ESEMPI DI INTERVENTI PER INFRASTRUTTURE E GRANDI OPERE

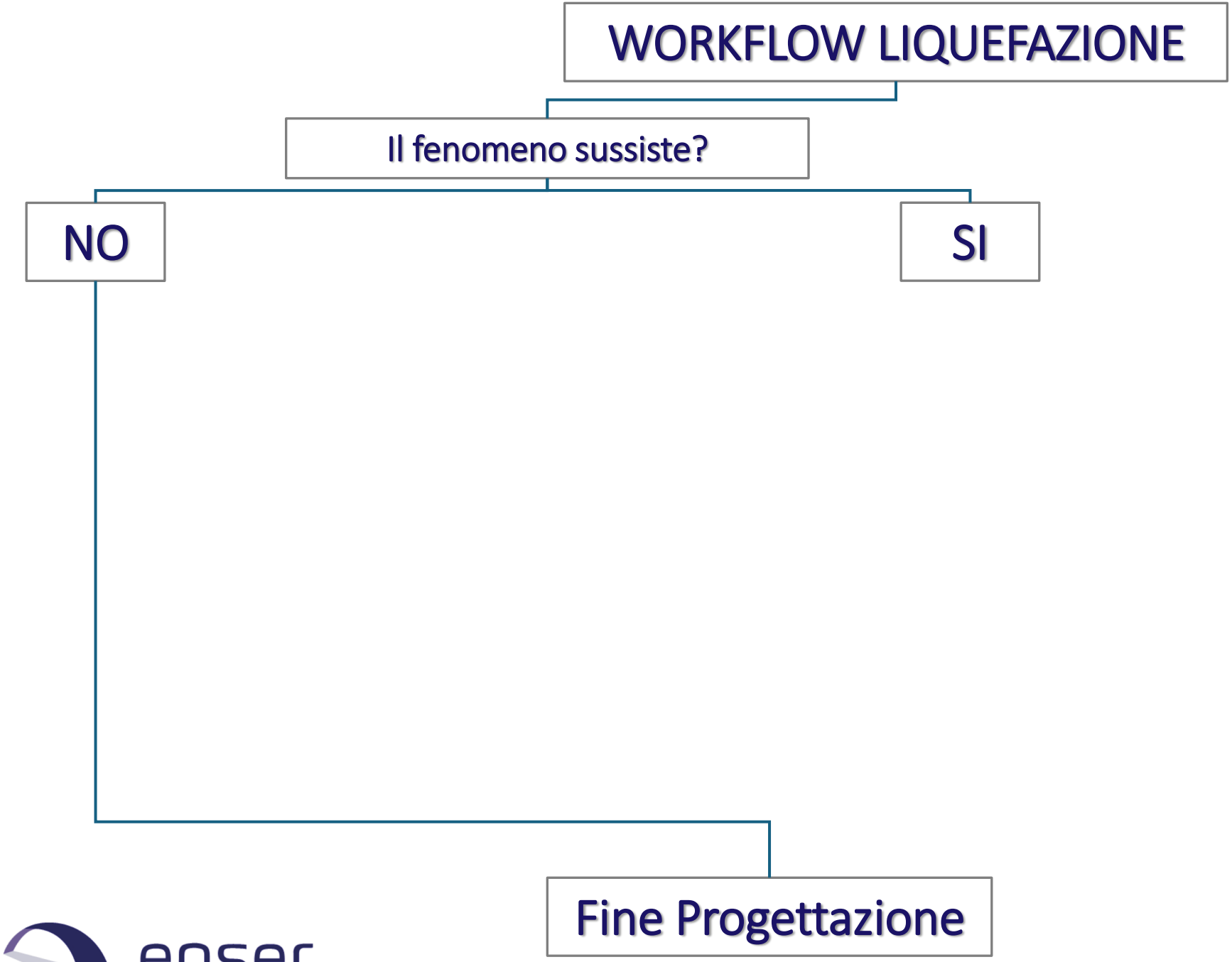
Ing. Filippo Marchi

enser

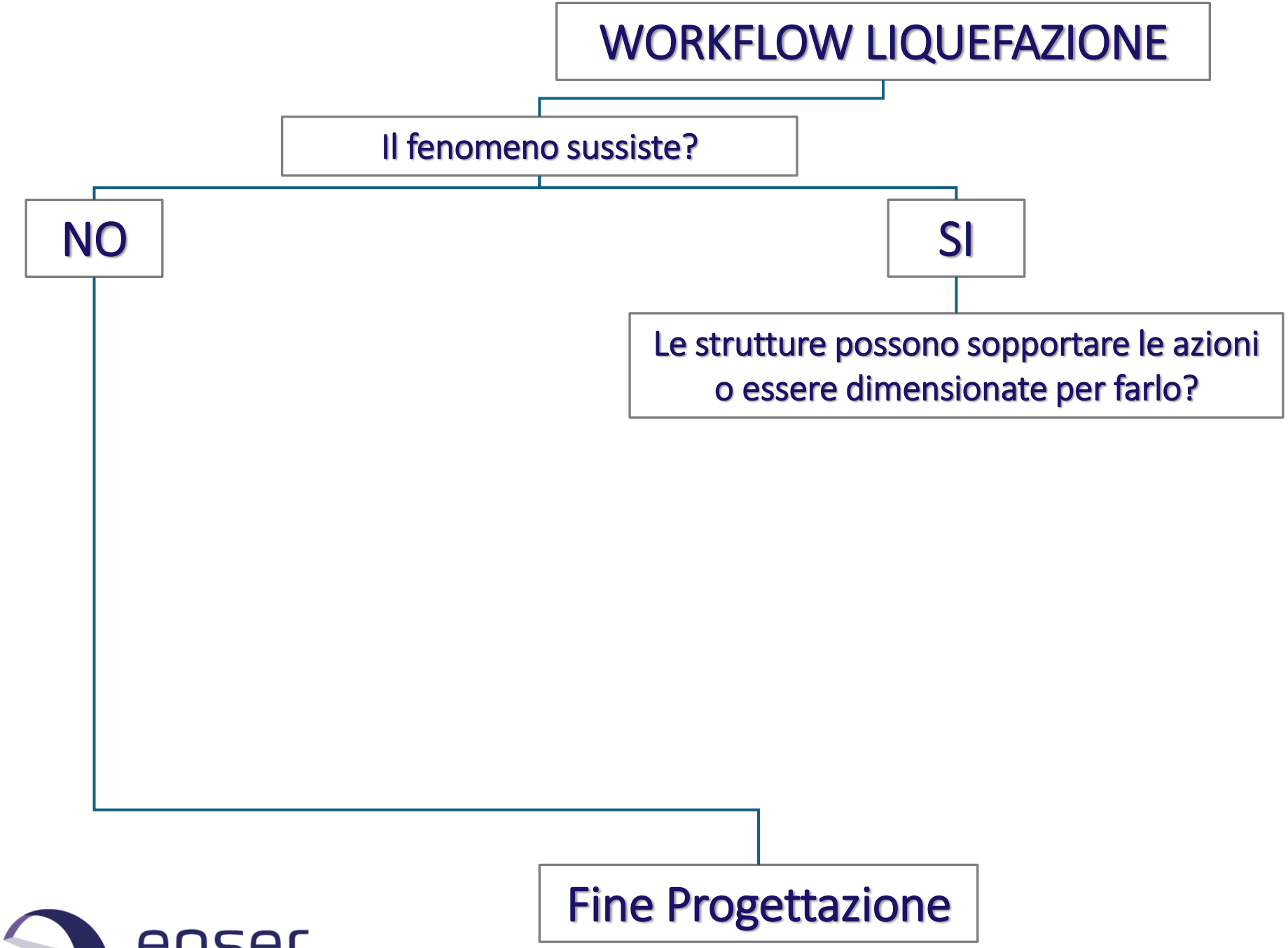
WORKFLOW LIQUEFAZIONE

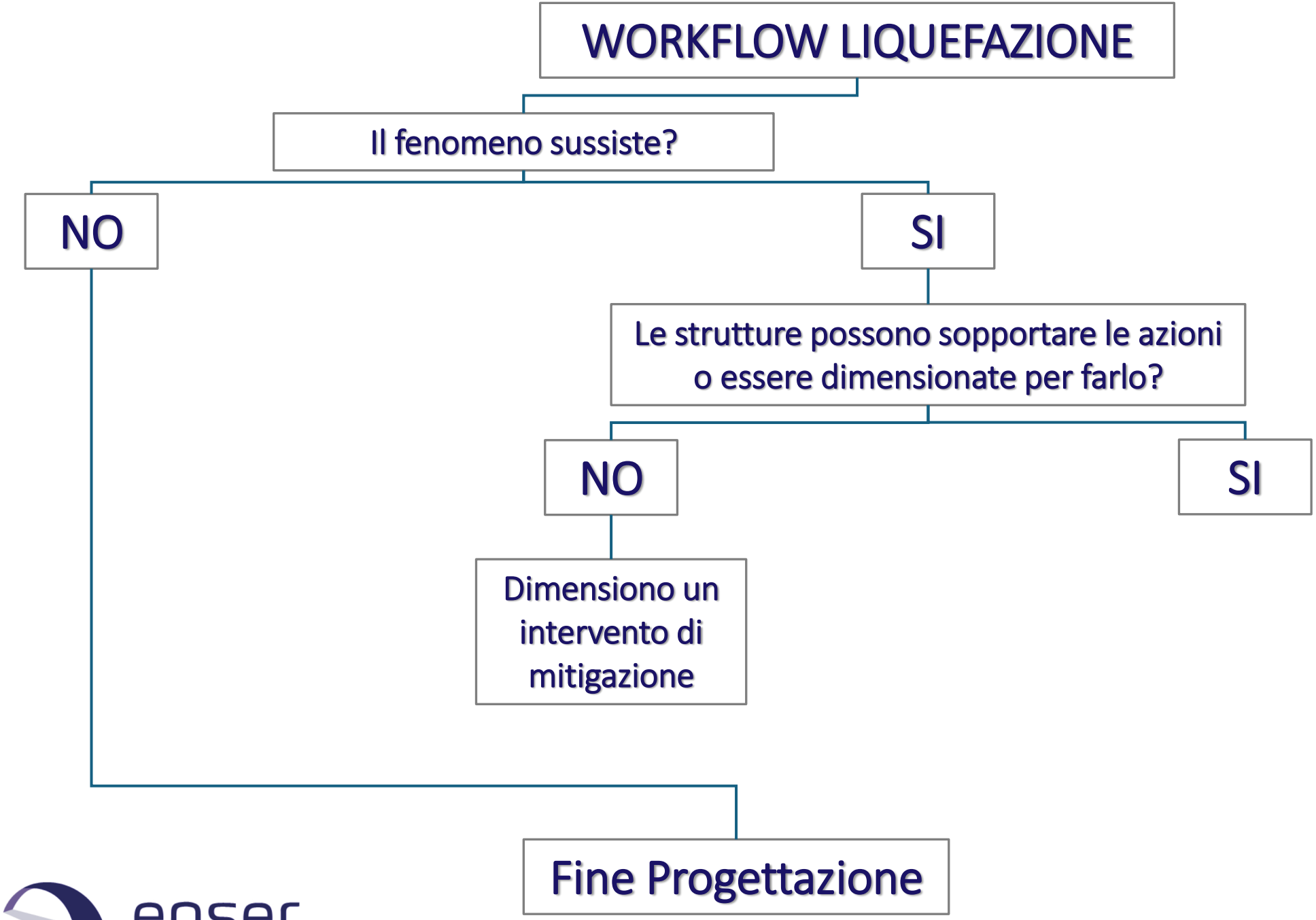
Il fenomeno sussiste?

enser

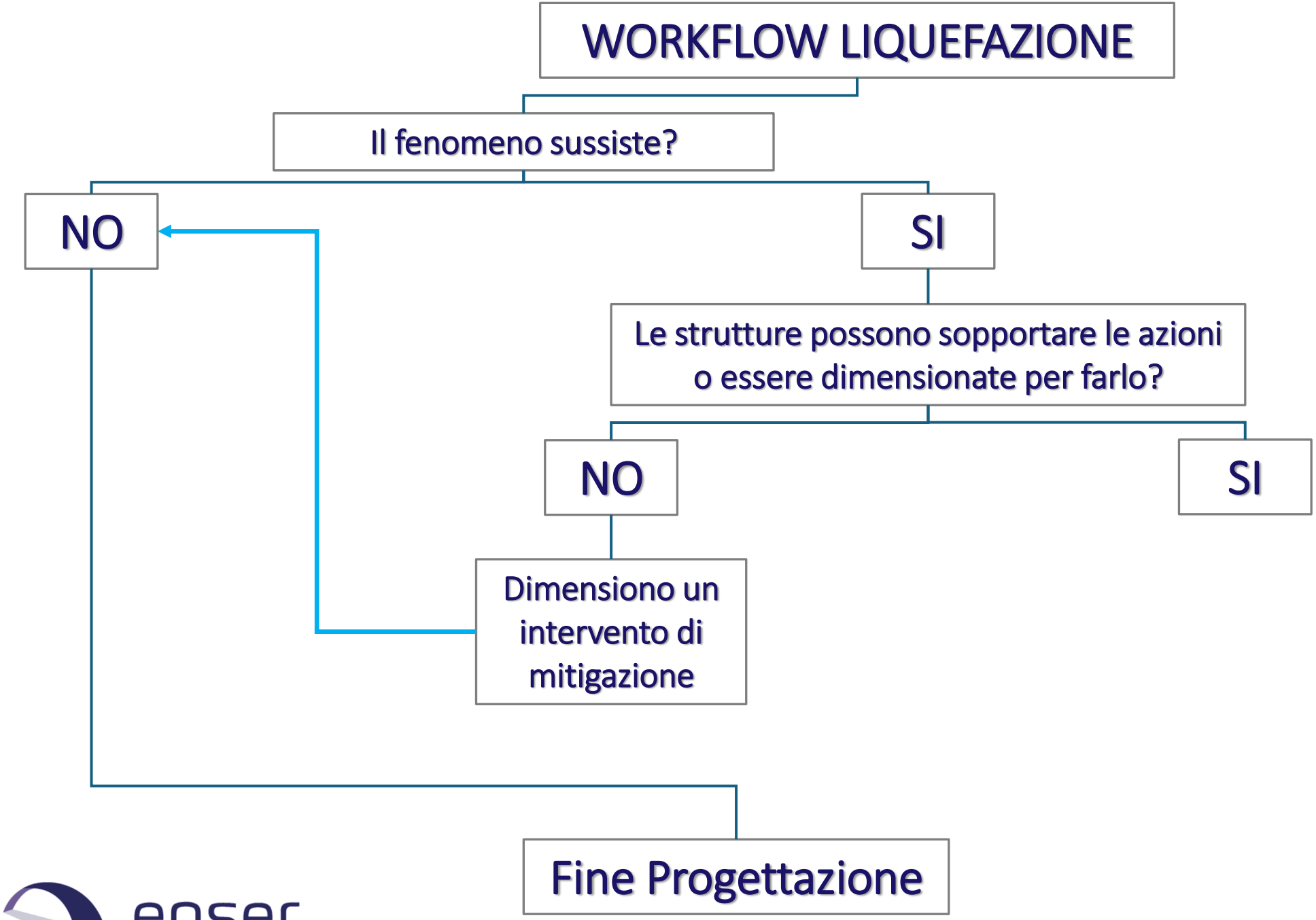

WORKFLOW LIQUEFAZIONE
Il fenomeno sussiste?
NO
SI
Fine Progettazione

enser

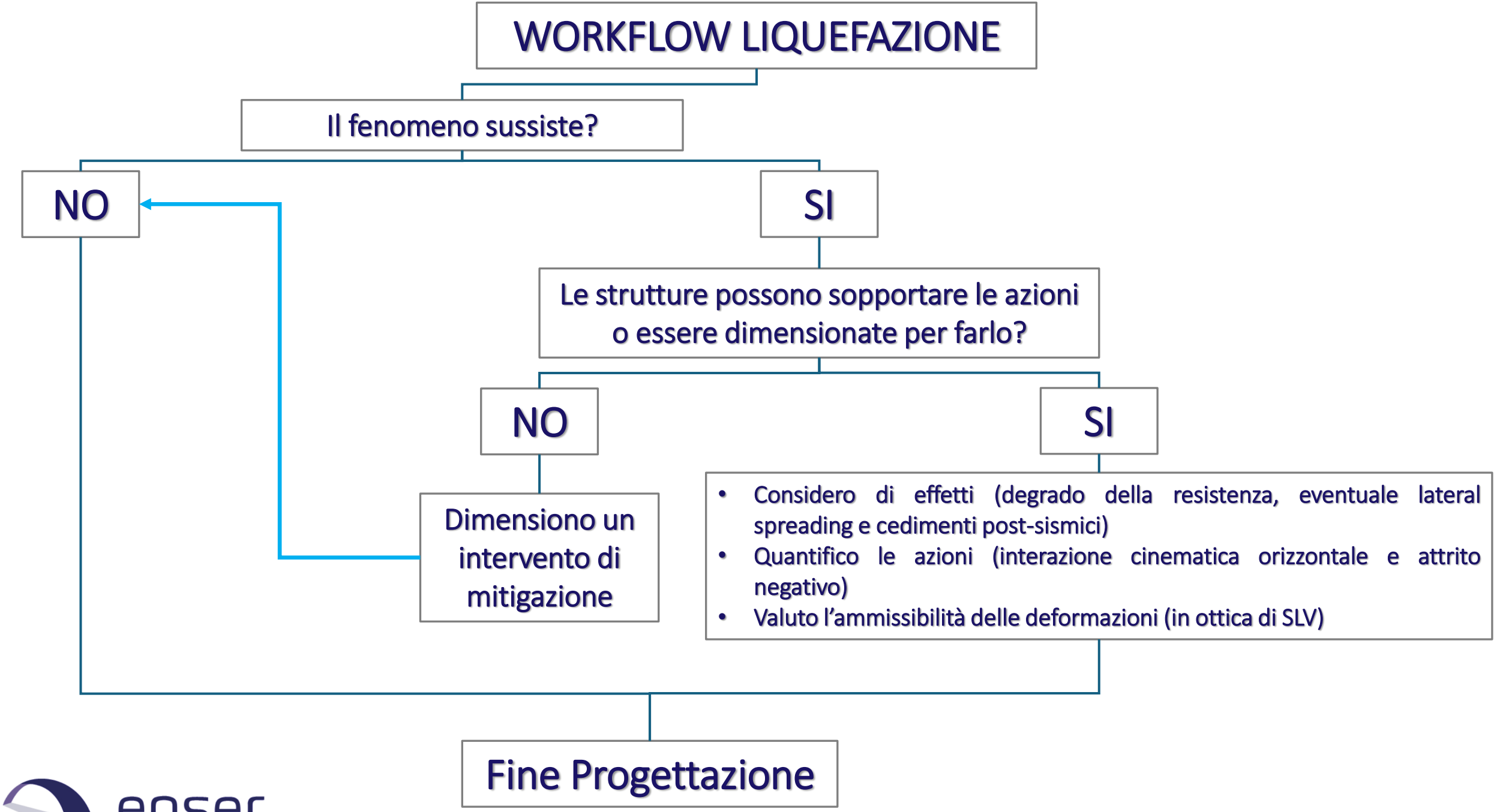

WORKFLOW LIQUEFAZIONE
Il fenomeno sussiste?
NO
SI
Le strutture possono sopportare le azioni
o essere dimensionate per farlo?
Fine Progettazione


WORKFLOW LIQUEFAZIONE
Il fenomeno sussiste?
NO
SI
Le strutture possono sopportare le azioni o essere dimensionate per farlo?
NO
SI
Dimensiono un intervento di mitigazione
Fine Progettazione

