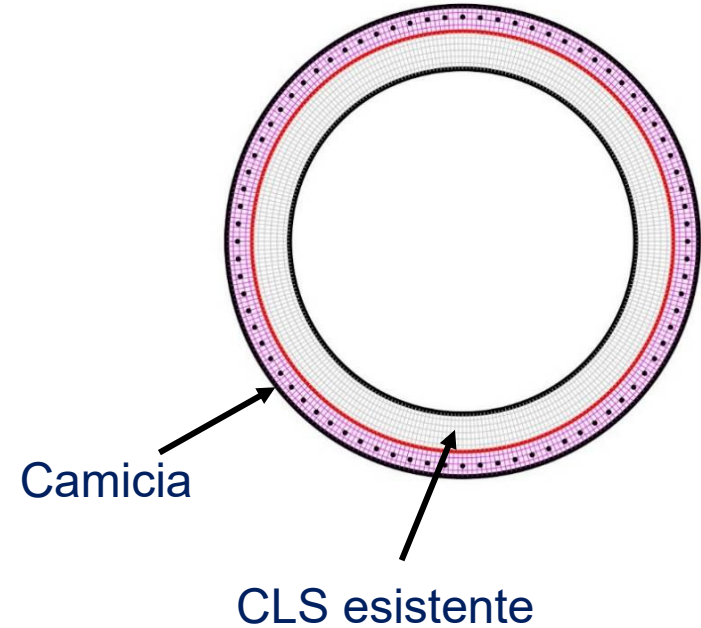


Confined and Unconfined RC
(deduced from the proposed
formulation and *Chang and
Mander, 1994*)

