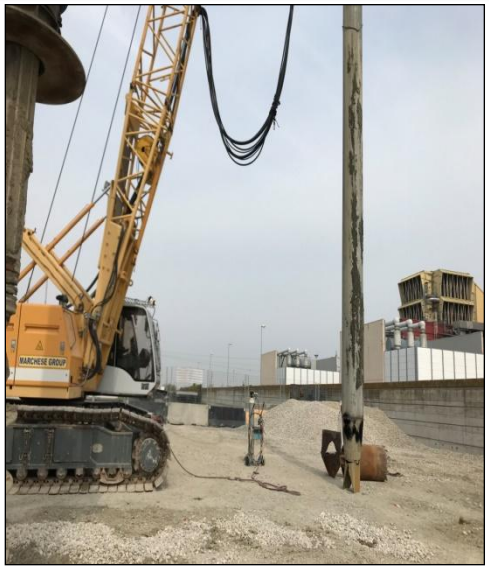
UNIONE DEI COMUNI DELLA BASSA ROMAGNA

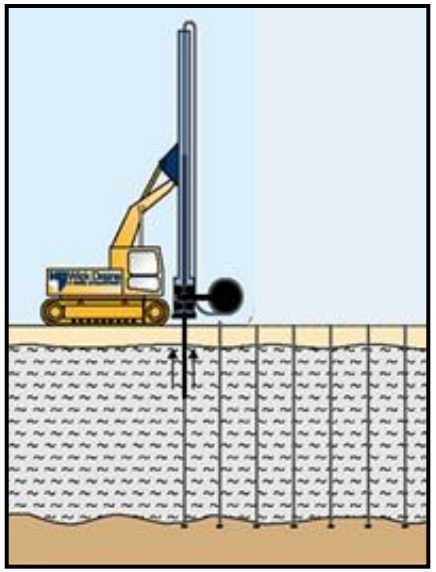
TECNICHE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO LIQUEFAZIONE SISMO-INDOTTA DEI TERRENI

FUSIGNANO (RA) - 29/09/2026

Mitigazione del rischio di liquefazione mediante dreni prefabbricati a nastro



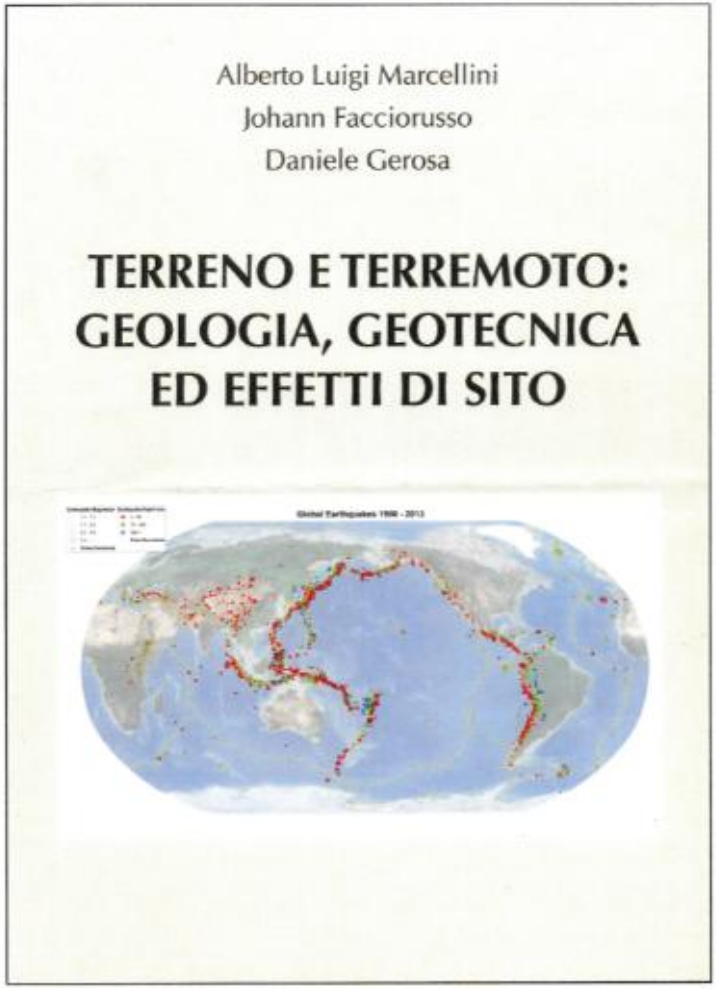




ING. PAOLA CAMPANA
studio@paolacampana.it

ATTI DEL CONVEGNO 5/12-Nov.-2018

REGIONE EMILIA ROMAGNA



DPG/2012/13201 del 02/10/2012 «Approvazione degli elaborati cartografici……e Indirizzi per interventi di consolidamento dei terreni»
Interventi di tipo passivo

6.2.b Drenaggi (Figura 4)

La tecnica consiste nell'installazione di dreni verticali nel sottosuolo in adiacenza agli edifici esistenti per favorire il rapido smaltimento delle sovrappressioni interstiziali indotte dal sisma (fig. 4). Esistono diverse tipologie di dreni tra cui dreni prefabbricati infissi o installati in foro, tubi fessurati con filtro a sabbia o ghiaino installati in foro, pozzi per acqua tradizionali, pali di sabbia o ghiaia, colonne di ghiaia, ecc. ...

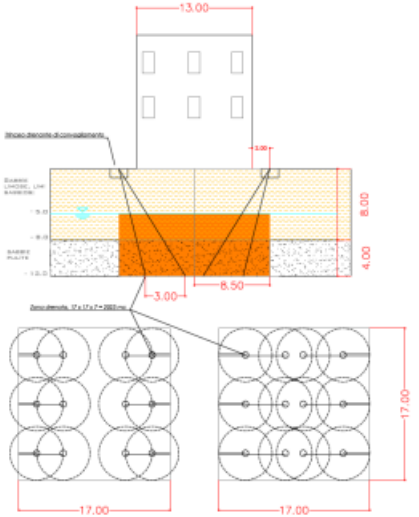


Figura 4. Schema trattamento su edifici esistenti con dreni

La tecnica di drenaggio può avere il duplice effetto di limitare l'occorrenza del fenomeno della liquefazione, favorendo la dissipazione delle sovrappressioni interstiziali che ne sono la causa, e ridurre le eventuali deformazioni indotte.

In particolare, nei siti in cui uno strato di bassa permeabilità presente al di sopra di uno strato liquefacibile può provocare l'intrappolamento dell'acqua in pressione con formazione di un'interfaccia di bassissima resistenza o addirittura di un film d'acqua, la dissipazione e la ridistribuzione delle sovrappressioni interstiziali ad opera dei dreni può essere fondamentale nel prevenire rotture per scorrimento e per ridurre le deformazioni laterali.

L'efficacia della tecnica di drenaggio dipende dalla permeabilità e dalla densità del terreno, dall'interasse e dalla permeabilità verticale dei dreni, dal tipo di filtro utilizzato, dalla distanza tra la superficie libera di falda e la zona di scarico dei dreni, dalla velocità del carico sismico rispetto alla resistenza a liquefazione del terreno.

ATTI DEL CONVEGNO 5/12-Nov.-2018

REGIONE EMILIA ROMAGNA

CLASSIFICAZIONE DELLE MISURE DI MITIGAZIONE

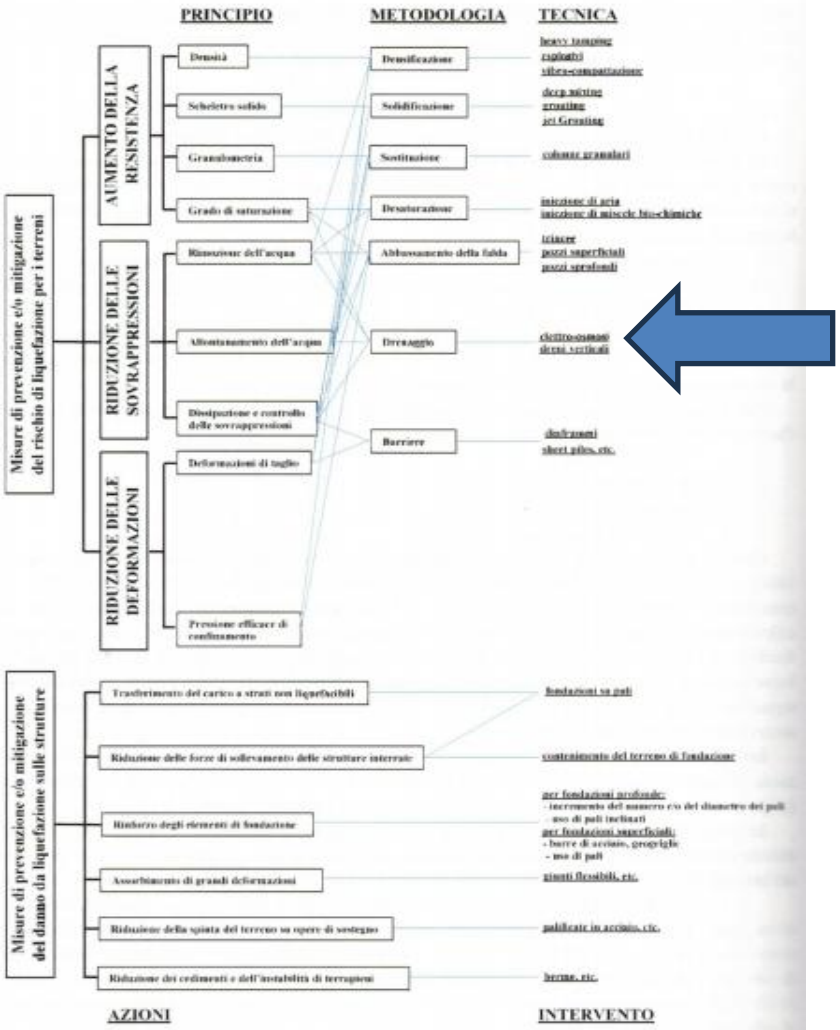


Figura 6.4. *Metodi di prevenzione e/o mitigazione del rischio di liquefazione.*

RIDUZIONE DELLE SOVRAPPRESSIONI INTERSTIZIALI DRENAGGIO

A seconda dell'uso e delle finalità, i dreni possono avere uno sviluppo bidimensionale, cioè assumere la forma di uno strato, in genere di modesto spessore, oppure avere uno sviluppo monodimensionale, ed essere disposti longitudinalmente o trasversalmente rispetto all'opera su cui si interviene (*dreni longitudinali e trasversali*) oppure verticalmente (*dreni verticali*).

L'uso dei dreni è sempre accoppiato a condotte utilizzate per convogliare e allontanare l'acqua intercettata.