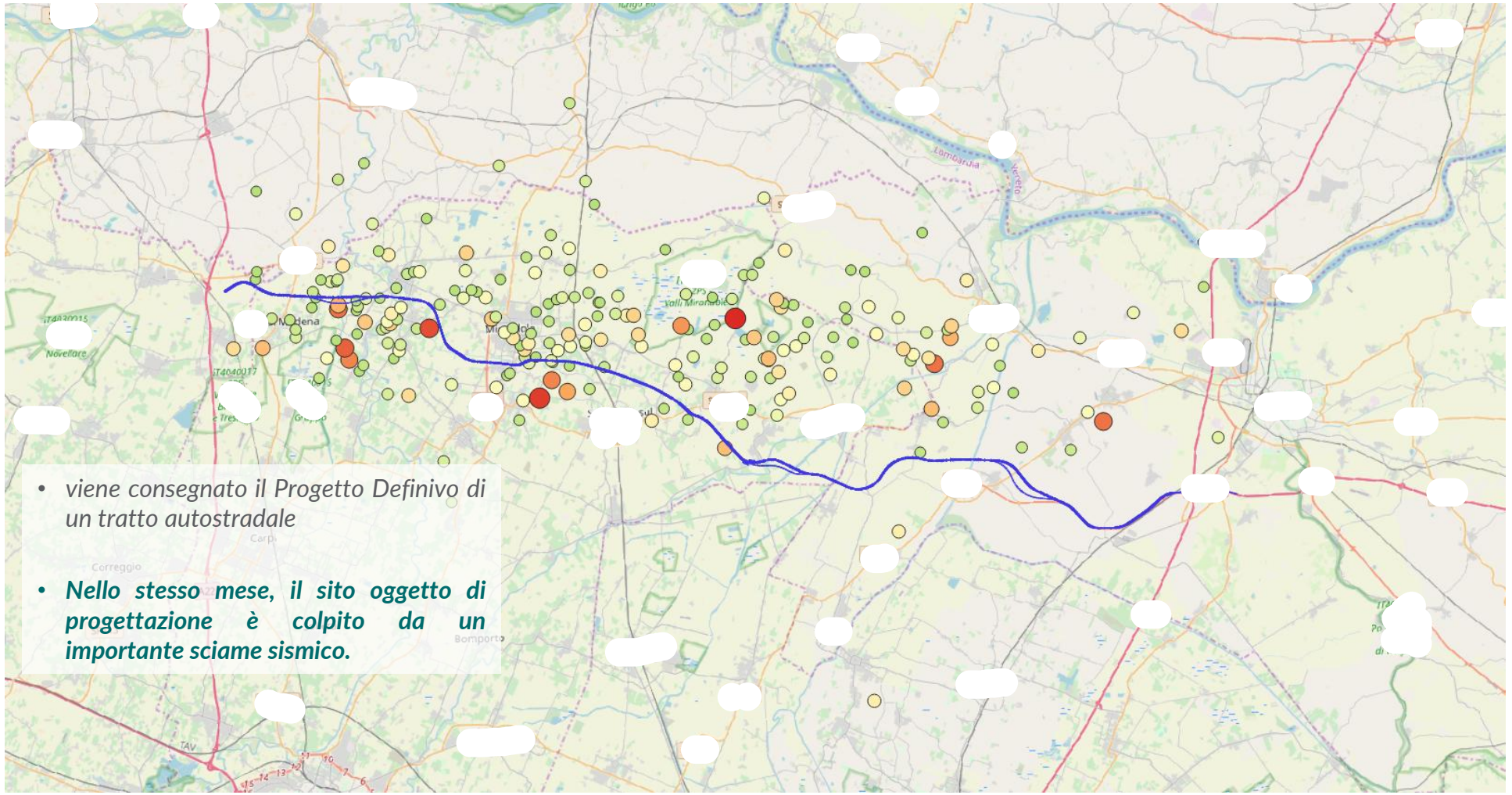
enser


WORKFLOW LIQUEFAZIONE
Il fenomeno sussiste?
NO
SI
Le strutture possono sopportare le azioni o essere dimensionate per farlo?
NO
SI
Dimensiono un intervento di mitigazione
Fine Progettazione

enser


WORKFLOW LIQUEFAZIONE
Il fenomeno sussiste?
NO
SI
Le strutture possono sopportare le azioni o essere dimensionate per farlo?
NO
SI
Dimensiono un intervento di mitigazione
• Considero di effetti (degrado della resistenza, eventuale lateral spreading e cedimenti post-sismici)
• Quantifico le azioni (interazione cinematica orizzontale e attrito negativo)
• Valuto l'ammissibilità delle deformazioni (in ottica di SLV)
Fine Progettazione

enser



- *viene consegnato il Progetto Definivo di un tratto autostradale*

- ***Nello stesso mese, il sito oggetto di progettazione è colpito da un importante sciame sismico.***

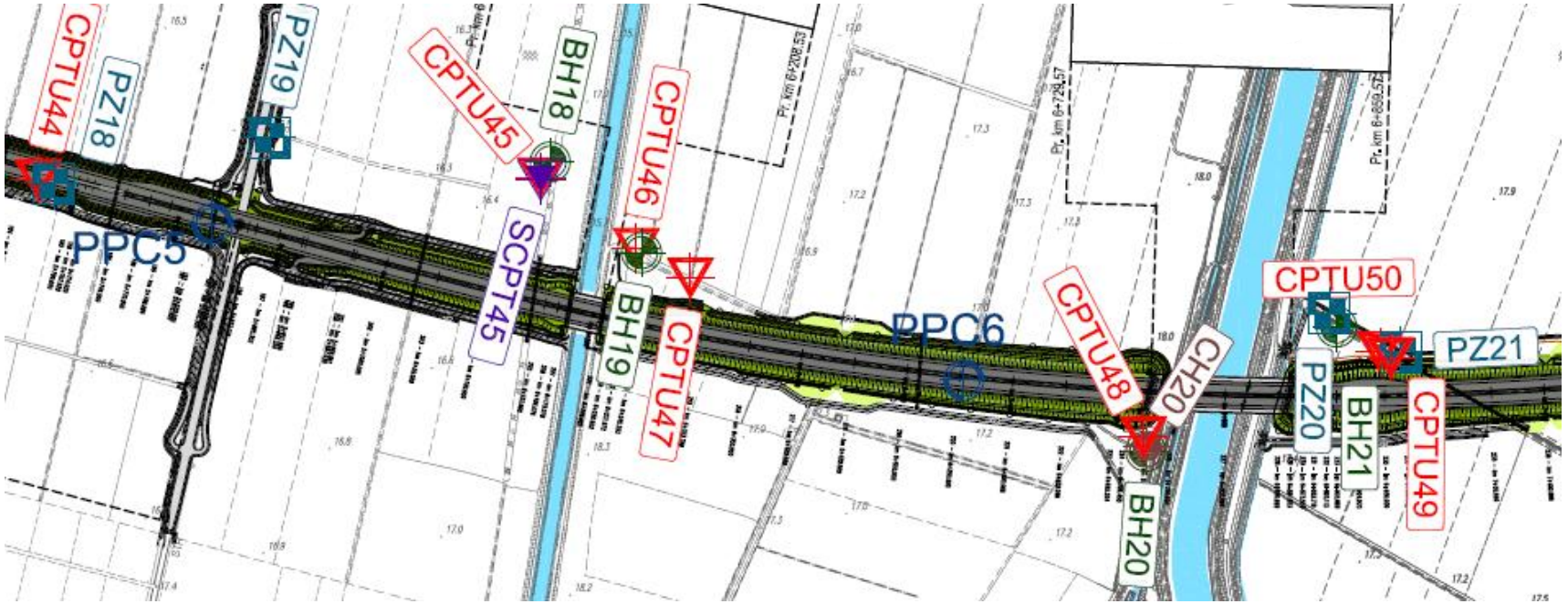
enser

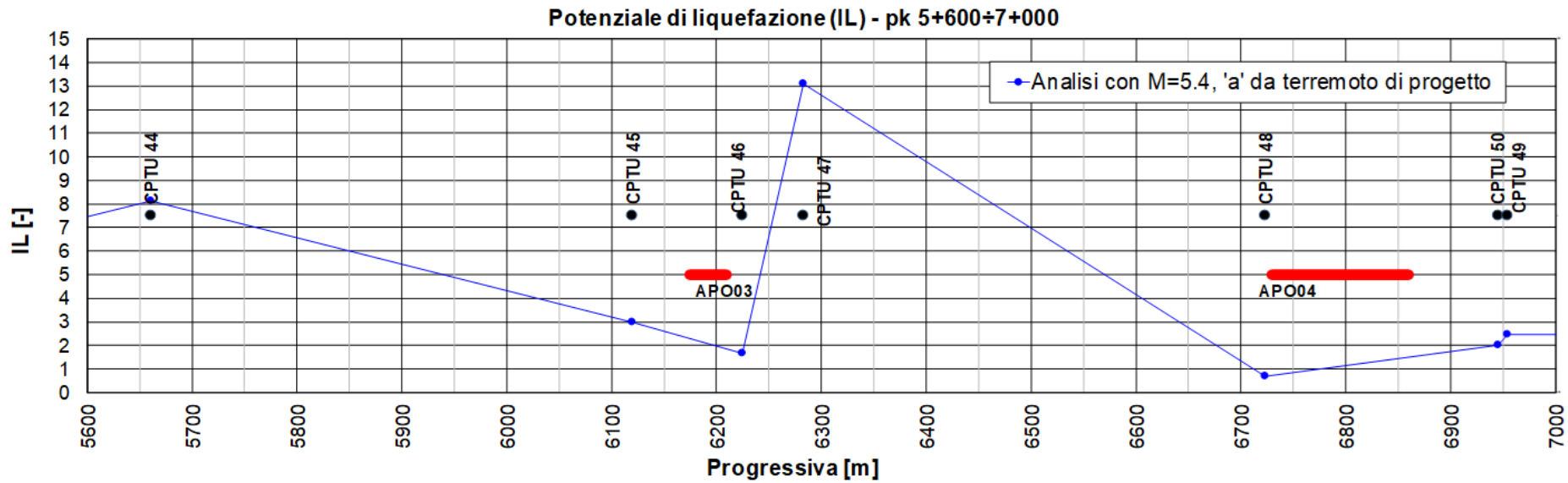
Valutazione del potenziale di liquefazione sull'asse stradale

interpolazione lineare dei valori del potenziale di liquefazione, considerati alla progressiva corrispondente alla proiezione delle relative prove penetrometriche sull'asse autostradale.

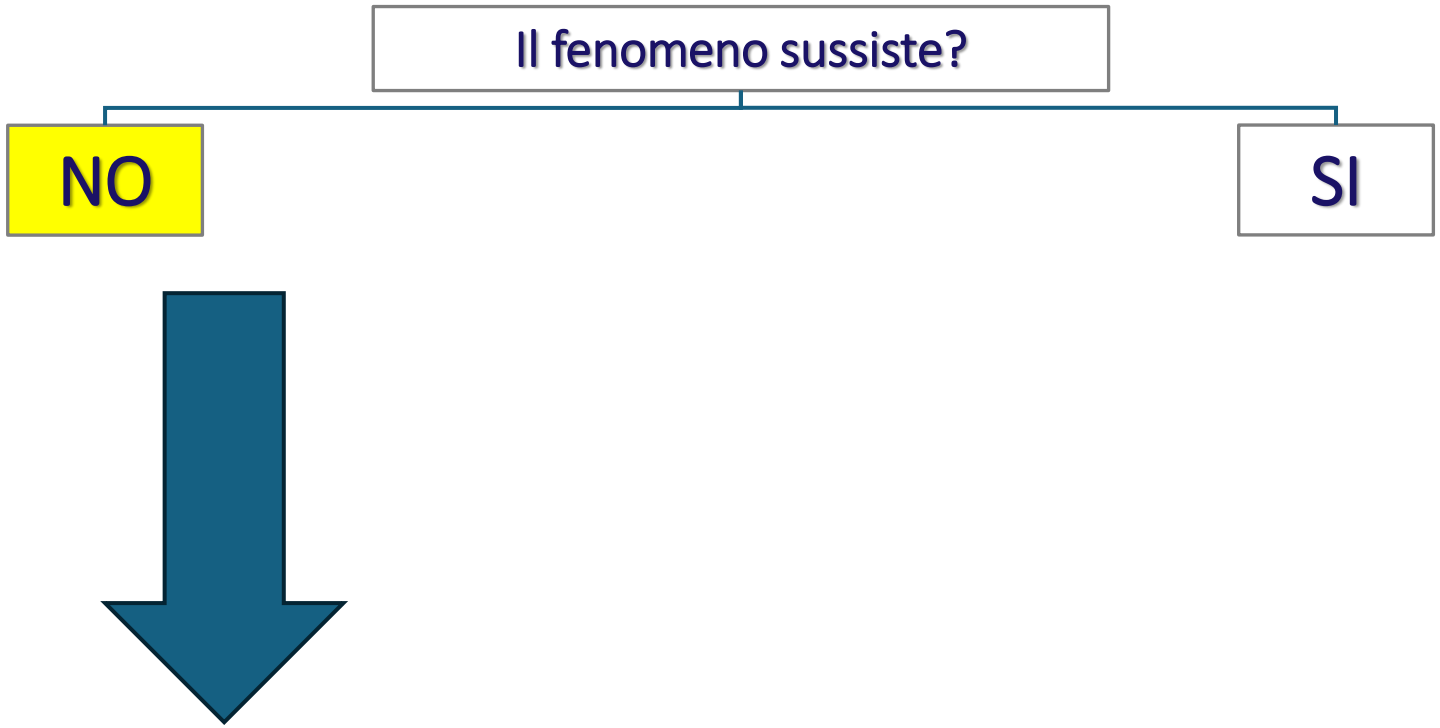
Per tener conto della **variabilità spaziale** delle prove penetrometriche e delle conseguenti stime dei potenziali di liquefazione, si propone di procedere alla valutazione della stima di tale parametro come segue:

- interpolazione dei valori del potenziale di liquefazione (procedura simile a quanto effettuato per la magnitudo) con determinazione delle linee iso-potenziale;
- determinazione del potenziale di liquefazione di progetto, su un determinato tratto di rilevato/opera, come il massimo presente sul sedime autostradale;
- Valutazione di possibili fattori geologici predisponenti (paleoalvei?).


CPTU44
PZ18
PZ19
CPTU45
BH18
CPTU46
SCPT45
BH19
CPTU47
PPC5
PPC6
CPTU48
CH20
BH20
CPTU50
PZ21
PZ20
BH21
CPTU49


Potenziale di liquefazione (IL) - pk 5+600÷7+000
Analisi con M=5.4, 'a' da terremoto di progetto
IL [-]
Progressiva [m]
CPTU 44
CPTU 45
CPTU 46
CPTU 47
CPTU 48
CPTU 50
CPTU 49
APO03
APO04
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
5600
5700
5800
5900
6000
6100
6200
6300
6400
6500
6600
6700
6800
6900
7000

enser

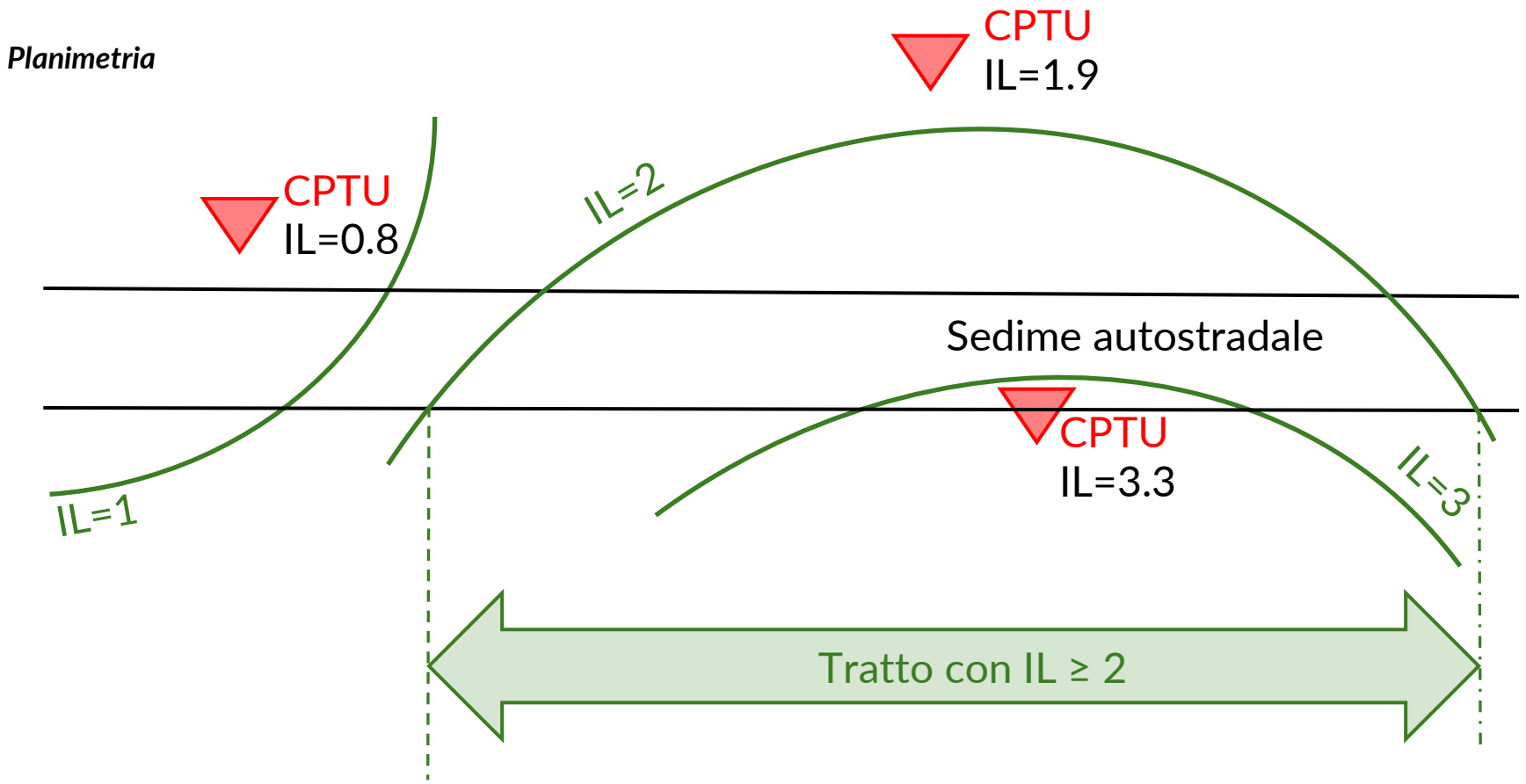


IL ≤ 2

Se il potenziale di liquefazione di una certa area **IL ≤ 2 non si procede ad ulteriori valutazioni** in termini di risposta sismica locale (RSL), cedimenti post-sismici e/o interventi di liquefazione.

enser

Criteri di stima del potenziale di liquefazione sull'asse stradale



enser

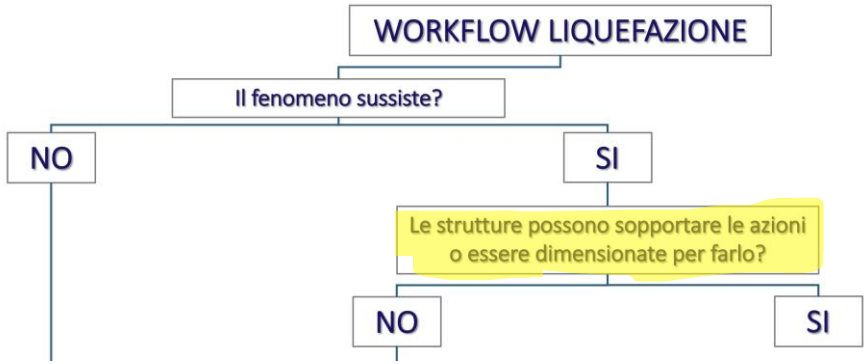
IL > 2 ⇒ Risposta sismica locale

Risposta sismica locale al fine di determinare:

- l'accelerazione in superficie (PGA);
- Il profilo di CSR
- lo spettro di progetto.

L'analisi viene svolta come segue:

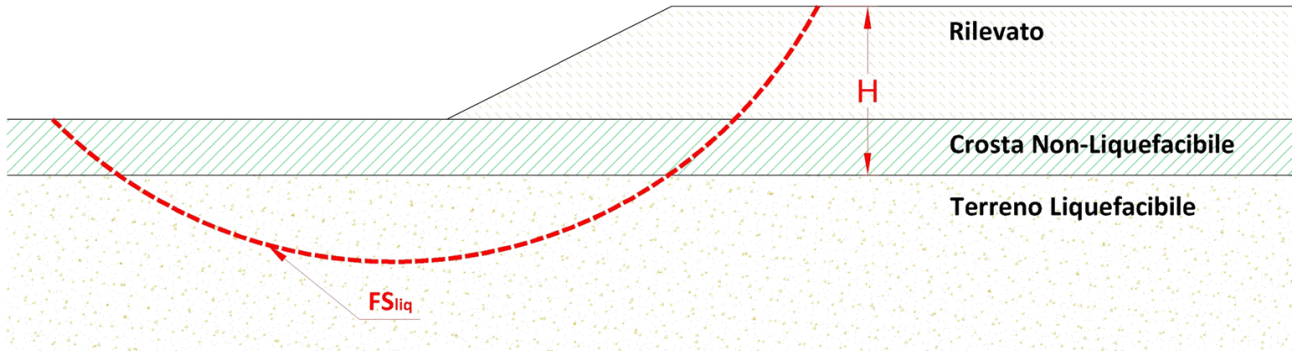
- individuazione di un set di 7 accelerogrammi spettro-compatibili (Rexel di Reluis, PEER Strong Motion Database o equivalenti);
- caratterizzazione sismica dei terreni in accordo ai risultati delle indagini del Progetto Definitivo e delle integrazioni ed alle indicazioni di letteratura;
- risposta sismica locale condotta in condizioni 1D.