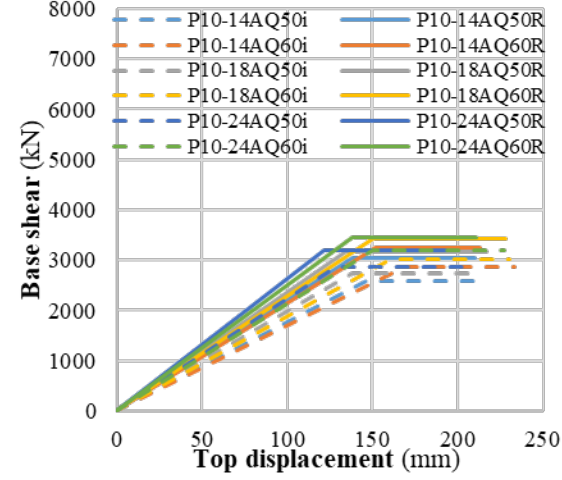
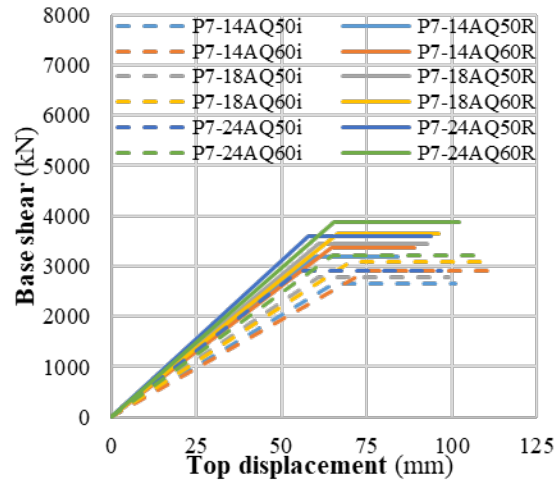
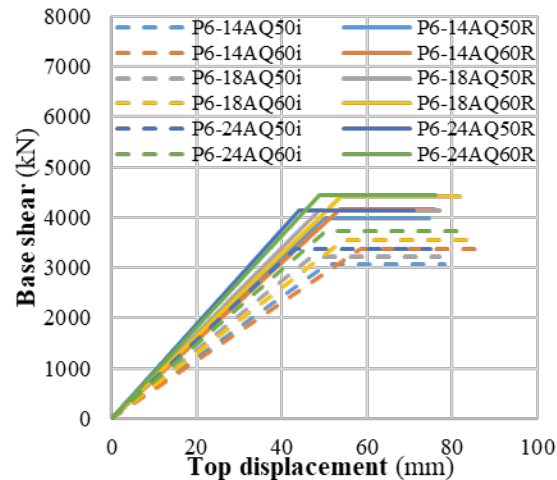
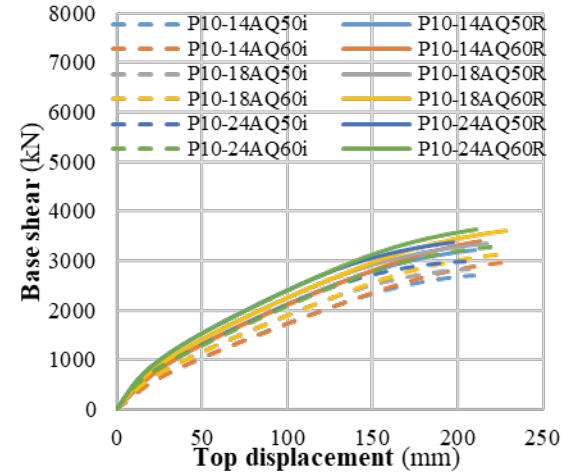
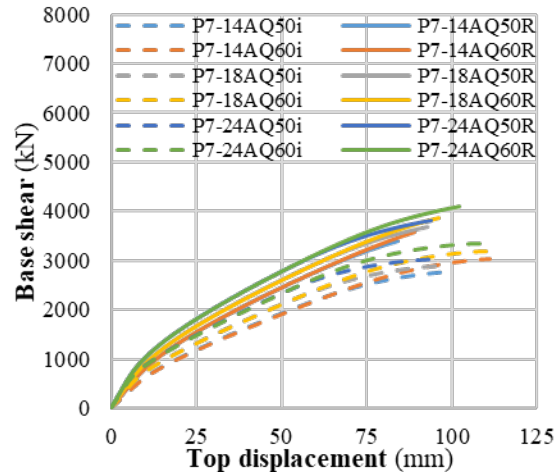
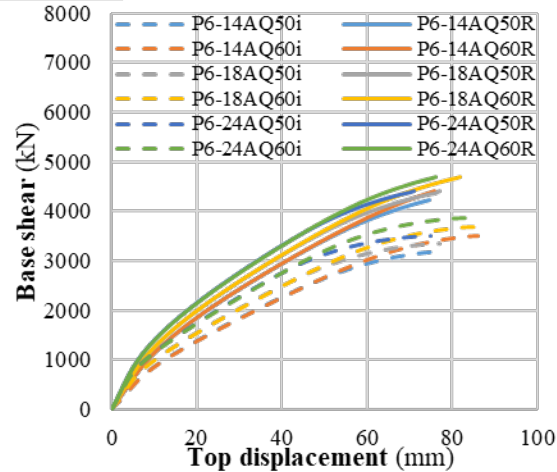
Reinforcing Steel Material