I dreni, in genere, sono relativamente economici, di facile installazione e gestione, anche in aree fortemente urbanizzate. L'uso dei dreni, inoltre, consente di ottenere numerosi vantaggi collegati all'allontanamento dell'acqua da un sito (incremento della resistenza al taglio e della rigidezza, accelerazione della consolidazione e dei cedimenti connessi, riduzione della spinta orizzontale su opere di sostegno e delle forze di filtrazione connesse ai fenomeni di sifonamento e del sollevamento del fondo scavo, etc.) e, per tali motivi rientrano in un vasto campo di applicazioni (pavimentazione stradale, opere di sostegno, argini, dighe in terra, rilevati, etc.).

Il sistema di drenaggio maggiormente utilizzato per la mitigazione del rischio di liquefazione è quello dei dreni verticali (***Figura 6.28***), realizzati in materiale naturale ad elevata permeabilità (ghiaia), oppure in geosintetico[37].

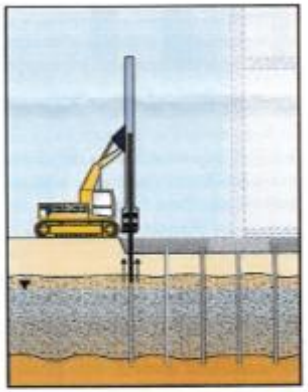
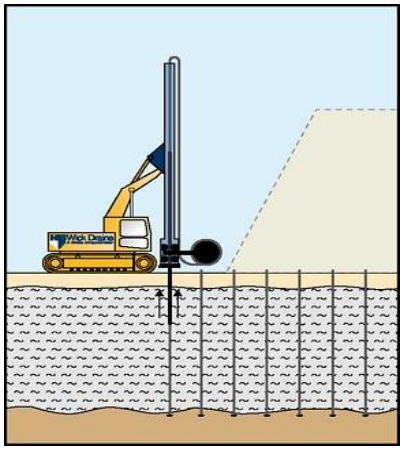


Figura 6.28. *Installazione di dreni verticali per la mitigazione del rischio di liquefazione (http://www.hbwickdrains.com).*

[37] In quest'ultimo caso si utilizzano tubi di drenaggio in PE rivestiti di materiale filtrante (sempre in geosintetico) con delle sezioni molto più ridotte rispetto ai dreni in ghiaia (con diametri di circa 10 cm, compresi tra 1/5 e 1/10 dei diametri comunemente utilizzati per le colonne in ghiaia) e eventualmente rinforzati, in modo da svolgere, se richiesto, anche una funzione di rinforzo per il terreno di fondazione che ne incrementi la capacità portante. L'uso dei dreni artificiali, oltre a ridurre il volume occupato, consente risparmi economici legati al materiale utilizzato e semplifica le fasi operative di installazione, consentendo l'uso di attrezzature leggere e poco ingombranti e l'intervento in spazi ridotti. Inoltre, i dreni artificiali possono anche essere utilizzati con spaziature molto ridotte.

Metodi di miglioramento del terreno





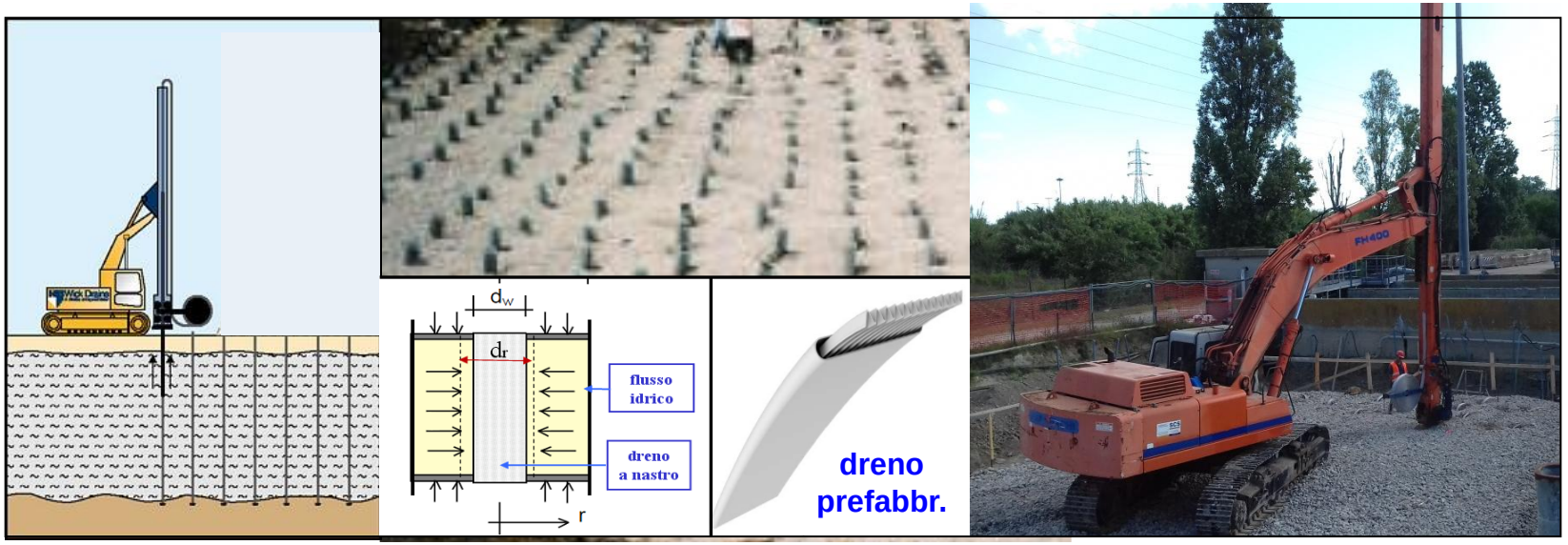
INCREMENTO DELLA CAPACITA' DI DRENAGGIO CON DRENI VERTICALI A NASTRO

VANTAGGI collegati all'allontanamento dell'acqua:

1) Incremento della resistenza a taglio e della rigidezza;
2) Accelerazione della consolidazione e dei cedimenti connessi;
3) Riduzione della spinta orizzontale su opere di sostegno;
4) Riduzione delle forze di filtrazione connesse ai fenomeni di sifonamento e del sollevamento del fondo scavo;
5) Riduzione al minimo del disturbo nel terreno e nell'ambiente (rumori e vibrazioni)
6) Economicità, di facile installazione, durabilità e gestione.

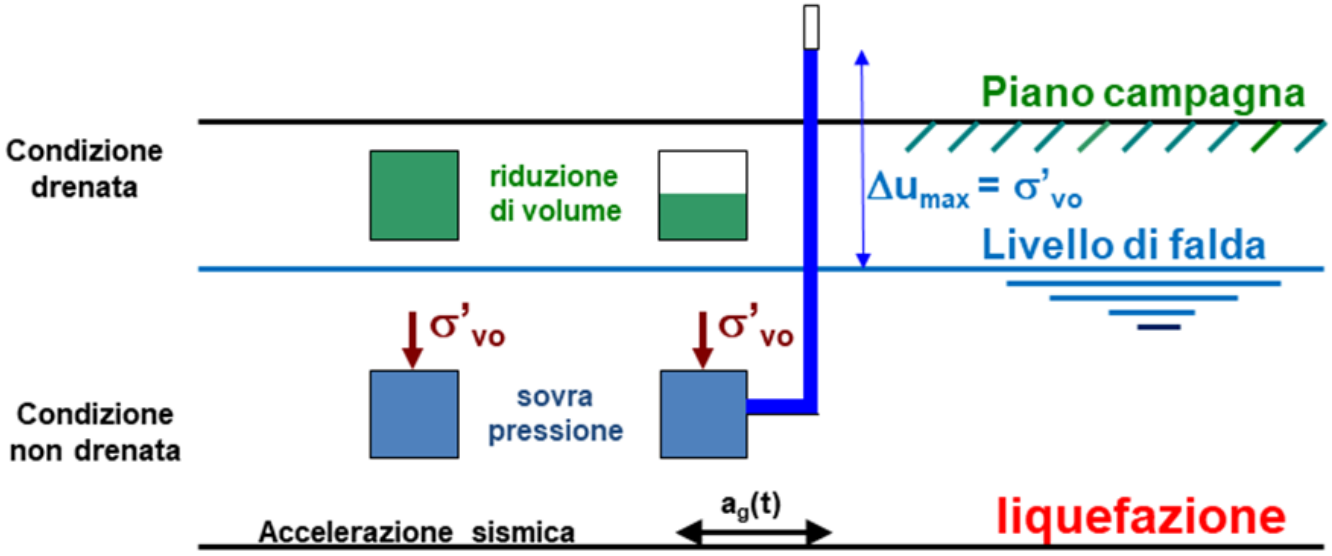
Metodi di miglioramento del terreno

DRENI PREFABBRICATI A NASTRO IN POLIETILENE RIVESTITO CON FILTRO IN GEOCOMPOSITO



RIDUZIONE NELLE SABBIE DELLE SOVRAPRESSIONI NEUTRE Δu NELL'ACQUA INTERSTIZIALE A SEGUITO DI AZIONI SISMICHE ED IMPULSIVE DI BREVE DURATA (PERIODO CICLO 0.2÷0.8 sec) PER AUMENTO DELLA DISSIPAZIONE INDOTTA DAI DRENI

Richiamo sulle condizioni di liquefazione del terreno



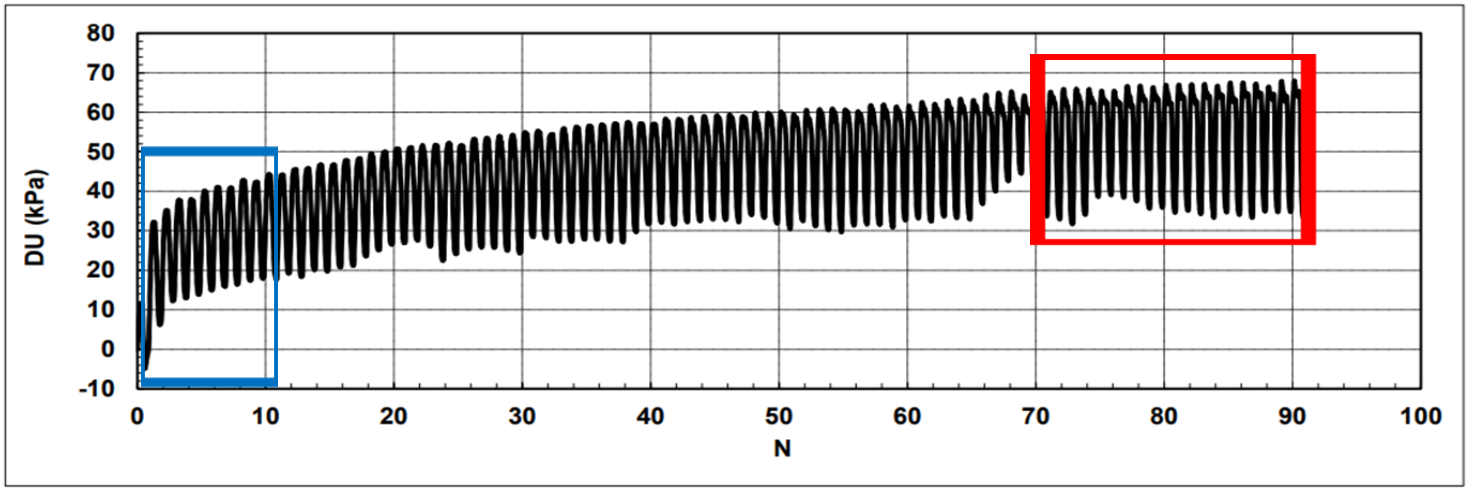
$\Delta u = \sigma'_{vo}$ → **Condizioni di Liquefazione**