IL > 2 ⇒ Analisi degli effetti di liquefazione sulle opere **RILEVATI**

Potenziale di liquefazione	*Modalità di definizione dell'azione sismica*	*Verifiche da effettuare*		*Limiti di accettabilità e criteri di definizione della necessità di un intervento di mitigazione della liquefazione*	
IL>2	RSL	Verifica degli spostamenti	δv [2]	≤ H/20	ok
				> H/20	Mitigazione
			δo [1]	≤ H/20	ok
				> H/20	Mitigazione
		Verifica delle resistenze	FS_{liq}	≤ 1.05	Mitigazione
				1.05<FS_{liq}≤ 1.10	ok se compatibili gli spostamenti
				> 1.10	ok

RSL = Risposta sismica locale
[1] Deformazione laterale "lateral spreading" in accordo alle linee guida Caltrans 2012
[2] Valutati secondo i medesimi criteri del Progetto Definitivo
FS_{liq} = Fattore di sicurezza alla stabilità con resistenza ciclica residua degli strati liquefacibili, in assenza di forze inerziali. La resistenza residua è valutata in accordo alle linee guida Caltrans 2012.
H = altezza di rilevato + spessore terreno non liquefacibile:



enser

IL > 2 ⇒ Analisi degli effetti di liquefazione sulle opere

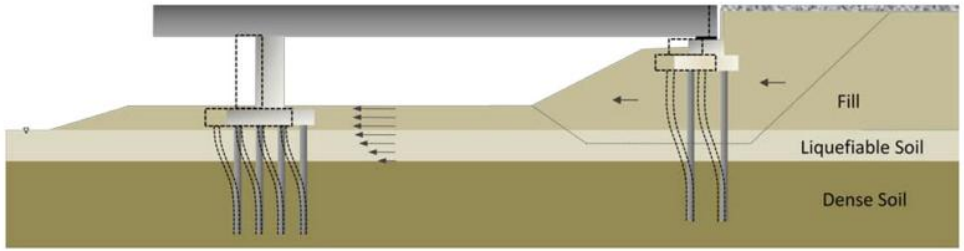
VIADOTTI E PONTI CON FONDAZIONI PROFONDE

Potenziale di liquefazione	***Modalità di definizione dell'azione sismica***	***Verifiche da effettuare***	***Limiti di accettabilità e criteri di definizione della necessità di un intervento di mitigazione della liquefazione***	
IL>2	RSL	Verifica strutturale in configurazione liquefatta sia in termini di sollecitazioni che di spostamenti. La metodologia di calcolo per le azioni orizzontali in accordo alle linee guida Caltrans 2012. Le verifiche comprendono forze inerziali, cinematiche e la valutazione dell'attrito negativo indotto dalla dissipazione delle pressioni interstiziali.	Verifiche strutturali soddisfatte	ok
			Verifiche strutturali non soddisfatte	Mitigazione

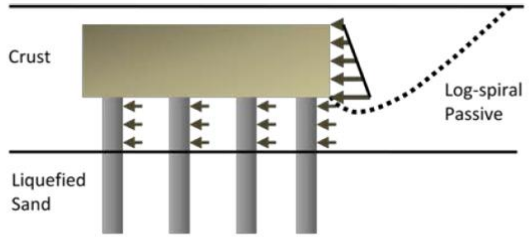
enser

IL > 2 ⇒ Analisi degli effetti di liquefazione sulle opere

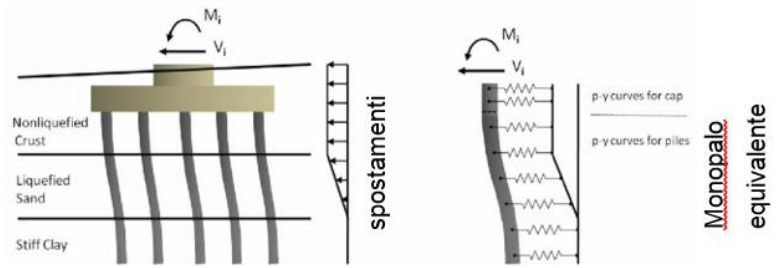
VIADOTTI E PONTI CON FONDAZIONI PROFONDE



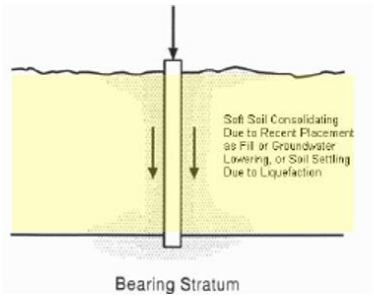
Schema di interazione fra fondazioni e terreno.



Criterio di valutazione della pressione limite per la crosta sovrastante i livelli liquefacibili.



Campo di spostamenti imposto per determinare le sollecitazioni sul palo “equivalente”.



Attrito negativo su pali dovuto alla dissipazione delle pressioni interstiziali dei livelli liquefacibili.

Azioni considerate nello studio di interazione terreno-fondazioni:

$$100\%\ (kinematic) + 50\%\ (inertial) \rightarrow (peak\ pile\ cap\ disp)$$

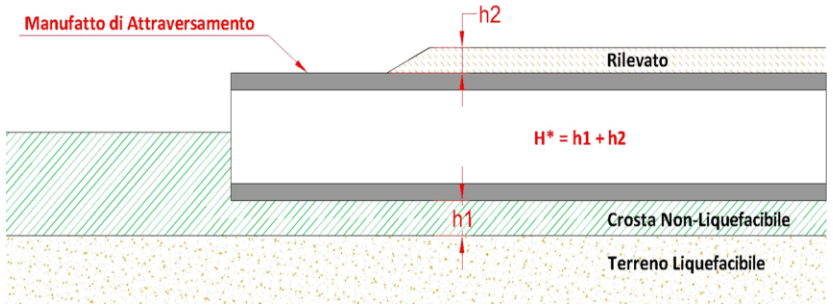
$$100\%\ (kinematic) \pm 50\%\ (inertial) \rightarrow (peak\ pile\ moment\ or\ shear)$$

enser

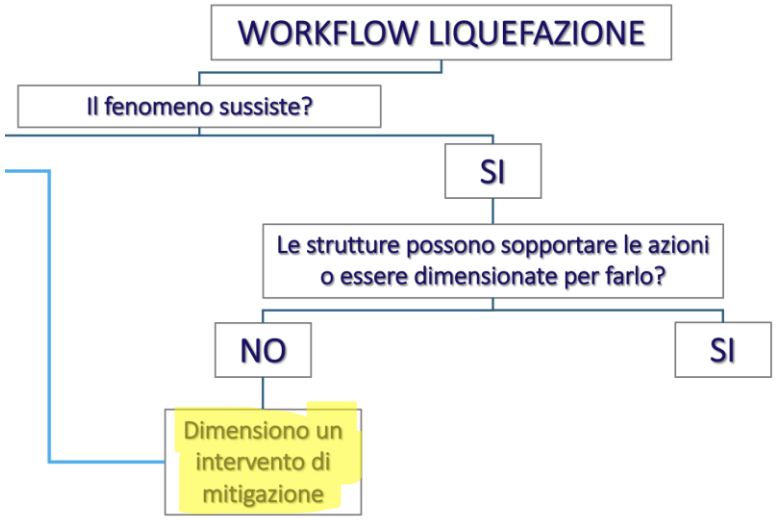
IL > 2 ⇒ Analisi degli effetti di liquefazione **MANUFATTI CON FONDAZ. SUPERF.**

Potenziale di liquefazione	*Modalità di definizione dell'azione sismica*	*Verifiche da effettuare*		*Limiti di accettabilità e criteri di definizione della necessità di un intervento di mitigazione della liquefazione*	
IL>2	RSL	Verifica degli spostamenti	δv [2]	≤ H*/20	ok
				> H*/20	Mitigazione [3]
			δo [1]	≤ H*/20	ok
				> H*/20	Mitigazione [3]
		Verifica delle resistenze	FS_{liq}	≤ 1.05	Mitigazione [3]
				1.05<FS_{liq}≤ 1.10	ok se compatibili gli spostamenti
				> 1.10	ok

RSL = Risposta sismica locale
[1] Deformazione laterale "lateral spreading" in accordo alle linee guida Caltrans 2012
[2] Valutati secondo i medesimi criteri del Progetto Definitivo
[3] L'intervento di mitigazione sotto il manufatto potrà prevedere opportune zone di transizione laterali
FS_{liq} = Fattore di sicurezza alla stabilità con resistenza ciclica residua degli strati liquefacibili, in assenza di forze inerziali. La resistenza residua è valutata in accordo alle linee guida Caltrans 2012.
H* = altezza di rilevato + spessore terreno non liquefacibile depurato dell'altezza del manufatto:



enser



IL > 2 ⇒ Criteri di definizione interventi di consolidamento

Potenziale di liquefazione	*Modalità di definizione dell'azione sismica*	*Discriminante fra previsione o meno di interventi di mitigazione della liquefazione*		*Criterio di dimensionamento dell'intervento di mitigazione*	
IL>2	**RSL**	Sono **soddisfatte le verifiche in termini di spostamenti e resistenze** di cui alla Tabella 5-1, Tabella 5-2, Tabella 5-3, Tabella 5-4.	**Nessun intervento**	/	/
		Non sono soddisfatte le verifiche in termini di spostamenti e resistenze di cui di cui alla Tabella 5-1, Tabella 5-2, Tabella 5-3, Tabella 5-4.	**Progettazione interventi di mitigazione** adottando uno dei seguenti criteri	1. Criterio	IL<=2 nessuna verifica ulteriore in termini di spostamenti e resistenze
				2. Criterio	IL>2 con soddisfacimento delle verifiche in termini di spostamenti e resistenze indicati in Tabella 5-1, Tabella 5-2, Tabella 5-3, Tabella 5-4.

enser

IL > 2 ⇒ Criteri di definizione interventi di consolidamento

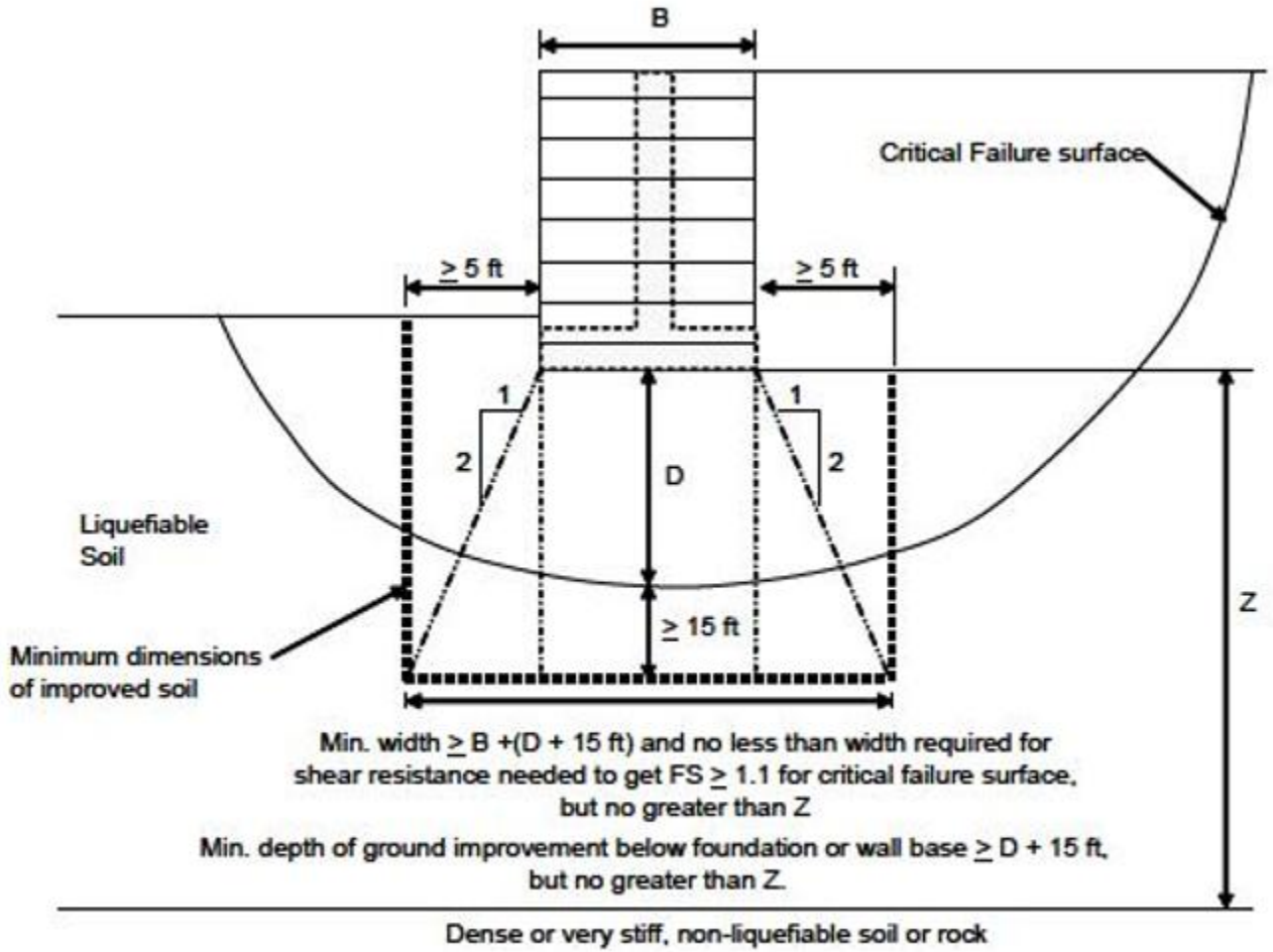


FIGURA 5-1 – CRITERI DI DEFINIZIONE ESTENSIONE INTERVENTO DI MITIGAZIONE.

enser

IL > 2 ⇒ Criteri di definizione interventi di consolidamento

TABELLA 5-6 – TIPOLOGIA INTERVENTI DI MITIGAZIONE.

Drenaggio	Dreni prefabbricati cilindrici infissi	Modalità di dimensionamento in accordo ai criteri IDEA
Densificazione e drenaggio	Colonne in ghiaia vibro-infisse	Modalità di dimensionamento in accordo ai criteri della letteratura tecnica
Miglioramento meccanico	Jet grouting disposto secondo una griglia come rappresentato in Figura 5-2.	Modalità di dimensionamento in accordo ai criteri della letteratura tecnica

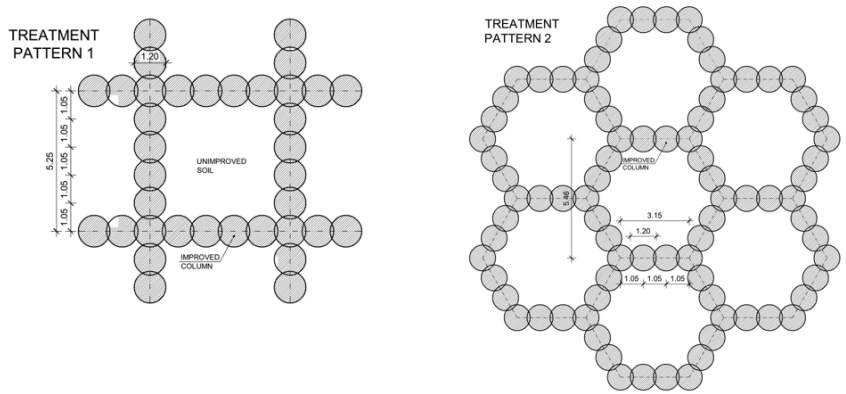
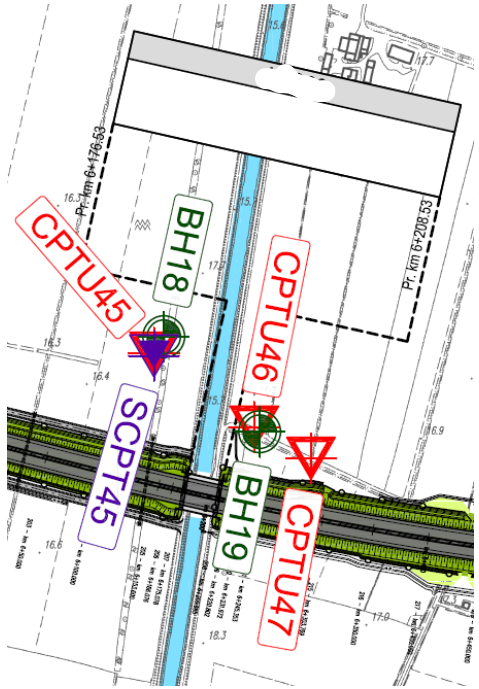
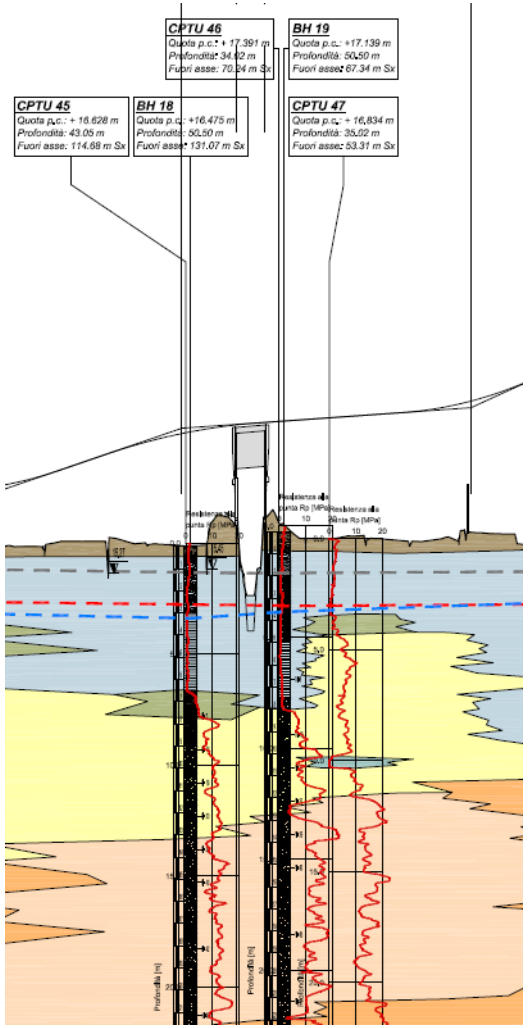


FIGURA 5-2 – GRIGLIA TIPO PER INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO MECCANICO.

Esempio di applicazione su Rilevato - CPTU 47 - pk 6+281





LEGENDA

Rilevati antropici.

Unità R. Terreno vegetale e/o suoli agrari, sovraconsolidati per essiccamento. Localmente terreni di riporto.

Unità 1. Argille, argille limose e debolmente limose o sabbiose, limi, limi argillosi e debolmente argillosi o sabbiosi, di colore nocciola, marrone, grigio e nerastro. Localmente sono presenti striature rossastre e ocra, venature nerastre per presenza di frustoli carboniosi e resti torbosi, e concrezioni calcaree millimetriche (calcinelli). L'unità si presenta da moderatamente consistente a consistente, i primi metri dal piano campagna appaiono talvolta sovraconsolidati per essiccamento. Resistenza alla punta media 1÷3 MPa.

Unità 2. Limi sabbiosi e sabbie limose, talora debolmente argillose di colore nocciola, marrone e grigio. Resistenza alla punta media 3÷8 MPa.

Unità 3. Sabbia fine, talora debolmente limosa di colore nocciola, marrone e grigio, da poco a mediamente addensate. Intercalate all'unità 3 si rinvengono talora livelli di spessore centimetrico e decimetrico ascrivibili ad altre unità geotecniche. Resistenza alla punta media 8÷10 MPa, Dr ≤ 50%.

Unità 4. Sabbia media, talora debolmente limosa di colore nocciola, marrone e grigio. Localmente sono presenti livelli di sabbie più grossolane. Si presenta da mediamente addensata ad addensata. Intercalate all'unità 4 si rinvengono talora livelli di spessore centimetrico e decimetrico ascrivibili ad altre unità geotecniche. Resistenza alla punta media 10÷15 MPa, Dr = 50%÷70%.

Unità 5. Sabbia media, talora debolmente limosa, di colore nocciola, marrone e grigio. Localmente sono presenti livelli di sabbie più grossolane talora ghiaiose. Le sabbie presentano generalmente un buon grado di addensamento. Intercalate all'unità 5 si rinvengono talora livelli di spessore centimetrico e decimetrico ascrivibili ad altre unità geotecniche. Resistenza alla punta media >15 MPa, Dr ≥ 70%.

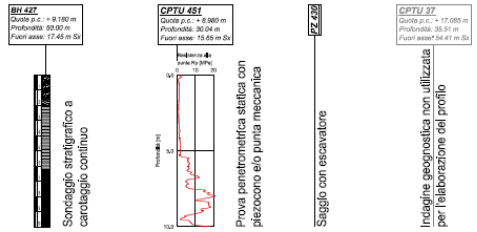
LIVELLI DI FALDA

Livelli piezometrici misurati a Gennaio 2012 nella strumentazione installata lungo l'asse nella campagna indagini propedeutica alla progettazione definitiva.