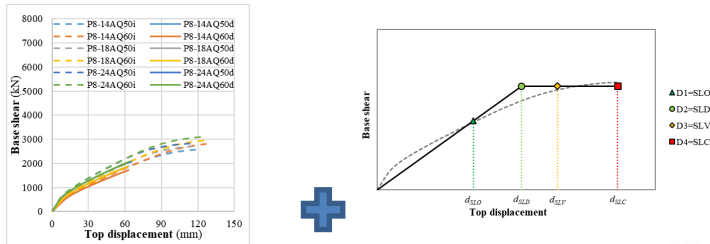
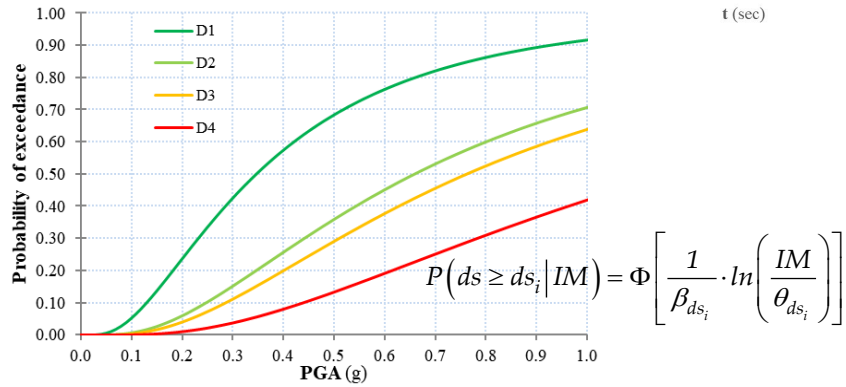
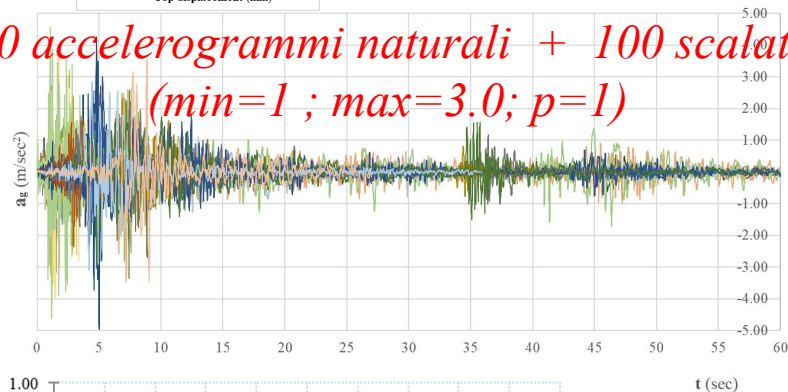
Buckling (*Dhakal and Maekawa, 2002*)



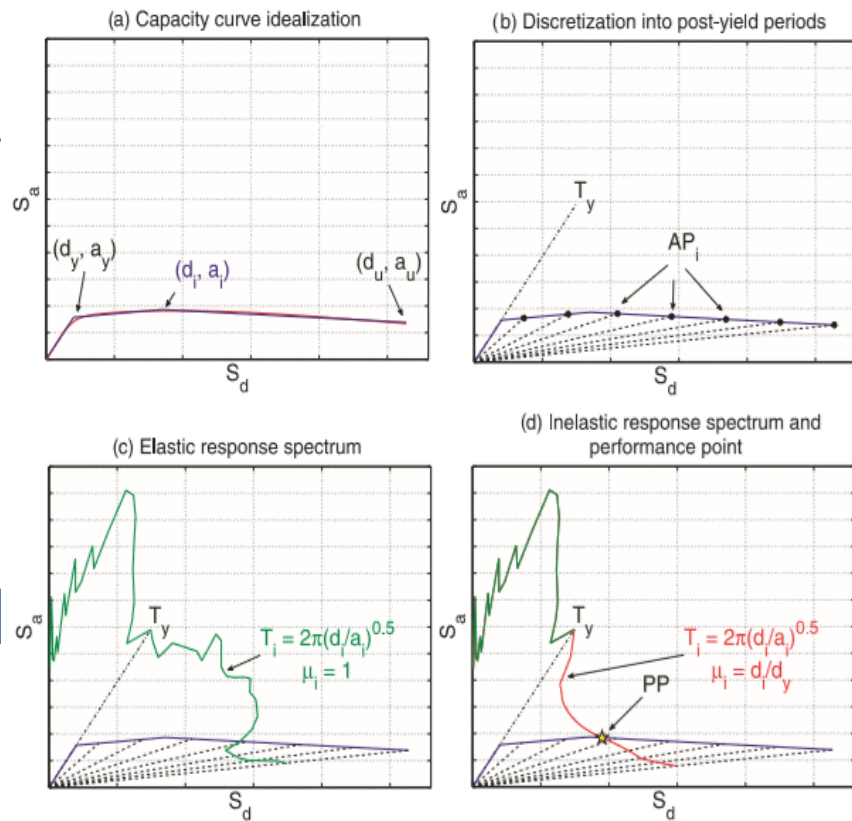
Definizione della strategia di intervento



