
AIST

Associazione Italiana Software Tecnico



Caserta
5-7 Maggio
2022

Miglioramento sismico di strutture esistenti: casi pratici di progettazione e modellazione

Tecniche AI per la progettazione di interventi di miglioramento sismico su edifici esistenti in cemento armato

Prof. Ing. Enzo Martinelli

Professore Associato di Tecnica delle Costruzioni presso il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università degli studi di Salerno

1

Introduzione

2

Stato dell'arte delle procedure di analisi sismica

3

Stato dell'arte delle strategie e tecniche di adeguamento sismico

4

Panoramica delle applicazioni ingegneristiche di Soft-Computing

5

Procedura di adeguamento sismico con tecniche di Soft-Computing

6

Implementazione della Procedura

7

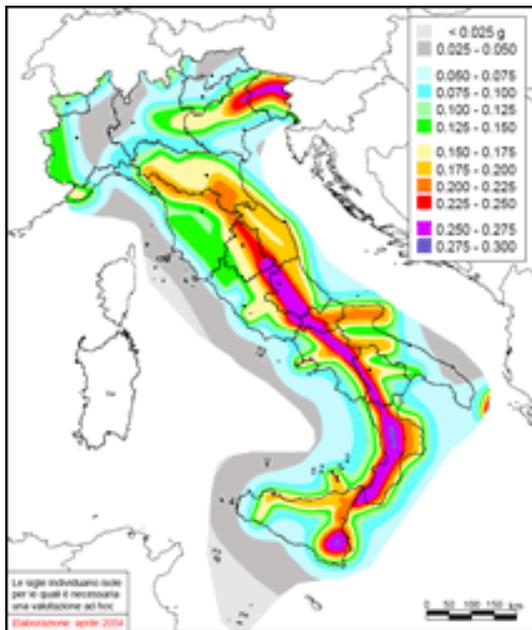
Applicazioni

8

Conclusioni

Motivazioni ed obiettivi

Rischio = Pericolosità x Vulnerabilità x Esposizione



Motivazioni ed obiettivi

I seguenti fattori contribuiscono ad incrementare notevolmente il rischio sismico in Italia:

- Zone ad elevata pericolosità sismica ;
- Vulnerabilità del costruito ;
- Elevato tasso di antropizzazione.

Motivazioni ed obiettivi

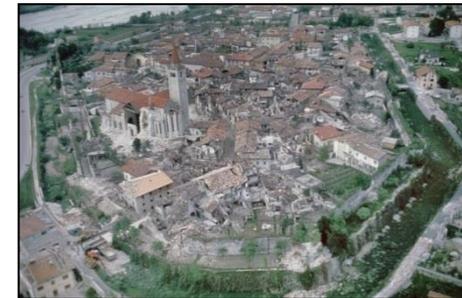
ELEVATA VULNERABILITÀ



Messina, 1908 (decessi: 85,926)



Avezzano, 1915 (decessi: 32,610)



Friuli, 1976 (decessi: 989)



Irpinia, 1980 (decessi: 2,914)



L'Aquila, 2009 (decessi: 309)



Amatrice, 1908 (decessi: 299)

Motivazioni ed obiettivi

In base a recenti stime del CNI sulla base di dati CRESME, ISTAT e della Protezione Civile, un adeguamento sismico dell'intero suolo italiano rispetto ad un sisma distruttivo di media entità (L'Aquila) richiede ingenti investimenti.

Seismic zone 1	Seismic zone 2	Seismic zone 3	Seismic zone 4	Total
€ 5'478'567'793	€ 30'312'813'481	€ 27'290'412'368	€ 30'487'358'213	€ 93'569'151'855

Elaborazione del CNI sulla base di dati CRESME, ISTAT e della Protezione Civile.

Motivazioni ed obiettivi

La progettazione di interventi di adeguamento sismico si può intendere come un problema di ***ottimizzazione***.



Il progetto propone una ***procedura «intelligente» di ottimizzazione degli interventi di adeguamento sismico*** per supportare il giudizio del progettista secondo l'approccio del Performance-Based Design.

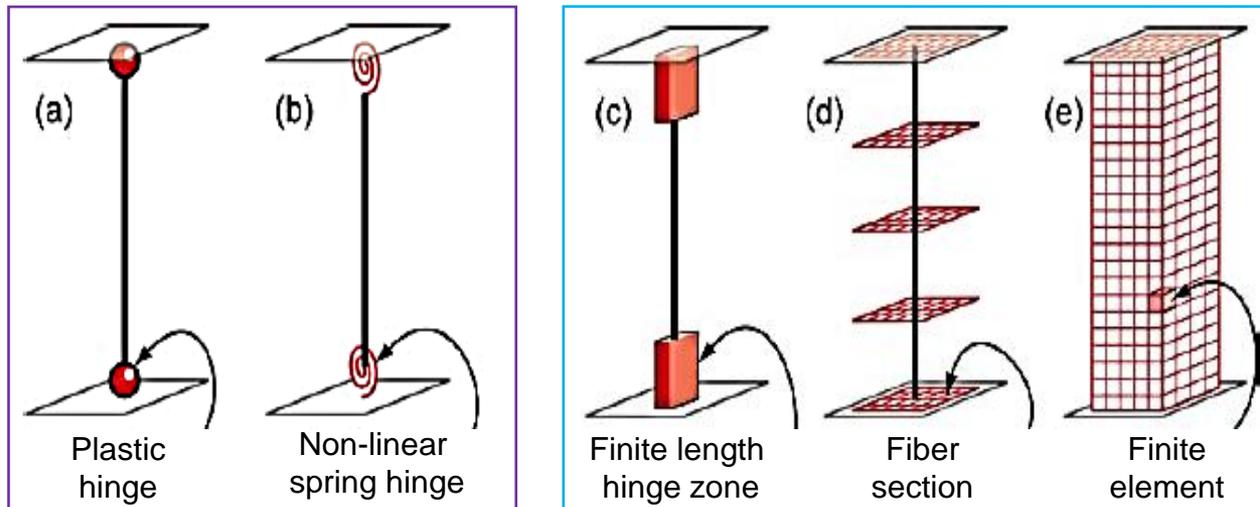
- 1 Introduzione
- 2 Stato dell'arte delle procedure di analisi sismica**
- 3 Stato dell'arte delle strategie e tecniche di adeguamento sismico
- 4 Panoramica delle applicazioni ingegneristiche di Soft-Computing
- 5 Procedura di adeguamento sismico con tecniche di Soft-Computing
- 6 Implementazione della Procedura
- 7 Applicazioni
- 8 Conclusioni

Modellazione della non linearità

Accuratezza →

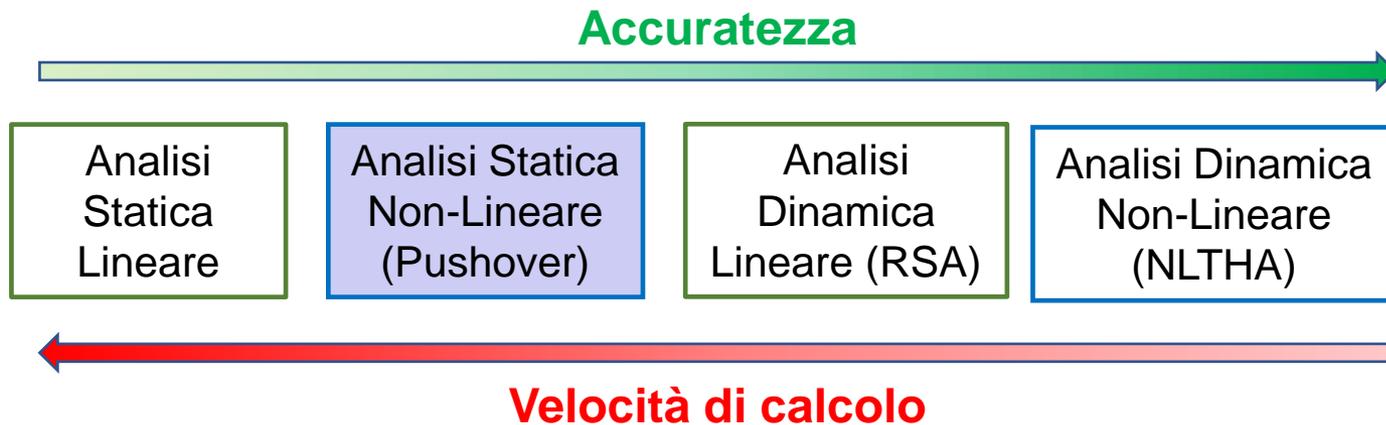
Modelli a plasticità
CONCENTRATA

Modelli a plasticità
DISTRIBUITA



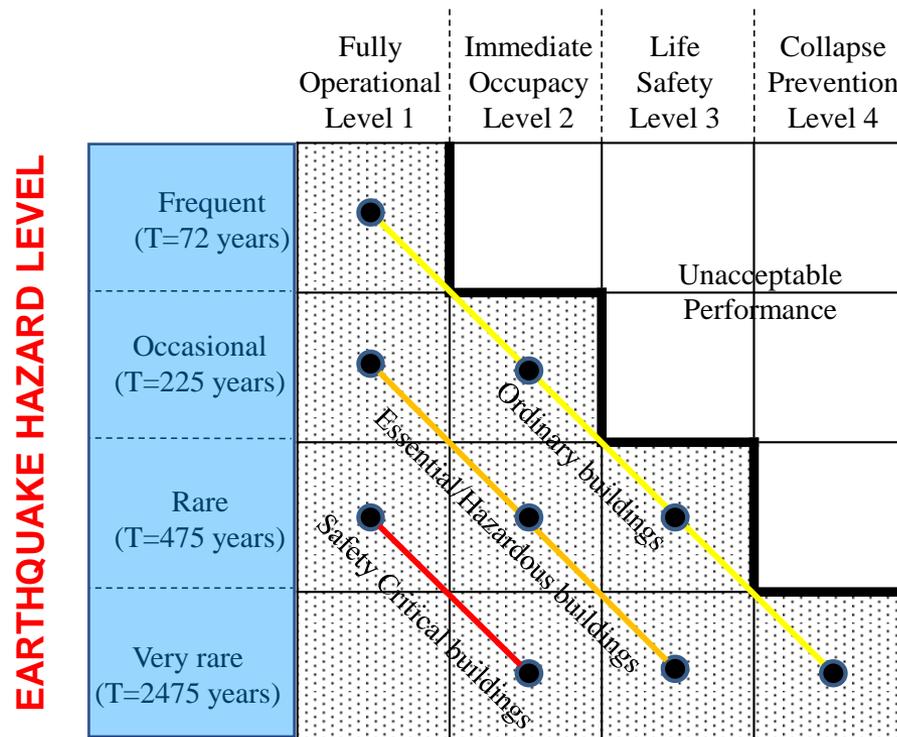
← Velocità di calcolo

Metodi di analisi



Requisiti prestazionali del PBD

PERFORMANCE LEVEL



FEMA 356

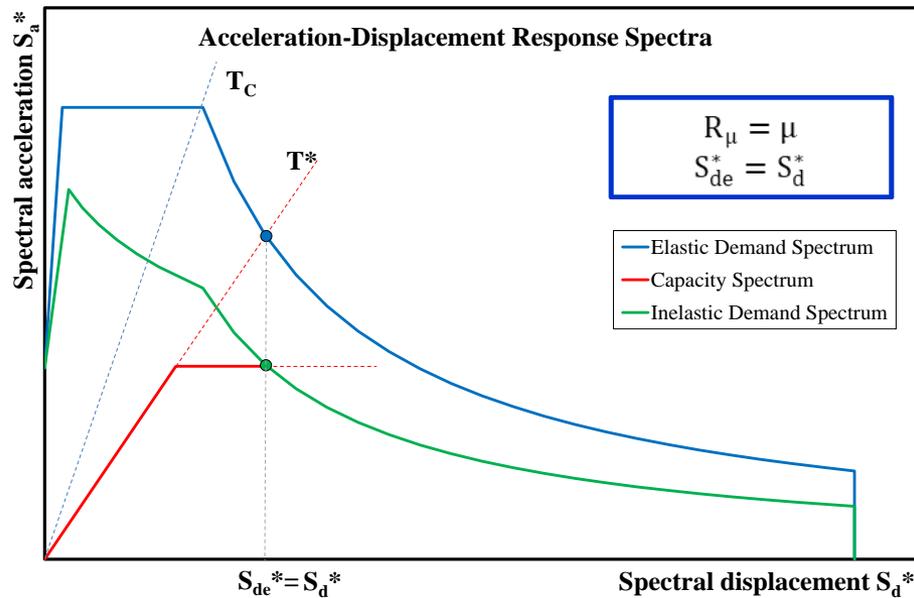


NTC 2008



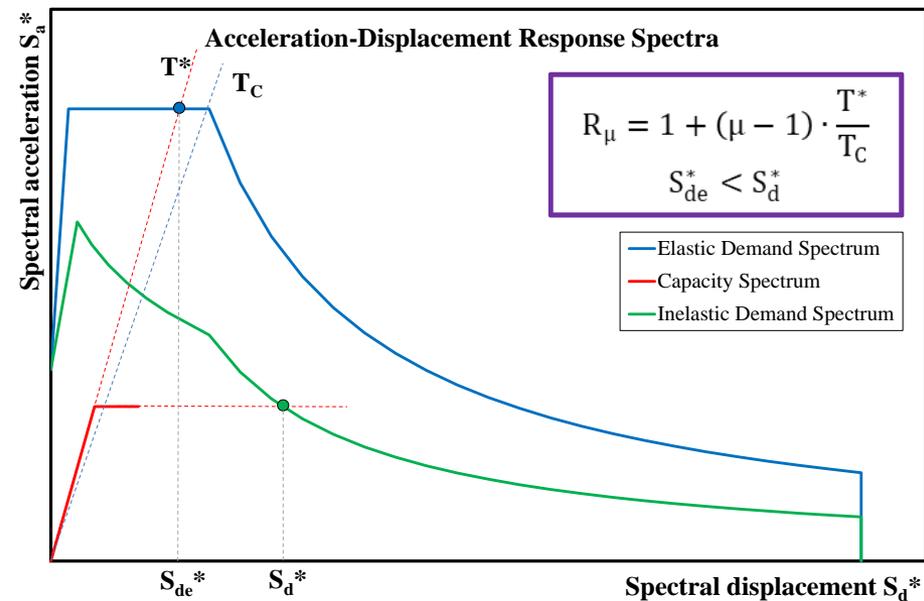
Metodo N2 (Fajfar, 1999)

PRINCIPIO DI UGUAGLIANZA DEGLI SPOSTAMENTI



Oscillatore SDoF di period lungo

PRINCIPIO DI UGUAGLIANZA DELL'ENERGIA



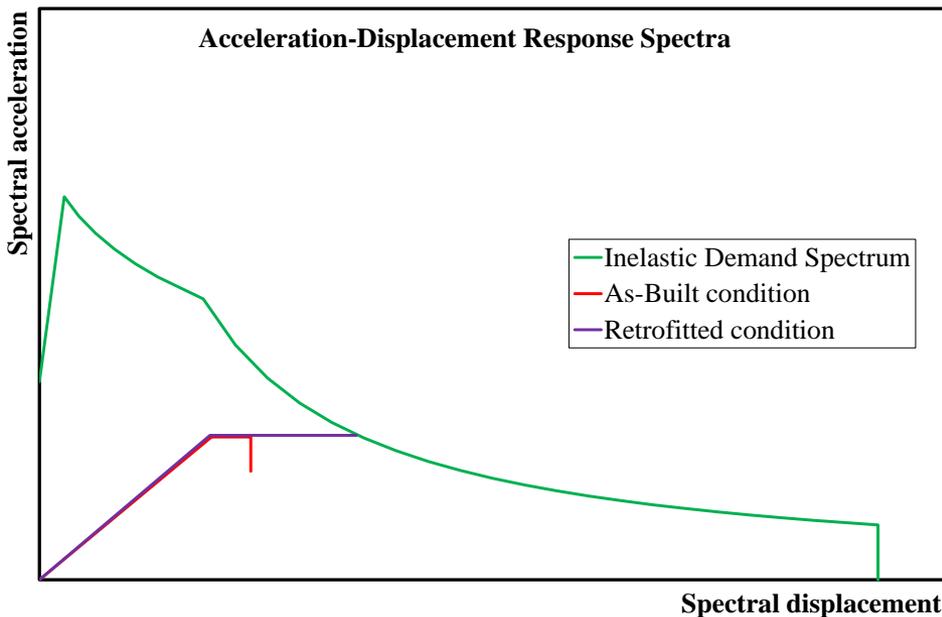
Oscillatore SDoF di periodo corto

- 1 Introduzione
- 2 Stato dell'arte delle procedure di analisi sismica
- 3 Stato dell'arte delle strategie e tecniche di adeguamento sismico**
- 4 Panoramica delle applicazioni ingegneristiche di Soft-Computing
- 5 Procedura di adeguamento sismico con tecniche di Soft-Computing
- 6 Implementazione della Procedura
- 7 Applicazioni
- 8 Conclusioni

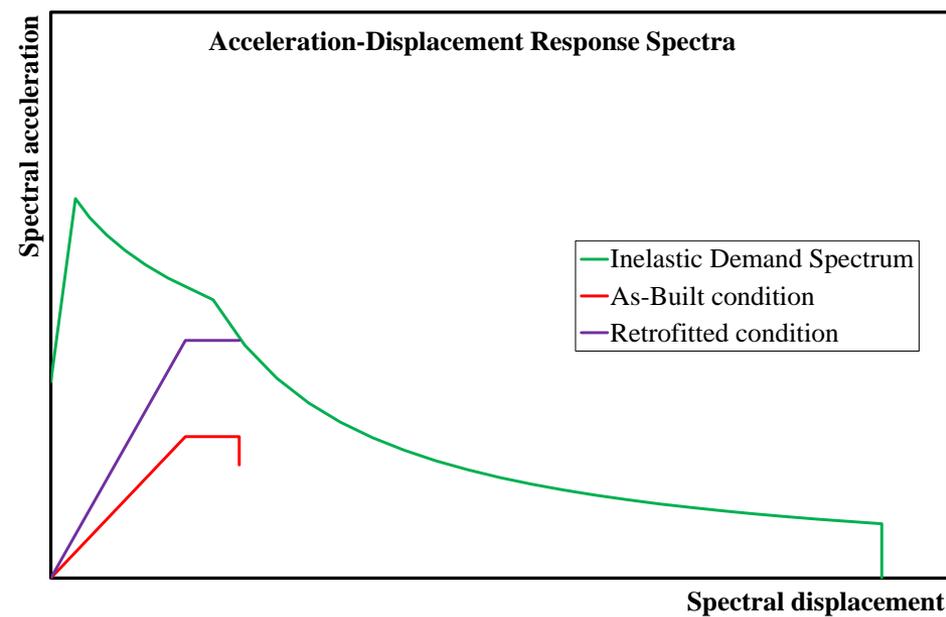
Strategie classiche di adeguamento

$$C_{LS,i} - D_{LS,i} \geq 0 \quad \forall i = 1 \dots n_{LS}$$

INCREMENTO DELLA CAPACITÀ DI SPOSTAMENTO



INCREMENTO DELLA RESISTENZA E DELLA RIGIDEZZA GLOBALI



Tecniche di adeguamento

INTERVENTI LOCALI

Calastrellatura
Confinamento
con tessuti FRP
Ringrossi in c.a.