Livelli piezometrici definiti in fase di progetto Preliminare.

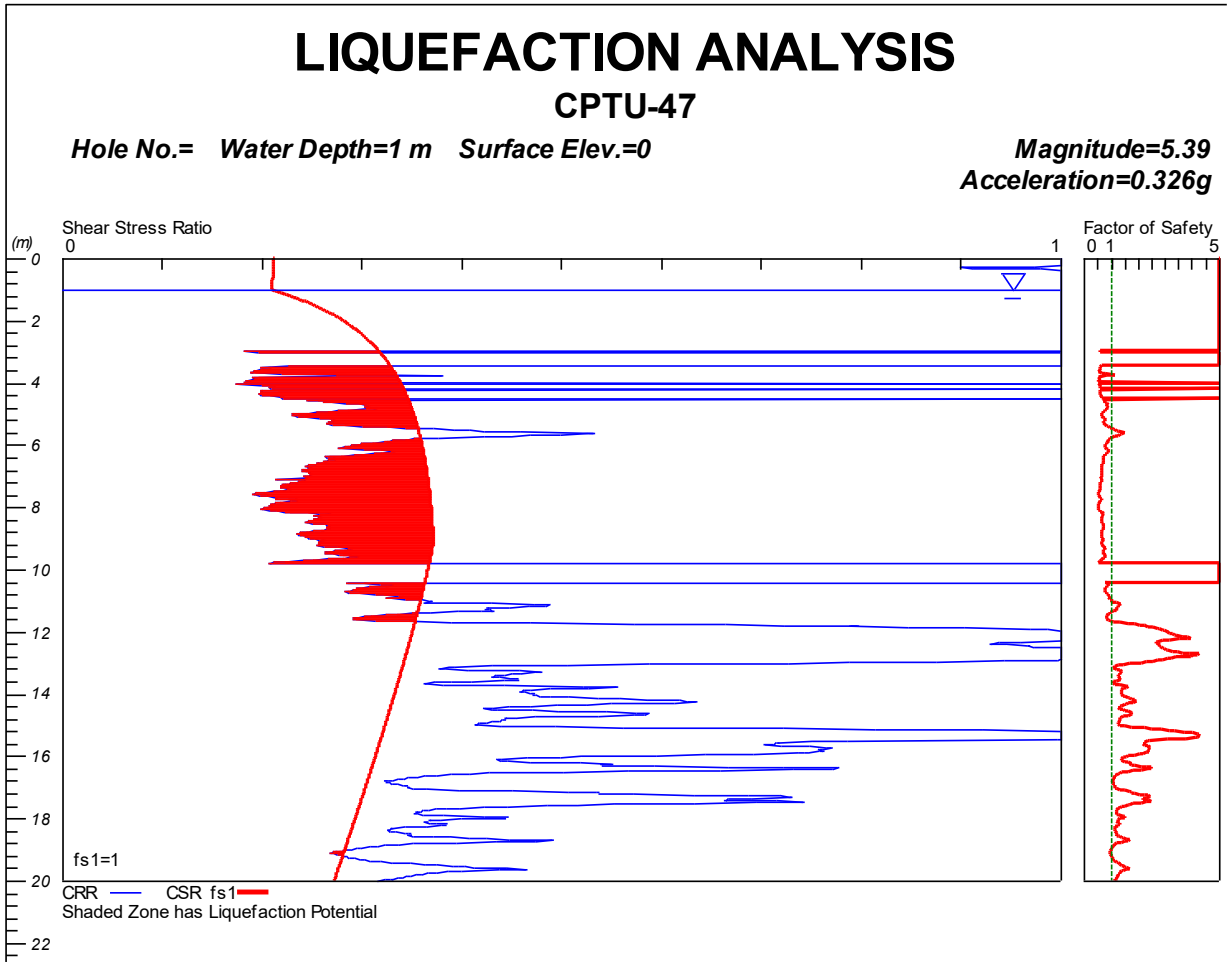
Falda di progetto per le verifiche geotecniche inerenti cedimenti, stabilità globale dei rilevati, liquefazione, capacità portante di pali/diaframmi fuori alveo. Per le altre verifiche geotecniche si rimanda ai livelli di falda di progetto indicati nelle specifiche relazioni geotecniche.

INDAGINI GEOGNOSTICHE



enser

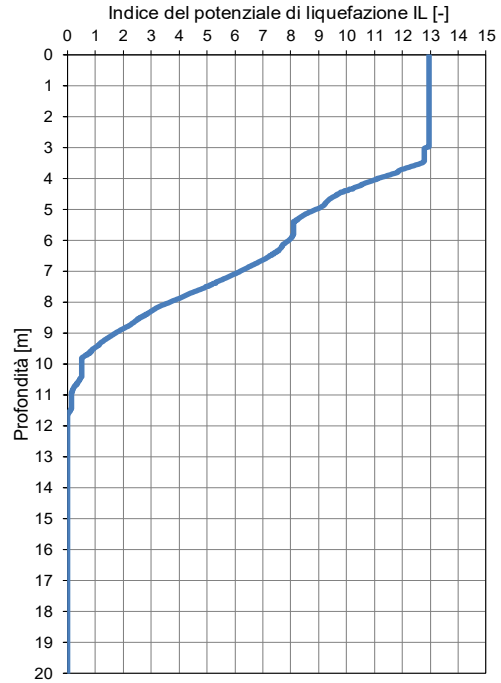
Stima potenziale di liquefazione e cedimenti verticali post-sismici dei terreni granulari saturi



IL = 13.0 > 2.0

⇓

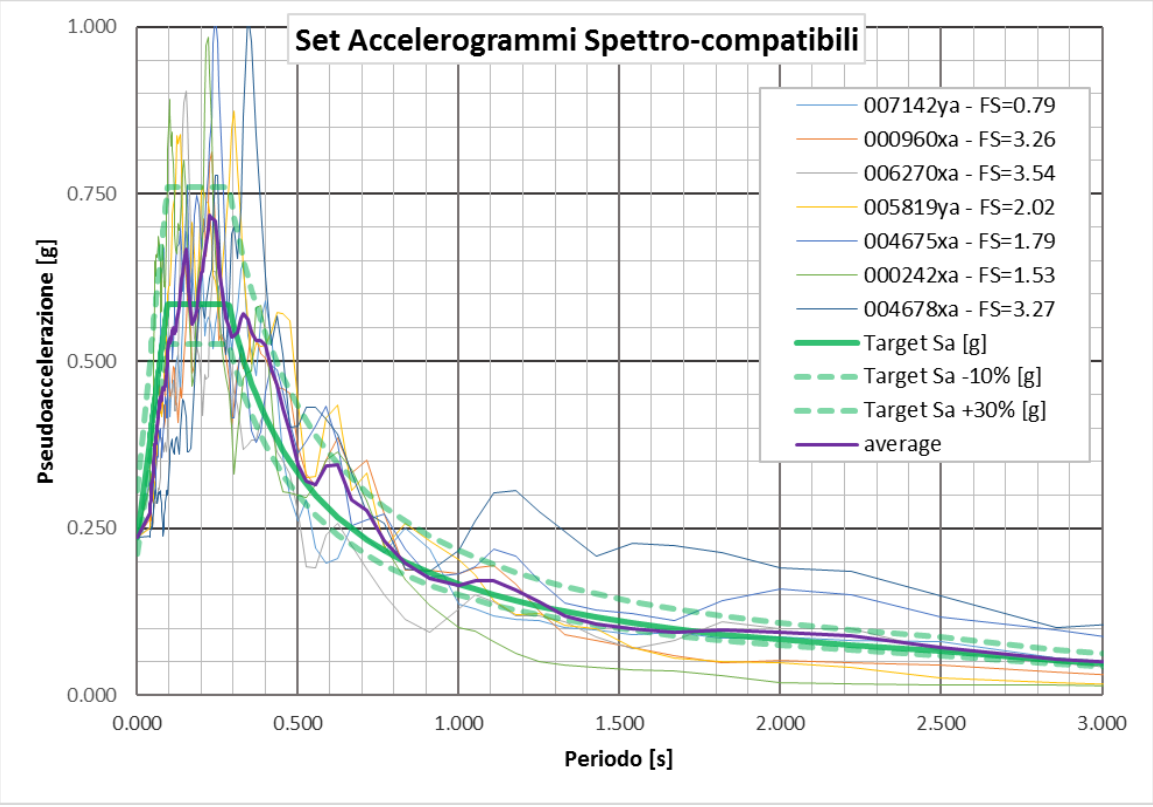
Risposta sismica locale



enser

Risposta sismica locale - Set di accelerogrammi spettro-compatibili

La ricerca è stata effettuata mediante il software Rexel, prestando particolare attenzione alla minimizzazione dei fattori di scala applicati ai singoli segnali oltre che al rispetto dei più comuni parametri di pericolosità sismica di base (Spettro su suolo rigido affiorante [-10% +30% tra 0.1sec e 2sec], Magnitudo e Distanza epicentrale)



enser

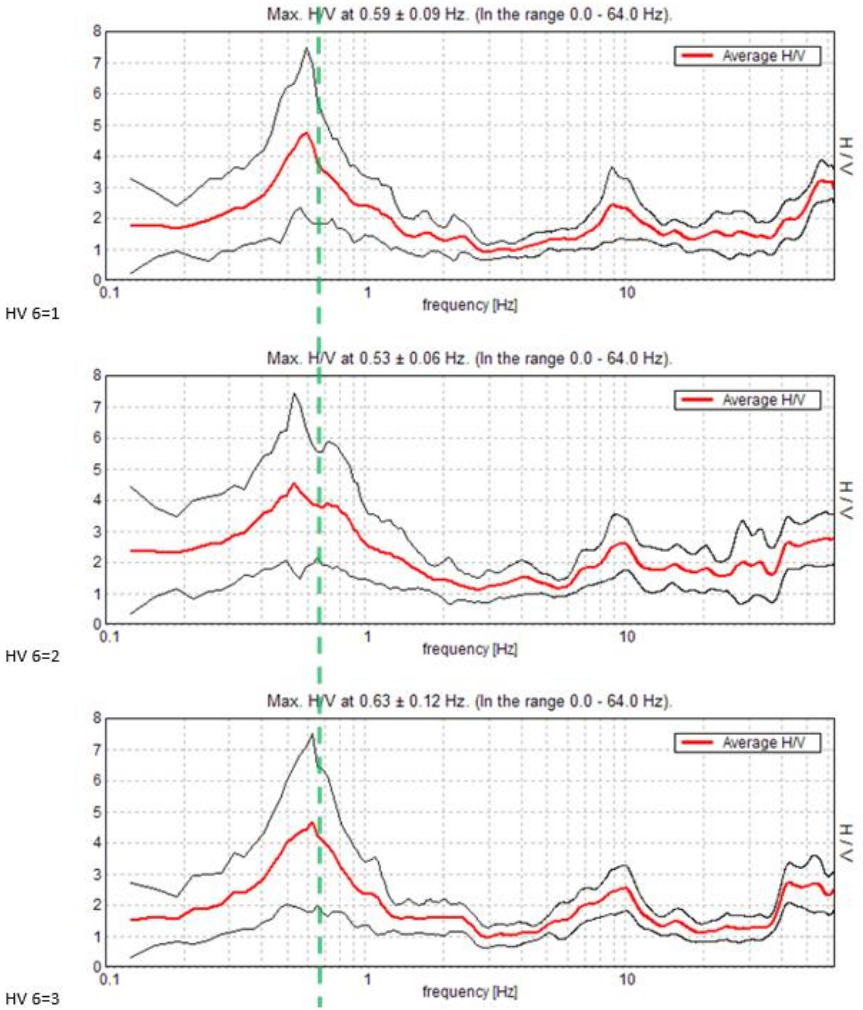
Risposta sismica locale - Individuazione bedrock sismico



Disponendo di numerose misure dirette della velocità delle onde di taglio, i dati a disposizione da misure dirette in sito sono stati confrontati con i trend riportati nella pubblicazione sopracitata; **è stata tarata una Power Law sulla base dei risultati delle indagini di PD/Integrazioni**.

enser

Risposta sismica locale - Individuazione bedrock sismico



Sulla base:

- Power Low tarata;
- frequenza propria di circa 0.63Hz.

⇓

profondità del BedRock = 123m.

Il Bedrock, ai fini della risposta sismica locale, è stato caratterizzato da:

- **Vs = 600 m/s**;
- **smorzamento = 1%**.

enser

Risposta sismica locale - Caratterizzazione dinamica dei terreni

Prove su campioni INDISTURBATI

Prove meccaniche per caratterizzazione dinamica dei terreni

- prova triassiale ciclica per la determinazione dei parametri ciclici (TXC-Property);
- prova di taglio torsionale ciclico (TTC);
- prova di colonna risonante (RC).



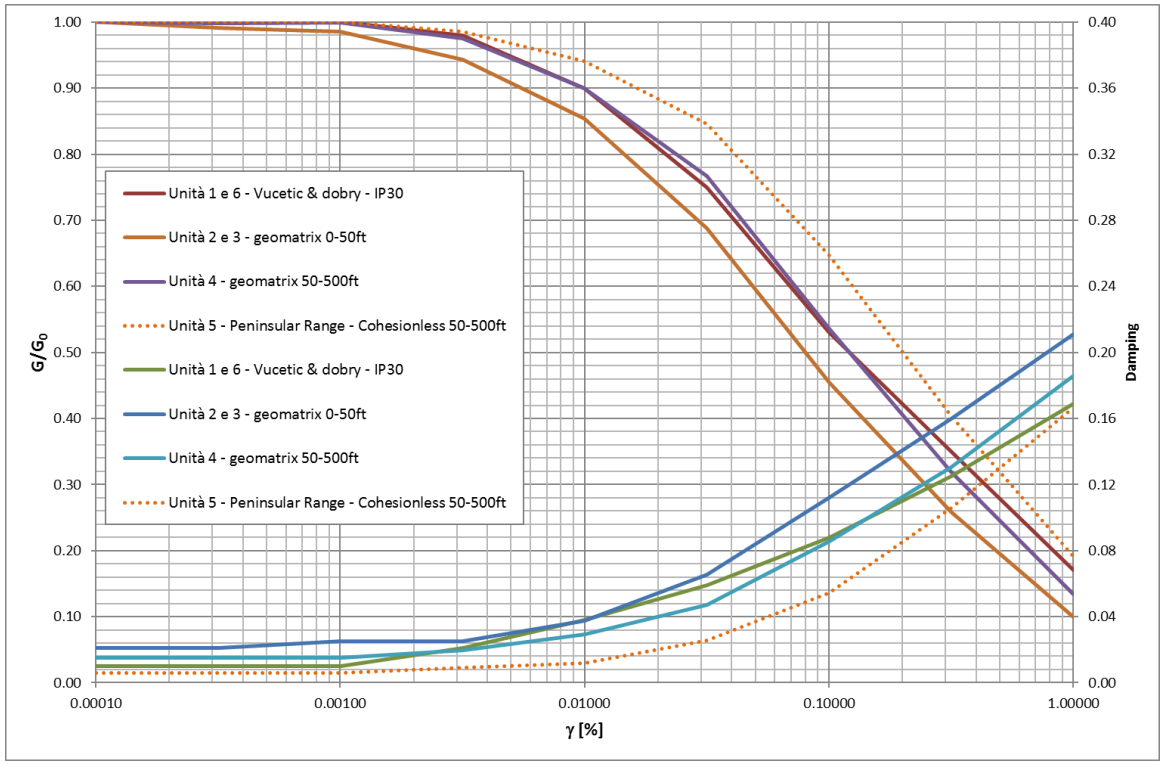
enser

Risposta sismica locale - Caratterizzazione dinamica dei terreni

Unità granulari profonde (Unità 5)

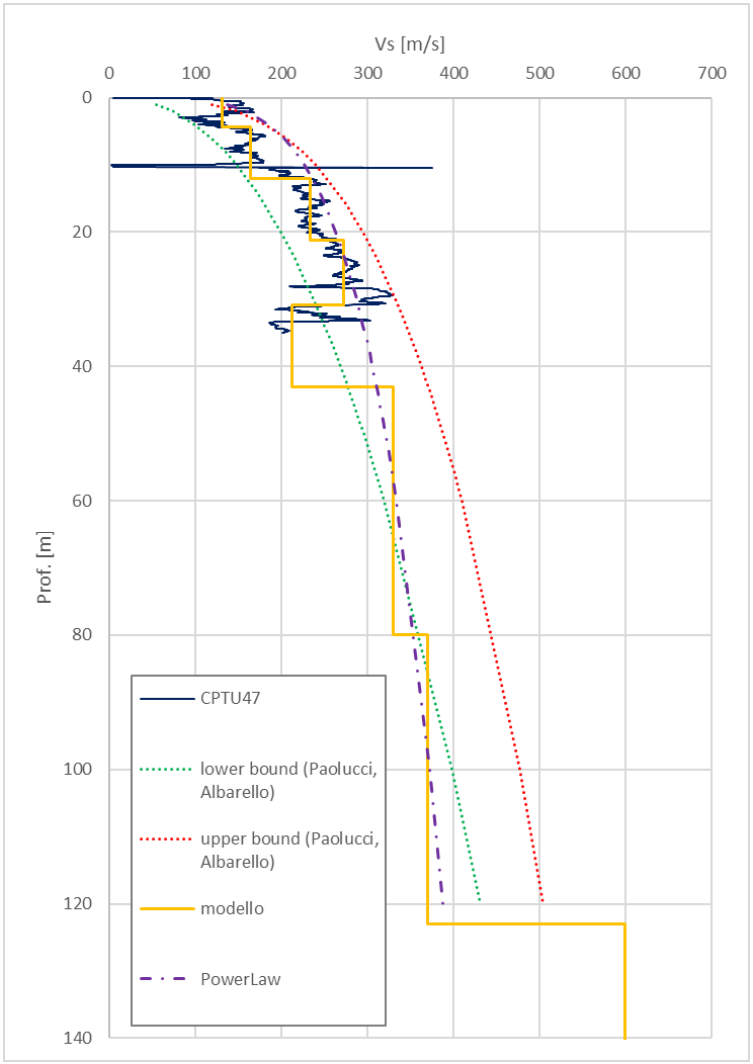
Per l'Unità 5, per la quale non si hanno dati di laboratorio ed è caratterizzata tipicamente dalle densità relative maggiori e dalle resistenze più alte, si è utilizzato il modello costitutivo proposto per i terreni del Peninsular Range, Cohesionless 50-500ft (15-150m) caratterizzato, tra quelli disponibile, da caratteristiche di degrado meno accentuate degli altri.