$r_u = \Delta u / \sigma'_{vo} = 1$ — **Rapporto di sovrapressione**

$\tau_R = (\sigma'_{vo} - \Delta u) \cdot \tan\phi = 0$ — **Resistenza a taglio del terreno nulla**

OBIETTIVO DELL'INTERVENTO CON DRENI:
dissipare all'interno dello strato liquefacibile le sovrappressioni indotte durante il sisma e impedire il raggiungimento delle condizioni di liquefazione $r_u = 1$

In genere si assume un valore ammissibile del rapporto di sovrappressione interstiziale $r_{u,amm} = 0,5$ in quanto, come dimostrato durante prove triassiali cicliche, le deformazioni di taglio cicliche indotte sono piccole finchè il rapporto r_u si mantiene al di sotto di tale valore.
(Metodo di Seed-Booker e Normativa Giapponese).



Fase di addensamento – crescita delle sovrappressioni

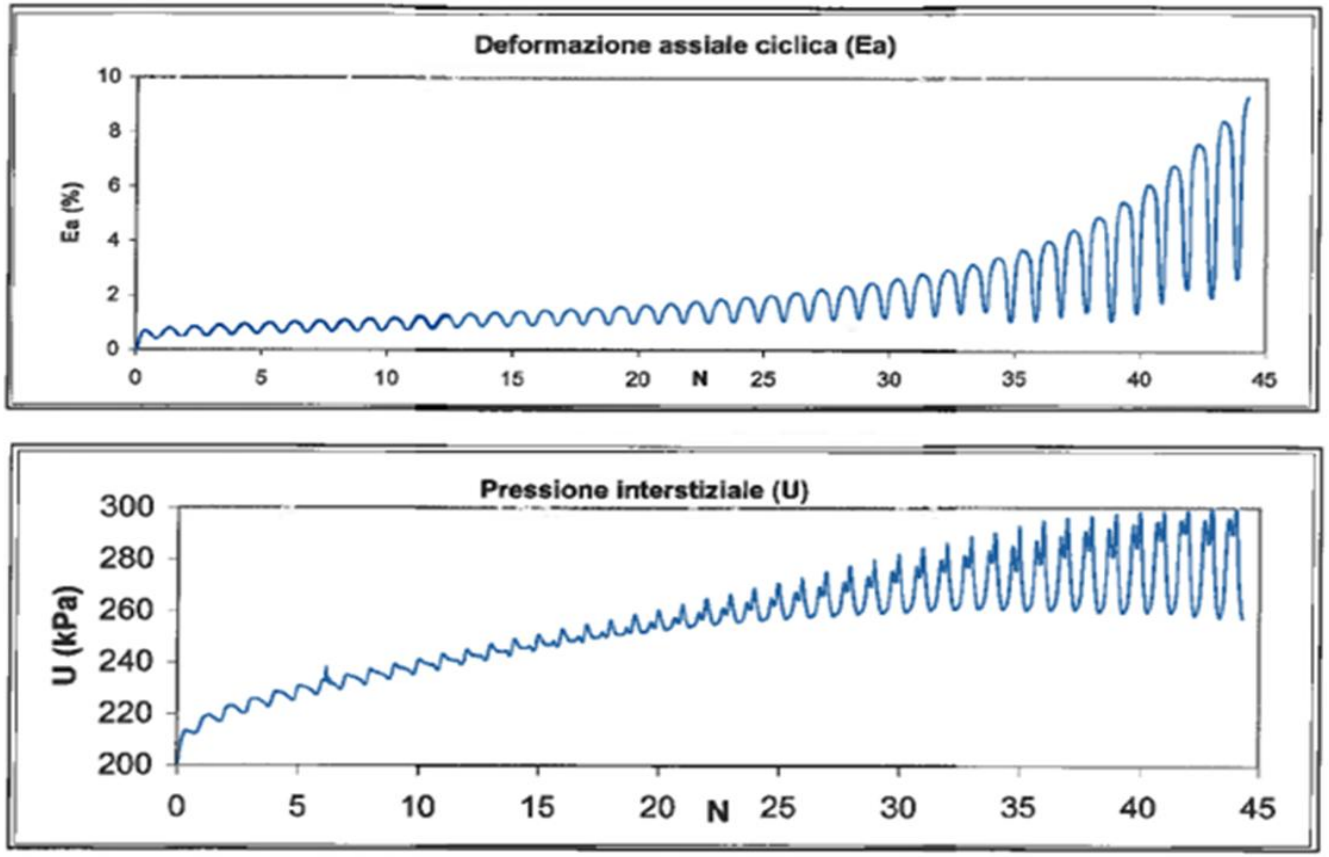
Fase di assestamento – stabilizzazione sovrappressioni

LIQUEFAZIONE: PROVE TRIASSIALI CICLICHE

Le deformazioni di taglio cicliche indotte sono piccole finchè il rapporto r_u si mantiene al di sotto di 0,5.

PROVA TRIASSIALE CICLICA A CARICO CONTROLLATO (ASTM D5311)

Provino 1

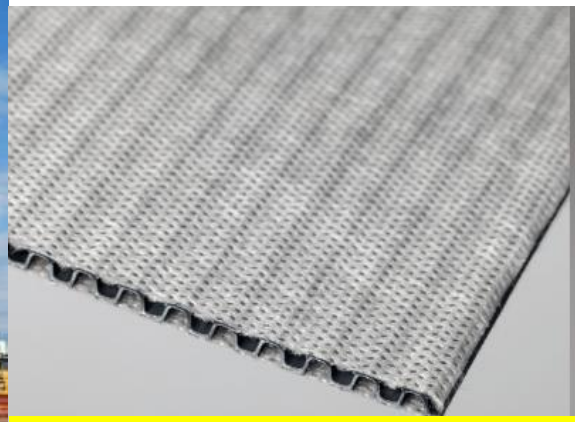


Metodi di miglioramento del terreno











FILTRO in GEOTESSILE ANTINTASAMENTO

DRENI A NASTRO VERTICALI PREFABBRICATI (in PE): LARGHEZZA 100 mm e SEZIONE TRASVERSALE A FORMA DI DOPPIO PETTINE (o PROFILO CORRUGATO) per i canali di drenaggio.

CARATTERISTICHE MECCANICHE ED IDRAULICHE DEI FILTRI IN GEOTESSILE

CARATTERISTICHE DEI DRENI

Caratteristiche geometriche del dreno		
Lunghezza		13.00 m
Larghezza		100 mm
Caratteristiche idrauliche del dreno		
Capacità di deflusso nel piano q(200,0.1)	EN ISO 12958	100 ml/m.s
Caratteristiche meccaniche del dreno		
Resistenza a trazione	EN ISO 10319	2.4 kN
Allungamento a 1.0 kN	EN ISO 10319	<2.2 %
Caratteristiche idrauliche del filtro		
Dimensione della maglia del filtro O^{90}	EN ISO 12956	< 80 µm
Coefficiente di permeabilità del filtro	EN ISO 11058	40 mm/s

Lo scopo principale del filtro è quello della ritenzione, ovvero di garantire un adeguato flusso idraulico dal terreno circostante (quando si generano le sovrappressioni indotte dal sisma) e di limitare il trasporto di particelle più fini che possono intasare i vuoti del dreno, riducendone la permeabilità e l'efficacia.

DATI RICHIESTI PER LA PROGETTAZIONE DEI DRENI



DATI GEOMETRICI DRENI

Lunghezza (H)
Interasse (S)
Interasse equivalente (d_e)
Diametro equivalente (d_w)

DATI IDRAULICI

Permeabilità orizzontale del terreno (K_h)
Permeabilità verticale del terreno (K_v)
Capacità idraulica del dreno (q_w)

DATI GEOTECNICI

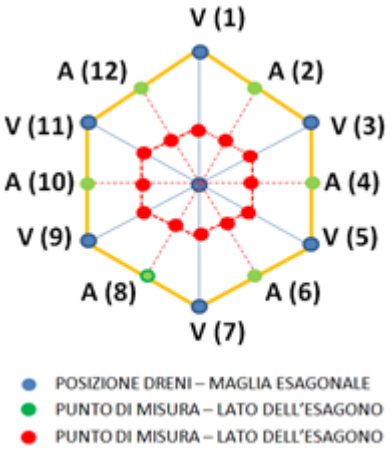
Modulo Elastico del terreno (E)