Member-Level



Tecniche di adeguamento

INTERVENTI
GLOBALI

Controventi

Isolamento

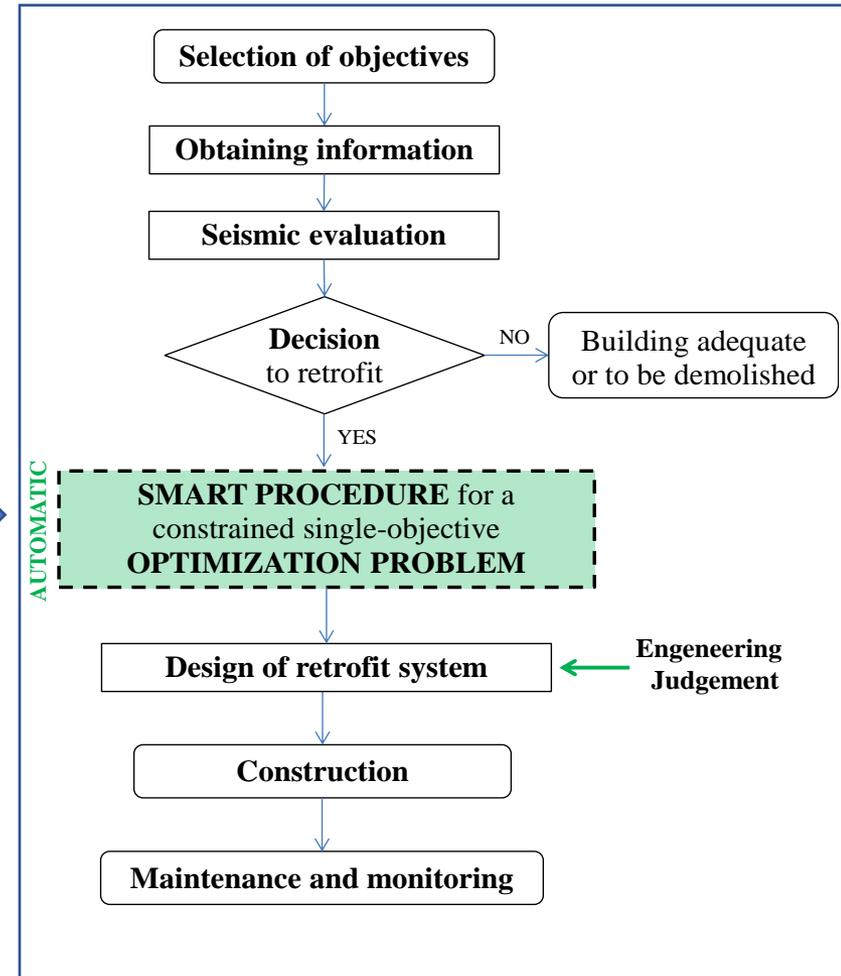
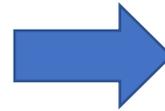
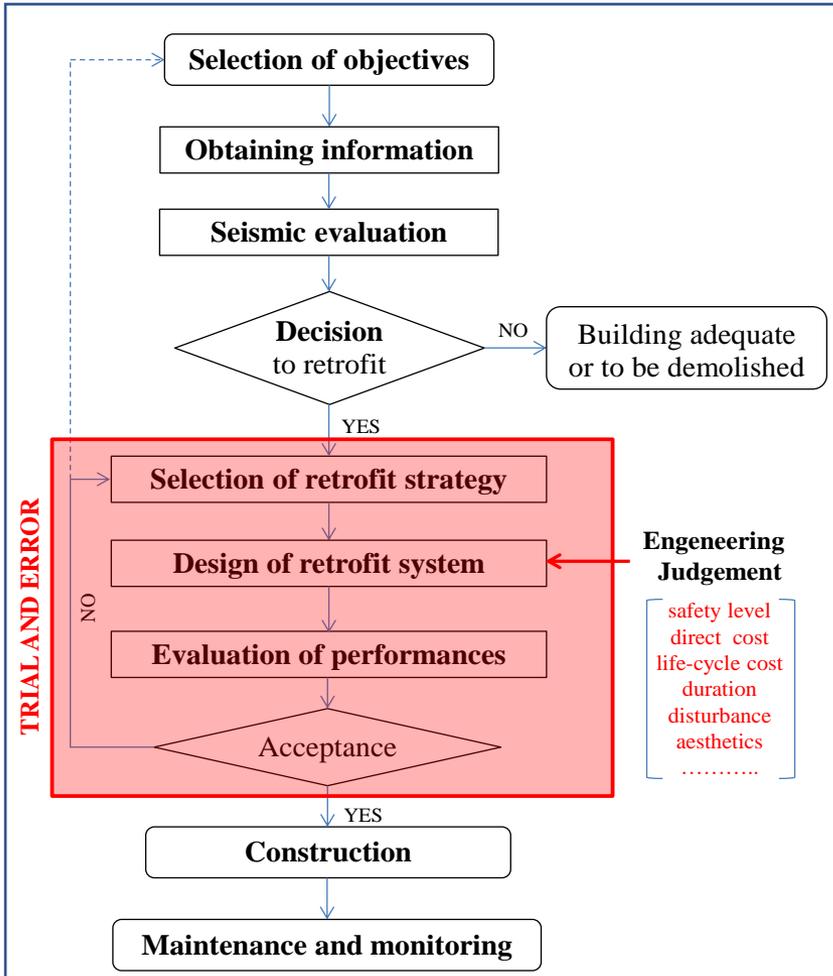
Dissipazione

Tamponature

Pareti

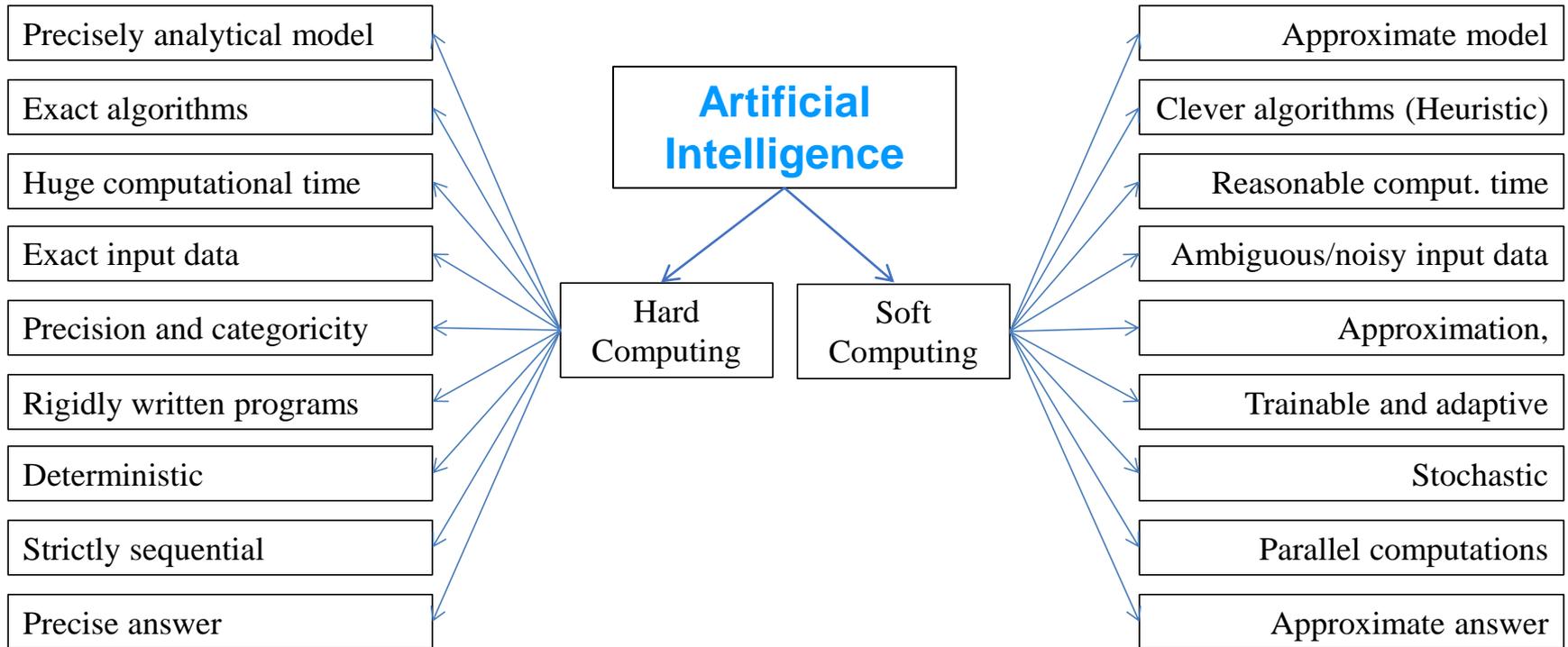
Structural-Level



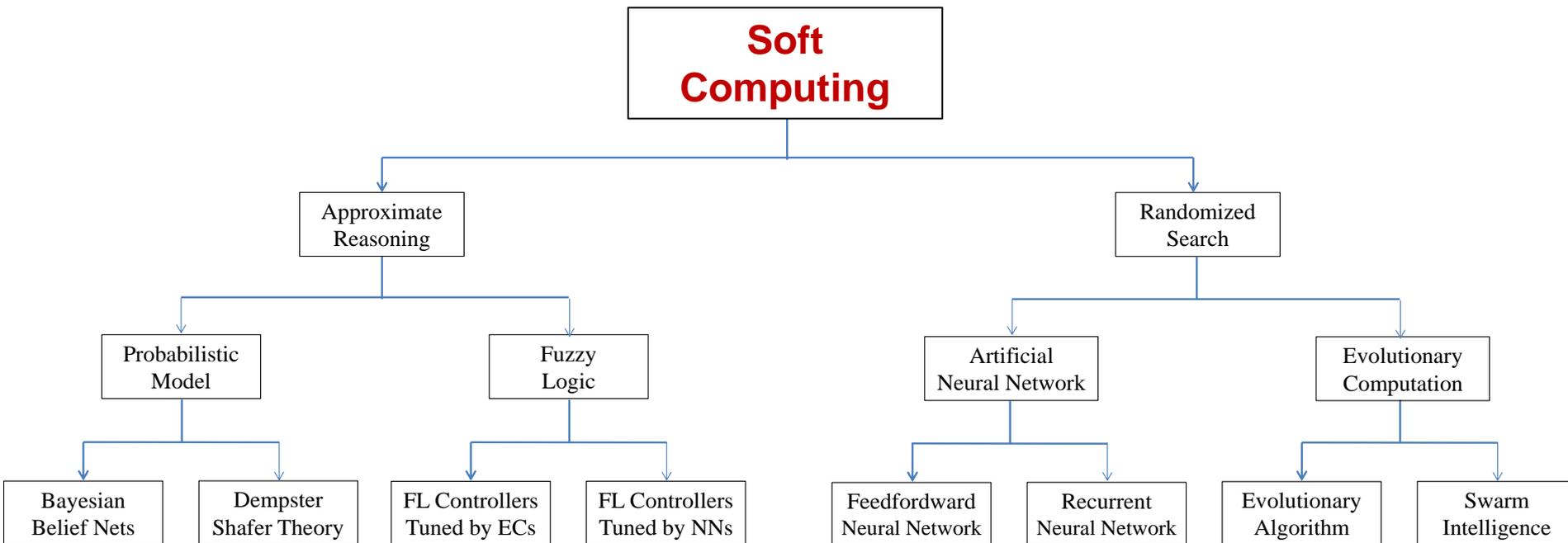


- 1 Introduzione
- 2 Stato dell'arte delle procedure di analisi sismica
- 3 Stato dell'arte delle strategie e tecniche di adeguamento sismico
- 4 Panoramica delle applicazioni ingegneristiche di Soft-Computing**
- 5 Procedura di adeguamento sismico con tecniche di Soft-Computing
- 6 Implementazione della Procedura
- 7 Applicazioni
- 8 Conclusioni

Applicazioni di Intelligenza Artificiale (AI)



Tecniche di Soft-Computing (SC)

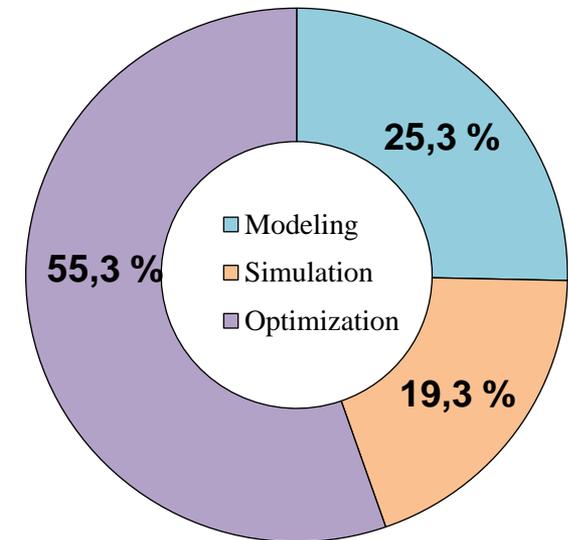


Panoramica della Letteratura Scientifica

Statistiche in merito all'impiego di tecniche SC per problemi ingegneristici e strutturali, considerando **Fuzzy Logic (FL)**, **Artificial Neural Network (ANN)**, **Particle Swarm Optimizarion (PSO)** e **Genetic Algorithm (GA)**.

	MODELING	SIMULATION	OPTIMIZATION
FL	4	10	11
ANN	28	12	17
PSO	2	4	24
GA	4	3	31
TOTAL	38	29	83

Numero di articoli trovati nella Letteratura Scientifica



- 1 Introduzione
- 2 Stato dell'arte delle procedure di analisi sismica
- 3 Stato dell'arte delle strategie e tecniche di adeguamento sismico
- 4 Panoramica delle applicazioni ingegneristiche di Soft-Computing
- 5 Procedura di adeguamento sismico con tecniche di Soft-Computing**
- 6 Implementazione della Procedura
- 7 Applicazioni
- 8 Conclusioni

Formulazione del problema

Detto «x» il vettore delle variabili progettuali, la migliore soluzione di adeguamento può essere ottenuta risolvendo il seguente problema di **ottimizzazione vincolata**, avendo definito una **funzione obiettivo**.

$$\bar{x}_{\text{opt}} = \underset{x}{\text{arg min}} [f(x)] \longrightarrow \text{FUNZIONE OBIETTIVO}$$

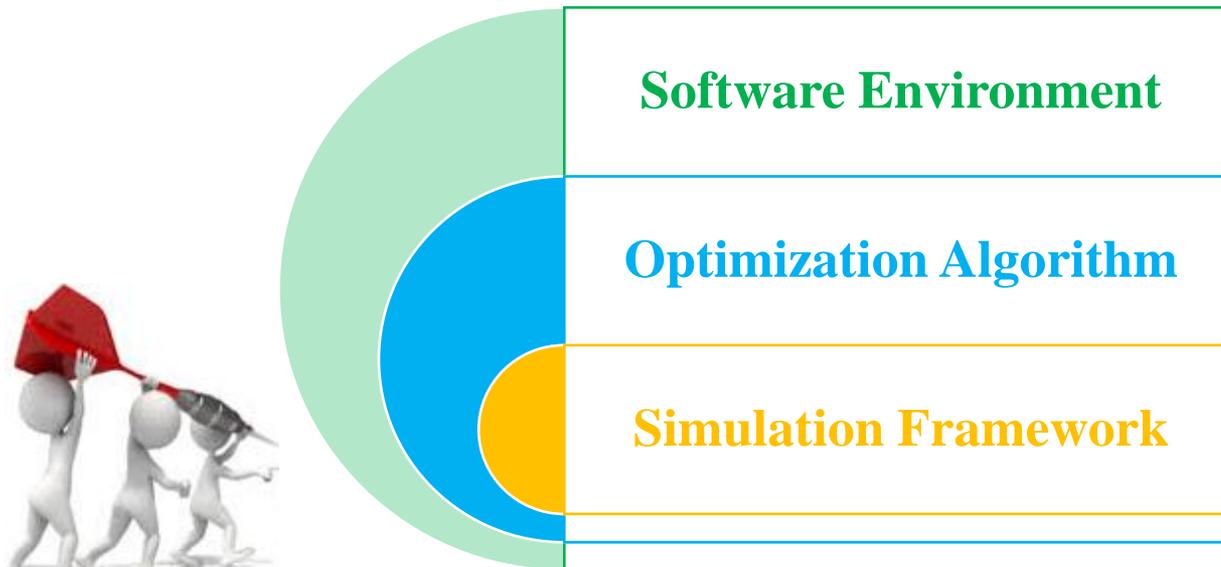
subjected to

$$g_{\text{LS},i}(x) = C_{\text{LS},i} - D_{\text{LS},i} \geq 0 \quad \forall i = 1..n_{\text{LS}} \longrightarrow \text{VINCOLI}$$

(COSTO INIZIALE DI INTERVENTO)

Componenti della procedura

Poiché la *funzione obiettivo* non è nota in forma esplicita, la soluzione del problema va ricercata per via numerica. La procedura è costituita da:

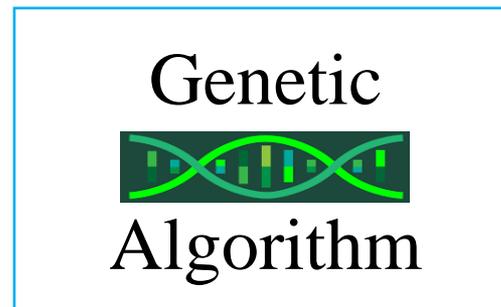


Componenti della procedura

Software Environment (Matlab) +
Optimization Algorithm (Genetic Algorithm) +
Simulation Framework (OpenSees)



+



+

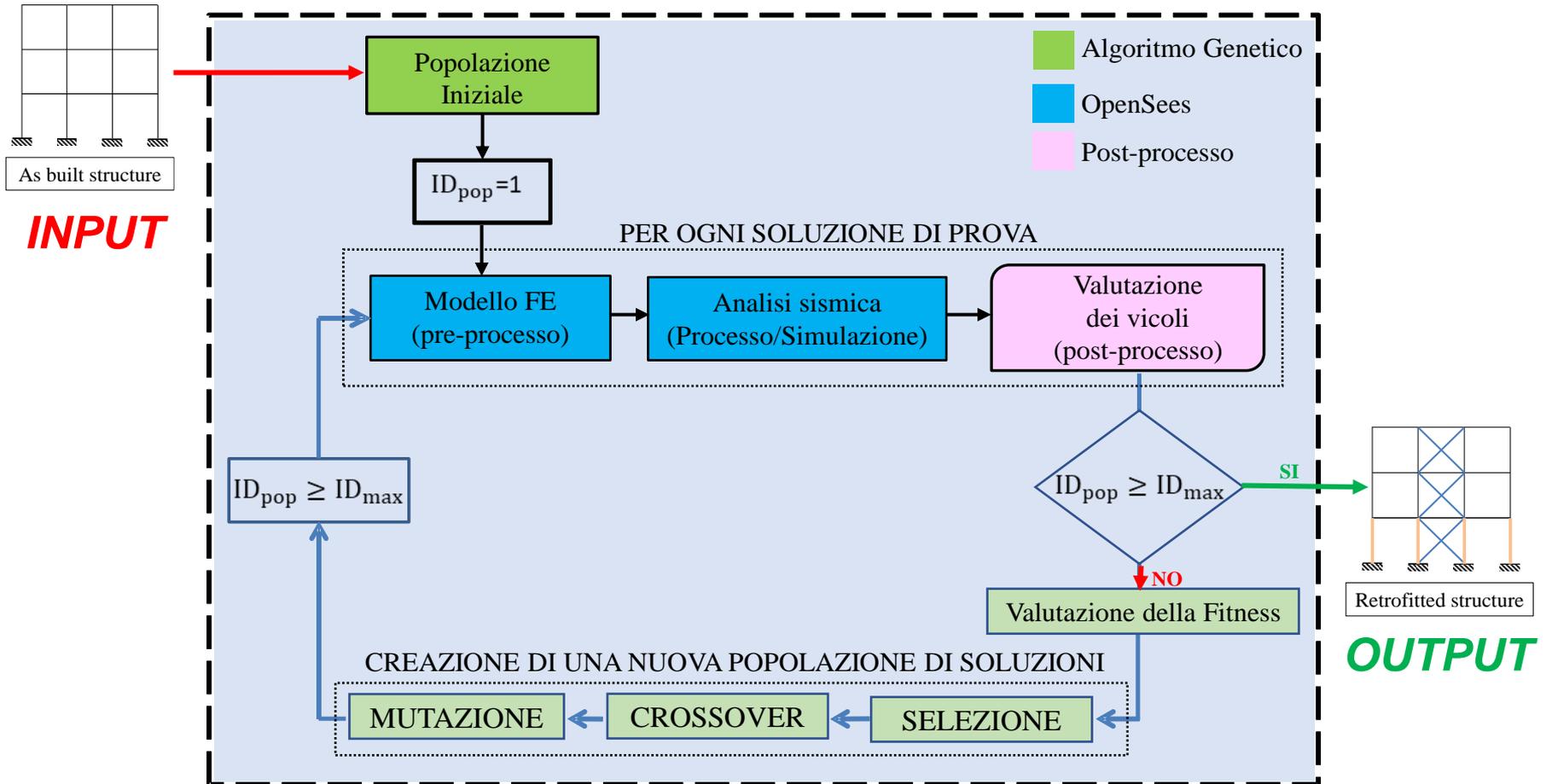


- 1 Introduzione
- 2 Stato dell'arte delle procedure di analisi sismica
- 3 Stato dell'arte delle strategie e tecniche di adeguamento sismico
- 4 Panoramica delle applicazioni ingegneristiche di Soft-Computing
- 5 Procedura di adeguamento sismico con tecniche di Soft-Computing
- 6 Implementazione della Procedura**
- 7 Applicazioni
- 8 Conclusioni

Implementazione della procedura

La procedura richiede come *input* un *modello* della struttura esistente *agli elementi finiti*.