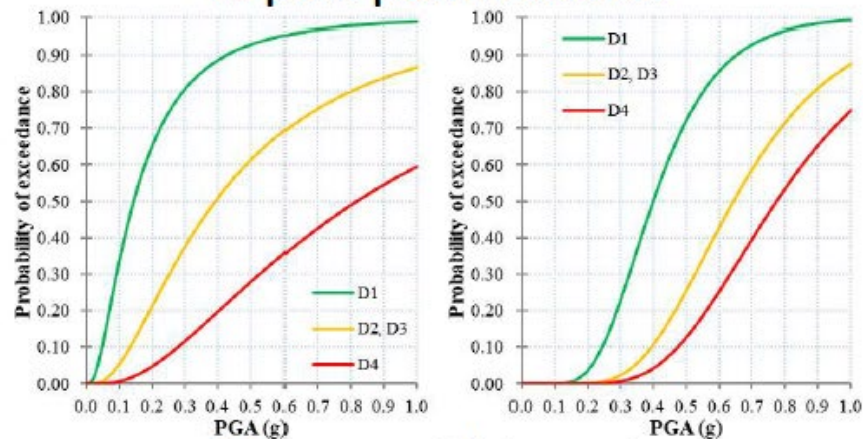
50 accelerogrammi naturali + 100 scalati
(min=1 ; max=3.0; p=1)



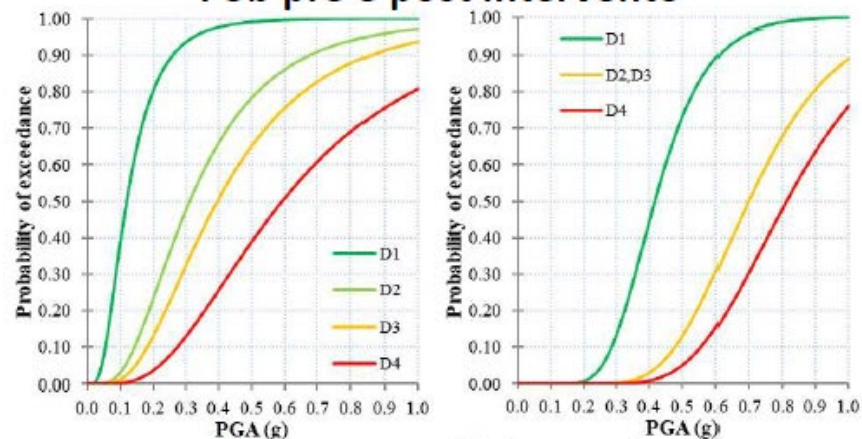
FRACAS (Rossetto et al. 2016)