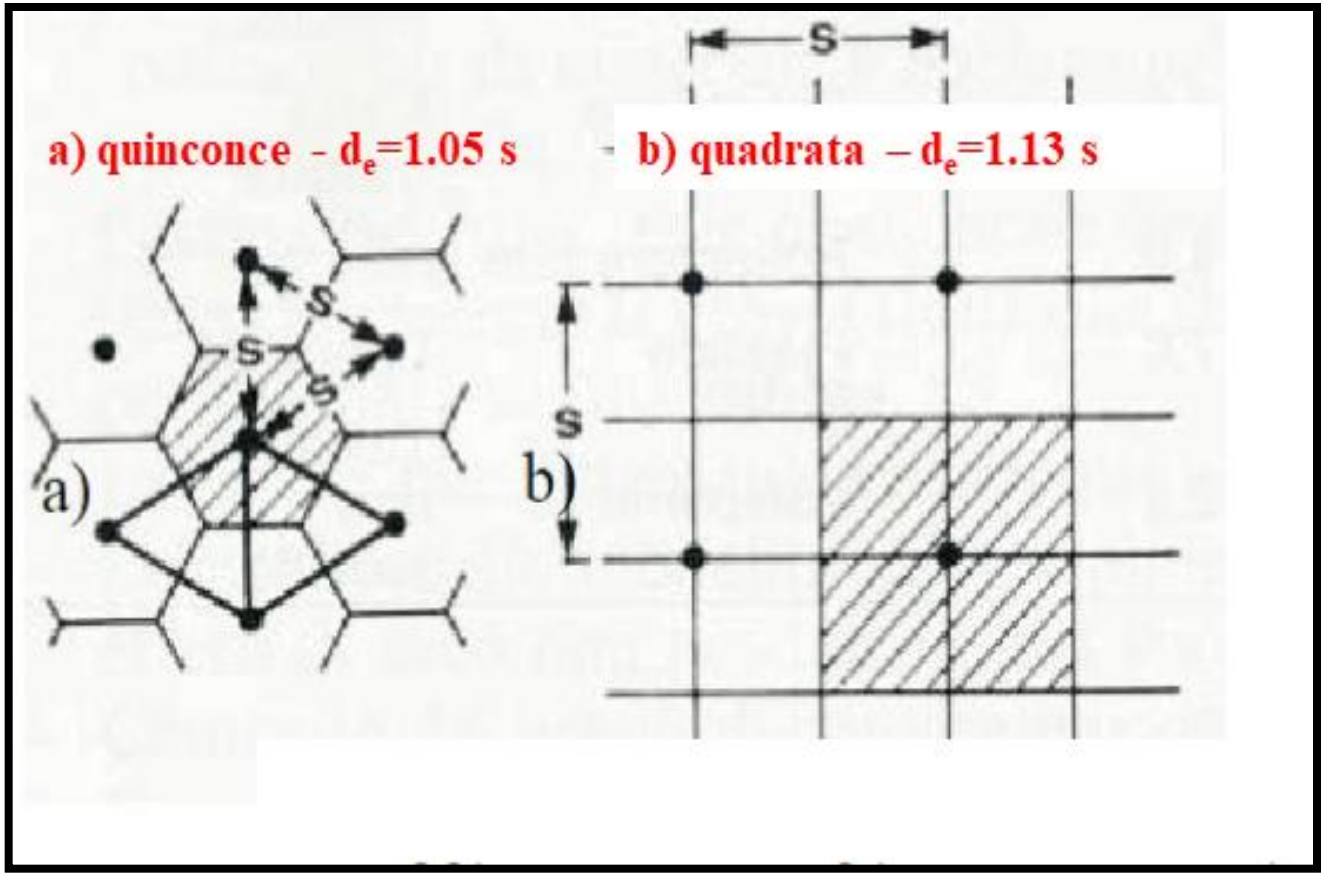
DATI SISMICI

Magnitudo e Numero di cicli equivalenti (a_g/g, M_w, N_{eq})
Durata del sisma (t_d)
Parametri prova ciclica triassiale (Stress Ratio, Δu, α)
Numero di cicli a liquefazione (N_L)

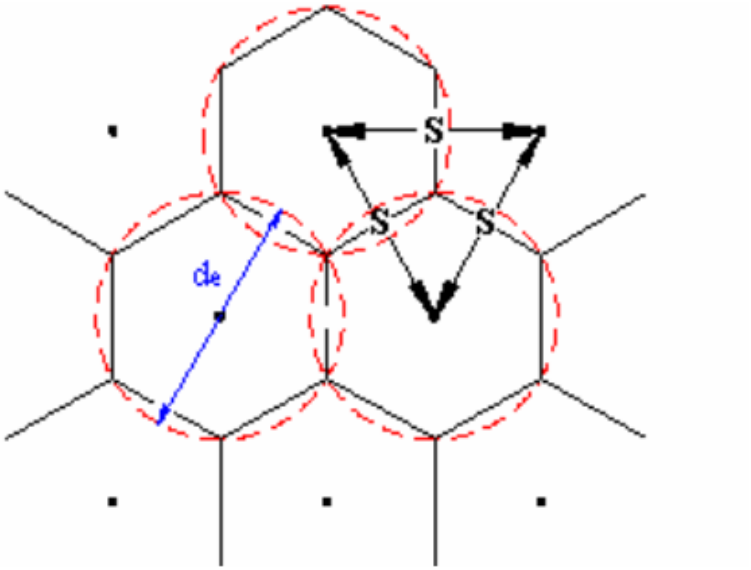
Magnitudo	N.cicli equiv.	Durata sisma (s)
5.5-6.0	5	8
6.5	8	14
7.0	12	20
7.5	20	40
8.0	30	60

Disposizione dei dreni a nastro
Area di influenza

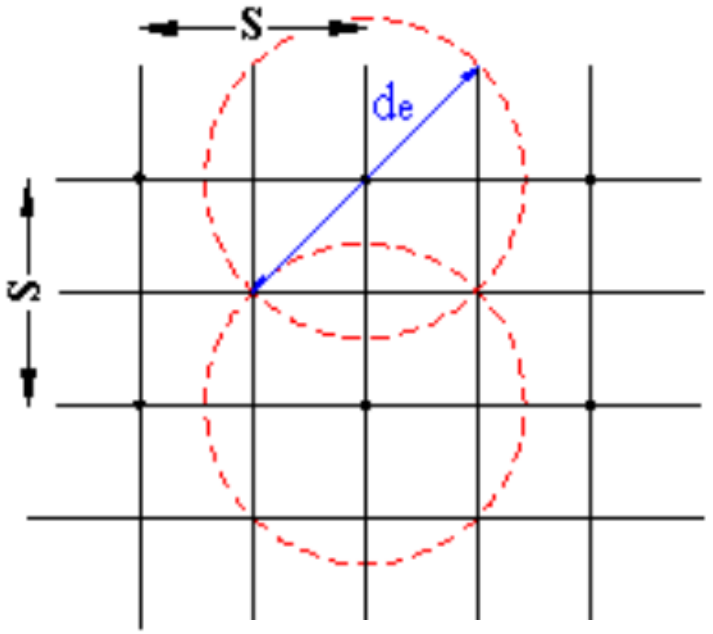




DIAMETRO DEL CILINDRO DI TERRENO DI AREA EQUIVALENTE ALLA CELLA



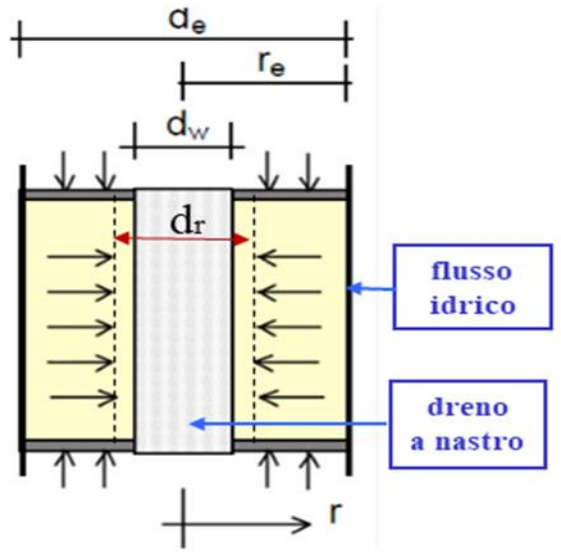
$d_e = 1.05\ S$



$d_e = 1.13\ S$

PARAMETRI DI CALCOLO GEOMETRICI ED IDRAULICI DEL DRENO

Dreni verticali



$$d_w = \frac{2 \cdot (a+b)}{\pi}$$

diametro equivalente del dreno

$n = d_e / d_w$

$s_m = d_r / d_w$

$$F = Ln(n) + \frac{K_h}{K_r} \cdot Ln(s_m) - 0.75$$



n = (d_e) interasse equivalente dei dreni / (d_w) diametro equivalente dei dreni

S_m = rapporto tra il diametro della zona rimaneggiata (dr) e il diametro equivalente dei dreni (smear=2-3)

K_h = permeabilità orizzontale del terreno indisturbato

K_r = permeabilità del terreno nella zona rimaneggiata vicino ai dreni (circa 1/2 di K_h in sabbia)

F = Fattore di forma non lineare che influenza il tempo di dissipazione delle sovrappressioni interstiziali

PARAMETRO DI RESISTENZA IDRAULICA L_w DEL DRENO A NASTRO

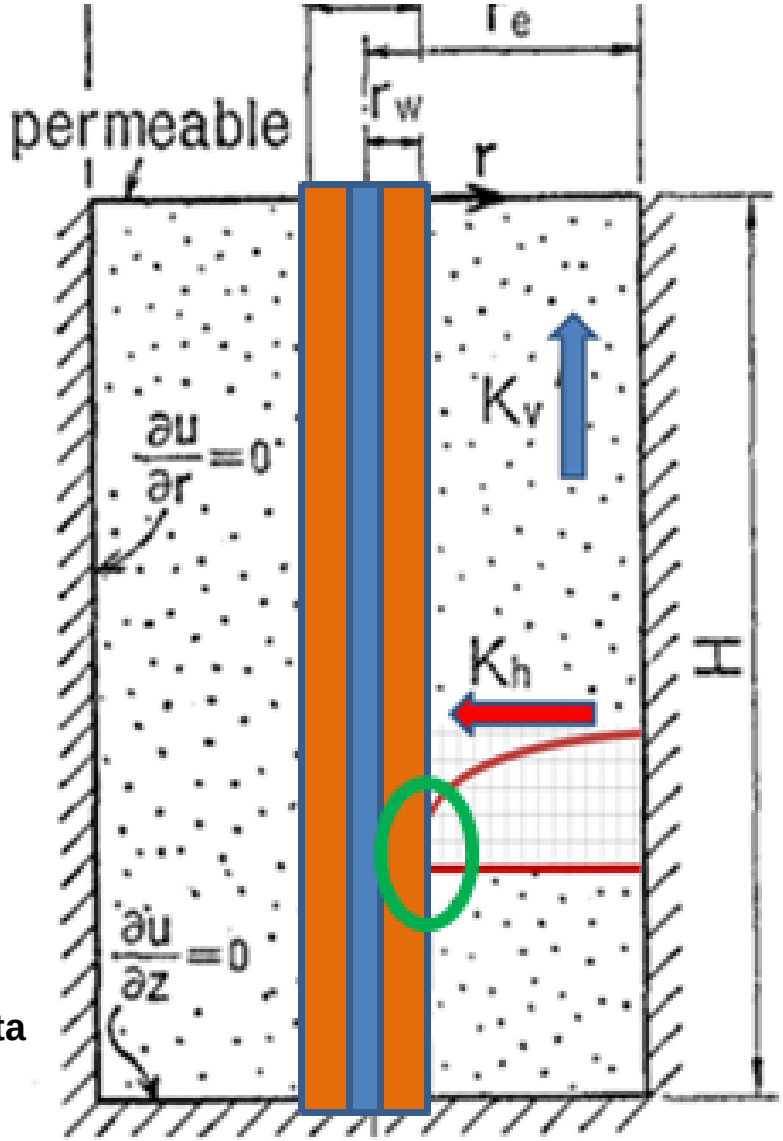
$$L_w = (8/\pi)\cdot(k_h/q_w)\cdot H^2$$

H = lunghezza di filtrazione del dreno a nastro

K_h = Coeff. di permeabilità del terreno

q_w = capacità idraulica del dreno (portata idraulica certificata con test normalizzati).