Attraverso un una serie di *iterazioni*, la procedura raggiunge una *soluzione di adeguamento (miglioramento) ottimale*, che costituisce un *minimo locale della funzione obiettivo*.

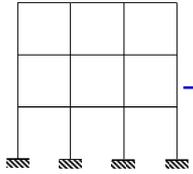


Inizializzazione

Viene generata in maniera casuale una «**popolazione**» di «**individui**» (corrispondenti a diverse soluzioni di adeguamento) associando a ciascuno di essi una misura di qualità (**fitness**) relativamente alla funzione obiettivo.

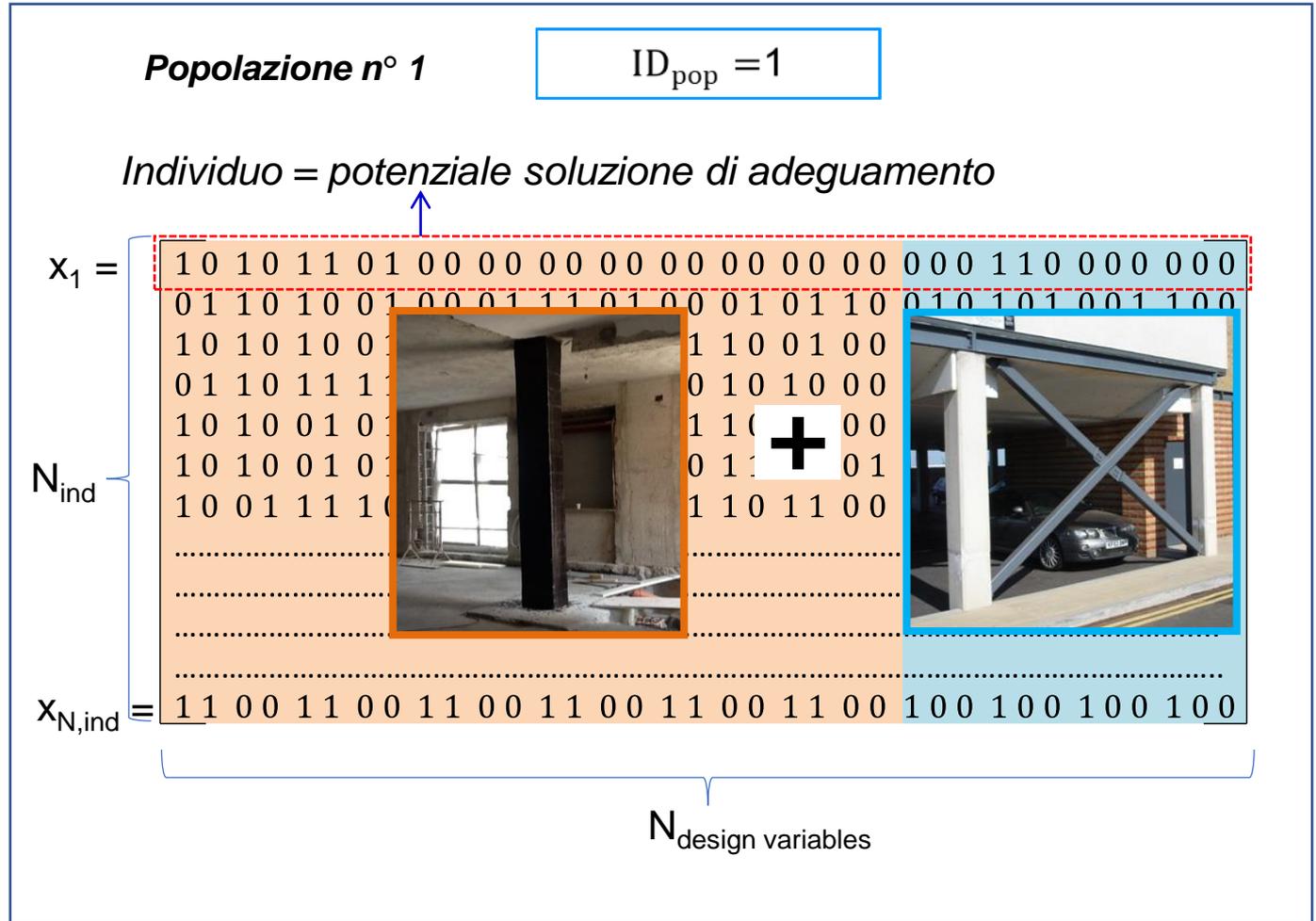
1

Initialize population



As built structure

INPUT



Inizializzazione, Analisi, Valutazione

Viene generata in maniera casuale una «**popolazione**» di «**individui**» (corrispondenti a diverse soluzioni di adeguamento) a ciascuno dei quali è associato un modello strutturale agli elementi finiti.

Ciascuna struttura è sottoposta ad un'**Analisi Statica Non Lineare (Pushover)**.

Si determina, inoltre, una misura di qualità (**fitness**) relativamente alla funzione obiettivo di ogni struttura: il **costo iniziale di intervento**, opportunamente incrementato se la struttura non soddisfa la verifica di duttilità globale.

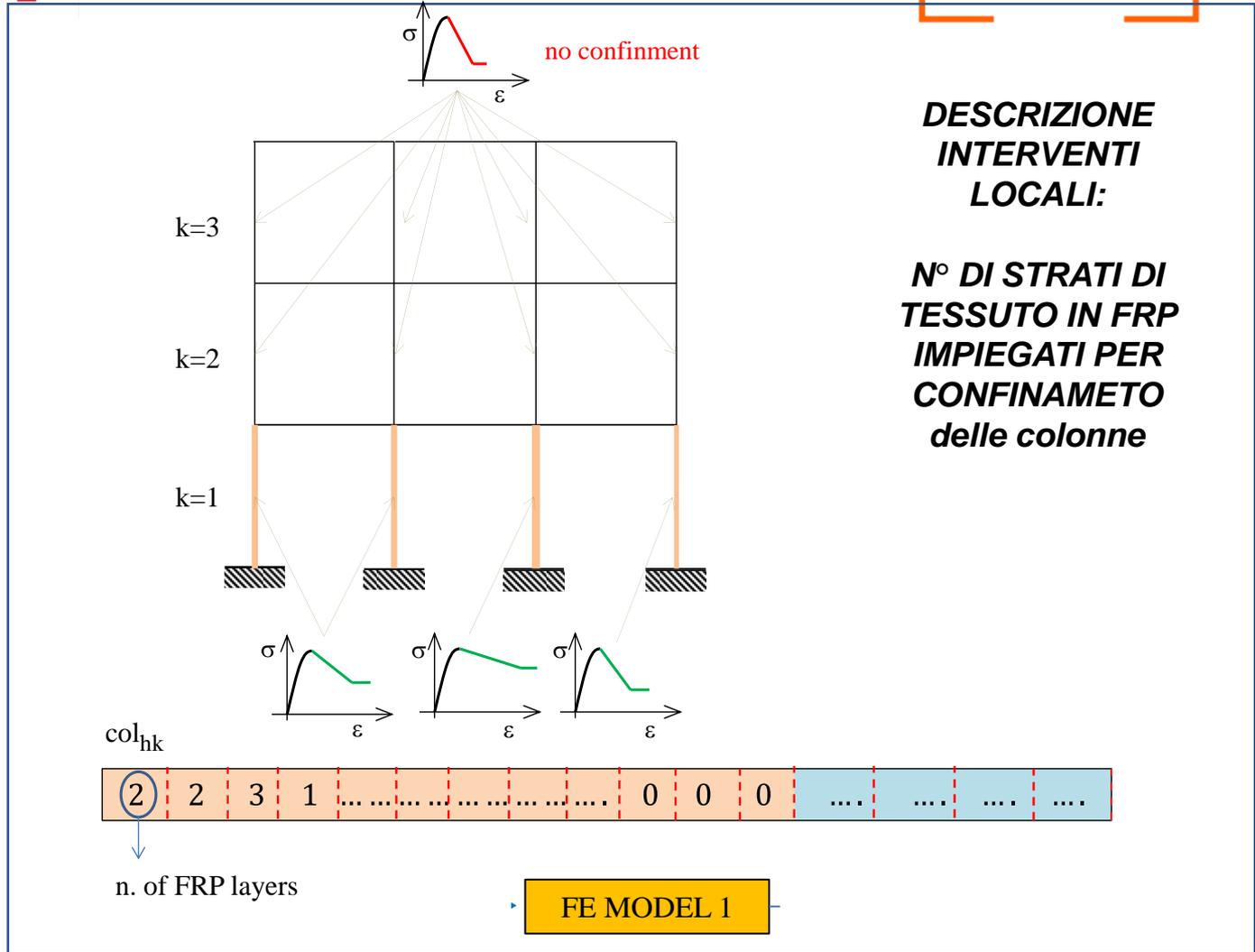
for each individual

1

Initialize population

2

Create FE model (Pre-processing)



for each individual

1

Initialize population

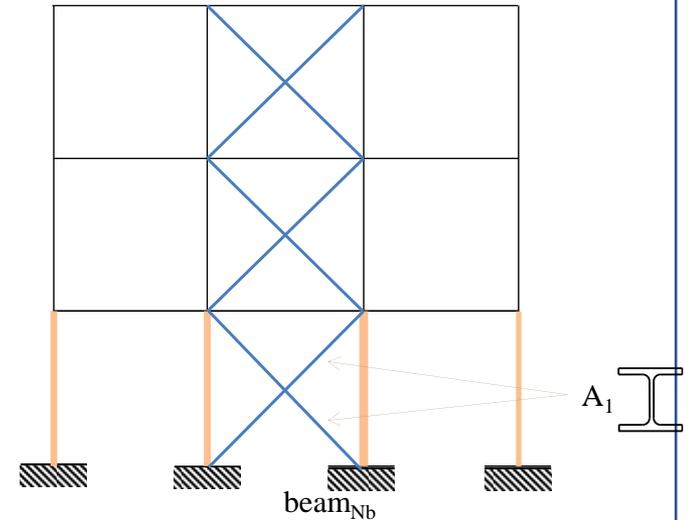
2

Create FE model (Pre-processing)

DESCRIZIONE INTERVENTI GLOBALI:

PROFILO IMPIEGATO IN QUALITÀ DI CONTROVENTI

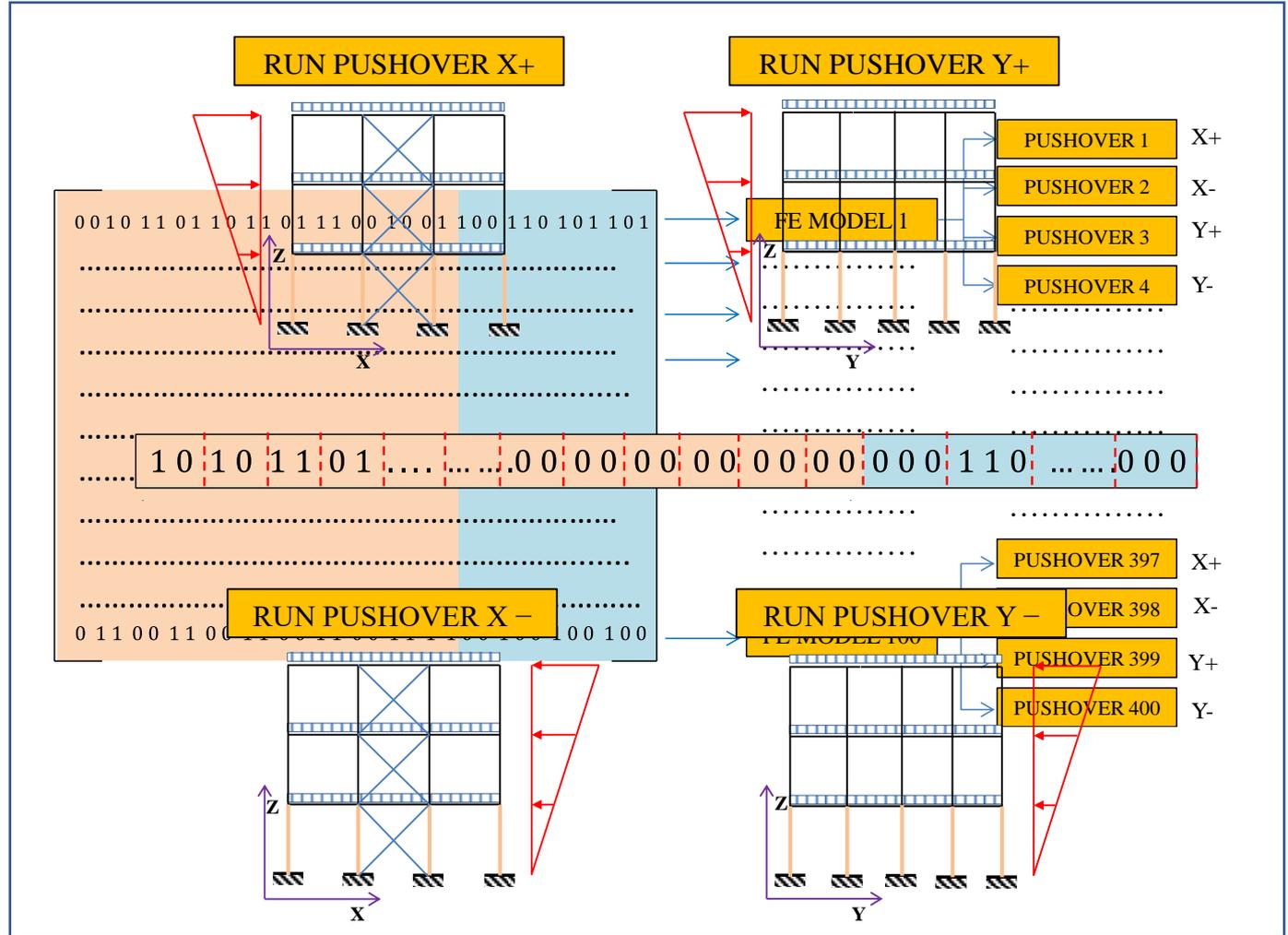
LABEL	HEB	b [mm]	h [mm]	a [mm]	e [mm]	r [mm]	A ₁ [cm ²]
1	100	100	100	6,0	10,0	12	26,04
2	120	120	120	6,5	11,0	12	34,01
3	140	140	140	7,0	12,0	12	42,96
4	160	160	160	8,0	13,0	15	54,25
5	180	180	180	8,5	14,0	15	65,25
6	200	200	200	9,0	15,0	18	78,08
7	220	220	220	9,5	16,0	18	91,04



FE MODEL 1

ID section A₁

- 1 Initialize population
- 2 Create FE model (Pre-processing)
- 3 Run seismic analysis (Processing/Simulation)



- 1 Initialize population
- 2 Create FE model (Pre-processing)
- 3 Run seismic analysis (Processing/Simulation)
- 4 Evaluate objective / constraints (Post-processing)

$C_{dem,unit}$	8.45	€/m ²
$C_{rest,unit}$	47.45	€/m ²
$C_{FRP,1layer,unit}$	207.20	€/m ²
$C_{FRP,2+layer,unit}$	168.00	€/m ²
$C_{steelB,unit}$	3.05	€/kg
$C_{micropile}$	1058.10	€/m.p.
C_{excav}	144.05	€/m ³
$C_{concrete}$	122.00	€/m ³

$$f(x) = C_{loc} + C_{glob} + C_{found}$$

FUNZIONE OBIETTIVO

$$C_{loc}(x) = \sum_{i=1}^{N_{cor}} [C_{dem,loc}(x) + C_{rest,loc}(x) + C_{FRP,layer}(x)]$$

$$C_{glob}(x) = \sum_{i=1}^{N_b} [C_{dem,glob,i}(x) + C_{rest,glob,i}(x) + C_{SteelB,i}(x)]$$

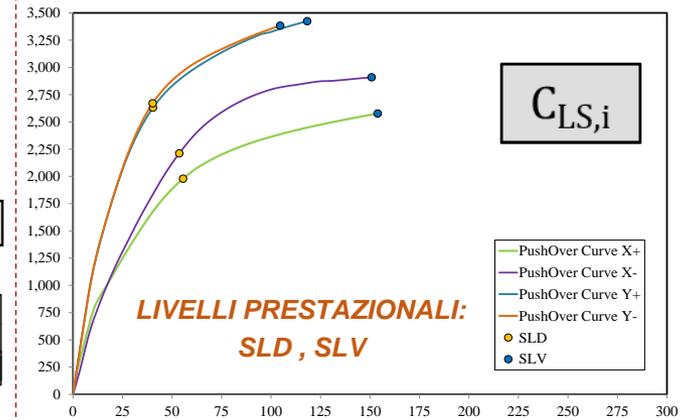
$$C_{found}(x) = \sum_{i=1}^{N_{cor}} \left[\frac{\Delta N_i(x)}{Q_{lim,mp}} \cdot (C_{micropile} + C_{excav} + C_{concrete}) \right]$$

PENALITÀ

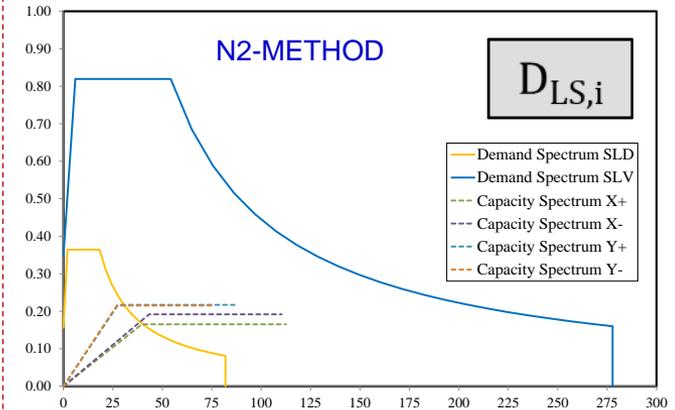
$$p(x) = \begin{cases} \beta \cdot C_{tot}(x) & \text{if } \min_{dir} [\min_{LS} (C(x) - D(x))] \leq 0 \\ 0 & \text{if } \min_{dir} [\min_{LS} (C(x) - D(x))] > 0 \end{cases}$$

$$C_{LS,i} - D_{LS,i} \geq 0 \quad \forall i = 1..n_{LS}$$

VINCOLI



N2-METHOD



Generazione iniziale

È possibile dar luogo ad una popolazione iniziale selezionando il numero di individui i cui cromosomi rappresentano solo informazioni circa interventi locali (N_{loc}), globali (N_{glob}) o entrambi (N_{mix}).

$$\begin{cases} N_{loc} = \alpha_{loc} \cdot N_{ind} \\ N_{glob} = \alpha_{glob} \cdot N_{ind} \\ N_{mix} = \alpha_{mix} \cdot N_{ind} \end{cases}$$

$$N_{ind} = N_{loc} + N_{glob} + N_{mix}$$

Generazione iniziale

Esempio:

	Interventi locali													Interventi globali						
N_{loc}	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
	1	1	2	0	2	0	0	1	2	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
	1	1	0	1	2	0	0	1	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0
	1	2	3	1	2	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
N_{glob}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	4	2	1	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	3	3	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	2
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	1	0	3	2	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5	0	0	4
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	5	1	0
N_{mix}	2	1	1	2	2	0	0	1	0	0	2	0	2	3	1	3	4	0	1	6
	1	1	1	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	3	6	1	0	0	1	0
	1	1	1	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	3	1	0	2	5	0	1
	1	1	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	3	0	1	3	0	1	6
	1	1	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	1	3	1	3	0	7	1	0
	1	1	1	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	3	0	1	4	0	0	0

Applicazione degli Operatori Genetici

Associando a ciascun individuo una *fitness*, è possibile applicare i 3 principali operatori genetici (*selection*, *crossover*, *mutation*) al fine di *migliorare la qualità della popolazione* in accordo alla regola della *sopravvivenza degli individui migliori*.

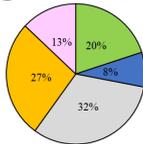
N_{keep} individui della popolazione andranno a comporre la popolazione successiva senza essere modificati, ovvero «sopravvivono agli operatori genetici».

$$N_{keep} = X_{rate} \cdot N_{ind}$$

Selection

L'operatore di selezione sceglie **gli individui «genitori»** per la popolazione successiva, sulla base di 2 criteri:

- **Roulette wheel «truccata»**



$$N_{RW} = (N_{ind} - N_{keep}) \cdot RW_{rate}$$

- **Random Pairing**

$$N_{RP} = (N_{ind} - N_{keep}) \cdot (1 - RW_{rate})$$

Selection – Roulette Wheel truccata

Avendo normalizzato la ***fitness*** di ciascun individuo rispetto a quella del migliore individuo (l'intervento più economico), a ciascun individuo è associata una ***probabilità cumulata di essere selezionato***.

$$p(x_i) = \frac{F(x_i)}{\sum_{i=1}^{N_{\text{ind}}} F(x_i)}$$

Gli individui genitori sono scelti a 2 a 2 , ***sorteggiando 2 numeri razionali r_1, r_2 nell'intervallo $[0,1]$***

selezionando gli individui con probabilità cumulata prossimi ad essi.