Riassunto dei modelli costitutivi utilizzati nelle analisi per tutte le unità geotecniche



enser

Risposta sismica locale - Profilo Vs



Prova CPTU

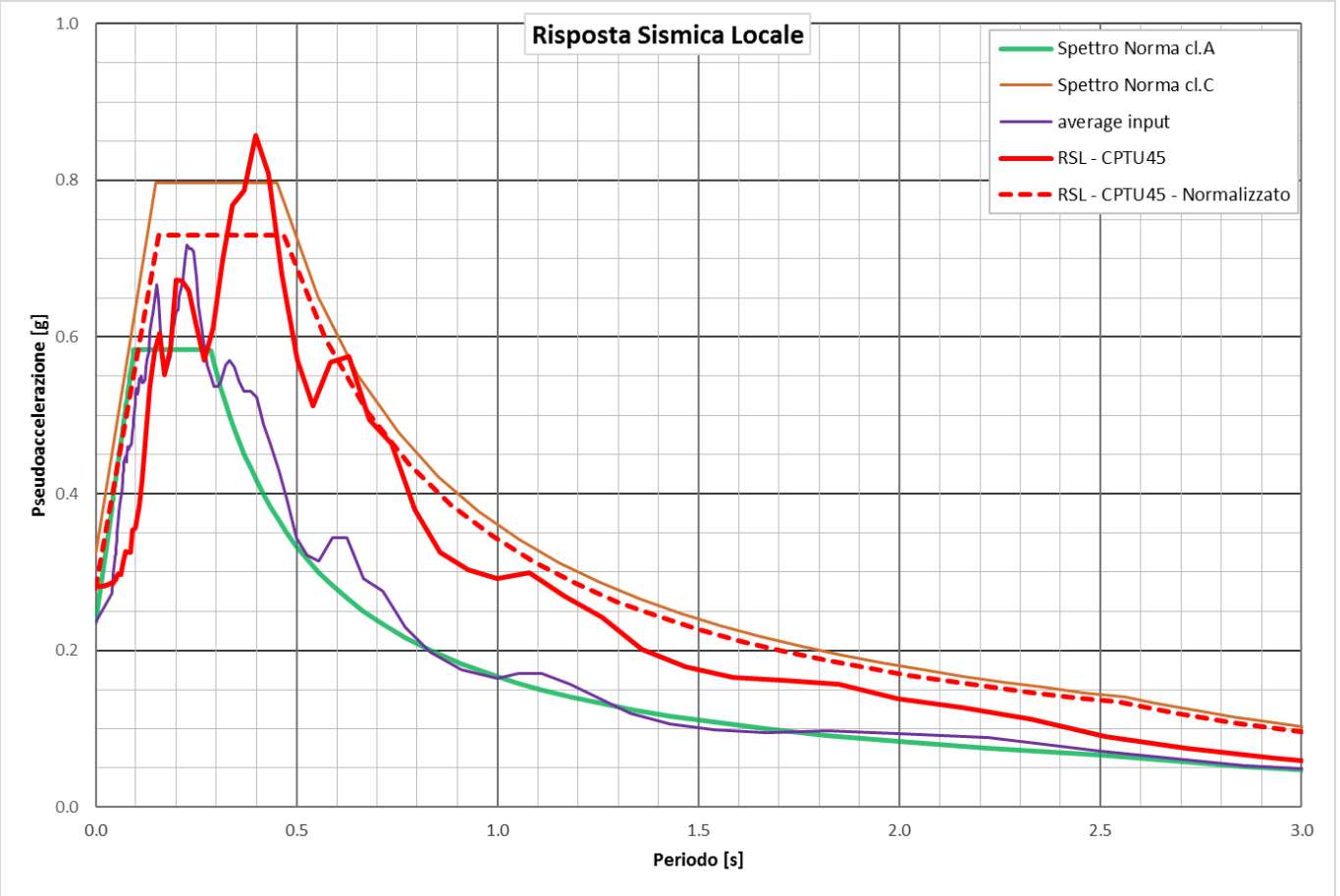
⇓ *correlazione di Robertson et al. (1992)*

DH dove disponibili

Profilo di Vs adottato

enser

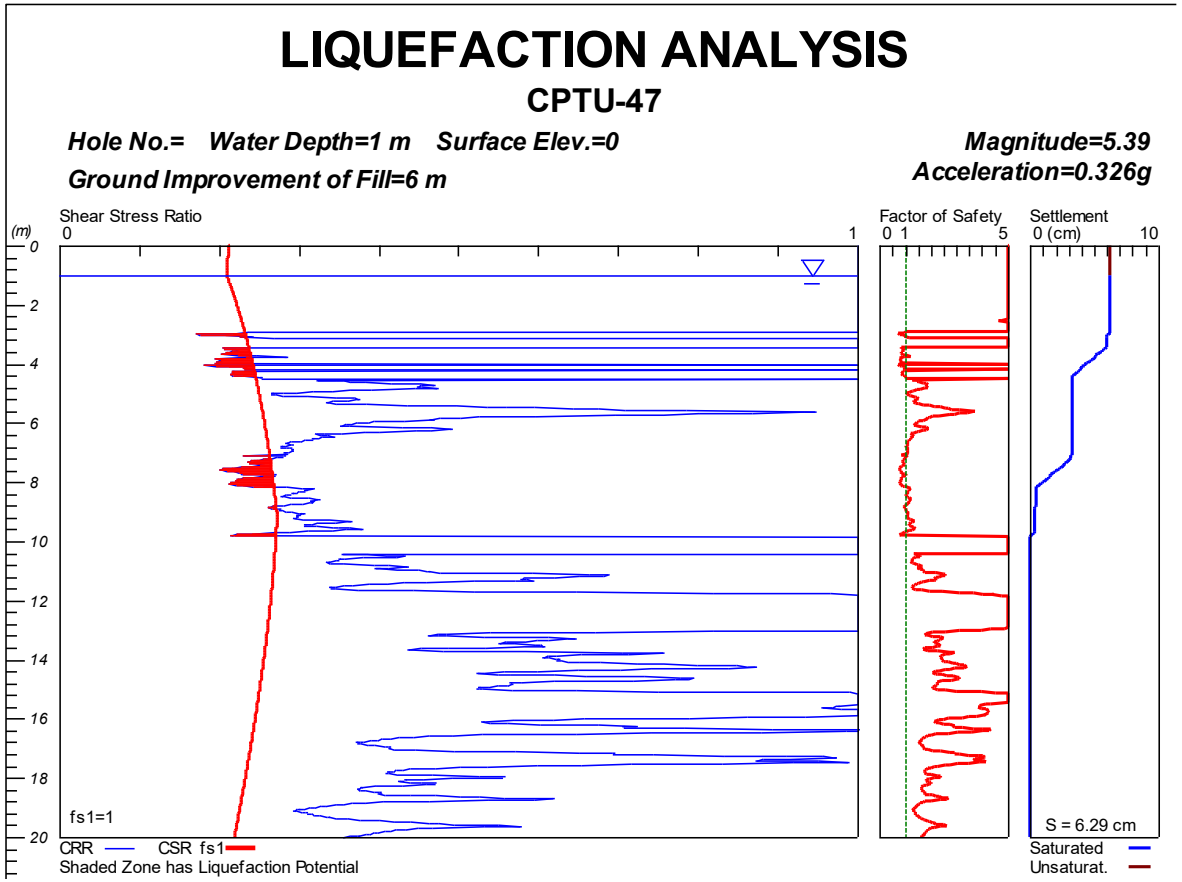
Risposta sismica locale 1D - modellazione Lineare-equivalente (Strata)



I risultati mostrano come l'amplificazione dovuta alla stratigrafia in esame sia **comparabile** con l'approccio dettato dalle NTC 2008 e l'accelerazione per la verifica dei rilevati può essere mantenuta pari a quella adottata nel progetto definitivo.

enser

Stima cedimenti verticali del rilevato



Cedimento verticale

δ_V = 6.3cm

Stima spostamenti orizzontali del rilevato (lateral spreading)

Secondo le linee guida Caltrans 2012, per la stima degli spostamenti dovuti a lateral spreading nel caso dei rilevati si suggerisce l'applicazione della formulazione di Bray & Travasarou (2007) derivante dall'applicazione di procedure basate sulla teoria dello "sliding block" di Newmark.

Estimating Displacements using Bray and Travasarou (2007)

$$D(cm) = Exp[-0.22 - 2.83\,Ln(k_y) - 0.333\,Ln(k_y)^2 + 0.566\,Ln(k_y)\,Ln(PGA) + 3.04\,Ln(PGA) - 0.244\,Ln(PGA)^2 + 0.278\,(M_w - 7)] \quad (16)$$

Dati di input:

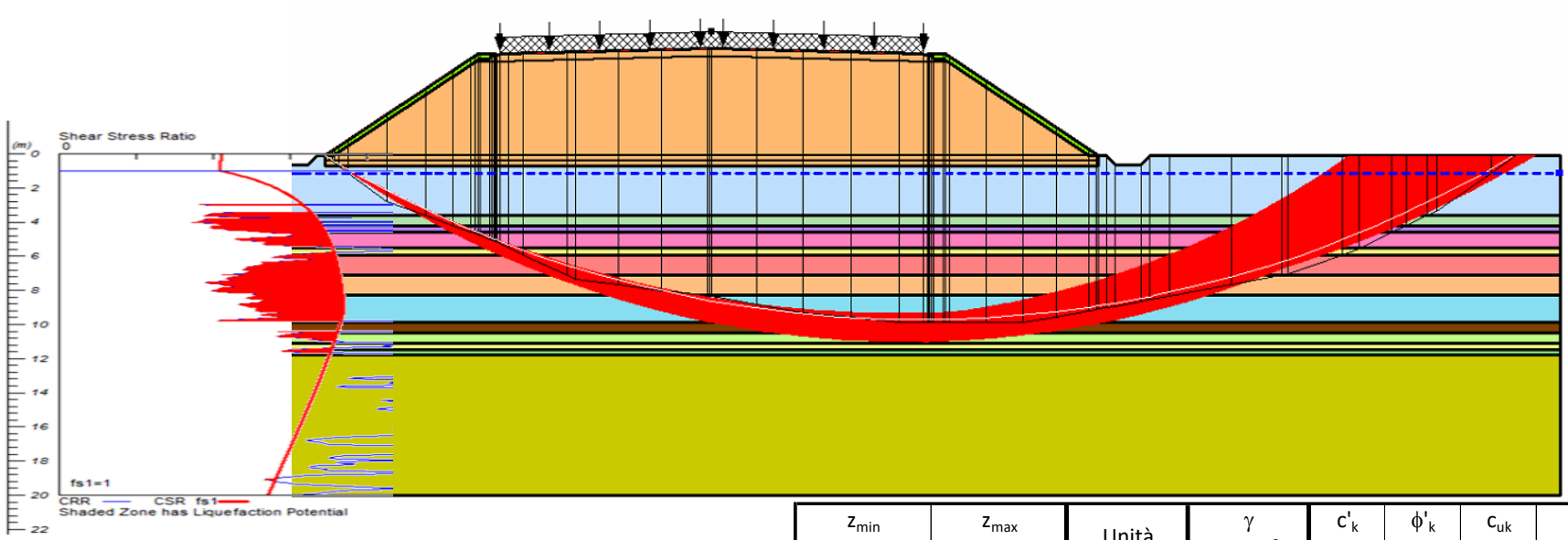
- M_w = 5.39 — Magnitudo
- PGA = 0.326 — Accelerazione per T=0
- k_y = 0.1 — Coefficiente sismico critico che porta il fattore di sicurezza al valore unitario, considerando per gli strati liquefacibili le resistenze del terreno liquefatto, valutate secondo la seguente formulazione:

$$S_r = 2116 \cdot \exp\left(-8.444 + 0.109\,(N_1)_{60} + 5.379\,\left(\frac{\sigma_v'}{2116}\right)^{0.1}\right)$$

Spostamento orizzontale δ_O = 6.2cm

enser

Verifica delle resistenze del rilevato (stabilità globale con terreno liquefatto)

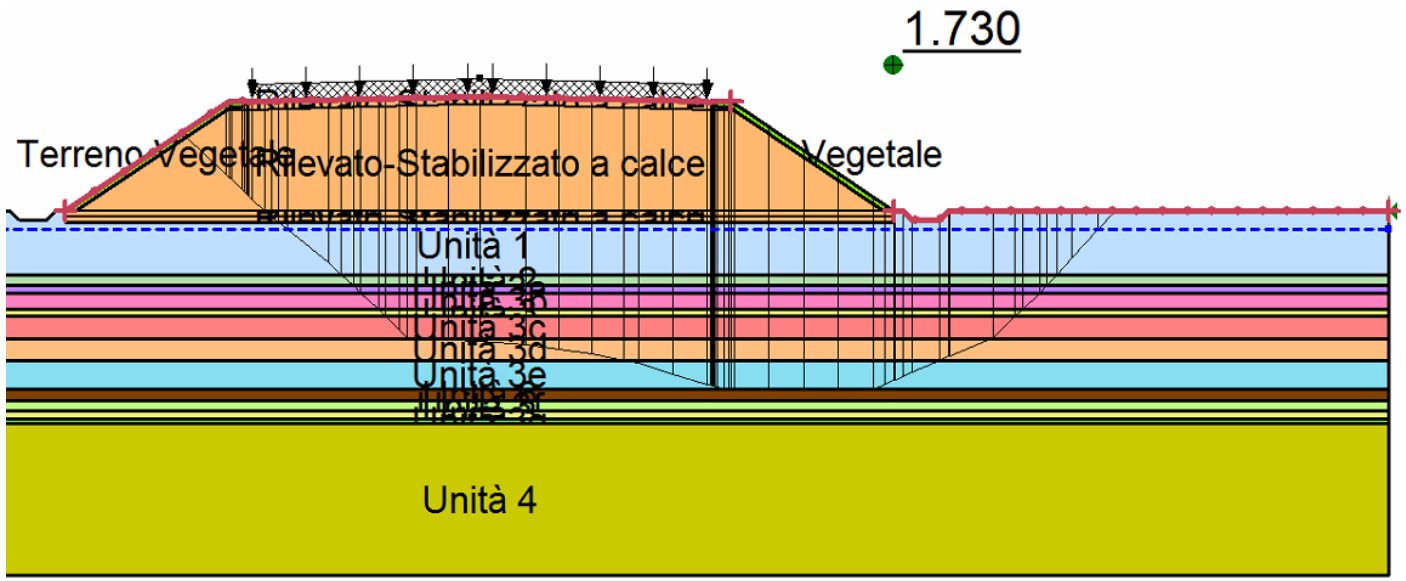


z_{min} [m da p.c.]	z_{max} [m da p.c.]	Unità	γ [kN/m^3]	c'_k [kPa]	ϕ'_k [°]	c_{uk} [kPa]	
Rilevato			19.5	15	28	200	-
Terreno Vegetale			18.5	5	24	-	-

z_{min} [m da p.c.]	z_{max} [m da p.c.]	Unità	γ [kN/m^3]	c'_k [kPa]	ϕ'_k [°]	c_{uk} [kPa]	
0.00	3.50	1	18.8	3.0	25	50.0	
3.50	4.10	2	18.5			7.0	
4.10	4.50	3	18.5			9.5	
4.50	5.40	3	18.5			18.0	
5.40	5.80	3	18.5		31		
5.80	7.00	3	18.5			22.0	
7.00	8.20	3	18.5			14.0	
8.20	9.80	3	18.5			22.0	
9.80	10.40	6	18.0	0.0	22	40.0	
10.40	11.00	3	18.5			30.0	
11.00	11.40	3	18.5		31		
11.40	11.70	3	18.5			32.0	
11.70	20.00	4	19.0		33		

enser

Verifica delle resistenze del rilevato (stabilità globale con terreno liquefatto)



FS= 1.73

z_{min} [m da p.c.]	z_{max} [m da p.c.]	Unità	γ [kN/m^3]	c'_k [kPa]	ϕ'_k [°]	c_{uk} [kPa]	
0.00	3.50	1	18.8	3.0	25	50.0	
3.50	4.10	2	18.5			7.0	
4.10	4.50	3	18.5			9.5	
4.50	5.40	3	18.5			18.0	
5.40	5.80	3	18.5		31		
5.80	7.00	3	18.5			22.0	
7.00	8.20	3	18.5			14.0	
8.20	9.80	3	18.5			22.0	
9.80	10.40	6	18.0	0.0	22	40.0	
10.40	11.00	3	18.5			30.0	
11.00	11.40	3	18.5		31		
11.40	11.70	3	18.5			32.0	
11.70	20.00	4	19.0		33		

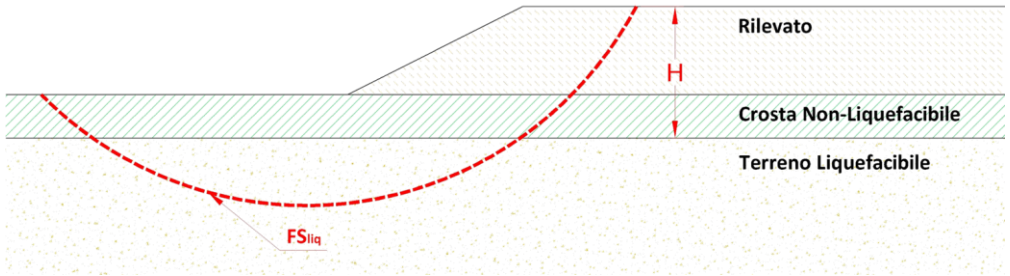
z_{min} [m da p.c.]	z_{max} [m da p.c.]	Unità	γ [kN/m^3]	c'_k [kPa]	ϕ'_k [°]	c_{uk} [kPa]	
Rilevato			19.5	15	28	200	-
Terreno Vegetale			18.5	5	24	-	-

enser

IL > 2 ⇒ Analisi degli effetti di liquefazione sulle opere **RILEVATI**

Potenziale di liquefazione	*Modalità di definizione dell'azione sismica*	*Verifiche da effettuare*		*Limiti di accettabilità e criteri di definizione della necessità di un intervento di mitigazione della liquefazione*	
IL>2	RSL	Verifica degli spostamenti	δ_V [2]	≤ H/20	ok
				> H/20	Mitigazione
			δ_O [1]	≤ H/20	ok
				> H/20	Mitigazione
		Verifica delle resistenze	FS_{liq}	≤ 1.05	Mitigazione
				1.05<FS_{liq}≤ 1.10	ok se compatibili gli spostamenti
				> 1.10	ok

RSL = Risposta sismica locale
[1] Deformazione laterale "lateral spreading" in accordo alle linee guida Caltrans 2012
[2] Valutati secondo i medesimi criteri del Progetto Definitivo
FS_{liq} = Fattore di sicurezza alla stabilità con resistenza ciclica residua degli strati liquefacibili, in assenza di forze inerziali. La resistenza residua è valutata in accordo alle linee guida Caltrans 2012.
H = altezza di rilevato + spessore terreno non liquefacibile:



Spostamenti:

$H = H_{ril} + H_{crosta\ non\ liq}$

$H = 6.0 + 3.5 = 9.5\ m$

⇓

$H/20 = 47.5\ cm$

Essendo:

$\delta_V = 6.3cm < H/20$

$\delta_O = 6.2cm < H/20$

Verificati

Resistenza:

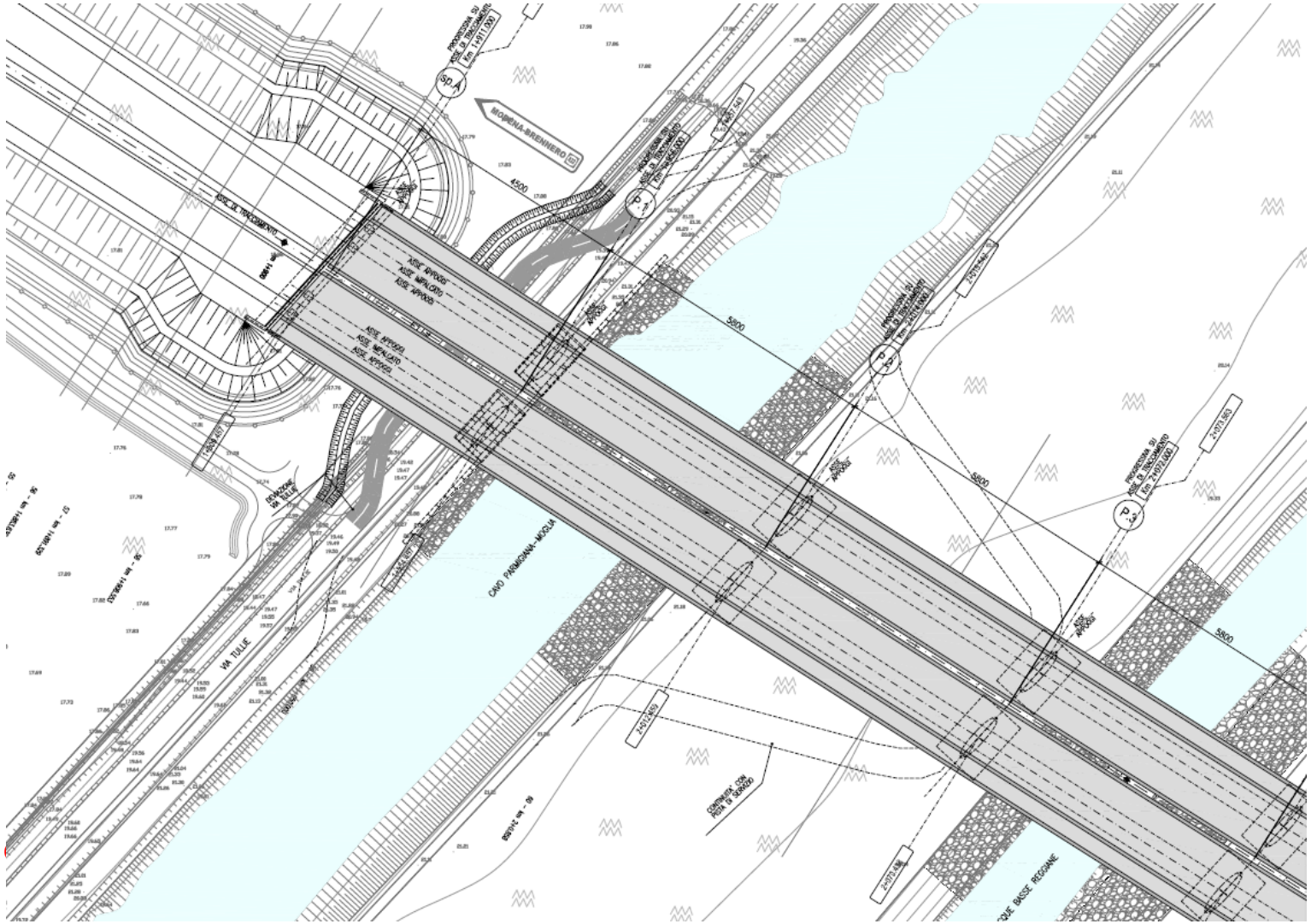
$FS = 1.73$

Verificata

NON risultano necessari interventi di mitigazione nei confronti dei fenomeni di liquefazione

enser

Verifica Pila P.2 secondo prescrizioni Caltrans (2012)