Per colonne in ghiaia si assume $q_w >> k_h$ da cui $L_w = 0$ ipotesi plausibile solo se la colonna non viene intasata nel tempo dalle parti fini.



IPOTESI DI DISTRIBUZIONE DELLE SOVRAPPRESSIONI
Condizioni al contorno

SI HA SOVRAPPRESSIONE MINIMA
IN CORRISPONDENZA DI SUPERFICI DRENANTI PER TRASFORMAZIONE DELLA ENERGIA POTENZIALE IN ENERGIA CINETICA (FLUSSO IDRAULICO MASSIMO). CIO' SI VERIFICA IN ADIACENZA AL DRENO

SI HA SOVRAPPRESSIONE MASSIMA
IN CORRISPONDENZA DELLE SUPERFICI IMPERMEABILI O DI SIMMETRIA DEL MODELLO IDRAULICO DEL SISTEMA (FLUSSO IDRAULICO NULLO) CIO' SI VERIFICA ALLA DISTANZA DI INFLUENZA DEL DRENO (raggio equivalente del cilindro di terreno $r_e = d_e/2$)

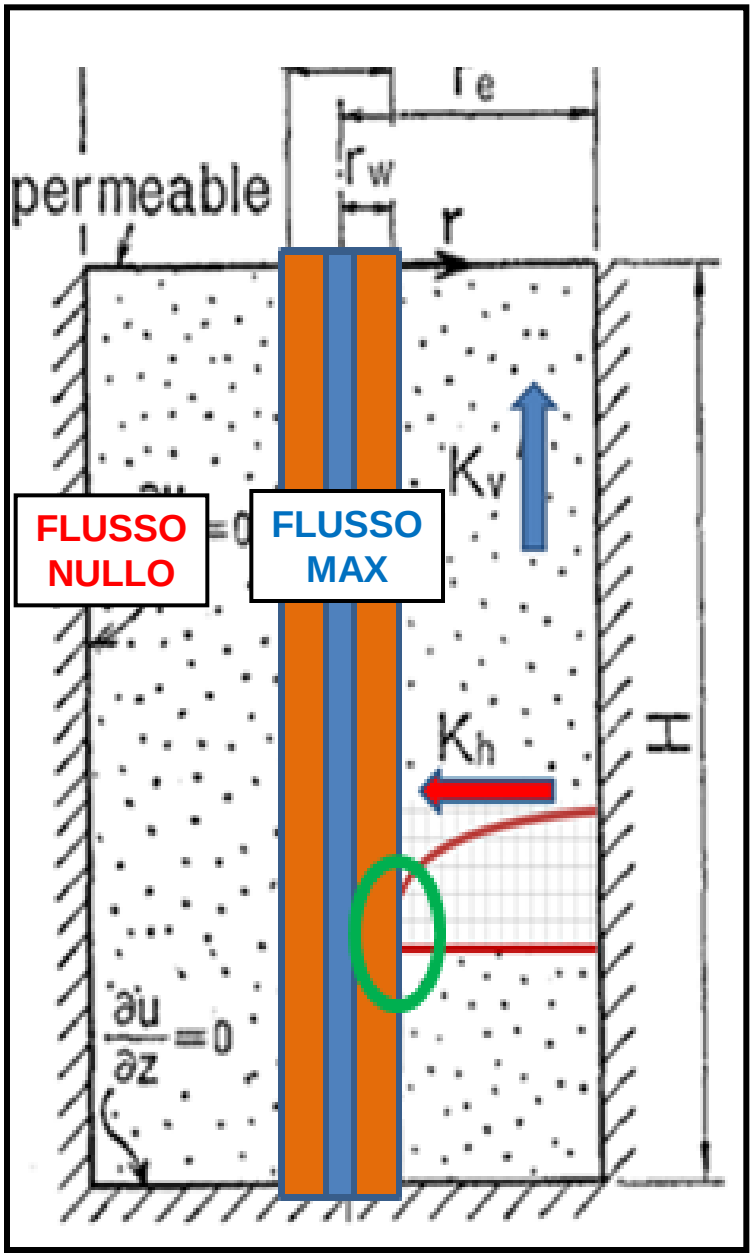
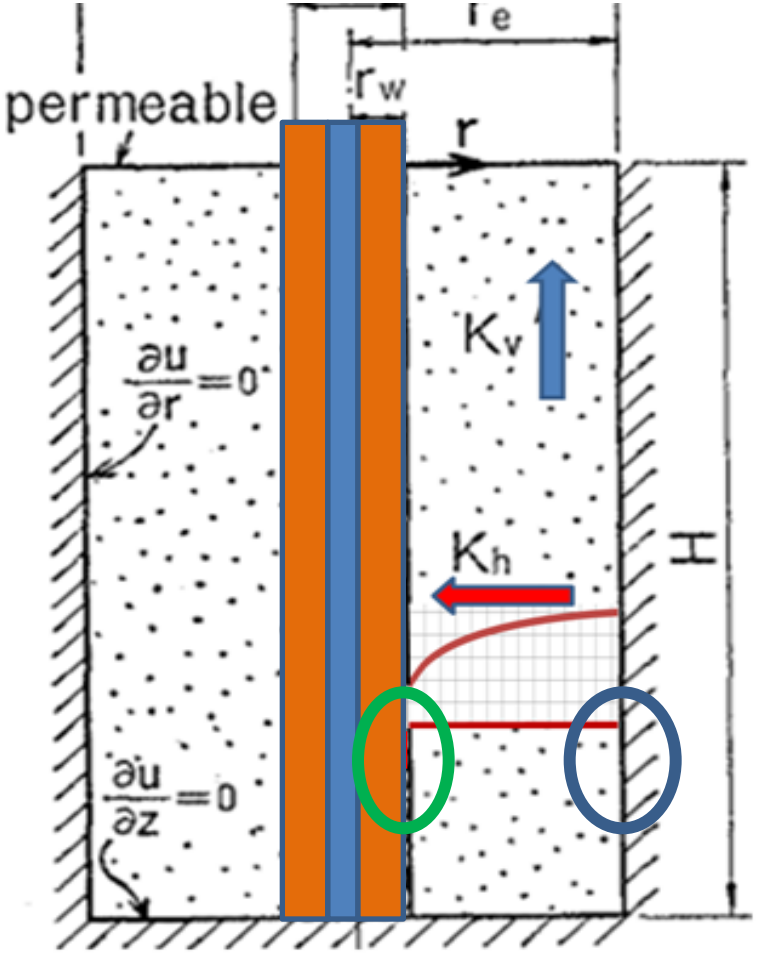
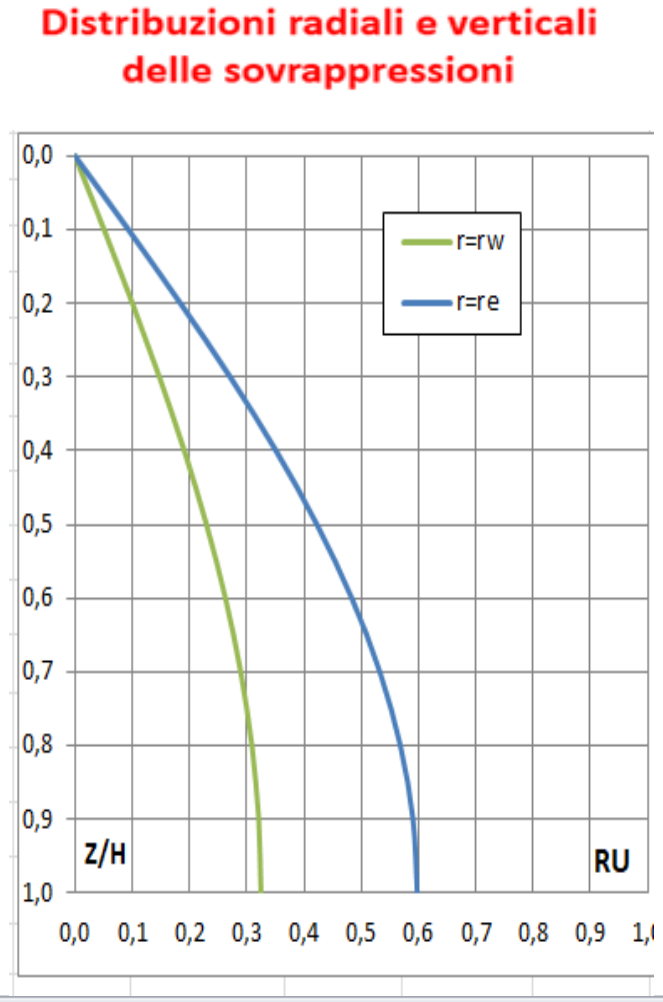


GRAFICO DELLA DISTRIBUZIONE RADIALE E VERTICALE DELLE SOVRAPPRESSIONI CON RESISTENZA IDRAULICA DEL DRENO Lw

r_w = raggio equivalente dei dreni **r_e = raggio equivalente del cilindro di terreno dei dreni**





CALCOLO DELL'EFFICIENZA DEI DRENI

RAPPORTO DI SOVRAPPRESSIONE

$$r_u = \Delta u / \sigma'_{vo}$$

RESISTENZA ALLA LIQUEFAZIONE

$$CRR_{post} = K_{drain} \cdot CRR_{ante}$$

CRR_{post} = Resistenza ciclica a taglio del terreno con i dreni (post)
CRR_{ante} = Resistenza ciclica a taglio del terreno senza dreni (ante)

$$K_{drain} = (1-r_{u,post}) / (1- r_{u,ante})$$

K_{drain}: Coefficiente di incremento della resistenza ciclica a taglio del terreno a seguito dei dreni (da 1.3 a 1.5)