Esempio:

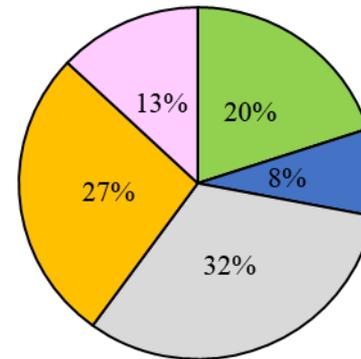
(avendo ordinato ciasun individuo secondo la propria fitness)

se $r_1 = 0,14$

l'individuo **#1** è selezionato come **1° «parent»**

se $r_2 = 0,70$

l'individuo **#4** è selezionato come **2° «parent»**

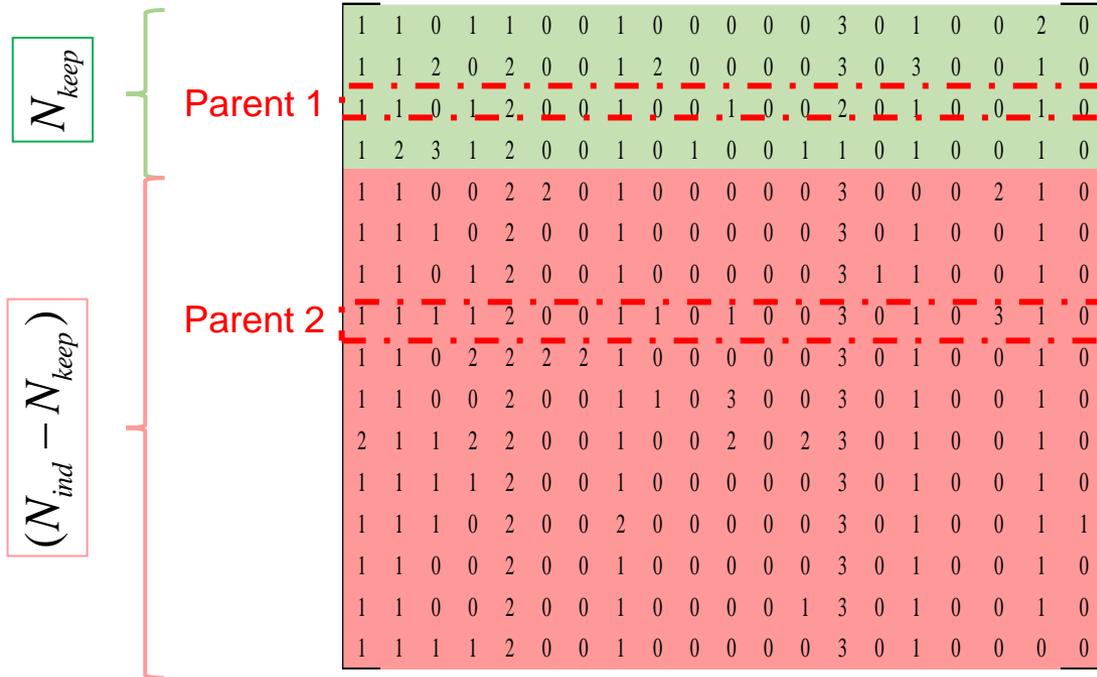


individuo	cromosoma x_i	prob. (x_i)	prob. Cum. (x_i)
 #1	2 1 3 0 1 2 1 3 3 3 3 4 4 1	0.20	0.20
 #2	0 3 3 3 0 0 1 3 3 0 2 5 0	0.08	0.28
 #3	1 0 2 0 3 0 1 0 1 6 0 1 4	0.32	0.60
 #4	2 2 0 3 0 1 0 2 2 4 5 0 7	0.27	0.87
 #5	3 3 1 1 2 0 0 0 1 0 3 3 4	0.13	1.00

Selection – Random Pairing

Vengono selezionati 2 individui in modo tale che:

- Il 1° appartenga alla parte di popolazione «sopravvissuta» ;
- Il 2° appartenga alla restante parte di popolazione ;



Applicazione degli Operatori Genetici: *nuova generazione*

N_{keep}	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	3	0	1	0	0	2	0	
	1	1	2	0	2	0	0	1	2	0	0	0	3	0	3	0	0	1	0	
	1	1	0	1	2	0	0	1	0	0	1	0	2	0	1	0	0	1	0	
	1	2	3	1	2	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0
N_{RW}	1	1	0	0	2	2	0	1	0	0	0	0	3	0	0	0	2	1	0	
	1	1	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	3	0	1	0	0	1	0	
	1	1	0	1	2	0	0	1	0	0	0	0	3	1	1	0	0	1	0	
	1	1	1	1	2	0	0	1	1	0	1	0	0	3	0	1	0	3	1	0
	1	1	0	2	2	2	2	1	0	0	0	0	3	0	1	0	0	1	0	
	1	1	0	0	2	0	0	1	1	0	3	0	0	3	0	1	0	0	1	0
N_{RP}	2	1	1	2	2	0	0	1	0	0	2	0	2	3	0	1	0	0	1	0
	1	1	1	1	2	0	0	1	0	0	0	0	3	0	1	0	0	1	0	
	1	1	1	0	2	0	0	2	0	0	0	0	3	0	1	0	0	1	1	
	1	1	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	3	0	1	0	0	1	0	
	1	1	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	1	3	0	1	0	0	1	0
	1	1	1	1	2	0	0	1	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0

Crossover

Scelti gli individui «genitori» , i loro «figli» sono generati tramite l'operatore di ***crossover, che mischia il patrimonio genetico dei genitori, in relazione ad una «mask» binaria generata casualmente.***

In questo modo vengono generati N_{offsp} individui :

$$N_{offsp} = (N_{ind} - N_{keep}) = (1 - X_{rate}) \cdot N_{ind}$$

- 1 Initialize population
- 2 Create FE model (Pre-processing)
- 3 Run seismic analysis (Processing/Simulation)
- 4 Evaluate objective / constraints (Post-processing)
- 5 Evaluate Fitness
- 6 **SELECTION**
- 7 **CROSSOVER**

L'operazione è ripetuta N_{offsp} volte :

		interventi locali										interventi globali				
1 th pop.		0	2	3	1	0	1	3	0	1	0	0	2	0	4	Parent 1
		1	0	0	2	3	0	2	1	0	1	7	5	1	3	Parent 2
		1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	Mask
(i+1) th pop.		1	0	3	2	0	0	3	1	0	0	7	2	0	3	Offspring 1
		0	2	0	1	3	1	2	0	1	1	0	5	1	4	Offspring 2

$$N_{offsp} = (N_{ind} - N_{keep}) = (1 - X_{rate}) \cdot N_{ind}$$

Mutation

Alcune parti (scelte casualmente) del patrimonio genetico degli individui «figli» vengono modificate secondo l'operatore di mutazione.

Tale operazione è ripetuta N_{mut} volte e risulta necessaria al fine di evitare eventuali minimi locali distanti dal minimo globale della $f(\mathbf{x})$.

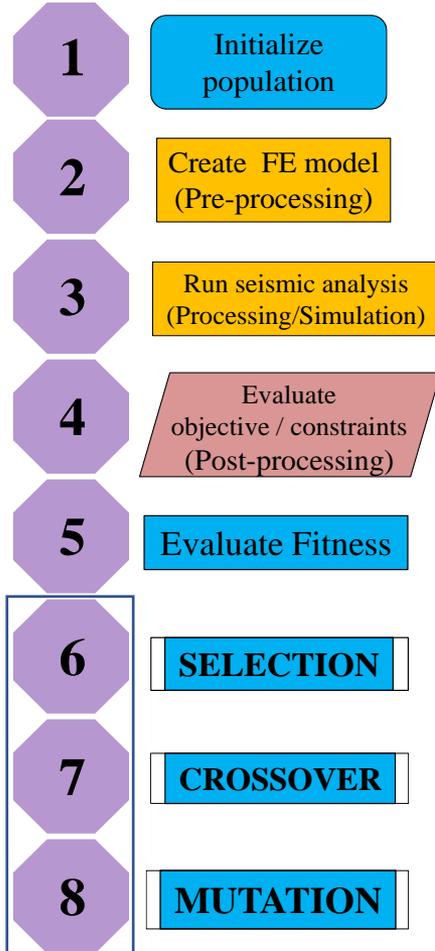
$$N_{mut} = (N_{ind} - N_{keep}) \cdot \mu_{rate}$$

$$\mu_{rate} = \mu_{rate,ini} \cdot \left(1 + \frac{ID_{pop}}{ID_{max}} \right)$$

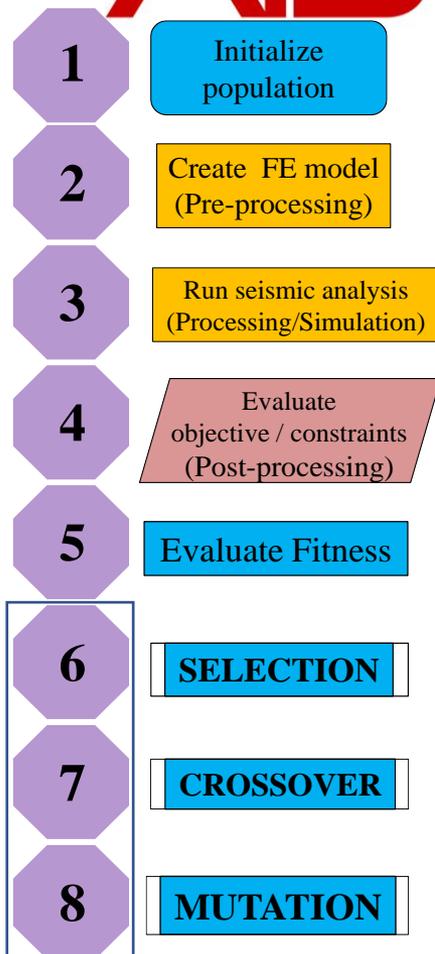
μ_{mut} è tale da cresce linearmente durante l'analisi fino a raddoppiare al termine della stessa.

Non tutte le offspring sono soggette a mutazione:
viene generato un vettore binario di dimensione « N_{offsp} ».

Se l' i -esimo termine del vettore vale 1, l' i -esima offspring, è soggetta a mutazione.



Riga mutata	Interventi locali												Interventi globali								
-	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	3	0	5	0	4	2	0	N_{keep}
-	1	1	2	0	2	0	0	1	2	0	0	0	0	3	0	3	0	2	1	0	
-	1	1	0	1	2	0	0	1	0	0	1	0	0	2	0	1	0	7	3	0	
-	1	2	3	1	2	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	
0	1	1	0	0	2	2	0	1	0	0	0	0	0	3	6	0	4	2	1	0	$(N_{ind} - N_{keep})$
0	1	1	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	3	2	1	0	3	3	0	
1	1	1	0	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	3	1	1	0	0	1	2	
0	1	1	1	1	2	0	0	1	1	0	1	0	0	3	7	1	0	3	2	0	
1	1	1	0	2	2	2	2	1	0	0	0	0	0	3	0	2	5	0	0	4	
0	1	1	0	0	2	0	0	1	1	0	3	0	0	3	0	1	0	5	1	0	
0	2	1	1	2	2	0	0	1	0	0	2	0	2	3	1	3	4	0	1	6	
1	1	1	1	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	3	6	1	0	0	1	0	
1	1	1	1	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	3	1	0	2	5	0	1	
0	1	1	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	3	0	1	3	0	1	6	
1	1	1	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	1	3	1	3	0	7	1	0	
0	1	1	1	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	3	0	1	4	0	0	0	



Se l' i -esimo termine del vettore vale 1, l' i -esima offspring, è soggetta a mutazione.

Alcune parti del suo genotipo (scelte casualmente) vengono mutate.

interventi locali										interventi globali				
0	2	0	1	3	1	2	0	1	1	0	5	1	4	i-esimo discendente
		1		0			3					0		mutazione
0	2	1	1	0	1	2	3	1	1	0	5	0	4	discendente mutato

Convergenza

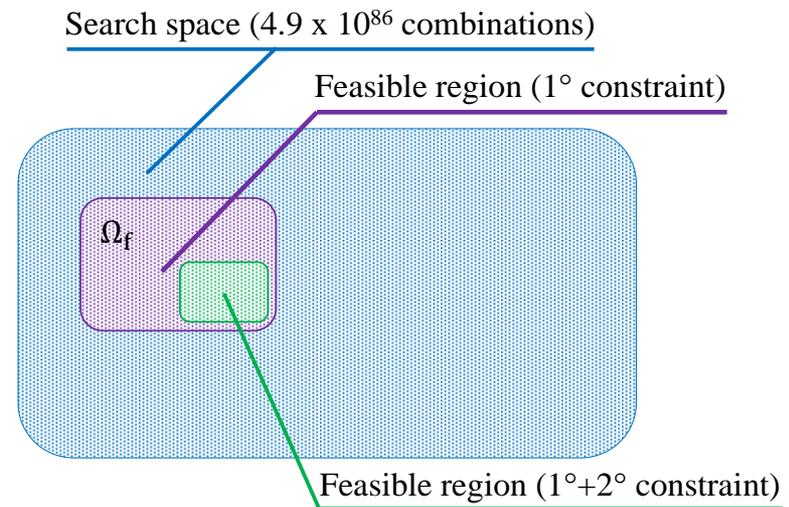
Non esiste un criterio di convergenza univoco, tuttavia è possibile fissare un ***numero di iterazioni (generazioni) massimo ID_{max}*** , raggiunto il quale l'analisi si interrompe.

Il valore più opportuno di tale parametro può essere determinato a valle del «***tuning***» degli altri parametri algoritmici.

Possibili vincoli

È possibile applicare il GA in modo tale da generare soluzioni che soddisfano alcuni criteri prestabiliti, detti anche vincoli (o constraints) , e.g. :

- **Affidabilità** , soddisfacimento della verifica di duttilità globale ;
- **Simmetria** della disposizione dei controventi.

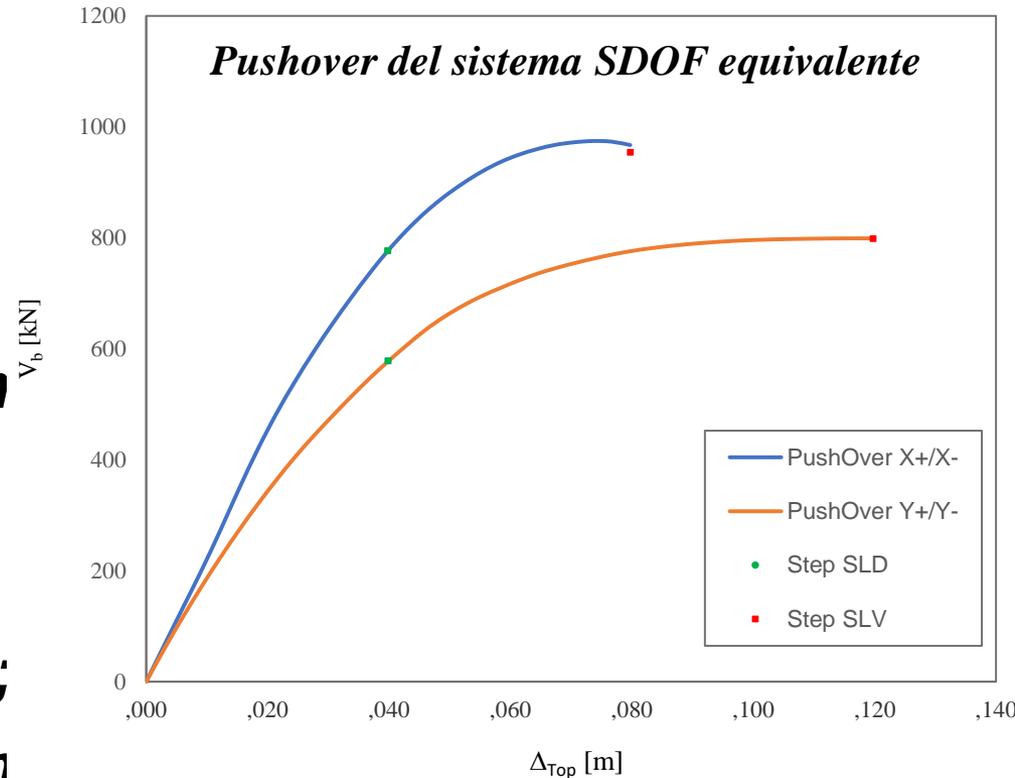


- 1 Introduzione
- 2 Stato dell'arte delle procedure di analisi sismica
- 3 Stato dell'arte delle strategie e tecniche di adeguamento sismico
- 4 Panoramica delle applicazioni ingegneristiche di Soft-Computing
- 5 Procedura di adeguamento sismico con tecniche di Soft-Computing
- 6 Implementazione della Procedura
- 7 Applicazioni**
- 8 Conclusioni

Descrizione della struttura

Struttura intelaiata in c.a. :

- *N° piani* → **4** ;
- *Altezza interpiano* → **3,50 m**
- *N° campate lungo X* → **5** ;
- *N° campate lungo y* → **4** ;
- *Sezione travi* → **30x50 cm²** ;
- *Sezione pilastri* → **40x40 cm**



Scelta dei parametri algoritmici

ID_{max} & $PopSize$, ovvero del numero di analisi

Dopo un numero di strutture analizzate pari a $6000 \div 8000$ si giunge a convergenza.