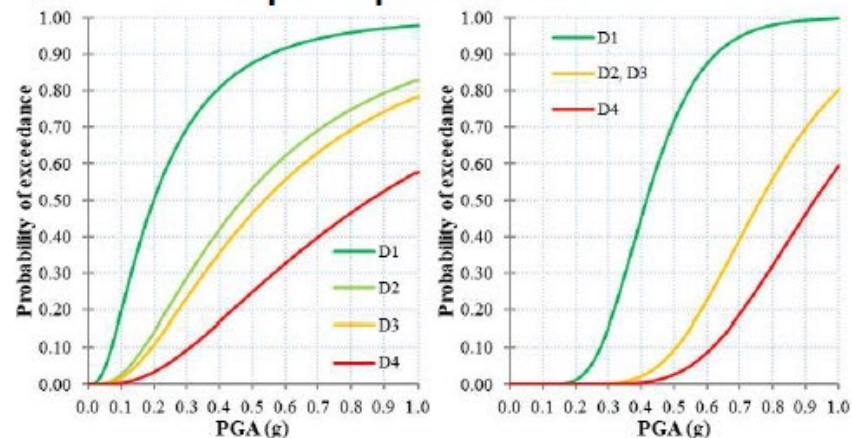
P3 pre e post intervento



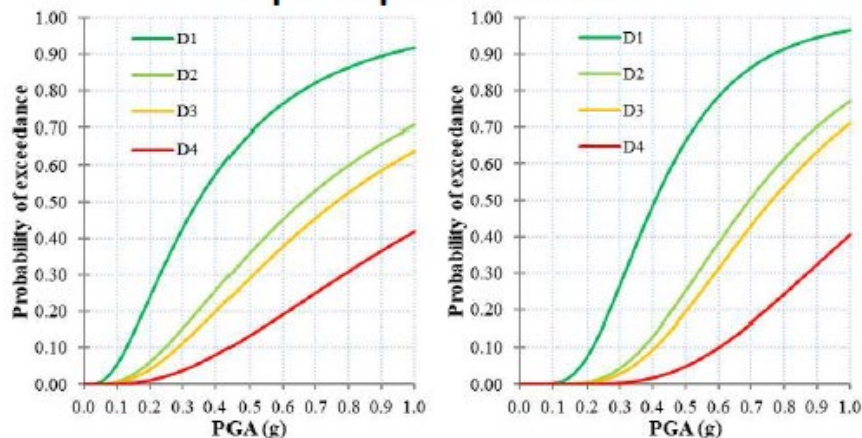
P3b pre e post intervento



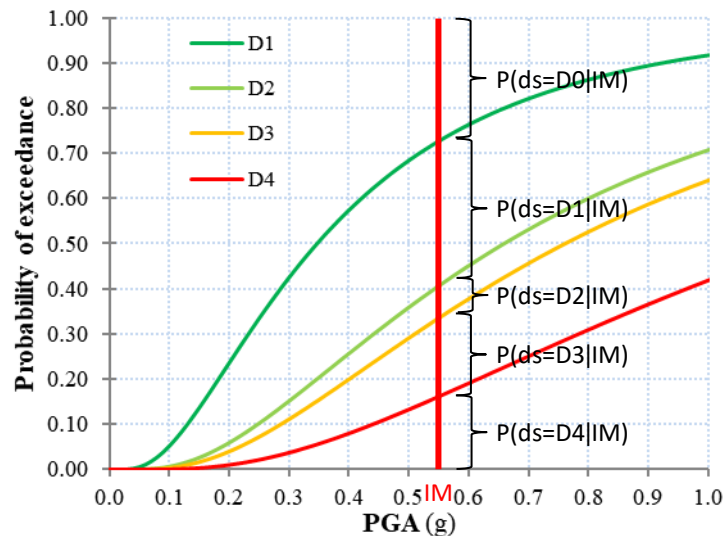
P4 pre e post intervento



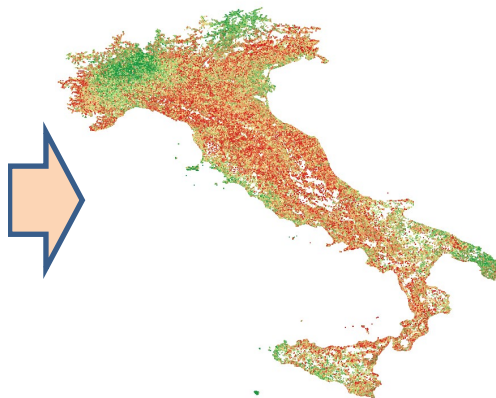
P5 pre e post intervento



1) Le curve di fragilità permettono di considerare le diverse incertezze e sono indispensabili per valutare il rischio sismico dei «**BENI**» esposti in aree a rischio



Damage scenarios



Economic losses



Human losses



2) Le curve di fragilità sono uno strumento chiave per misurare la **RESILIENZA** sismica delle **COMUNITÀ**