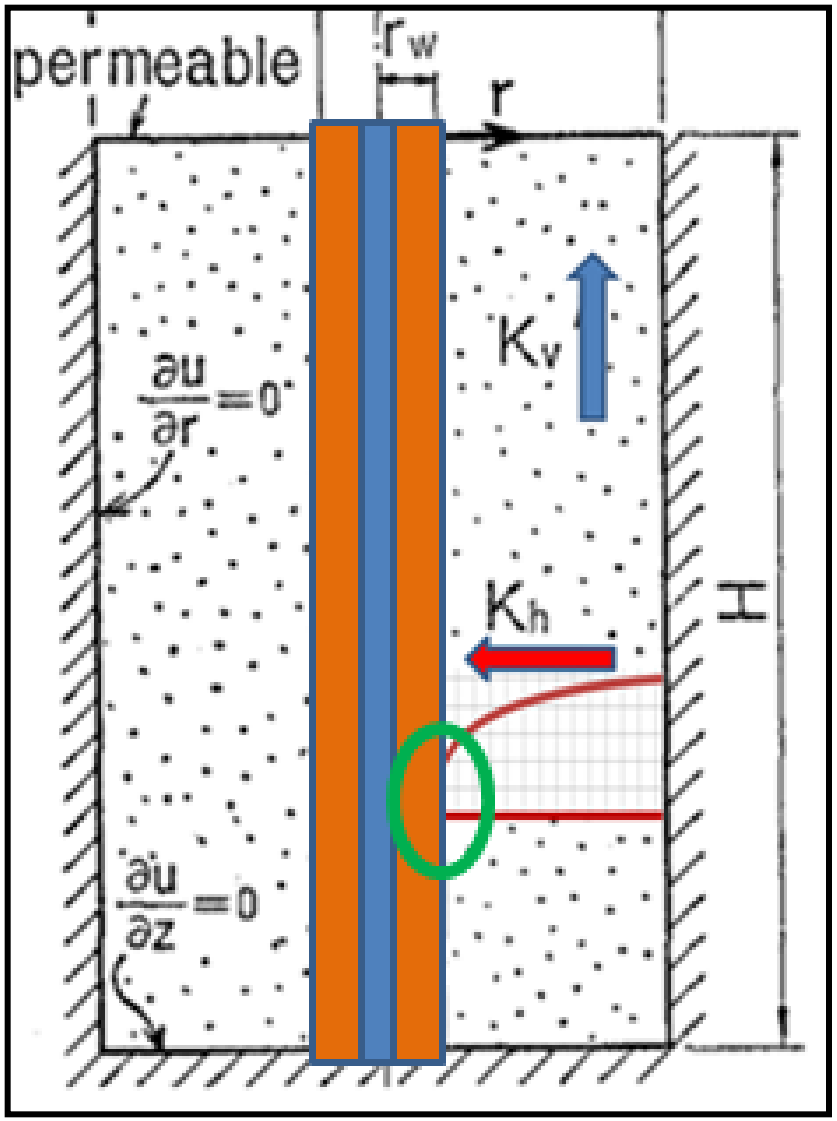
EFFICIENZA DEI DRENI A NASTRO

$$K_{drain} = CRR_{post} / CRR_{ante}$$

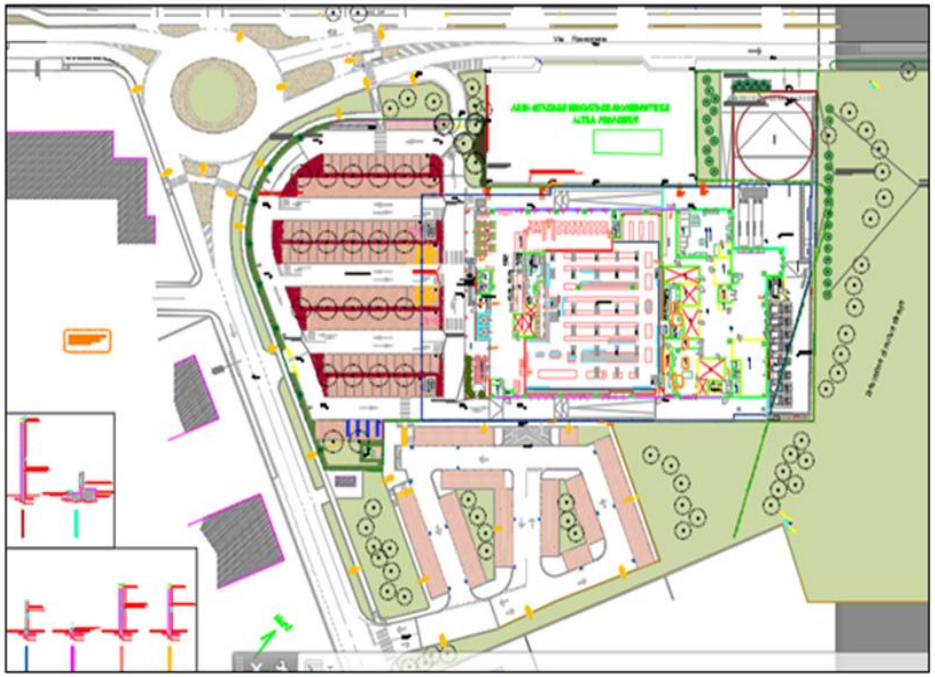
$$K_{drain} = (1 - r_{u,post}) / (1 - r_{u,ante})$$

$$K_{drain,d} = K_{drain} / \gamma_R$$

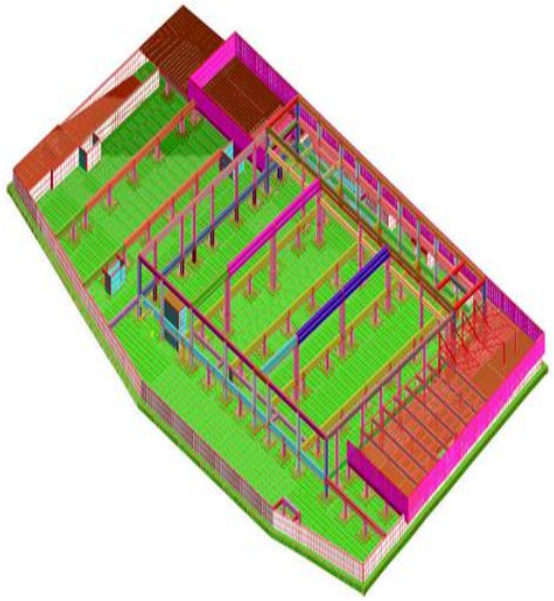
con $\gamma_R = 1.4$ (*NTC 2018 "Verifiche in c.n.d."*)



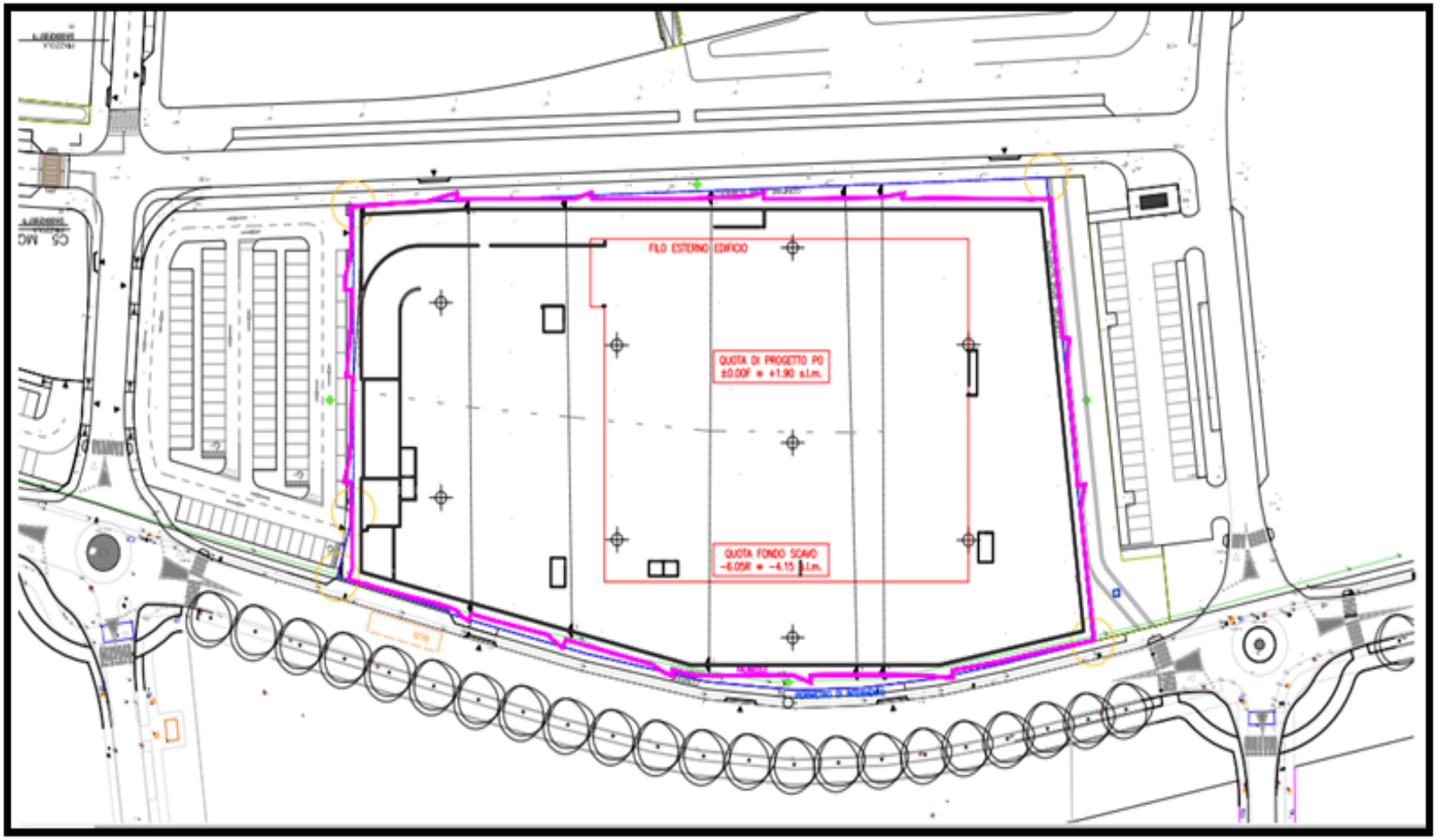
DRENI A NASTRO PREFABBRICATI
PROGETTAZIONE PER CENTRO COMMERCIALE TERZIARIO a Ravenna



Modello strutturale



PLANIMETRIA
150 m x 92 m



PARAMETRI SISMICI DELLA COSTRUZIONE

Vita nominale V_N = 50 anni

Classe d'uso C_U = III

Periodo di riferimento V_R = 75 anni

($V_R = C_U \, V_N = 1.50 \times 50 = 75$ anni)

Periodo di ritorno del sisma (SLV) T_R= 712 anni

Categoria stratigrafica del terreno = C

(con $V_{s,eq} = 190 \div 195$ m/sec >180 m/sec)

Accelerazione al suolo

$a_{gmax} = a_g \, S_S = 0.267$ g (NTC 2018)

(con $a_g = 0.1896$ g e $S_S = 1.410$)