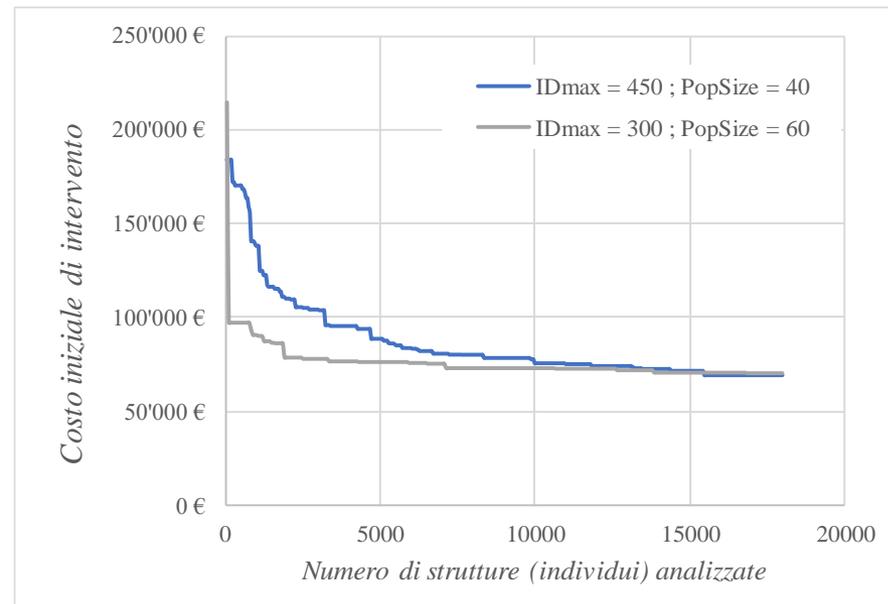
Pertanto conviene scegliere la dimensione della popolazione ($PopSize$) ed il numero di generazioni (ID_{max}) cosicché sia:

$$ID_{max} \cdot PopSize \geq 6000$$

e.g.

$$ID_{max} = 150 \text{ \& } PopSize = 40$$

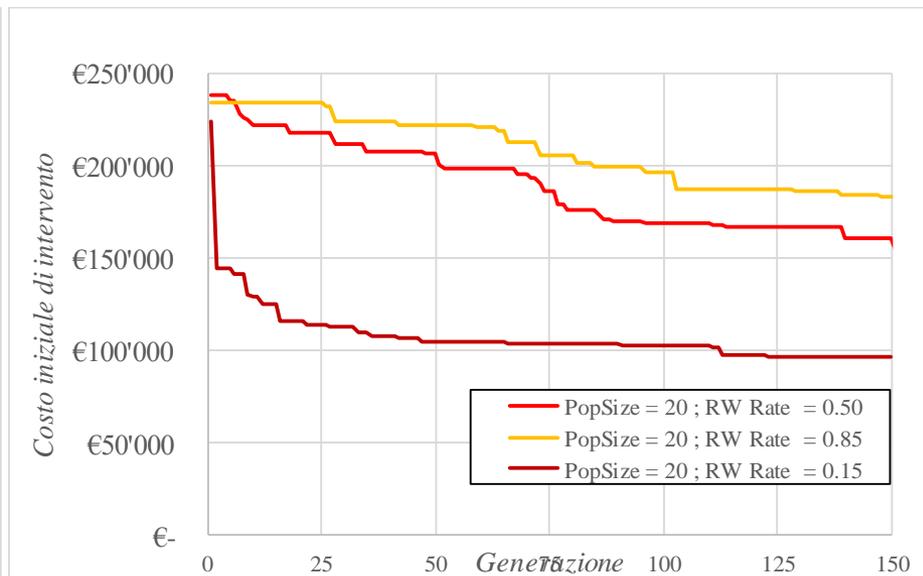
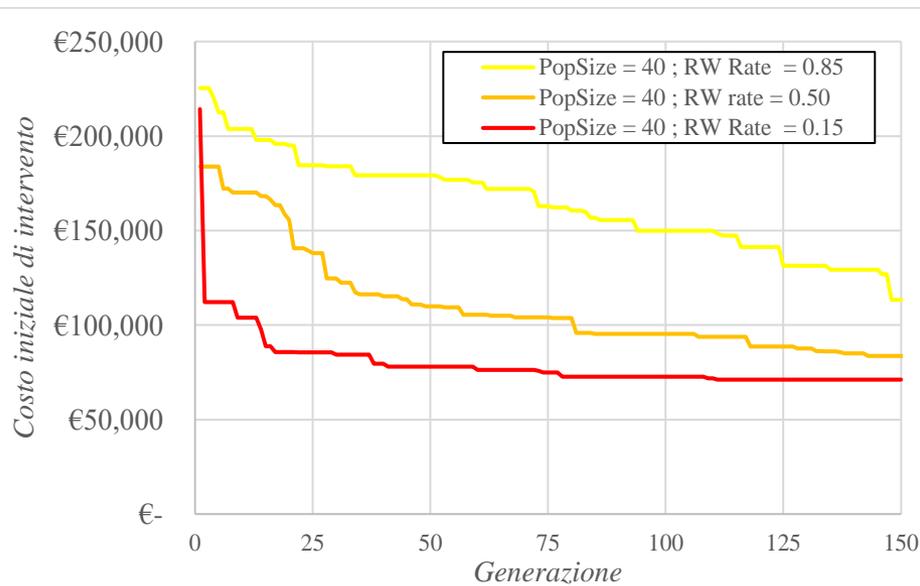
$$ID_{max} = 100 \text{ \& } PopSize = 60$$



Scelta dei parametri algoritmici per l'applicazione dell'operatore *Selection*

Si sceglie di adottare un «Roulette Wheel rate» pari a :

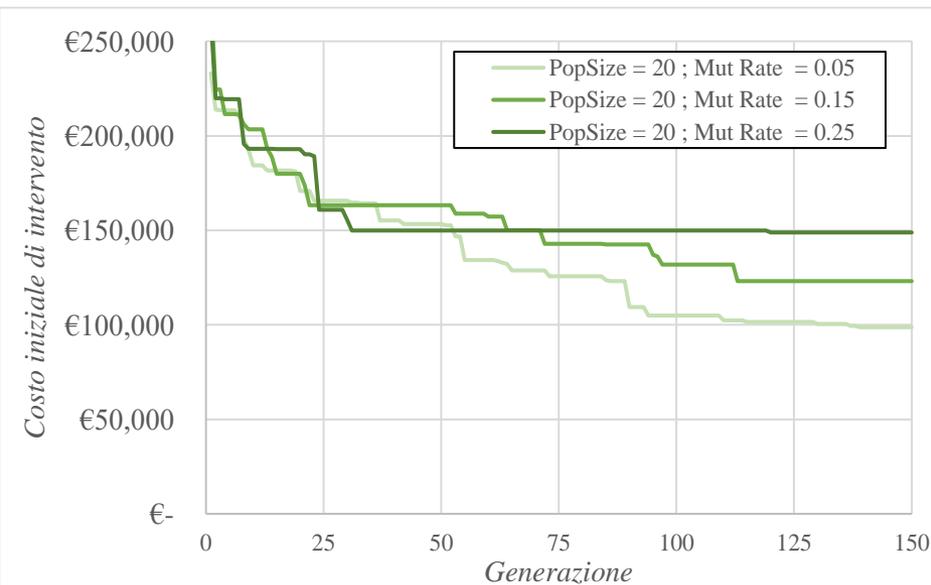
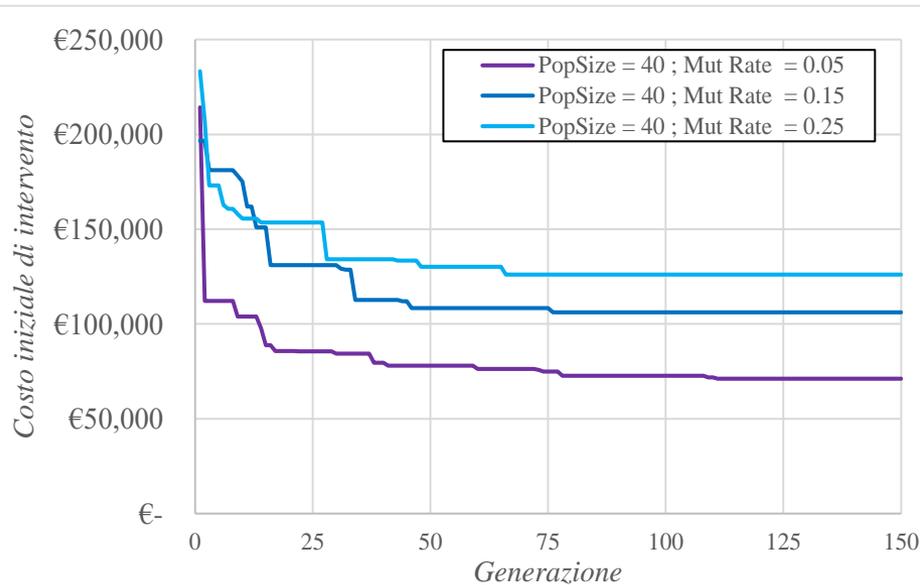
$$RW_{rate} = 0.15$$



Scelta dei parametri algoritmici per l'applicazione dell'operatore *Mutation*

Si sceglie di adottare un «Mutation Rate» iniziale pari a :

$$\mu_{rate,ini} = 0.05$$



Scelta dei parametri algoritmici per la **generazione iniziale**

Risulta preferibile generare una popolazione iniziale casuale composta per metà da strutture (individui) con soli interventi locali e per la restante parte da strutture con soli interventi globali, ossia:

Le operazioni di crossover aiutano a mescolare le informazioni genetiche portando a soluzioni ottimali che combinano i due interventi.

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_{loc} = 0.50 \\ \alpha_{glob} = 0.50 \\ \alpha_{mix} = 0.00 \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} N_{loc} = \alpha_{loc} \cdot N_{ind} \\ N_{glob} = \alpha_{glob} \cdot N_{ind} \\ N_{mix} = \alpha_{mix} \cdot N_{ind} \end{array} \right.$$

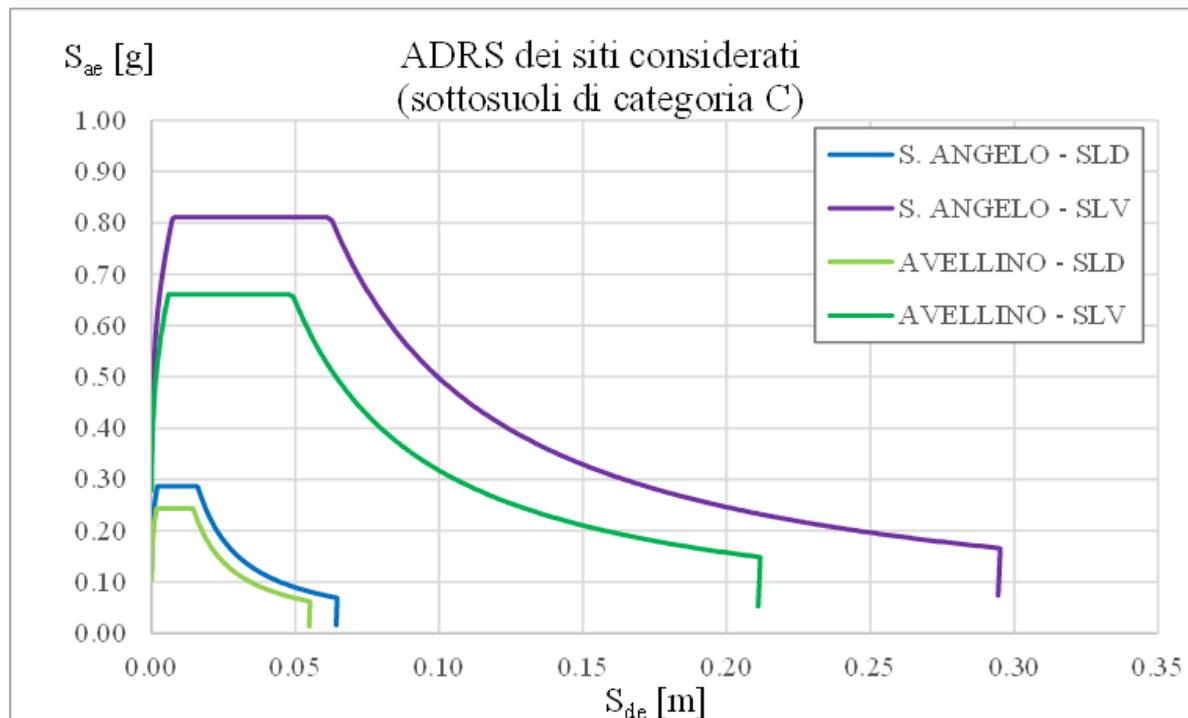
$$N_{ind} = N_{loc} + N_{glob} + N_{mix}$$

Applicazione 1: *ottimizzazione vincolata rispetto all'adeguamento della struttura agli SLD & SLV considerando diversi livelli di pericolosità sismica*

La struttura è analizzata sotto diversi livelli di pericolosità sismica e le soluzioni ricavate dal GA sono vincolate a rispettare la disequazione:

$$C_{LS,i} - D_{LS,i} \geq 0 \quad \forall i = 1 \dots n_{LS}$$

Analisi parametrica: soluzioni ottimali di adeguamento sismico al variare della pericolosità sismica



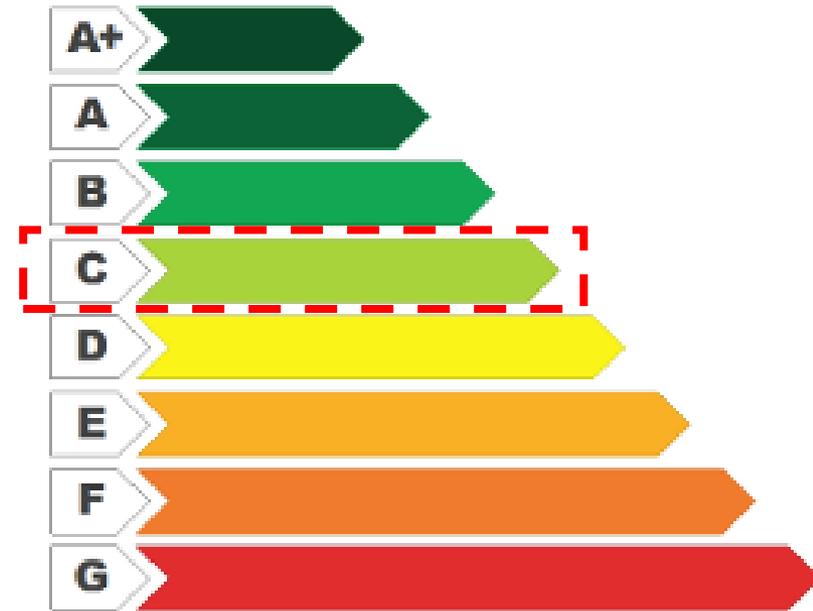
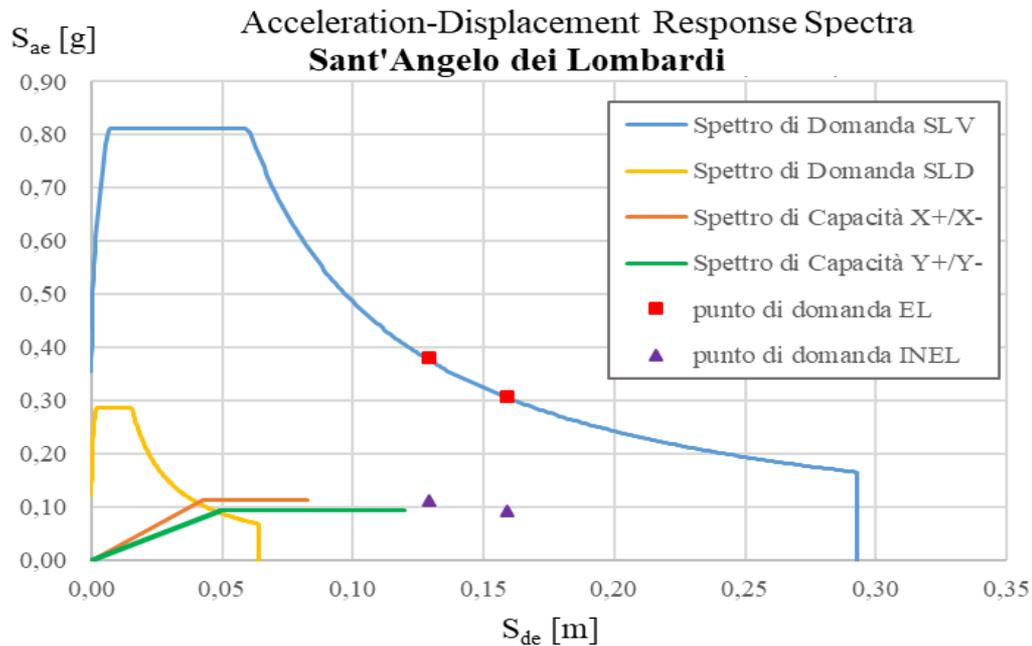
Analisi parametrica: soluzioni ottimali di adeguamento sismico al variare della pericolosità sismica

Siti considerati nelle analisi (sottosuolo di categoria C) :

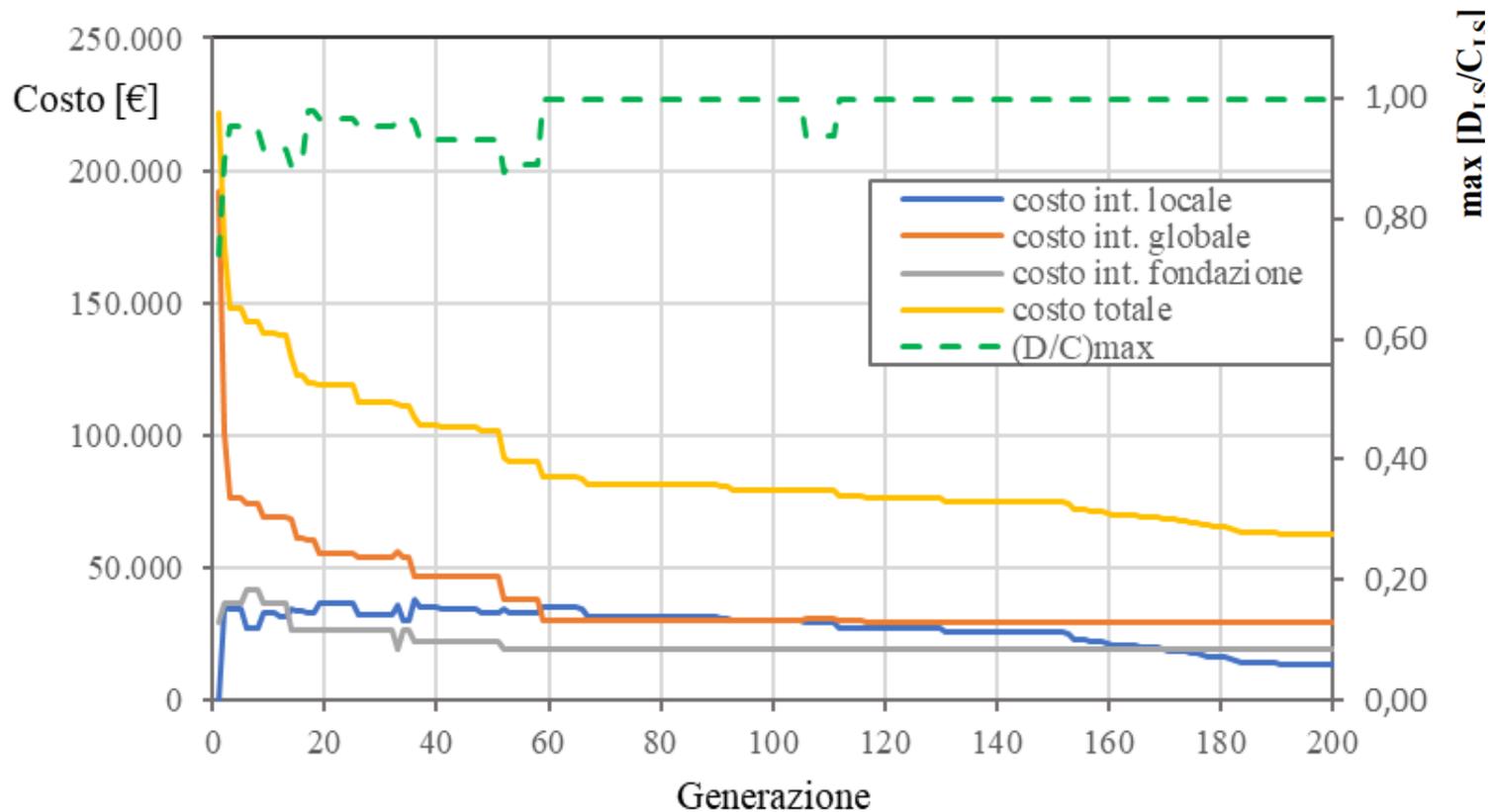
Sito	Stato Limite	a_g/g	F_0	$S_S \cdot S_T$
<i>Sant'Angelo dei Lombardi</i>	SLD	0,08	2,33	1,50
	SLV	0,27	2,28	1,36
<i>Avellino</i>	SLD	0,07	2,32	1,50
	SLV	0,20	2,37	1,42

Sito di Sant'Angelo dei Lombardi : STATO DI FATTO

L'edificio ricade nella **CLASSE DI RISCHIO SISMICO «C»**

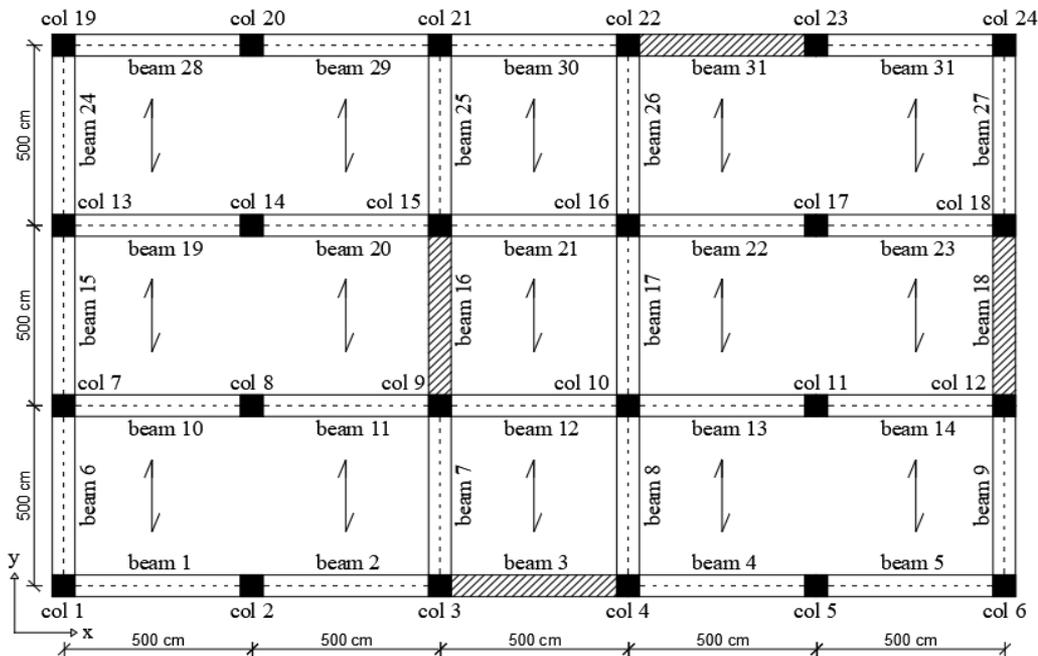


Sito di Sant'Angelo dei Lombardi : soluzione ottimale secondo il GA



Sito di Sant'Angelo dei Lombardi : *descrizione della soluzione ottimale secondo il GA*