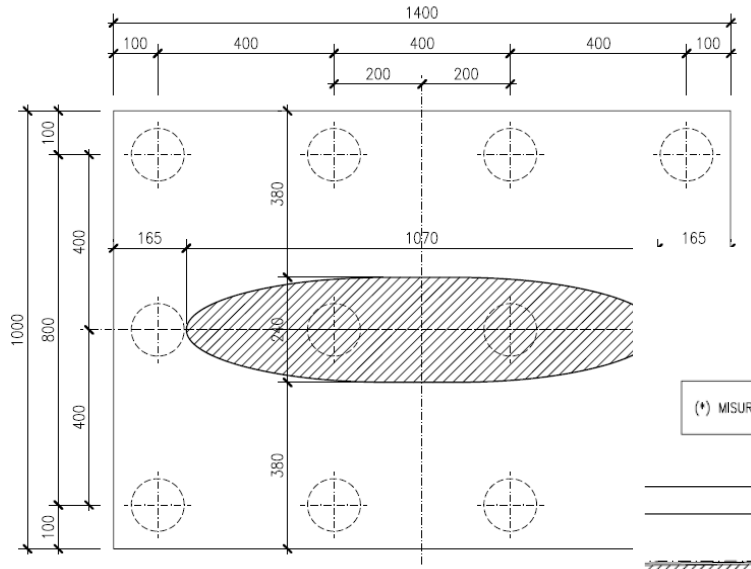
enser

Verifica Pila P.2 secondo prescrizioni Caltrans (2012)

PIANTA PLINTO DI FONDAZIONE P.2÷P.4

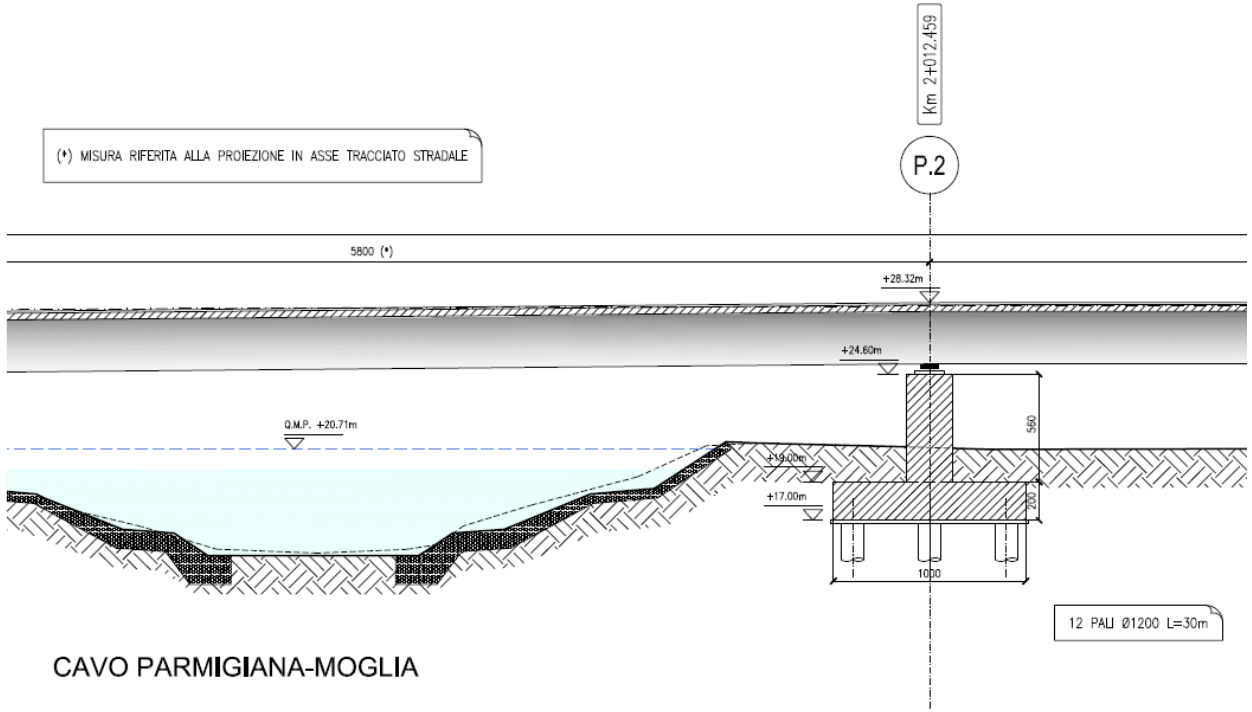
CARPENTERIA

SCALA 1:100



12 PALI Ø1200mm L=30m

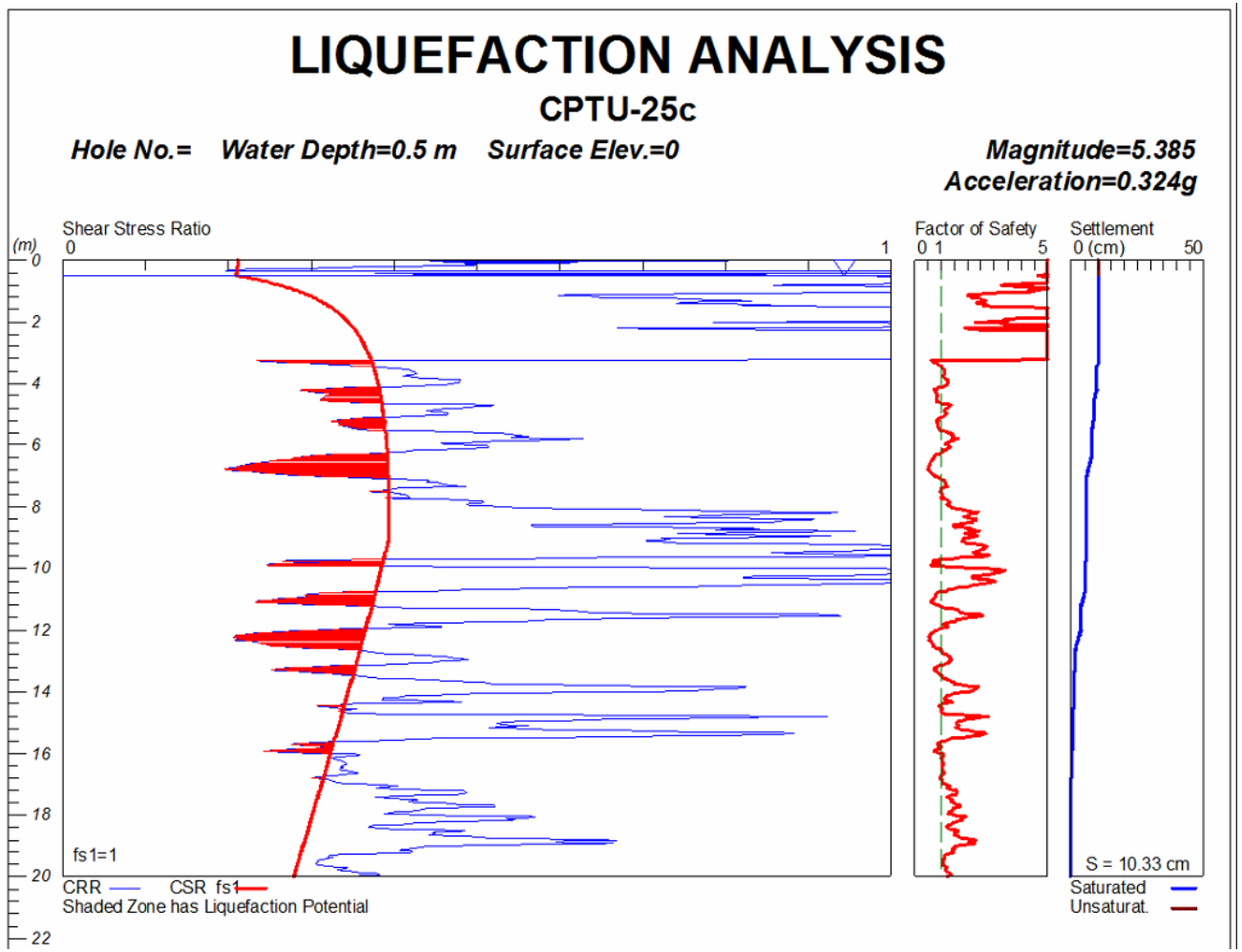
PERFORA
PILA P2:
PILA P3:
PILA P4:



CAVO PARMIGIANA-MOGLIA

enser

Stima potenziale di liquefazione e cedimenti verticali post-sismici dei terreni granulari saturi



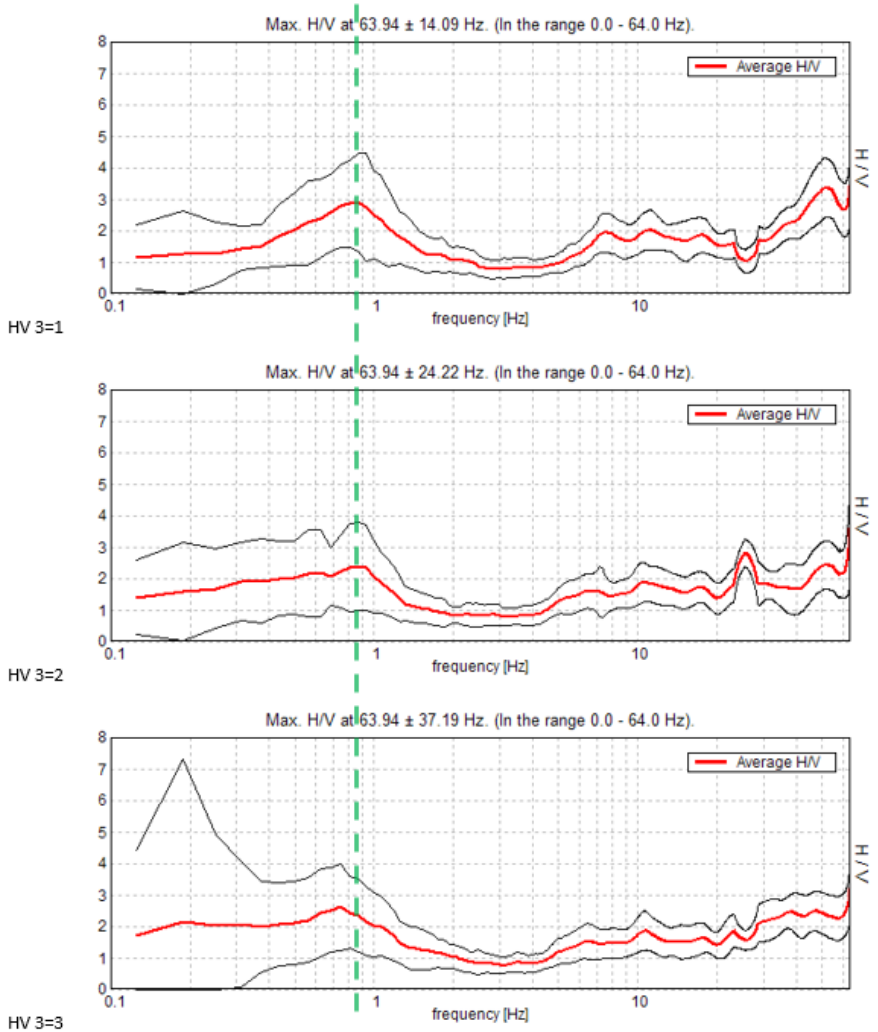
IL = 5.2 > 2.0

⇓

Risposta sismica locale

enser

Risposta sismica locale - Individuazione bedrock sismico



Sulla base:

- Power Low tarata;
- frequenza propria di circa 0.85Hz.

⇓

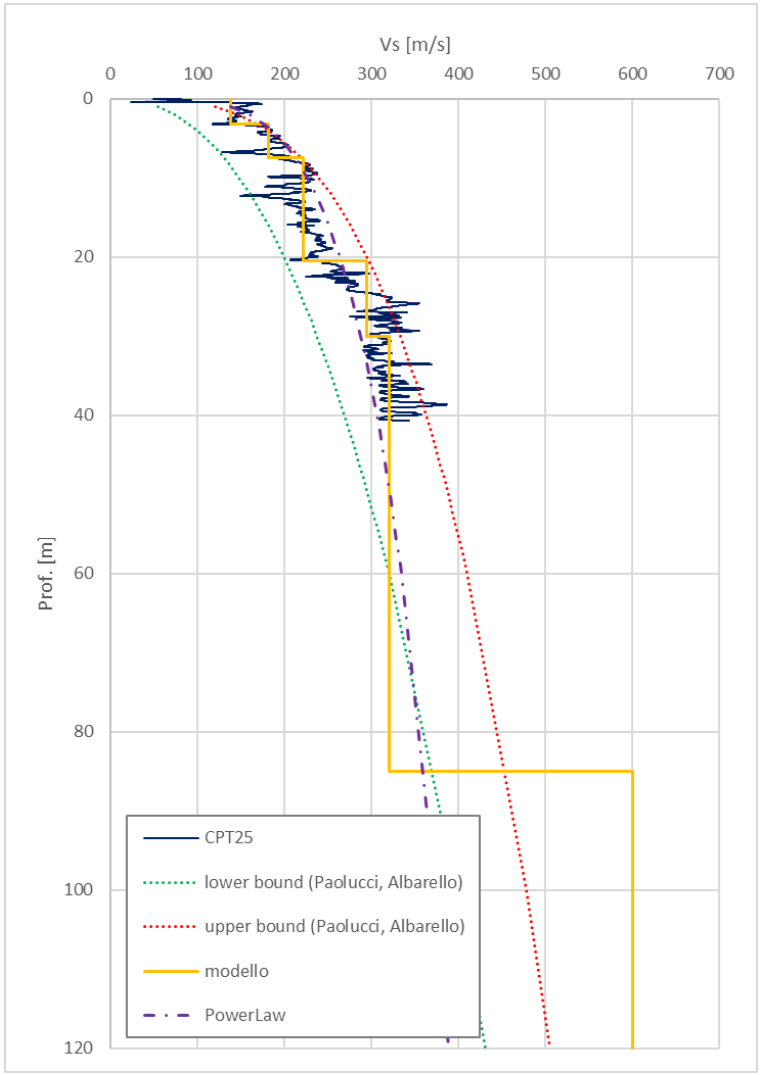
profondità del BedRock = 85m.

Il Bedrock, ai fini della risposta sismica locale, è stato caratterizzato da:

- **Vs = 600 m/s**;
- **smorzamento = 1%**.

enser

Risposta sismica locale - Profilo Vs



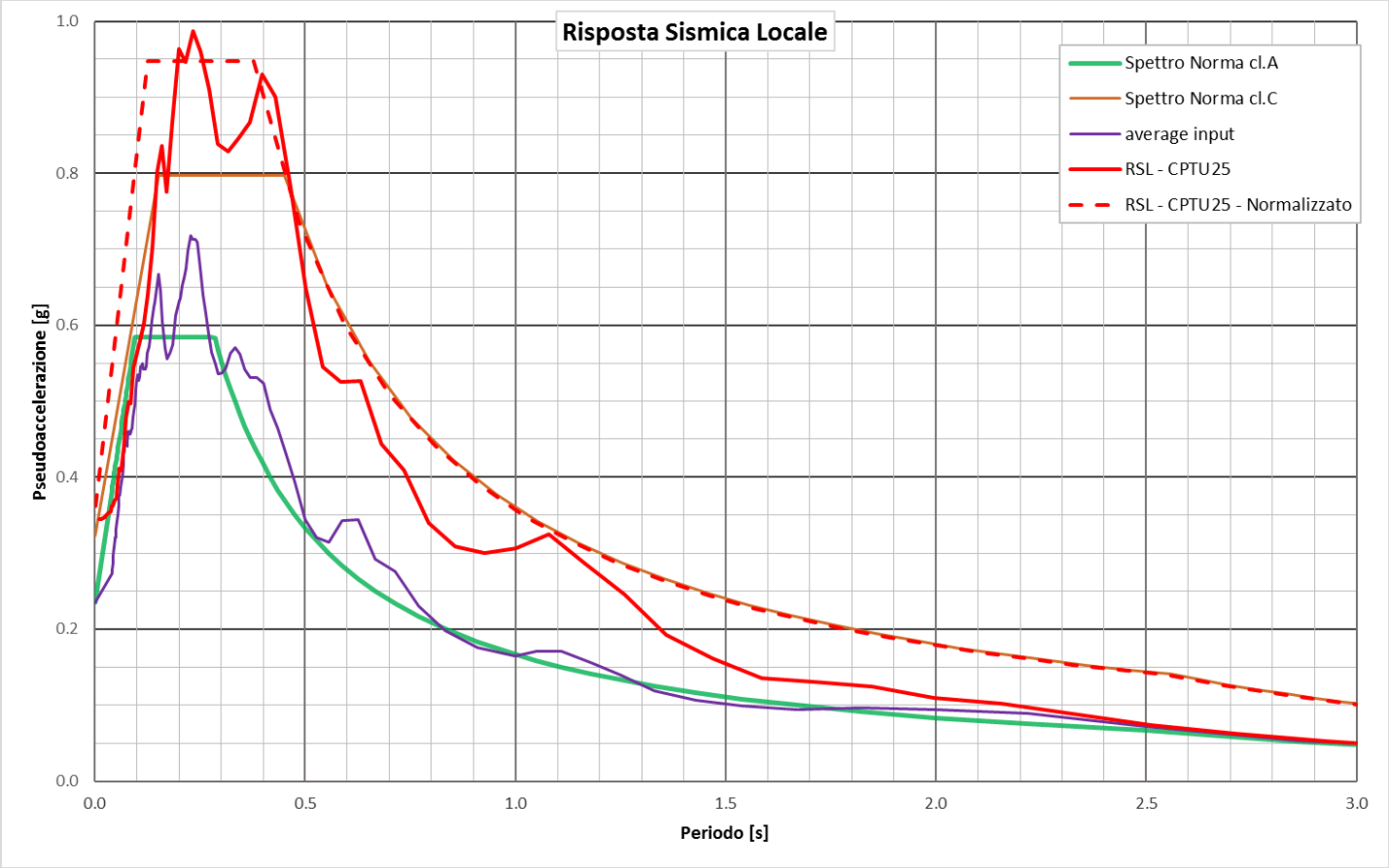
Prova CPTU

⇓ *correlazione di Robertson et al. (1992)*

Profilo di Vs adottato

enser

Risposta sismica locale 1D - modellazione Lineare-equivalente (Strata)



Nel caso presente tuttavia il plateau risulta circa il 20% più alto dello spettro da NTC per categoria di sottosuolo C. La struttura andrà quindi rivalutata sulla base di questo nuovo input, va però sottolineato che per gli impalcati isolati sismicamente la struttura dovrebbe ricadere nel ramo di spettro dopo il plateau e quindi coincidente con quello da normativa.

enser

Verifica Pila P.2 secondo prescrizioni Caltrans (2012)

Come previsto da Caltrans 2012 l'analisi si è articolata nelle seguenti fasi:

1. Determinazione del profilo dei terreni liquefacibili (secondo le metodologie già utilizzate nello sviluppo del presente progetto) [VEDI VALUTAZIONE PRECEDENTE];