Magnitudo della zona sismogenetica $M_w = 6.14$

INTERVENTO DI MITIGAZIONE
CON DRENI A NASTRO

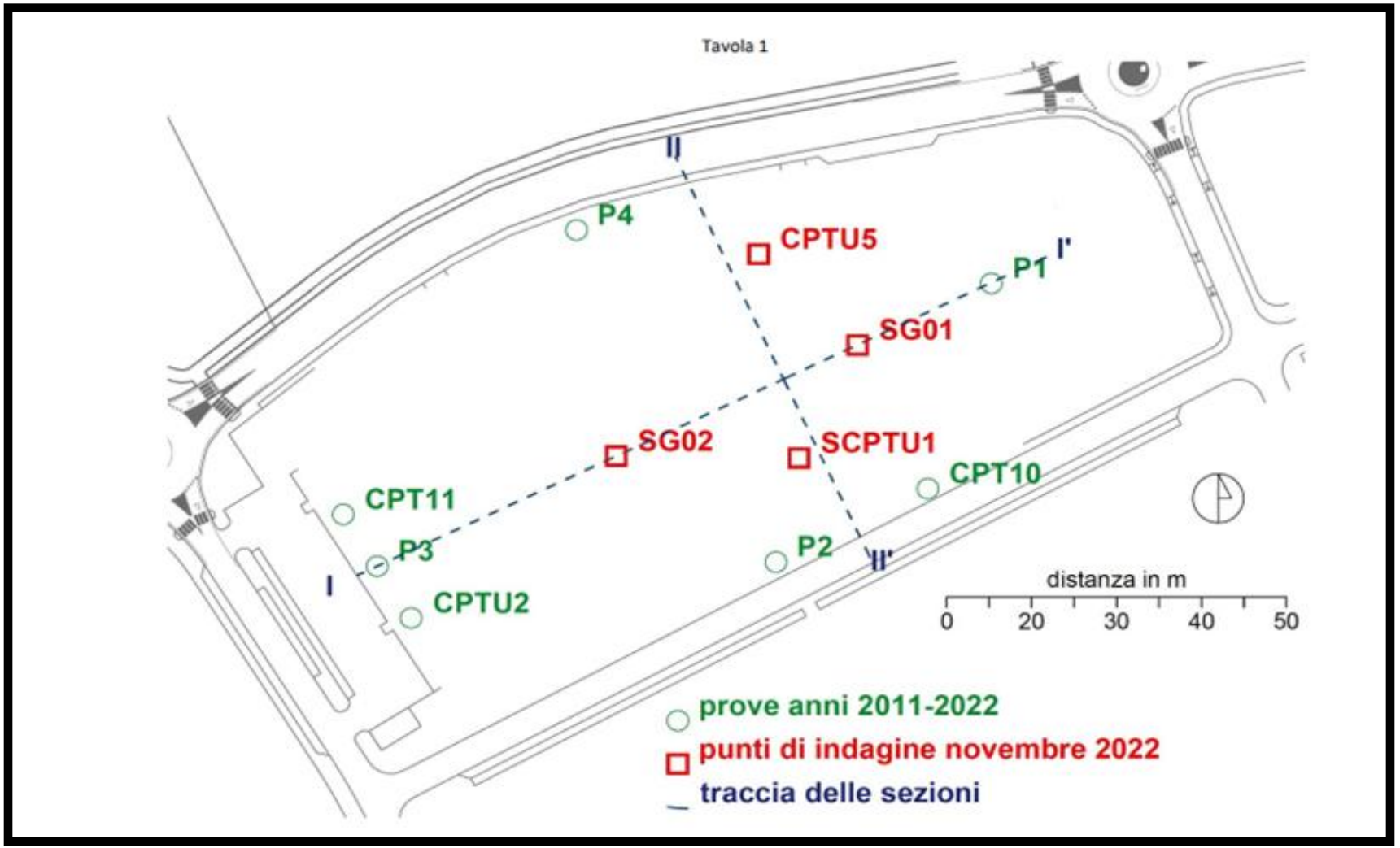
FINALITA’

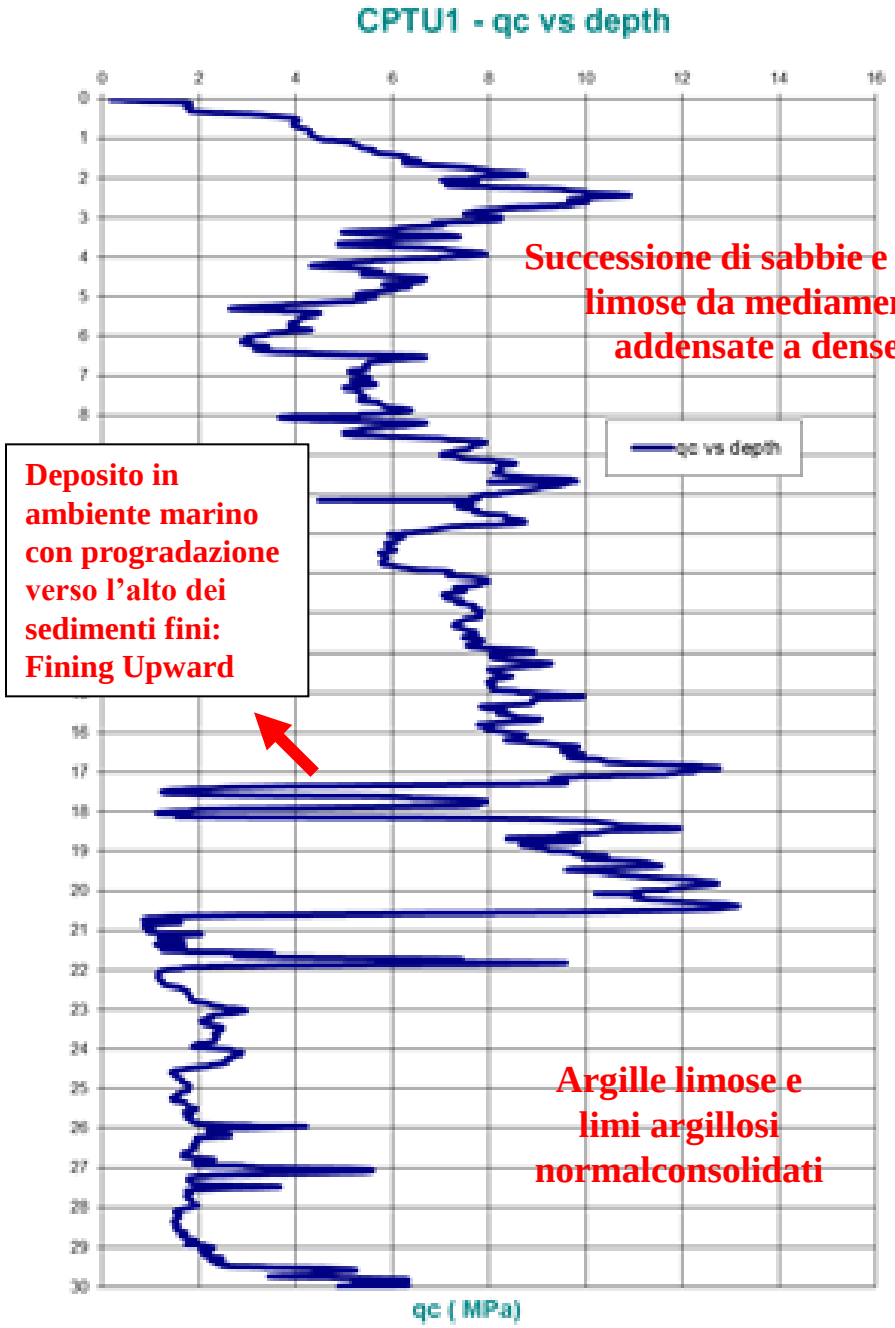
RIDURRE LE SOVRAPPRESSIONI Δu
IN FASE SISMICA NELLE SABBIE

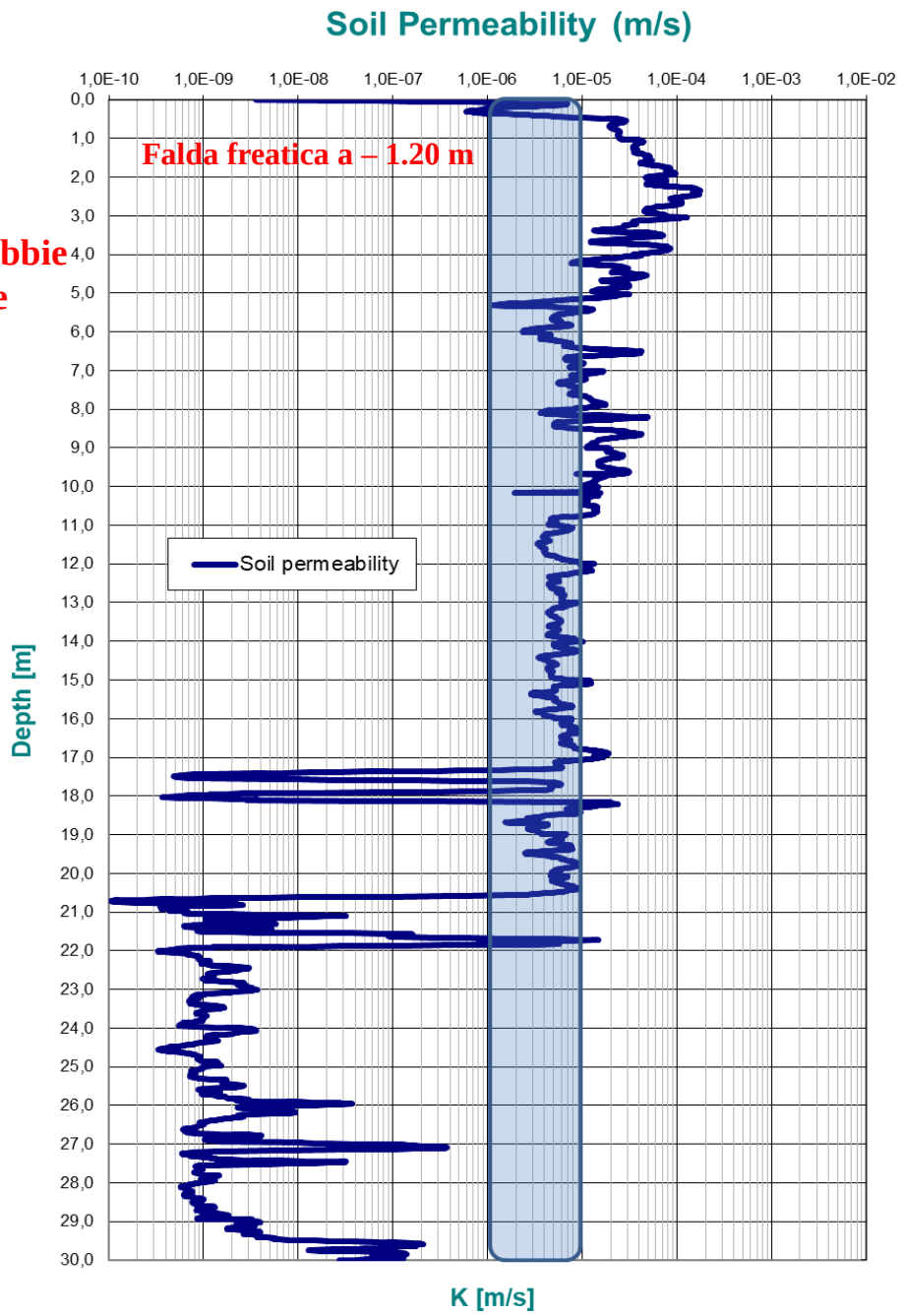
$$\tau_R = (\sigma'_{VO} - \Delta u)\cdot \tan\phi$$