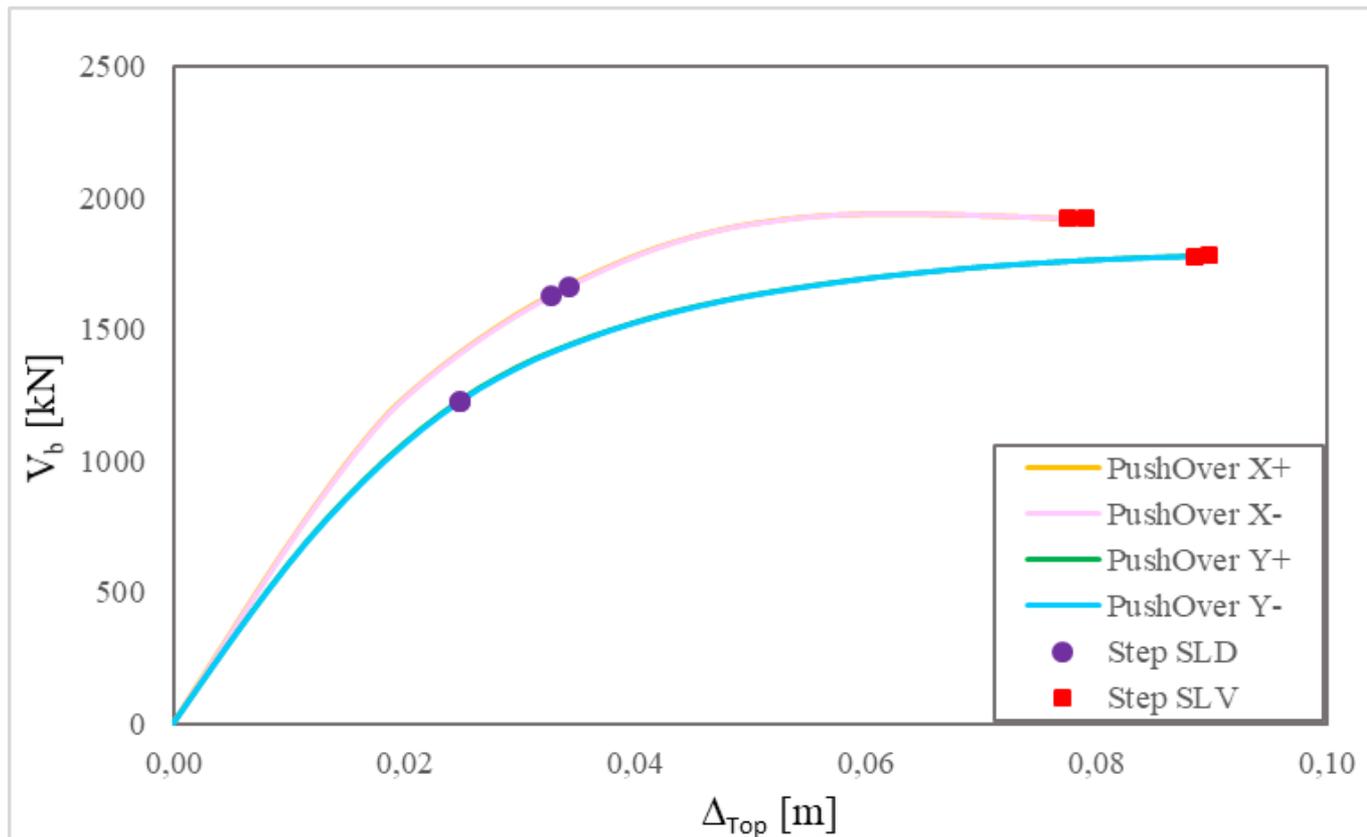
- Interventi locali richiesti specialmente al 2° livello ;
- 2 interventi globali per direzione.



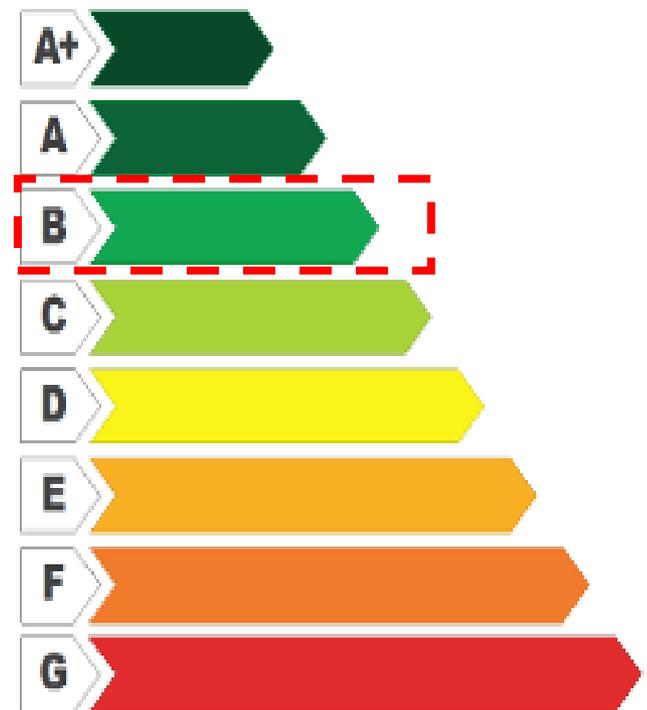
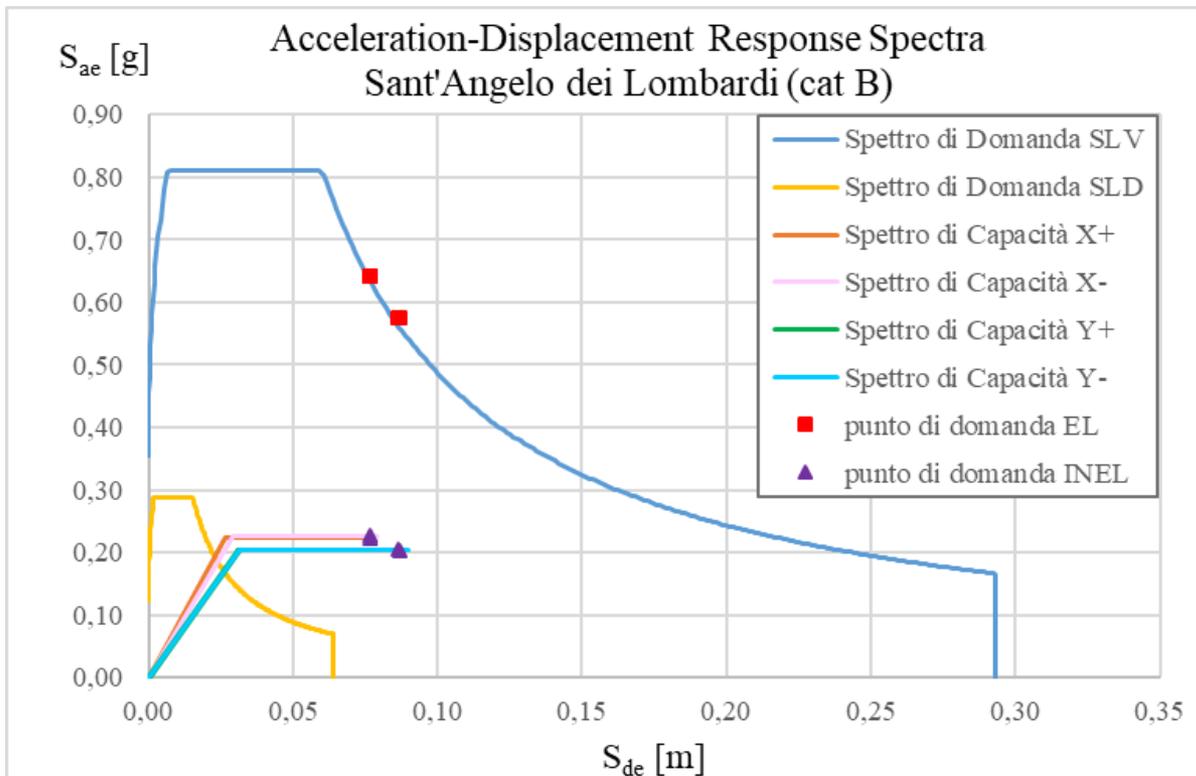
Intervento locale con FRP		
Livello	n. col. confinate	n. avvolgimenti tot.
1°	3	3
2°	10	13
3°	6	7
4°	9	11

Intervento globale		
Trave	Area [cm ²]	Sezione
3	54.25	HE 160 B
16	42.96	HE 140 B
18	42.96	HE 140 B
31	26.04	HE 100 B

Sito di Sant'Angelo dei Lombardi : *ubicazione dei controventi in pianta*

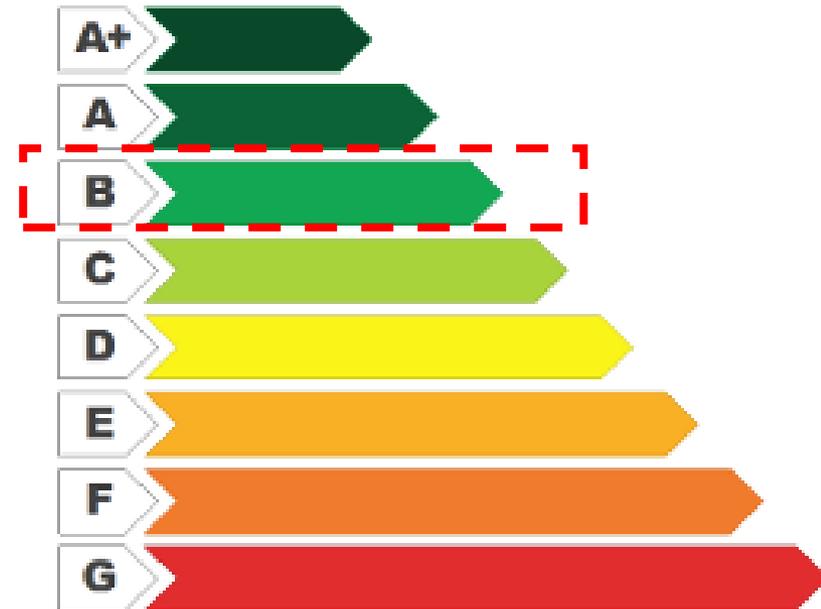
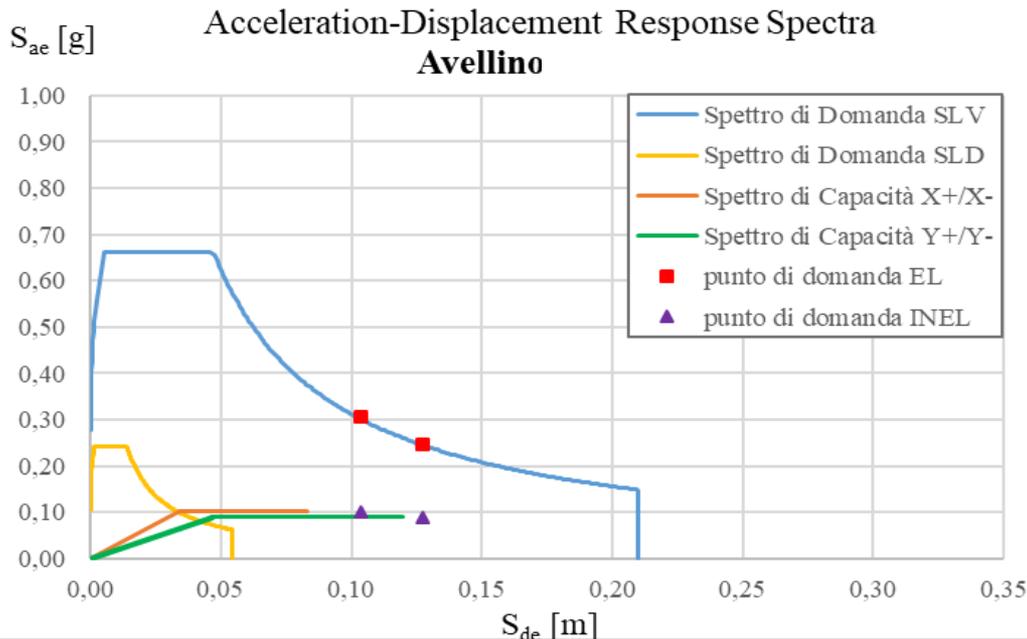


Sito di Sant'Angelo dei Lombardi : *classe di rischio sismico della struttura «ottimale»*

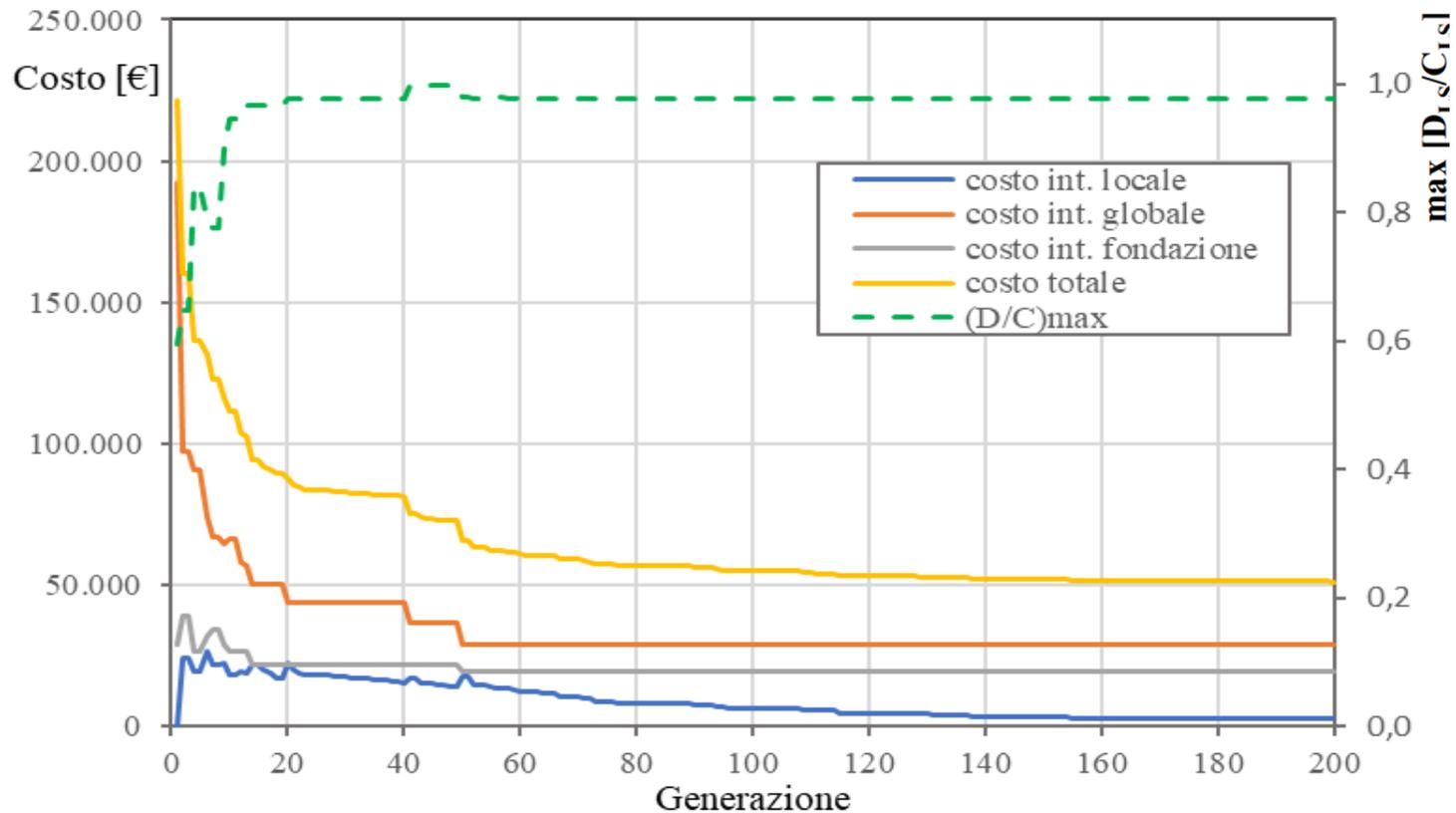


Sito di Avellino: STATO DI FATTO

L'edificio ricade nella **CLASSE DI RISCHIO SISMICO «B»**



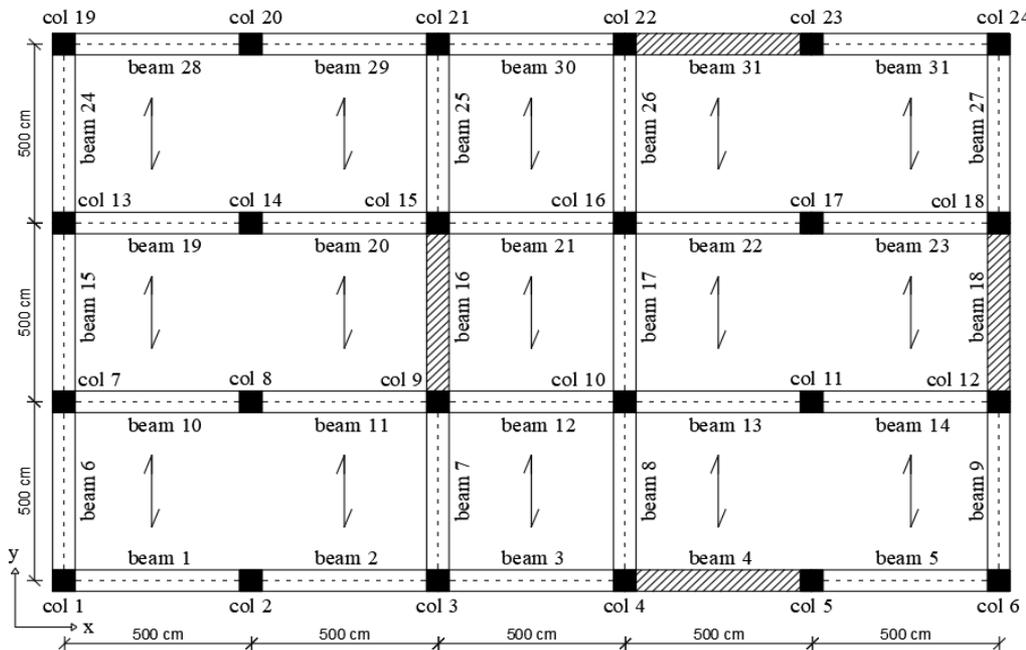
Sito di Avellino : soluzione ottimale secondo il GA



Sito di Avellino :

descrizione della soluzione ottimale secondo il GA

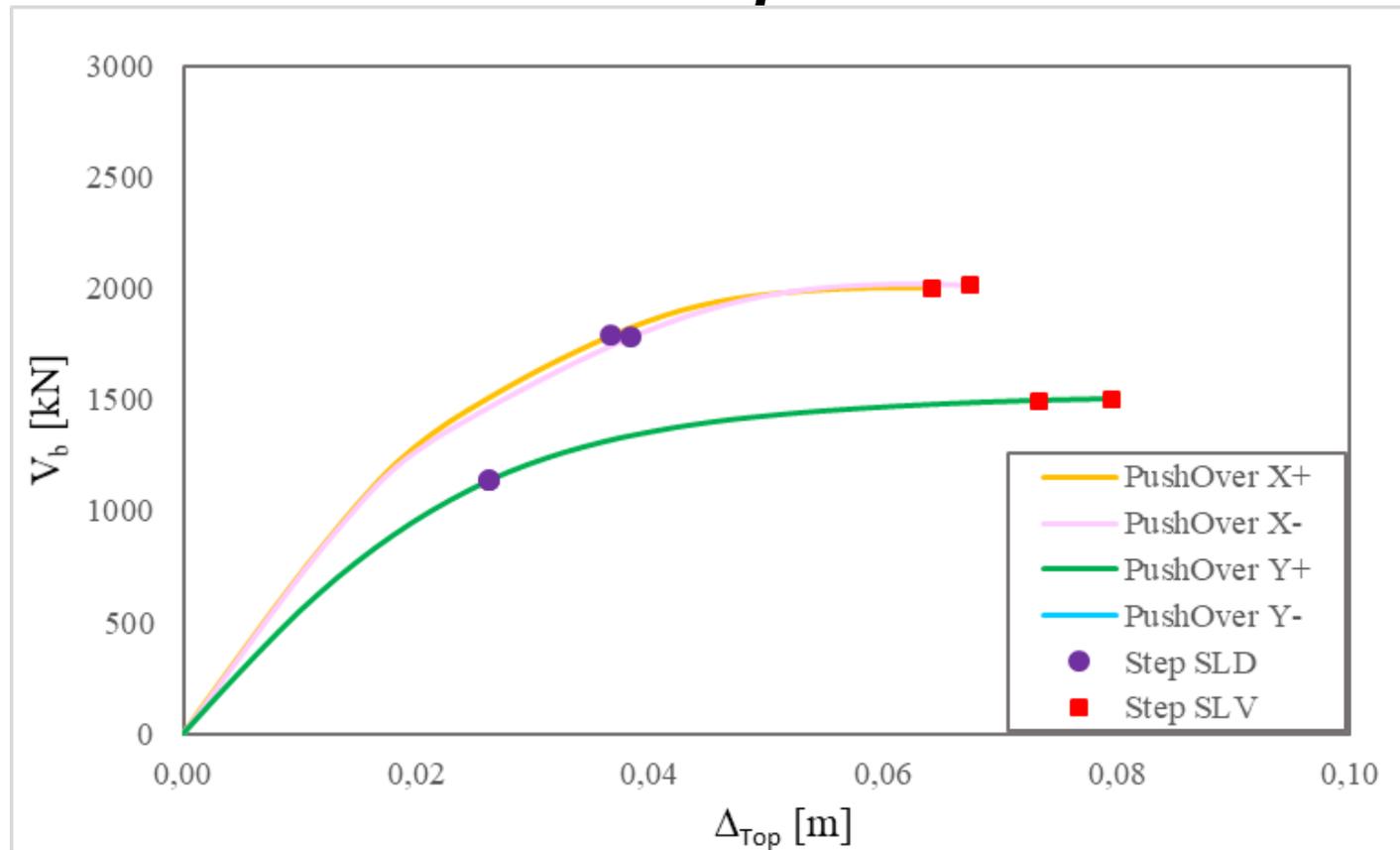
- Scarsa necessità di interventi locali ;
- 2 interventi globali per direzione.