2. Valutazione della resistenza dei terreni liquefatti;

3. Valutazione del profilo di spostamento in condizioni di campo libero;

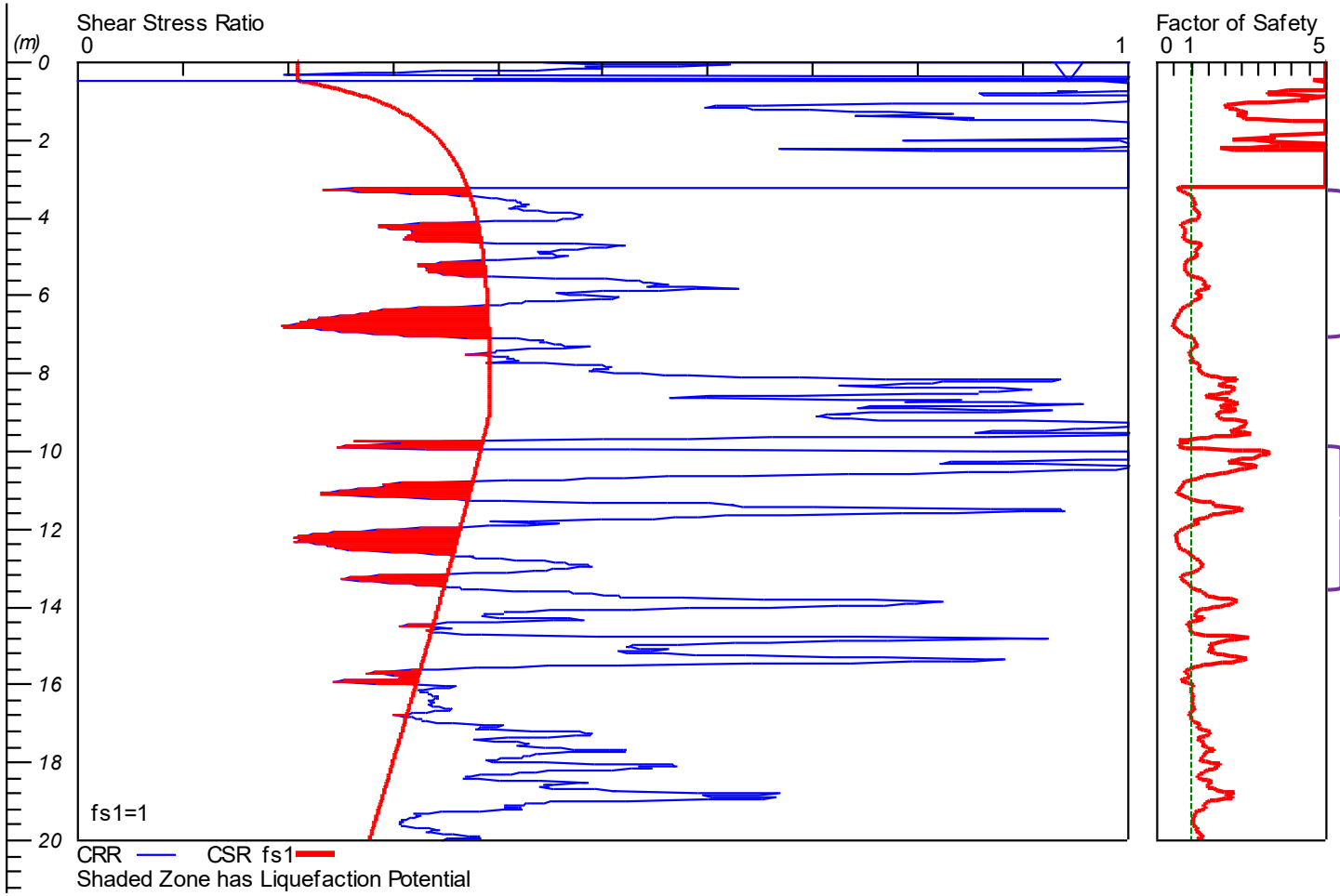
4. Modellazione della fondazione mediante "superpile" equivalente al gruppo di pali e determinazione delle curve p-y per i terreni soggetti a liquefazione;

5. Applicazione del profilo di spostamento da lateral spreading determinato allo STEP 3 al modello di STEP 4.

STEP 2 - Valutazione della resistenza dei terreni liquefatti

$$S_r = 2116 \cdot \exp\left(-8.444 + 0.109\,(N_1)_{60} + 5.379\left(\frac{\sigma_v'}{2116}\right)^{0.1}\right)$$

Kramer & Wang (2007)



Strato 1 – Sr = 30kPa

Strato 2 – Sr = 40kPa

enser

Verifica Pila P.2 secondo prescrizioni Caltrans (2012)

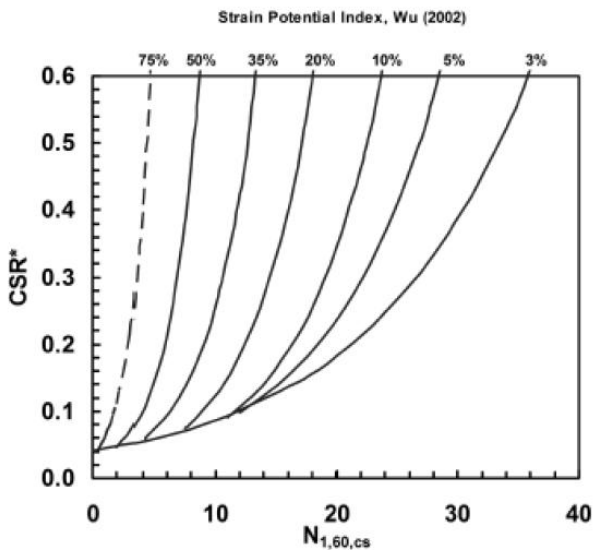
STEP 3 - Valutazione del profilo di spostamento in condizioni di campo libero

Estimating Displacements using Faris et al. (2006)

The procedure by Faris (2006) relies on the Displacement Potential Index (DPI) which is defined as the integration of potential shear strains within a liquefiable layer (or across multiple layers if they exist) over the thickness of the layer(s). In equation form,

$$DPI = \int_{layer}^{liq.} \gamma_{max}\, dz \qquad (17)$$

As implemented here, a liquefiable layer is considered to be any layer with a factor of safety for liquefaction triggering $\leq$ 1.10. The limiting shear strain γ_{max} can be estimated using Figure 3.12. For computational convenience, a routine that approximates Figure 3.12 is given in Appendix A.



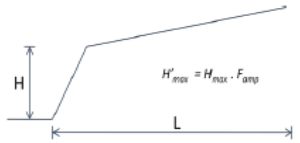
Definition of geometry
Open Slope face condition

If Nearly flat location ***(slope<1%)***

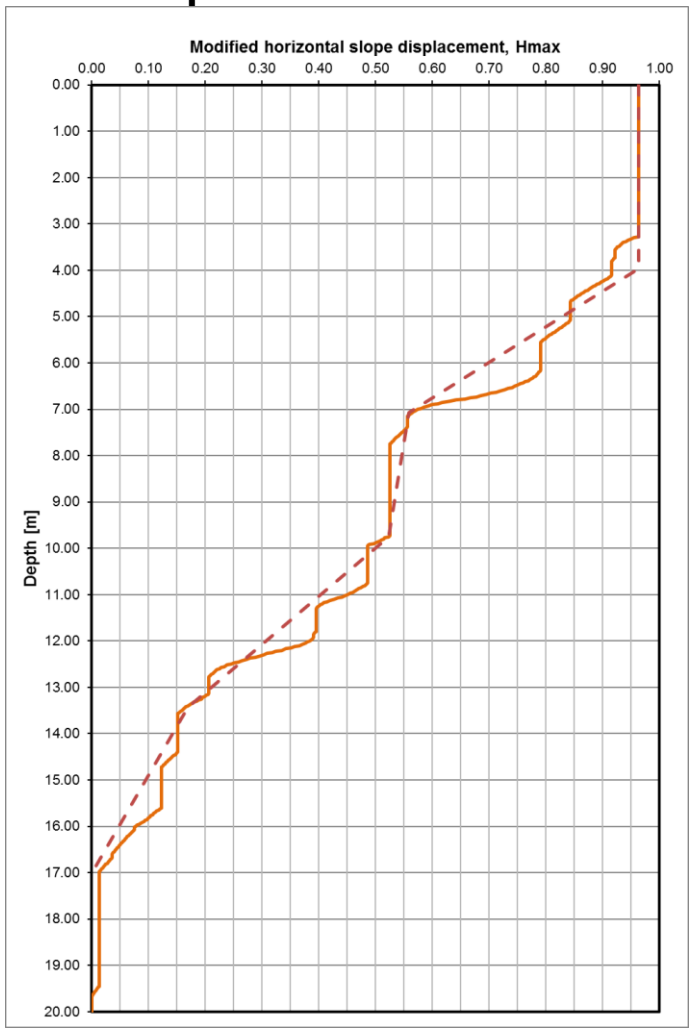
Slope	0.25	%

If Open slope face condition

FS	1.1	> 1.05
H	16	m
L	26.5	m
L/H	1.66	



Amplification factor, F_{ampl}
2



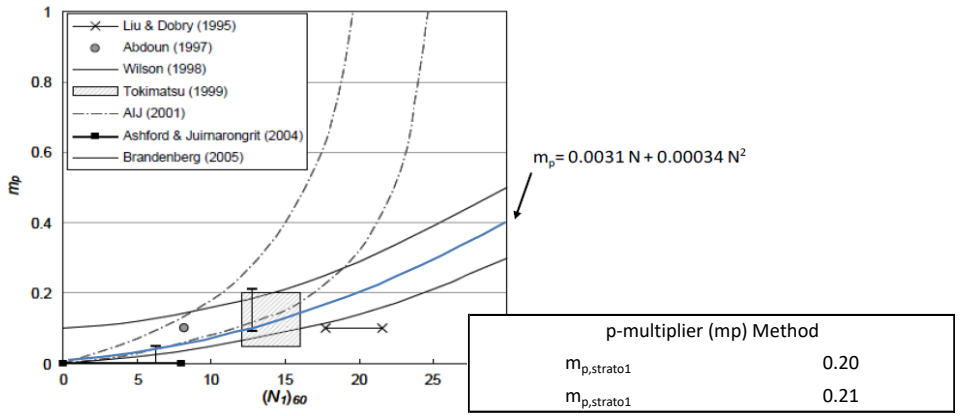
enser

Verifica Pila P.2 secondo prescrizioni Caltrans (2012)

STEP 4 - Modellazione della fondazione mediante “superpile” equivalente al gruppo di pali e determinazione delle curve p-y per i terreni soggetti a liquefazione

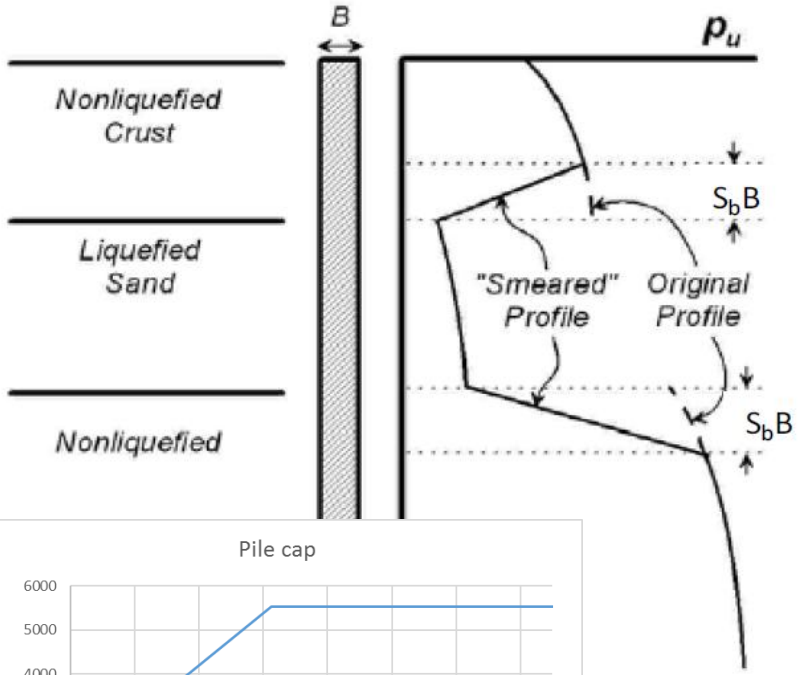
TABLE 2.1: Modeling a pile group with an equivalent single linear-elastic pile.

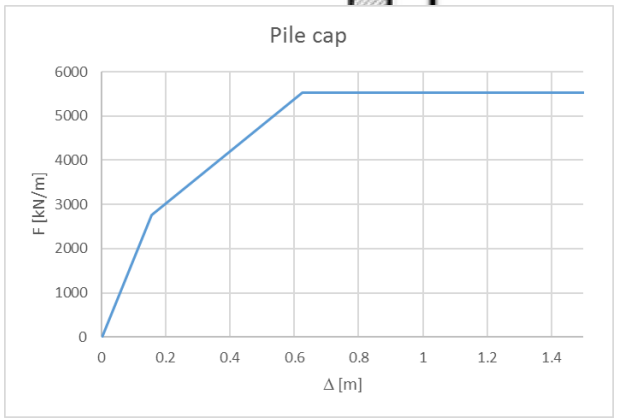
	Group Property	Equivalent Single Pile Property	Notes
Pile Cap			
Length and width	W_L, W_T	B	cap p-y curve is adjusted to account for cap loads
Bending stiffness	Rigid	100nEI *	set large EI to achieve rigidity
Rotational stiffness	K_θ	K_θ	applied as a rotational restraint at the top of the pile
Passive and side resistance		p-y curve	user specified
Piles			
Diameter	B	B	
Bending Stiffness	EI	nEI	
Soil Resistance	p-y curve	p-y curve**	**"p" is multiplied by n and a group reduction factor (GRF)
			* n is the number of piles in the group. Refer to Sec. 3.1 for other parameter definitions.



p-multiplier (mp) Method	
$m_{p,strato1}$	0.20
$m_{p,strato1}$	0.21

Figure 3.7. p-multiplier (m_p) vs. clean sand equivalent corrected blow count, $(N_1)_{60CS}$, from a variety of studies. An equation is given for the recommended design curve.

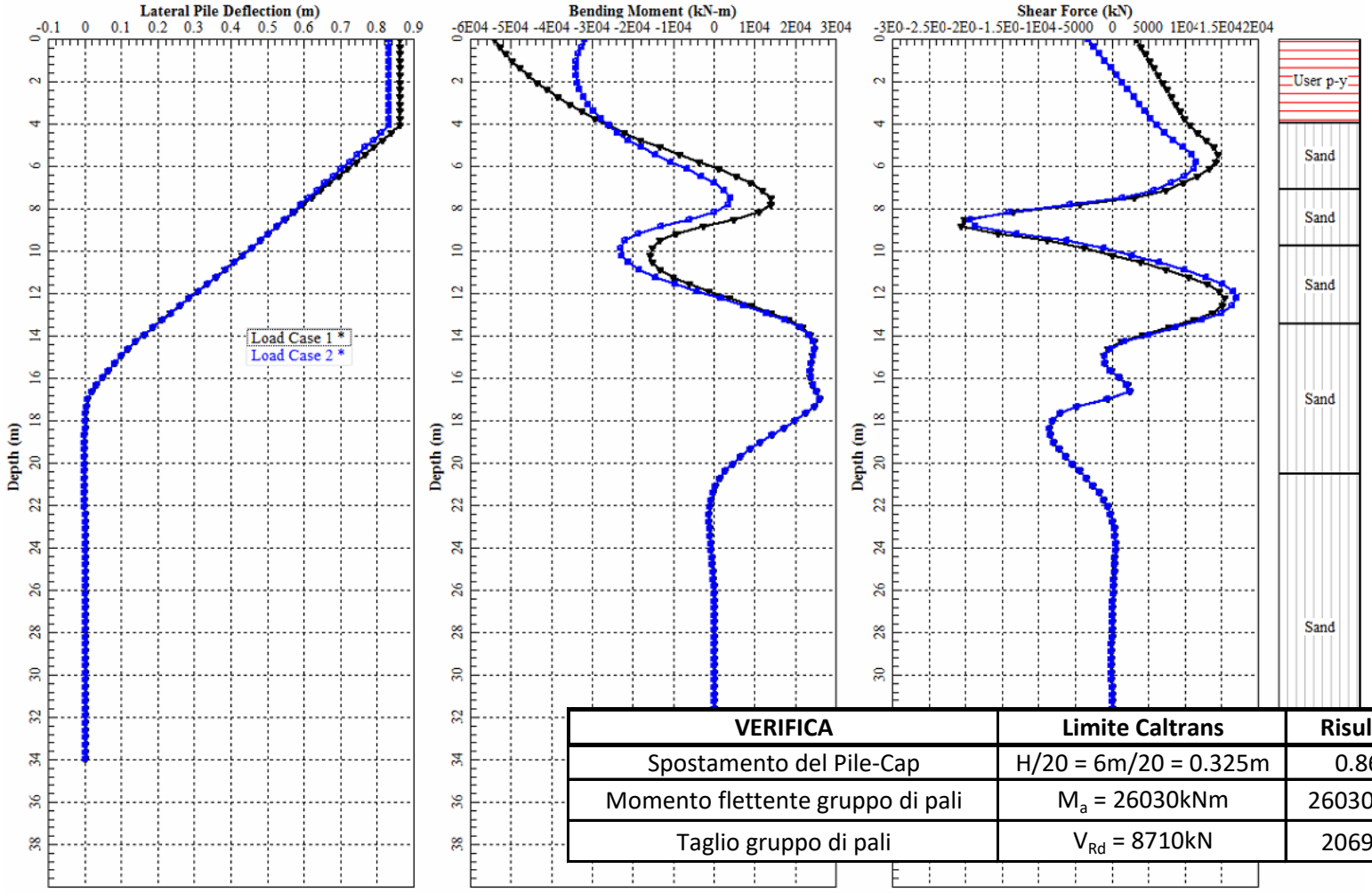




enser

Verifica Pila P.2 secondo prescrizioni Caltrans (2012)

STEP 5 - Applicazione del profilo di spostamento determinato allo STEP 3 al modello di STEP 4

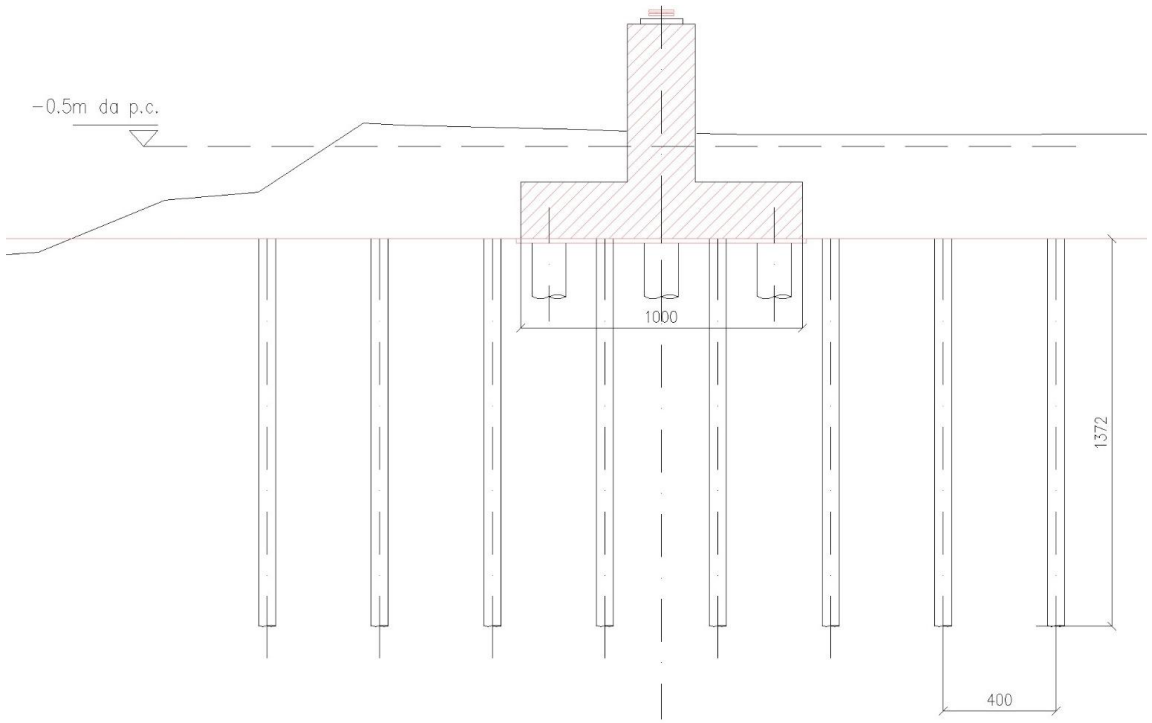


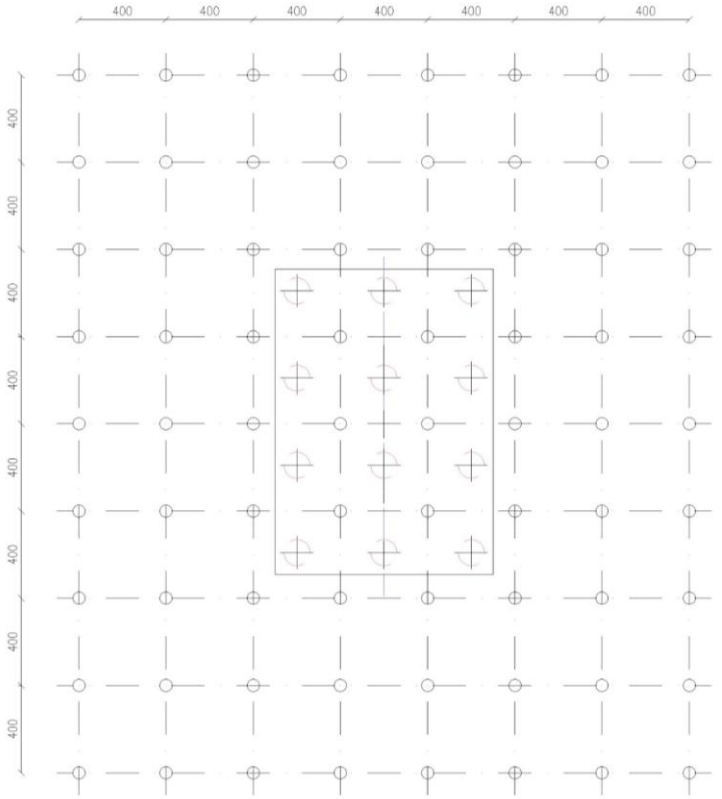
VERIFICA	Limite Caltrans	Risultato	Esito
Spostamento del Pile-Cap	H/20 = 6m/20 = 0.325m	0.86m	NON VERIFICATO
Momento flettente gruppo di pali	M_a = 26030kNm	26030kNm	NON VERIFICATO
Taglio gruppo di pali	V_{Rd} = 8710kN	20694kN	NON VERIFICATO

enser

Pila P.2 – Dimensionamento dell'intervento di mitigazione
DENSIFICAZIONE

Diametro delle colonne in ghiaia Φ [mm]	600
Interasse delle colonne "i" [m]	4.00
Disposizione colonne	quadrata
Lunghezza colonne [m]	13.00