Anelli et al. 2023

$$Q(t) = r + 100 \cdot (1 - e^{-0.033t})$$

$$r = 100 \cdot \frac{E_{TOT}}{P_{TOT}}$$

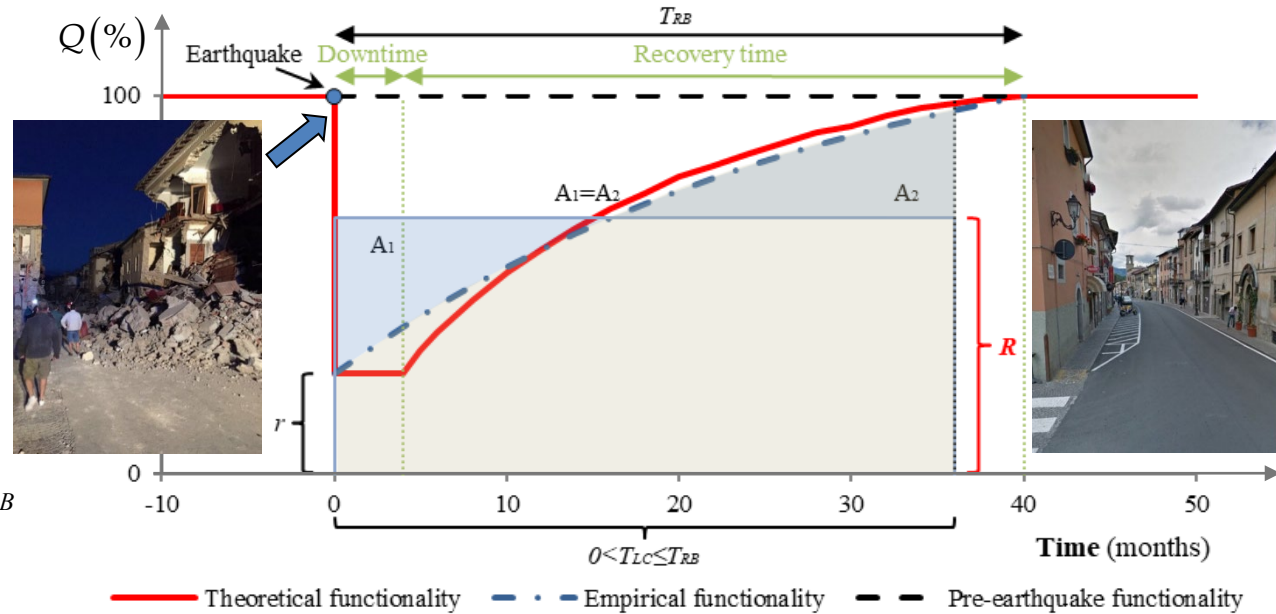
$$T_{RB} = -30.30 \cdot \ln \left(\frac{\max(r; 100 \cdot e^{-5.313})}{100} \right)$$

$$R = r + 100 \cdot \left(1 + \frac{e^{-0.033 \cdot T_{LC}} - 1}{0.033 \cdot T_{LC}} \right) \quad 0 < T_{LC} \leq T_{RB}$$