Intervento locale con FRP		
Livello	n. col. confinate	n. avvolgimenti tot.
1°	2	2
2°	0	0
3°	3	3
4°	1	2

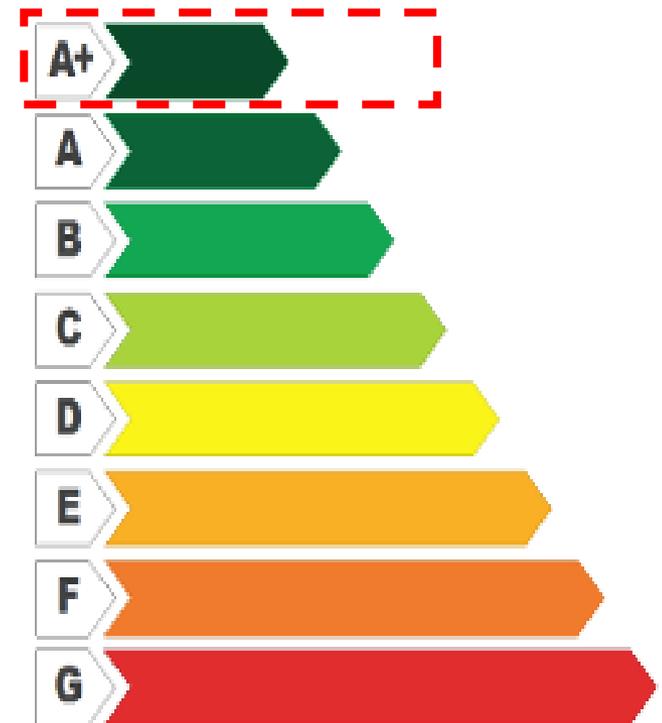
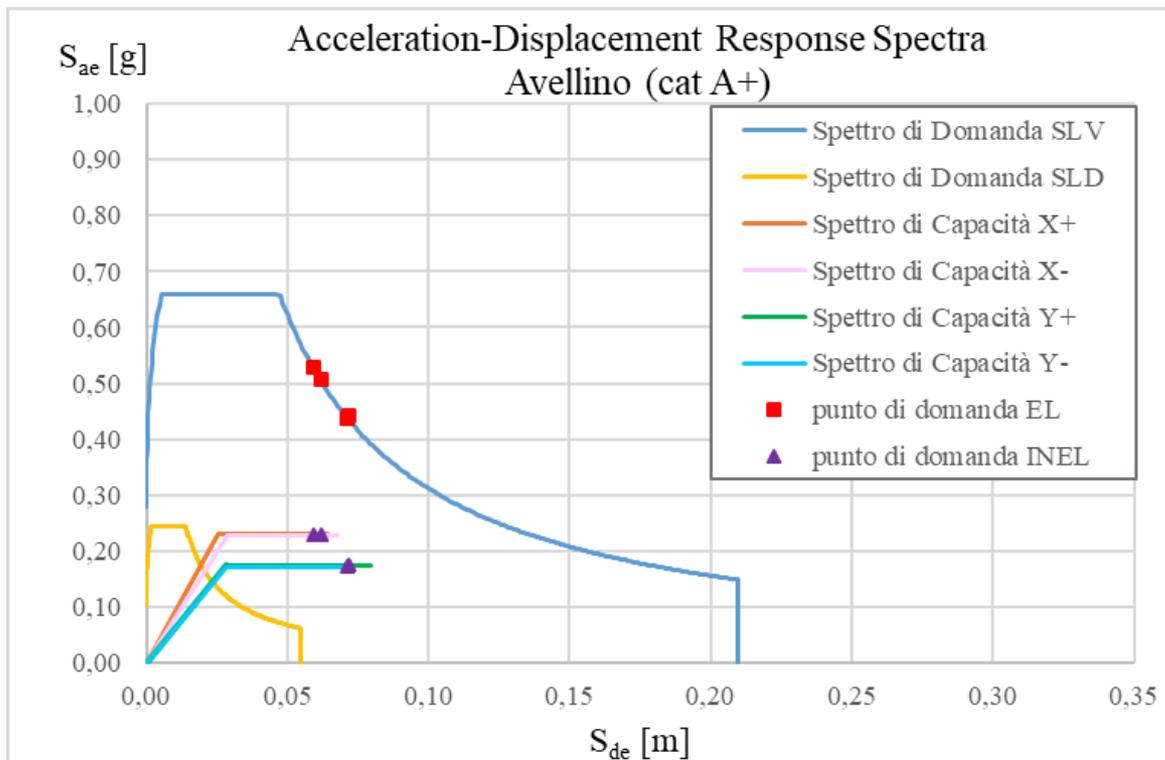
Intervento globale		
Trave	Area [cm ²]	Sezione
4	42.96	HE 140 B
16	26.04	HE 100 B
18	26.04	HE 100 B
31	26.04	HE 160 B

Sito di Avellino : *ubicazione dei controventi in pianta*



Sito di Avellino:

descrizione della soluzione ottimale secondo il GA



Applicazione 2: ottimizzazione vincolata rispetto al **conseguimento** **di una certa classe di rischio sismico «target»**

Sito:

Sant'Angelo dei Lombardi

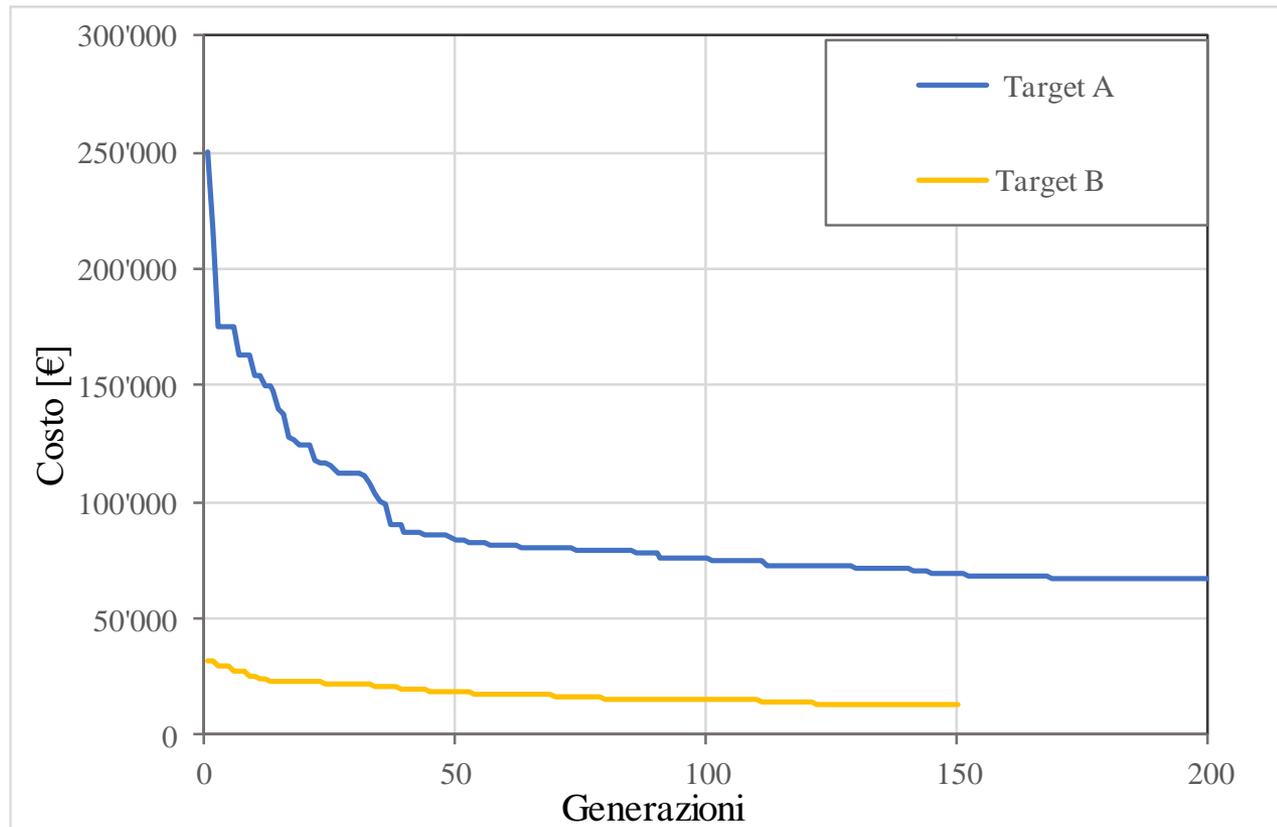
Classificazione sismica
dell'edificio allo stato di fatto:
«C».

Classi target:

- «A»
- «B»

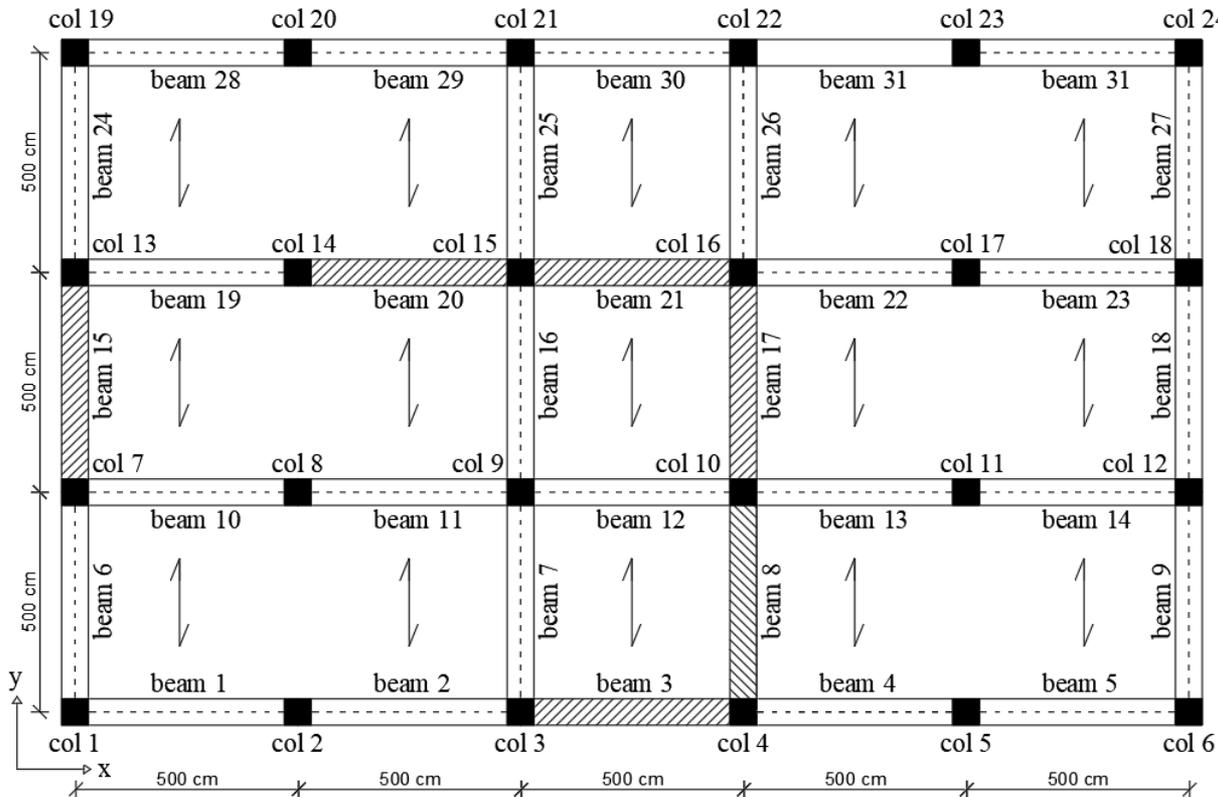
PAM	IS-V	Classe
$PAM \leq 0,50\%$	$100\% < IS-V$	A+
$0,50\% < PAM \leq 1,0\%$	$80\% < IS-V \leq 100\%$	A
$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	$60\% < IS-V \leq 80\%$	B
$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	$45\% < IS-V \leq 60\%$	C
$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	$30\% < IS-V \leq 45\%$	D
$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	$15\% < IS-V \leq 30\%$	E
$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	$IS-V \leq 15\%$	F
$7,5\% < PAM$		G

Soluzioni ottimali secondo il GA



Classe target «A» :

descrizione della soluzione ottimale secondo il GA

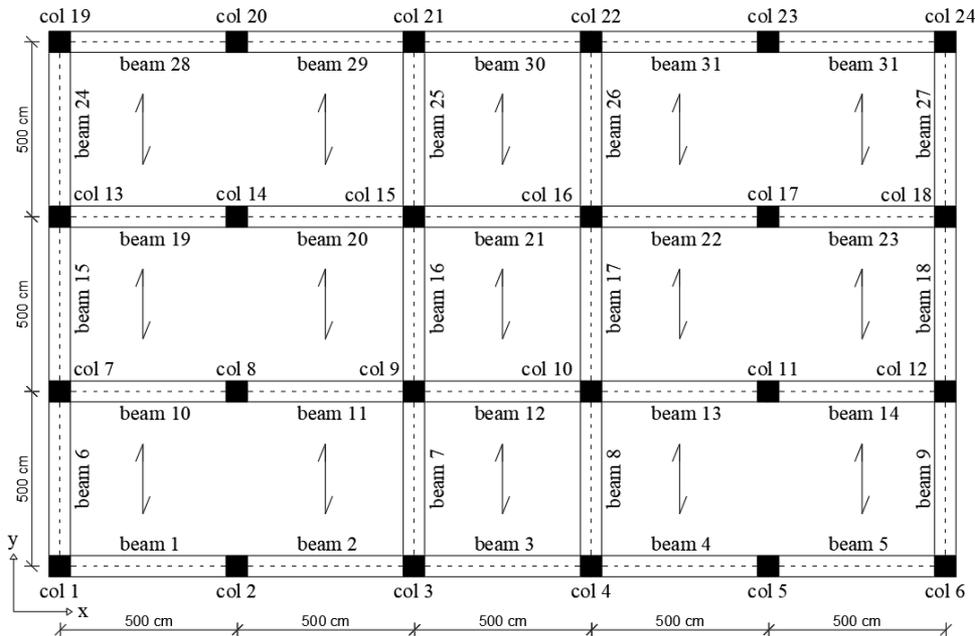


Intervento locale con FRP		
Livello	n. col. Confinate	n. avvolgimenti tot.
1°	8	13
2°	5	7
3°	5	7
4°	2	2

Intervento globale		
Trave	Area [cm ²]	Sezione
3	65.25	HE 180 B
5	42.96	HE 140 B
15	65.25	HE 180 B
17	54.25	HE 160 B
20	26.04	HE 120 B
21	54.25	HE 160 B

Classe target «B» :

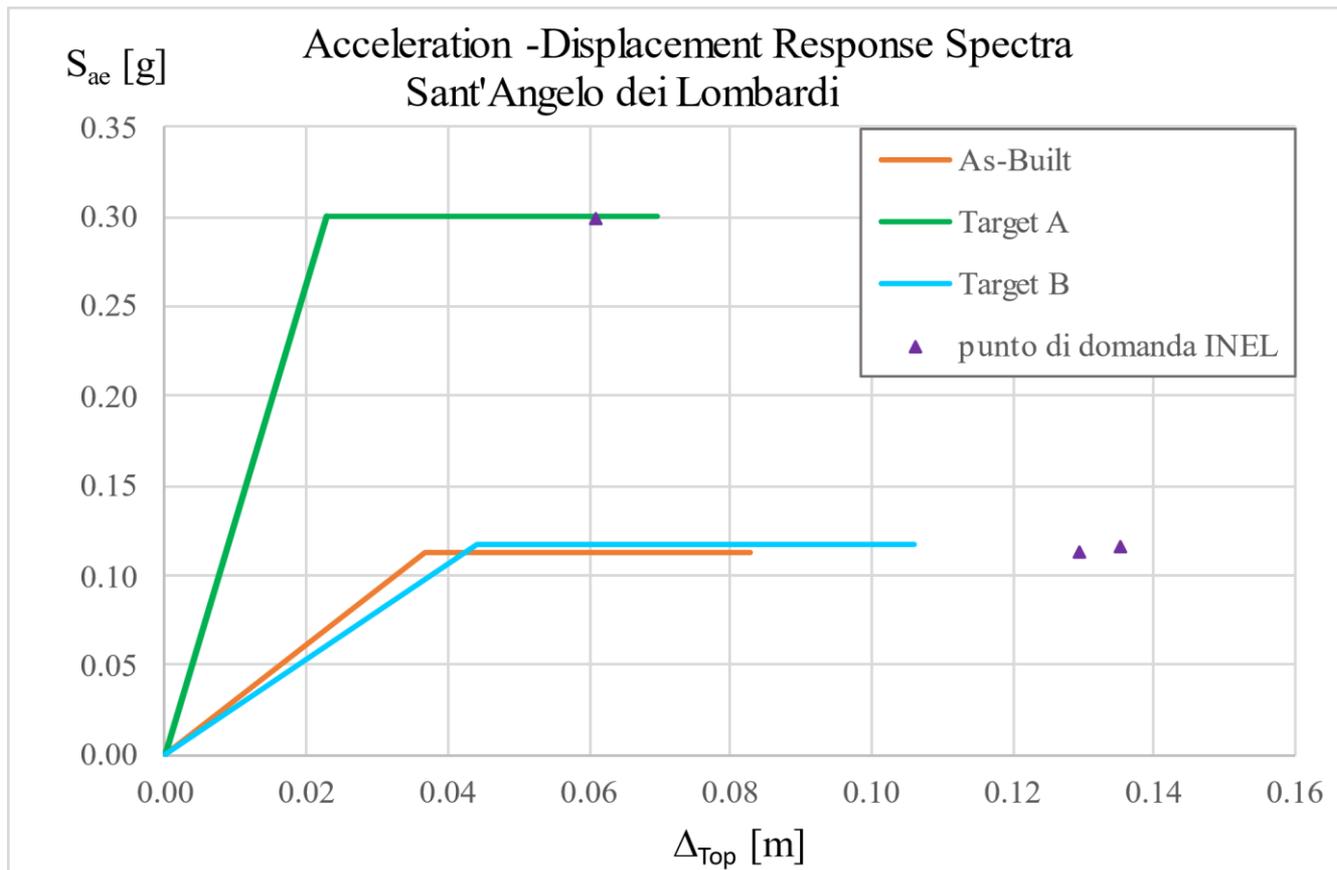
descrizione della soluzione ottimale secondo il GA