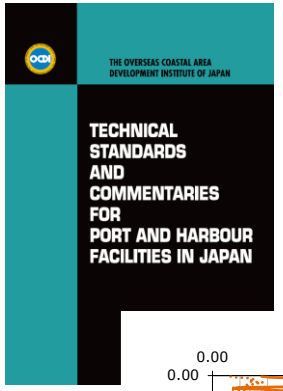


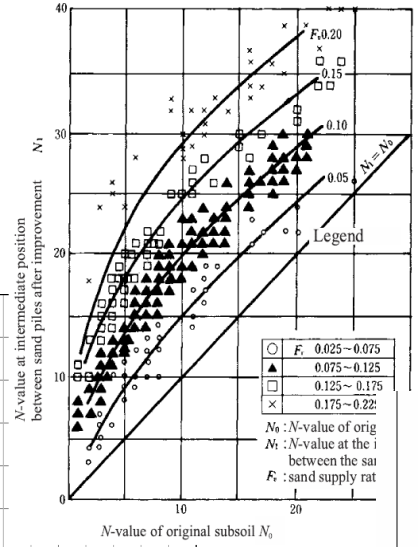
enser

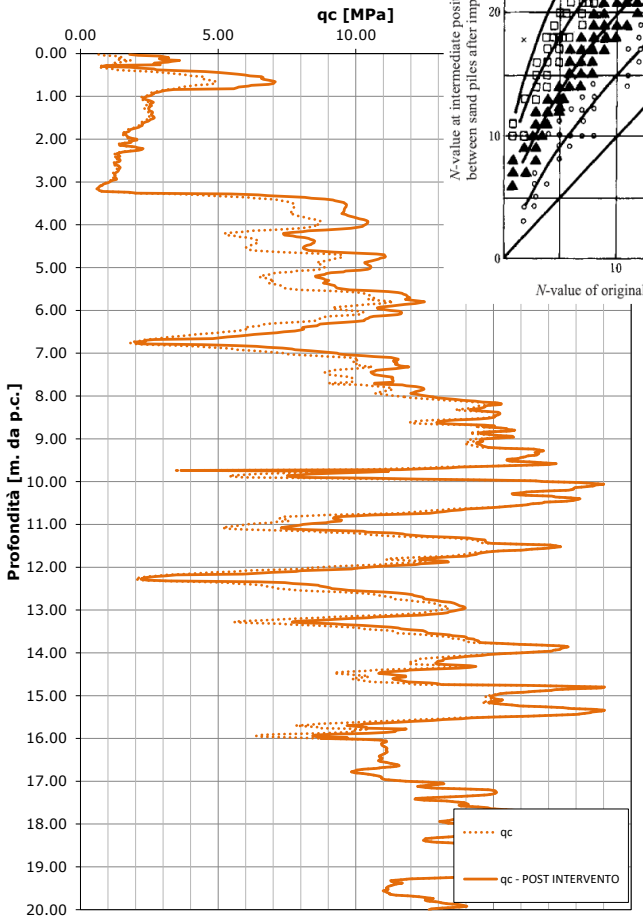
Pila P.2 – Dimensionamento dell'intervento di mitigazione

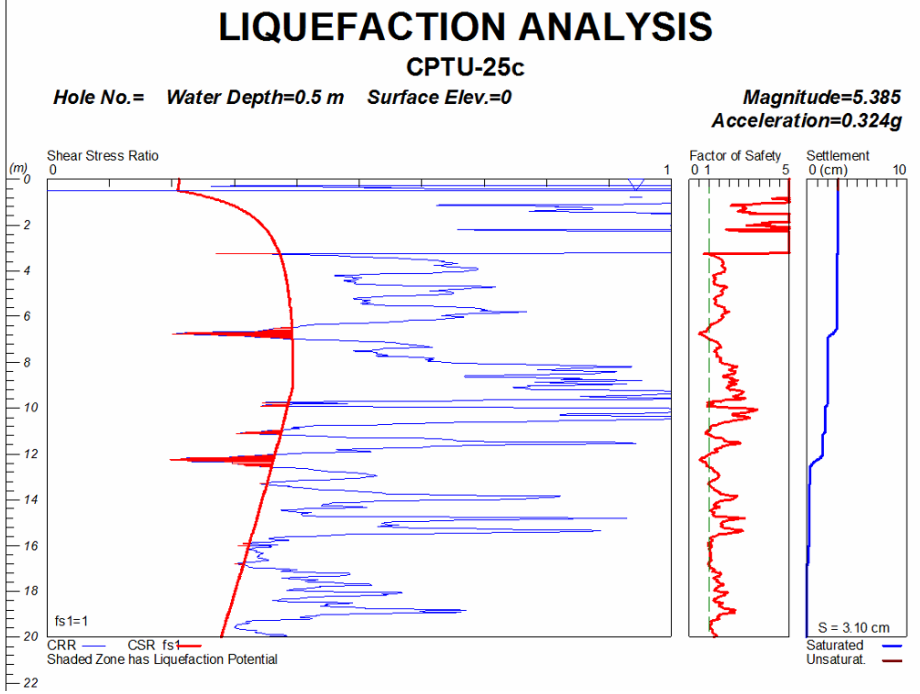
DENSIFICAZIONE

Diametro delle colonne in ghiaia Φ [mm]	600
Interasse delle colonne "i" [m]	4.00
Disposizione colonne	quadrata
Lunghezza colonne [m]	13.00

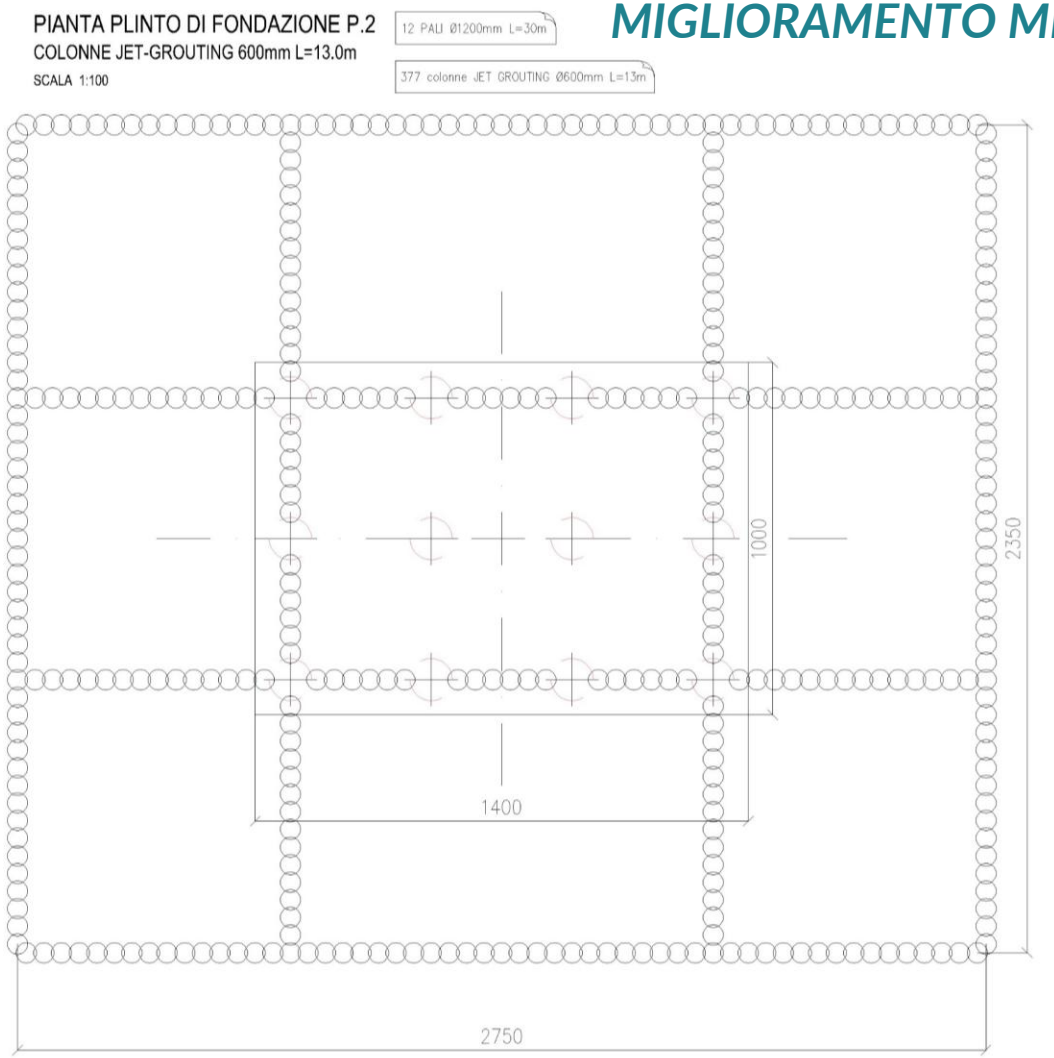


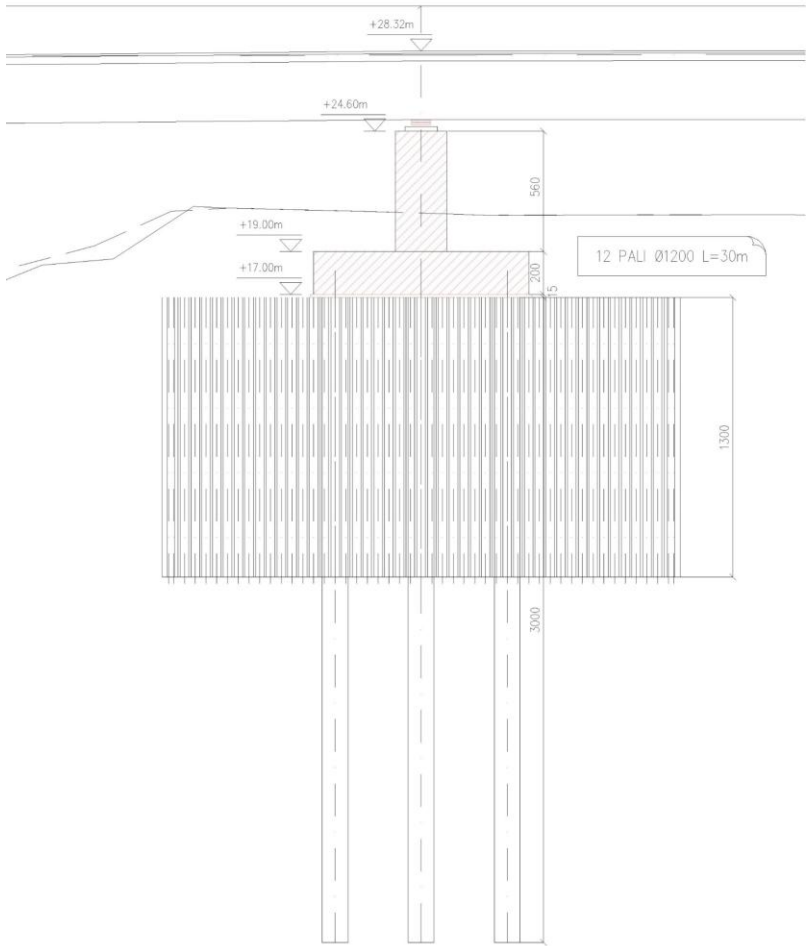






Pila P.2 – Dimensionamento dell'intervento di mitigazione
MIGLIORAMENTO MECCANICO





enser

Pila P.2 – Dimensionamento dell'intervento di mitigazione
MIGLIORAMENTO MECCANICO

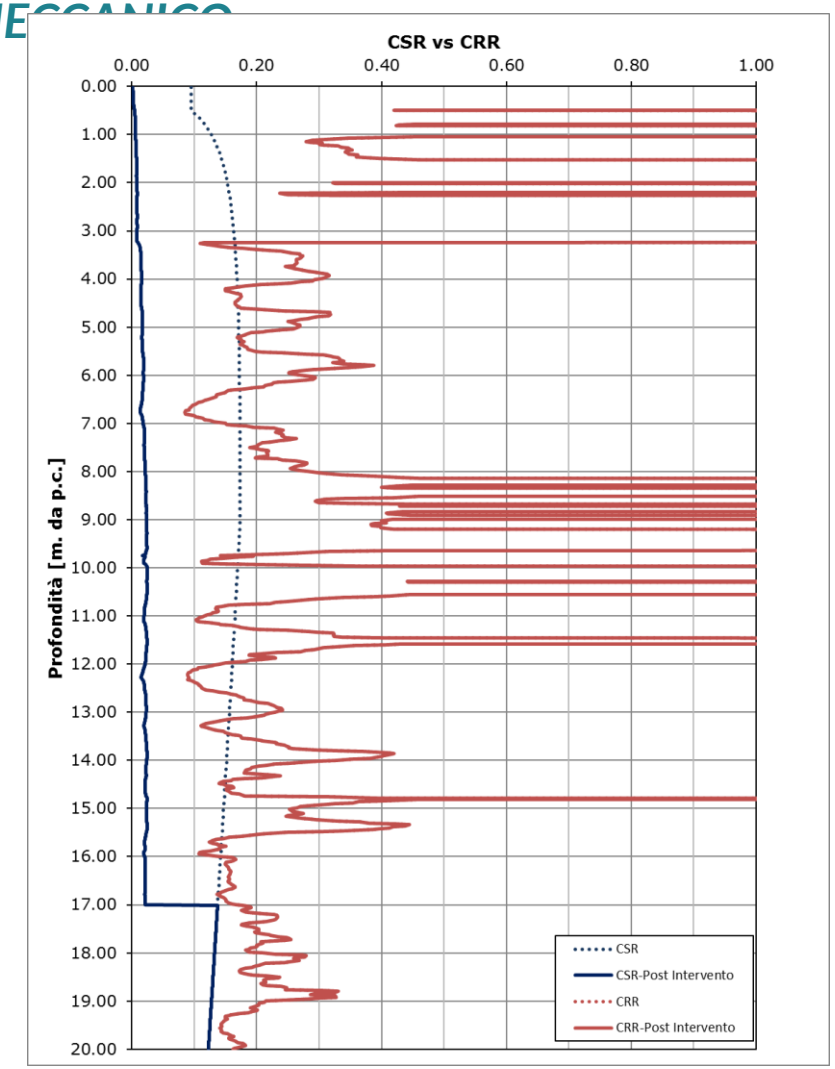
Secondo Baez (1995) e Baez & Martin (1993)

G_{terr} = modulo di rigidezza a taglio del terreno;
A_r = area di sostituzione;
G_{cons} = modulo di rigidezza a taglio del consolidamento.

$G_r = G_{cons} / G_{terr}$

$K_G = f (G_r ; A_r)$

$K_G = CSR_m / CSR$

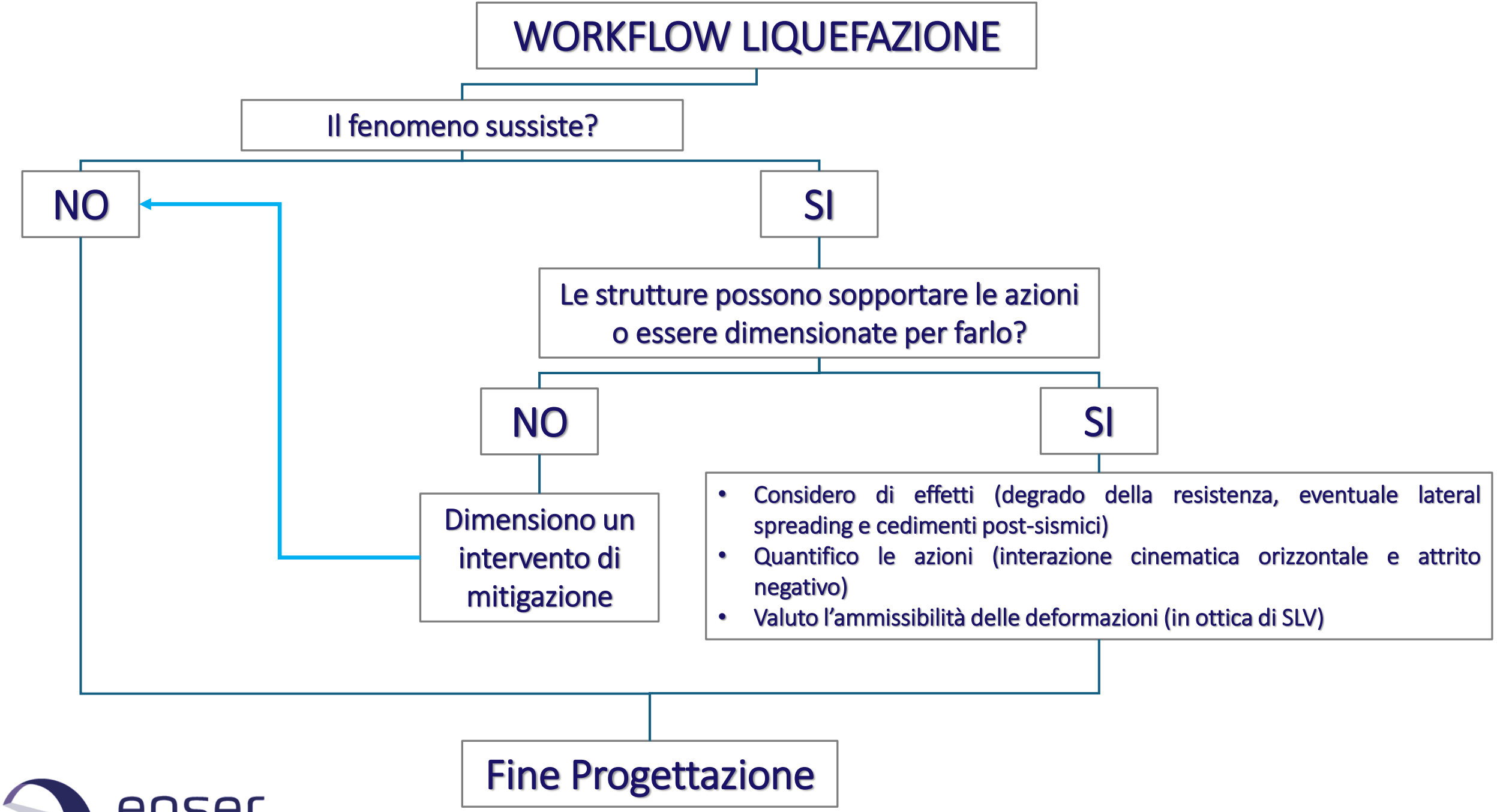


enser

Pila P.2 – Dimensionamento dell'intervento di mitigazione
DRENAGGIO

Dreni prefabbricati:

- ϕ = 12 cm;
- maglia quadrata 1m x 1m;
- lunghezza L = 13 m da piano di lavoro (intradosso plinto).


WORKFLOW LIQUEFAZIONE
Il fenomeno sussiste?
NO
SI
Le strutture possono sopportare le azioni o essere dimensionate per farlo?
NO
SI
Dimensiono un intervento di mitigazione
• Considero di effetti (degrado della resistenza, eventuale lateral spreading e cedimenti post-sismici)
• Quantifico le azioni (interazione cinematica orizzontale e attrito negativo)
• Valuto l'ammissibilità delle deformazioni (in ottica di SLV)
Fine Progettazione

enser

WORKFLOW LIQUEFAZIONE

Il fenomeno sussiste?

NO

SI

Non posso limitarmi a guardare i soli cedimenti da metodo semplificato. Sono incerti e valutati su campo libero.

Le strutture possono sopportare le azioni o essere dimensionate per farlo?

NO

SI

Dimensiono un intervento di mitigazione

- Considero di effetti (degrado della resistenza, eventuale lateral spreading e cedimenti post-sismici)
- Quantifico le azioni (interazione cinematica orizzontale e attrito negativo)
- Valuto l'ammissibilità delle deformazioni (in ottica di SLV)

Fine Progettazione

enser

WORKFLOW LIQUEFAZIONE

Il fenomeno sussiste?

NO

Quando propendo per un intervento di consolidamento posso e devo considerare che il fenomeno della liquefazione, nell'area consolidata, non si esplica più.

Le strutture pos
o essere dimensionate per farlo

NO

SI

Dimensiono un intervento di mitigazione

- Considero di effetti (degrado della resistenza, eventuale lateral spreading e cedimenti post-sismici)
- Quantifico le azioni (interazione cinematica orizzontale e attrito negativo)
- Valuto l'ammissibilità delle deformazioni (in ottica di SLV)

Fine Progettazione

enser

Grazie per l’attenzione

Ing. Filippo Marchi