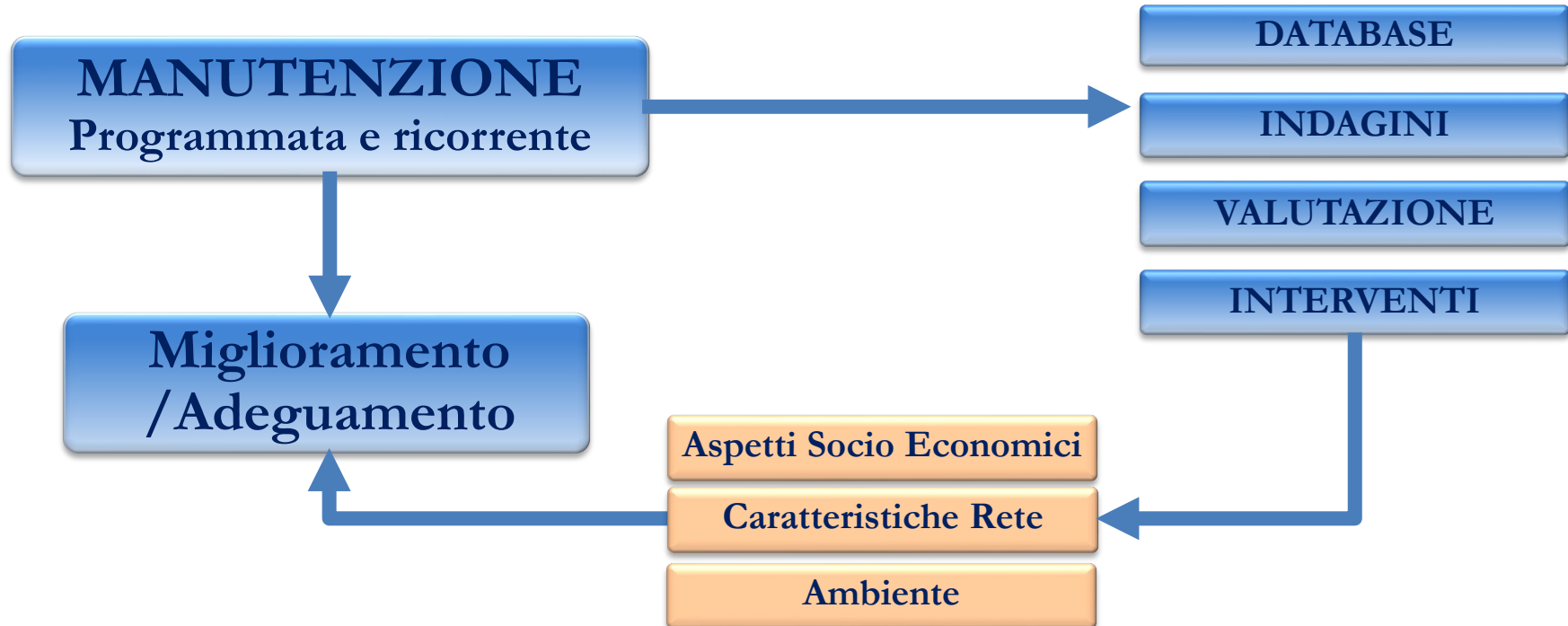
$$R = r$$

$$T_{LC}=0$$

$$R = \frac{(r+100) \cdot T_{RB} + 3030.30 \cdot (e^{-0.033 \cdot T_{RB}} - 1) + 100 \cdot (T_{LC} - T_{RB})}{T_{LC}} \quad T_{LC} > T_{RB}$$



3) Con le curve di capacità e fragilità prodotte è possibile fornire un supporto quantitativo alle scelte di gestione e programmazione degli interventi



- Anelli, A., Vona, M., Mori, F., & Moscatelli, M. (2023). **Measuring the seismic resilience of housing systems in Italy**. Applied Sciences, 13(15), 8944. <https://doi.org/10.3390/app13158944>.
- Cassese, P., De Risi, M.T., & Verderame, G.M (2019). **A degrading shear strength model for R.C. columns with hollow circular cross-section**. International Journal of Civil Engineering, 17, 1241–1259. <https://doi.org/10.1007/s40999-018-0381-1>.
- Chang, G.A., and Mander, J.B., (1994). **Seismic Energy Based Fatigue Damage Analysis of Bridge Columns:Part 1 – Evaluation of Seismic Capacity**. NCEER Technical Report No. NCEER-94-0006 State University of New York, Buffalo, N.Y.
- Dhakal, R., & Maekawa, K. (2002). **Modeling for Postyield Buckled of Reinforcement**. Journal of Structural Engineering, 128(9), 1139–1147.
- Imperatore, S., Rinaldi, Z., & Drago C., (2017). **Degradation relationships for the mechanical properties of corroded steel rebars**. Construction and Building Materials, 148, 219–230.
- Mander J.B., Priestley, M.J.N., & Park, R. (1988). **Theoretical stress-strain model for confined concrete**. Journal of Structural Engineering ASCE, 114 (8), 1804–1825.
- Rossetto, T., Gehl, P., Minas, S., Galasso, C., Duffour, P., Douglas, J., & Cook, O. (2016). **FRACAS: A capacity spectrum approach for seismic fragility assessment including record-to-record variability**. Engineering Structures, 125, 337–348.
- Pinto, P. E., Franchin, P., Lupoi, A. (2009). **Linee guida e manuale applicativo per la valutazione della sicurezza sismica e il consolidamento dei ponti esistenti in c.a.**. Progetto DPC -Reluis 2005-2008.
- Verderame, G. M., Ricci, P., Esposito, M., & Sansiviero, F.C. (2001). **Le caratteristiche meccaniche degli acciai impiegati nelle strutture in c.a. realizzate dal 1950 al 1980**. Associazione Italiana calcestruzzo Armato e Precompresso (AICAP).
- Vona, M. (2022). **Characterization of In Situ Concrete of Existing RC Constructions**. Materials, 15(16), 5549. <https://doi.org/10.3390/ma15165549>.



UNIONE EUROPEA
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Mitigazione dei rischi naturali per la sicurezza e la mobilità nelle aree montane del Mezzogiorno: Il contributo dei Collaboratori di Ricerca

Estratto dagli Atti del Convegno: Il contributo dei Collaboratori di Ricerca del progetto MITIGO presso l'Università della Basilicata

© 2024 Università degli Studi della Basilicata

Editrice Universosud – Potenza

ISBN 9791281551084



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

www.ponricerca.gov.it