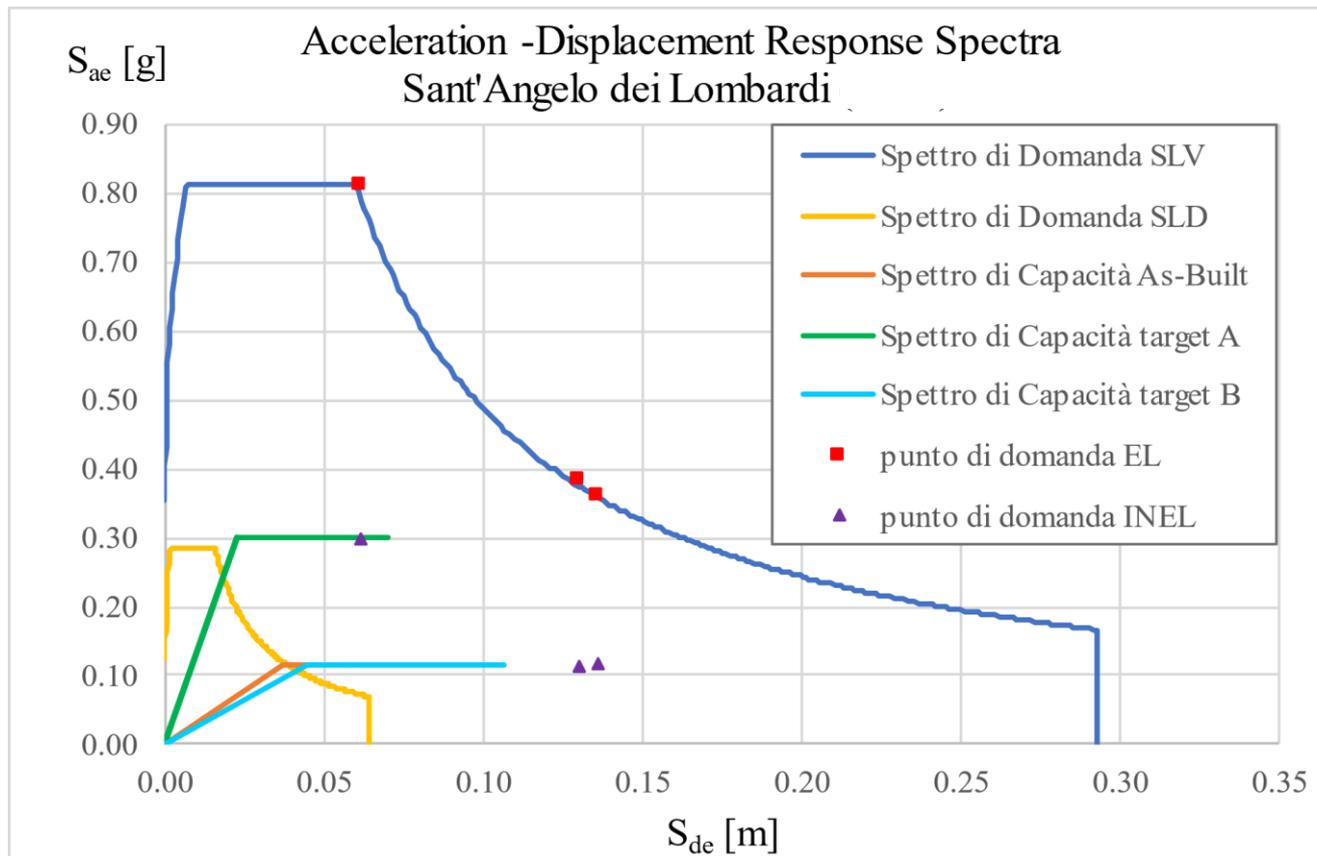
Intervento locale con FRP		
Livello	n. col. Confinate	n. avvolgimenti tot.
1°	19	28
2°	2	2
3°	4	5
4°	1	3

Intervento globale		
Trave	Area [cm ²]	Sezione
[-]	[-]	[-]
[-]	[-]	[-]
[-]	[-]	[-]
[-]	[-]	[-]

Confronto tra le soluzioni ottenute :



Confronto tra le soluzioni ottenute :



Applicazione 3: ottimizzazione vincolata rispetto **all'adeguamento della struttura agli SLD & SLV** imponendo la **simmetria** della soluzione

Considerando il sito di **Sant'Angelo dei Lombardi**, si ricerca una soluzione ottimale di adeguamento sismico che risulti, altresì, simmetrica nella disposizione dei controventi.

- Vincolo 1 → SLD & SLV

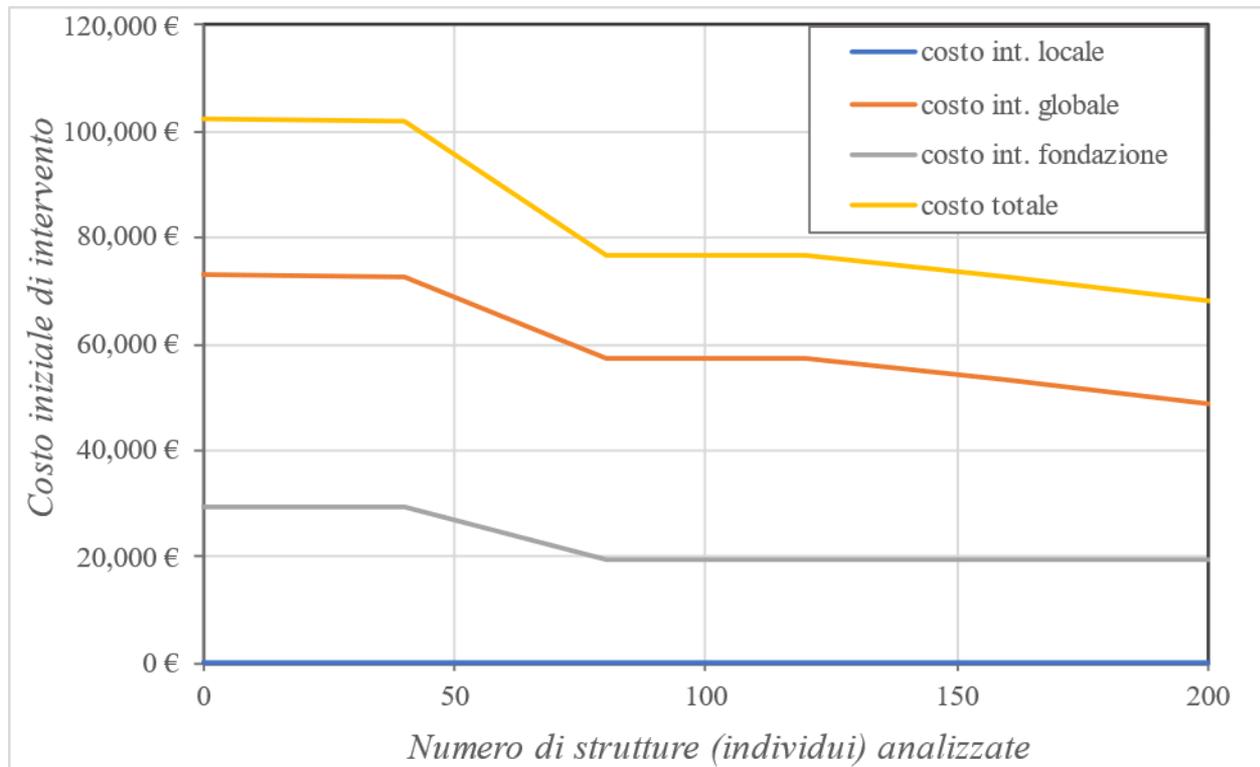
$$C_{LS,i} - D_{LS,i} \geq 0 \quad \forall i = 1 \dots n_{LS}$$

- Vincolo 2 → simmetria

$$\left| \min_i \left[\frac{C_{LS,i}(x)}{D_{LS,i}(x)} \right]_{dirX+} - \min_i \left[\frac{C_{LS,i}(x)}{D_{LS,i}(x)} \right]_{dirX-} \right| < \varepsilon \text{ (tolerance)}$$

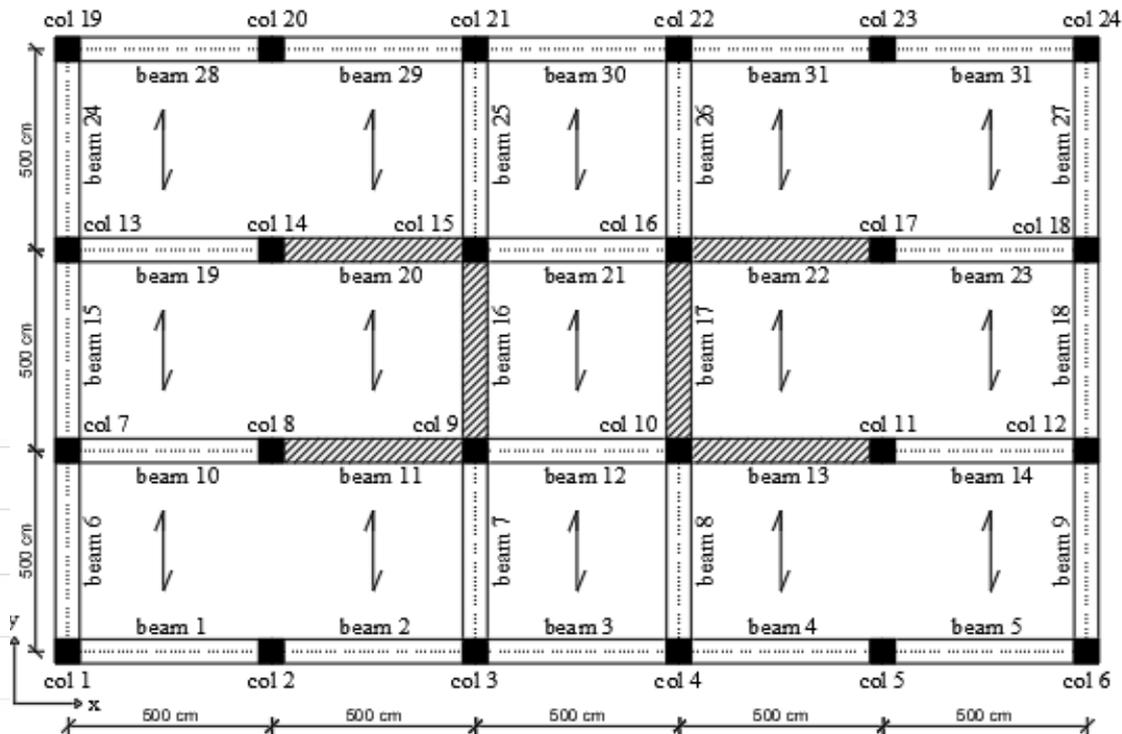
$$\left| \min_i \left[\frac{C_{LS,i}(x)}{D_{LS,i}(x)} \right]_{dirY+} - \min_i \left[\frac{C_{LS,i}(x)}{D_{LS,i}(x)} \right]_{dirY-} \right| < \varepsilon \text{ (tolerance)}$$

Soluzioni ottimali secondo il GA



Descrizione della soluzione ottimale secondo il GA *con vincolo di simmetria*

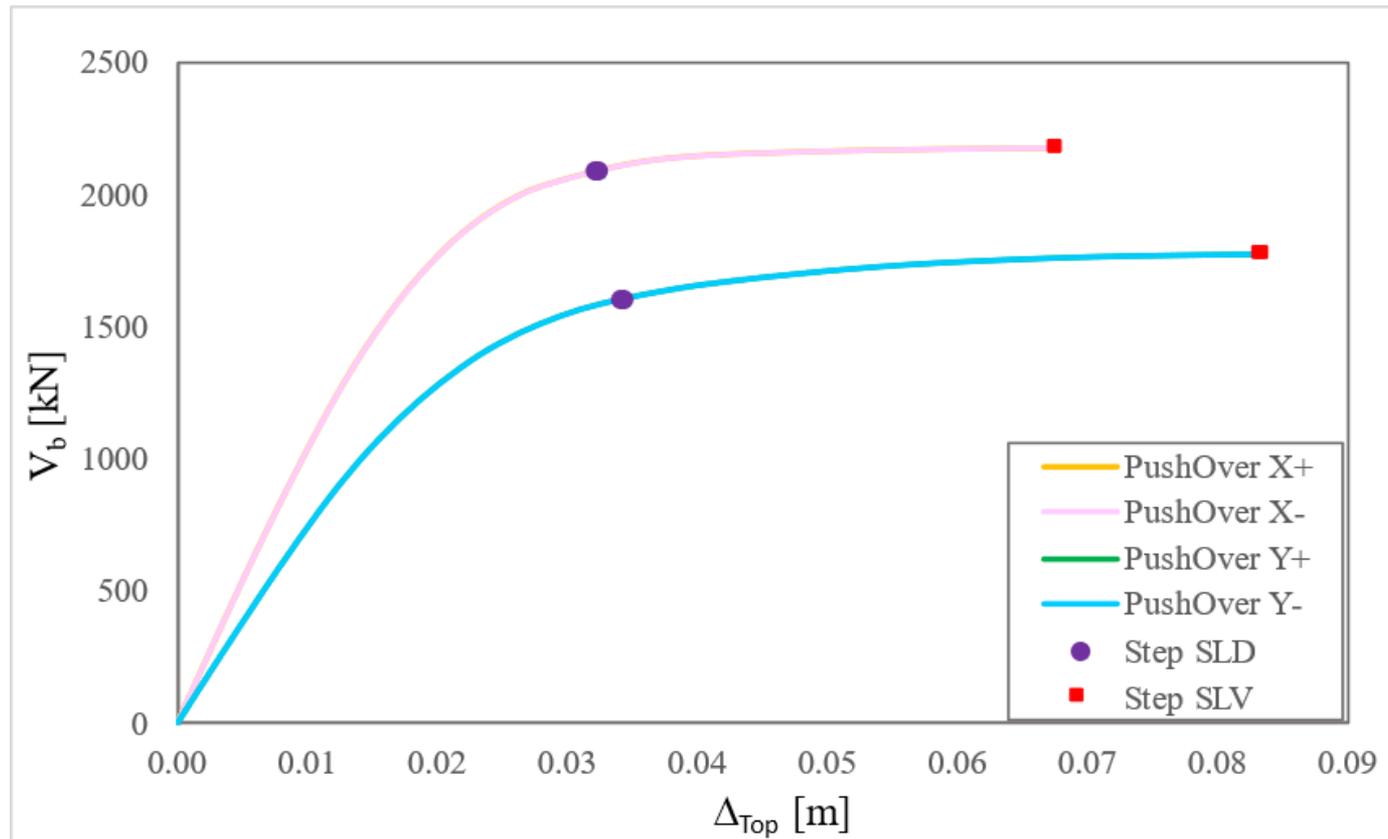
- Nessun intervento locale ;
- 2 interventi globali nella direzione X ;
- 4 interventi globali nella direzione Y.



Intervento globale

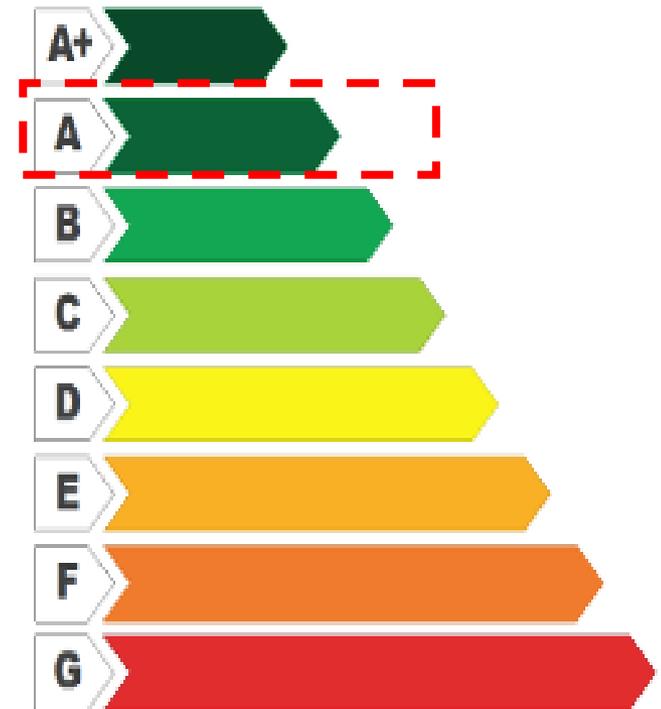
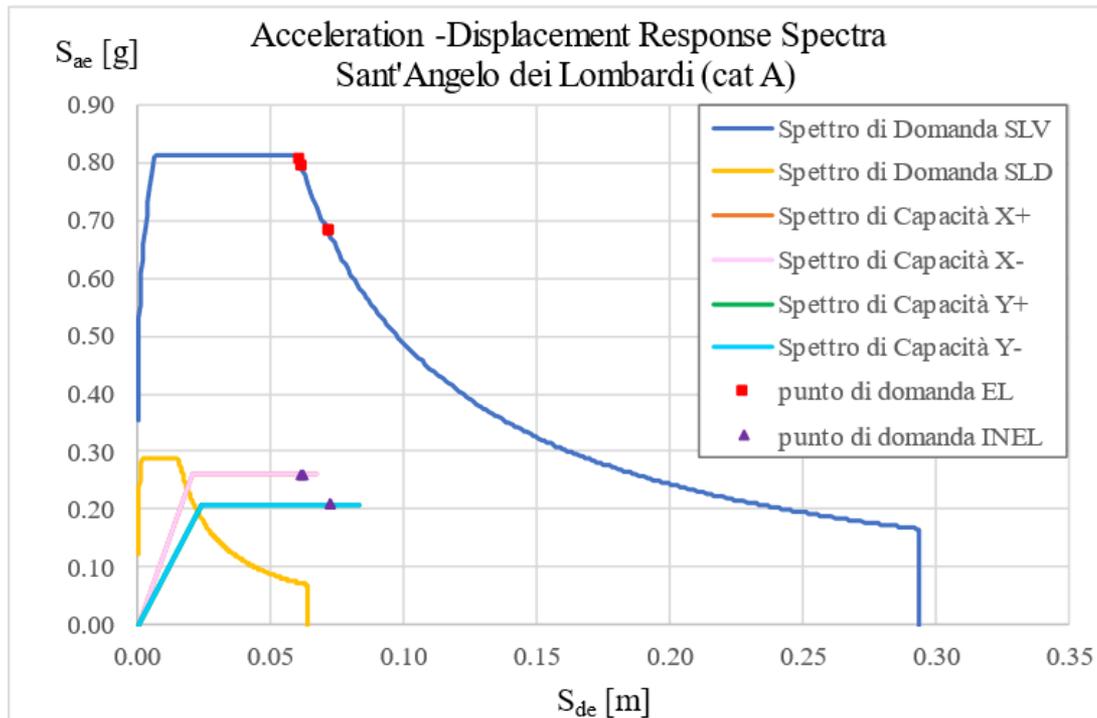
Trave	Area [cm ²]	Sezione
11 & 13 & 20 & 22	26.04	HE 100 B
16 & 17	54.25	HE 160 B

Soluzione ottimale secondo il GA con vincolo di simmetria



Soluzione ottimale secondo il GA con vincolo di simmetria : classe di rischio

L'edificio ricade in **classe di rischio sismico «A»**.



- 1 Introduzione
- 2 Stato dell'arte delle procedure di analisi sismica
- 3 Stato dell'arte delle strategie e tecniche di adeguamento sismico
- 4 Panoramica delle applicazioni ingegneristiche di Soft-Computing
- 5 Procedura di adeguamento sismico con tecniche di Soft-Computing
- 6 Implementazione della Procedura
- 7 Applicazioni
- 8 Conclusioni**

Conclusioni

L'algoritmo genetico (GA) proposto mostra ***discrete capacità nell'ottimizzazione*** del costo iniziale di intervento, ***quando i parametri algoritmici sono scelti opportunamente.***

È possibile ***ampliare la «libreria»*** delle tecniche di intervento.

La procedura può essere estesa a qualsiasi funzione obiettivo e può essere adattata a problemi di ***ottimizzazione «multi-obiettivo».***

Conclusioni

È possibile, operando sulle variabili di progetto, introdurre ***aspetti ingegneristici*** della progettazione od eventuali ***vincoli*** che la soluzione deve rispettare.

L'algoritmo può portare a ***risultati più appropriati*** se si ha come ***obiettivo*** una ***classe di rischio sismico*** piuttosto che un adeguamento rispetto agli stati limite considerati.

AIST

Associazione Italiana Software Tecnico

www.aistonline.it