ACCELERARE LA DISSIPAZIONE POST-SISMA
DELLE PRESSIONI RESIDUE Δu NELLE ARGILLE
PER RIPRISTINARE LA RESISTENZA A TAGLIO

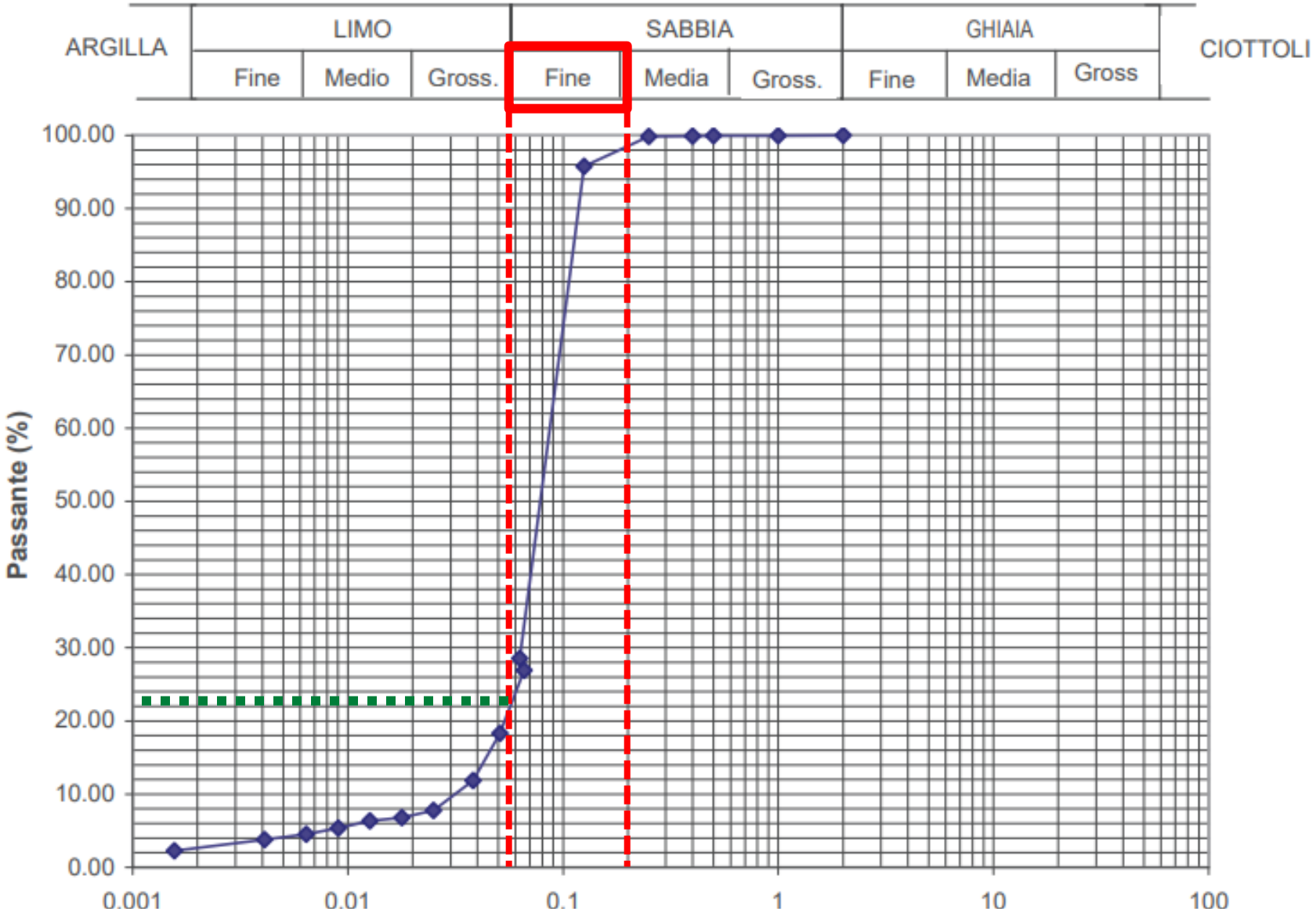
UBICAZIONE
PROVE CPTU E SONDAGGI



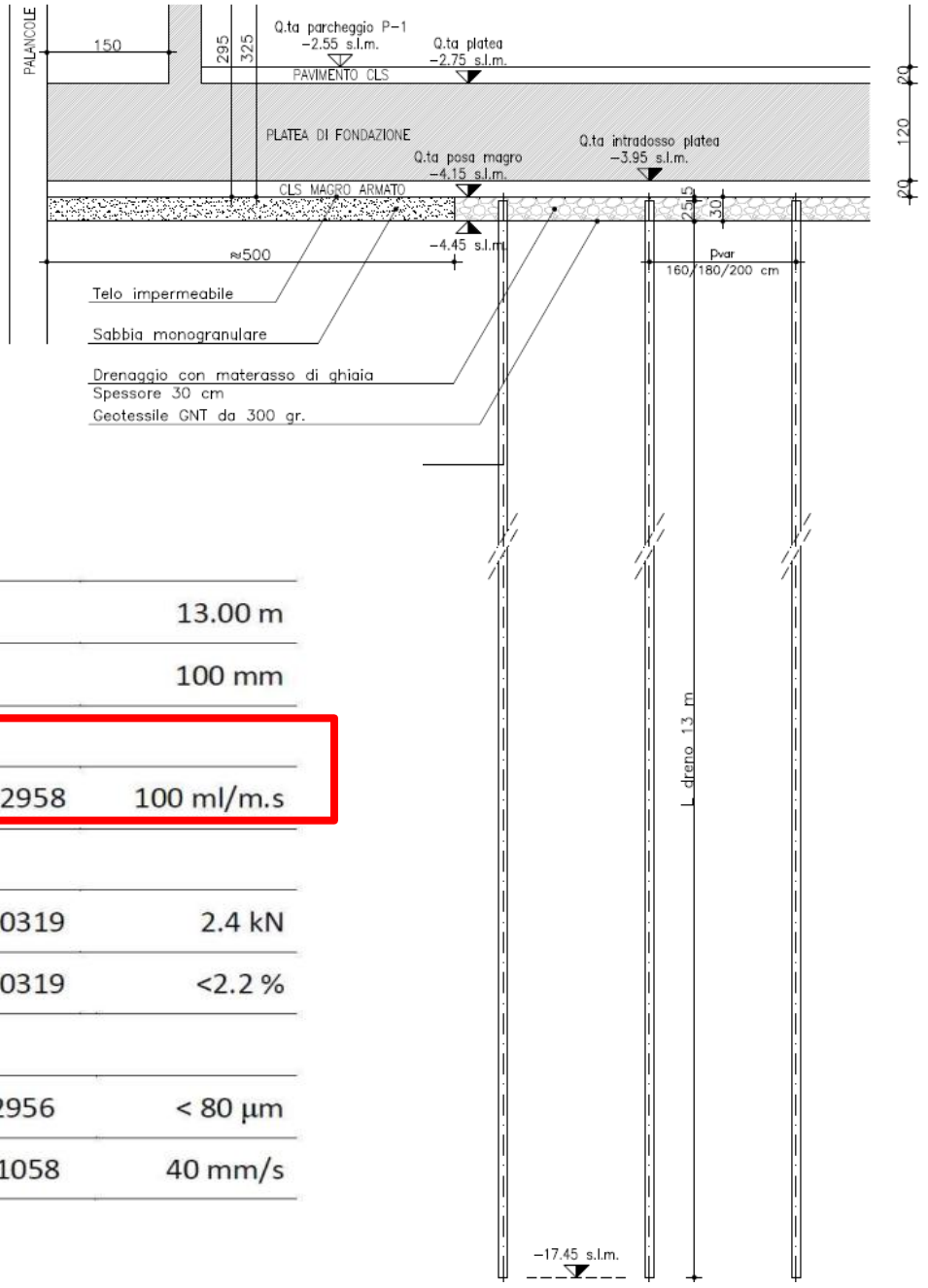

CPTU1 - qc vs depth
qc vs depth
qc (MPa)
Successione di sabbie e sabbie limose da mediamente addensate a dense.
Deposito in ambiente marino con progradazione verso l'alto dei sedimenti fini: Fining Upward
Argille limose e limi argillosi normalconsolidati


Soil Permeability (m/s)
Falda freatica a – 1.20 m
Soil permeability
Depth [m]
K [m/s]

Granulometria campione di sabbia limosa H=6.50 m



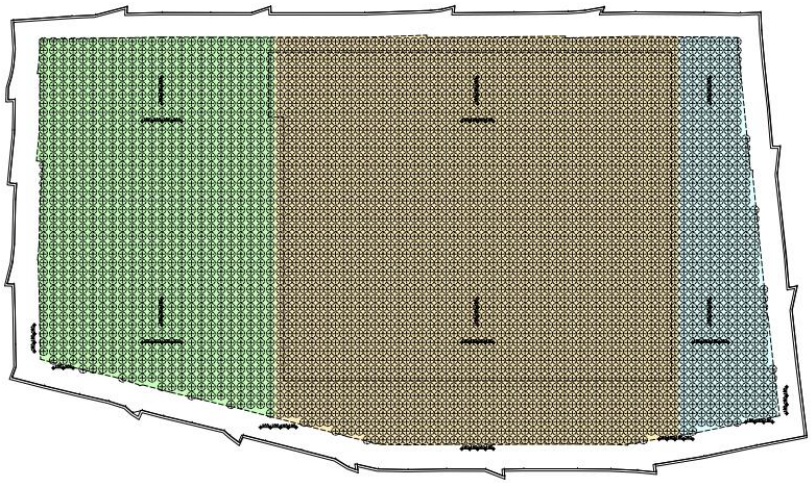
CARATTERISTICHE MECCANICHE ED IDRAULICHE DEI DRENI A NASTRO VERTICALI PREFABBRICATI



CARATTERISTICHE DEI DRENI

Caratteristiche geometriche del dreno		
Lunghezza		13.00 m
Larghezza		100 mm
Caratteristiche idrauliche del dreno		
Capacità di deflusso nel piano q(200,0.1)	EN ISO 12958	100 ml/m.s
Caratteristiche meccaniche del dreno		
Resistenza a trazione	EN ISO 10319	2.4 kN
Allungamento a 1.0 kN	EN ISO 10319	<2.2 %
Caratteristiche idrauliche del filtro		
Dimensione della maglia del filtro O^{90}	EN ISO 12956	< 80 µm
Coefficiente di permeabilità del filtro	EN ISO 11058	40 mm/s

SCHEMA DI DISPOSIZIONE DEI DRENI A NASTRO per 11387 m^2



Legenda

3658 DRENI A NASTRO PREFABBRICATI

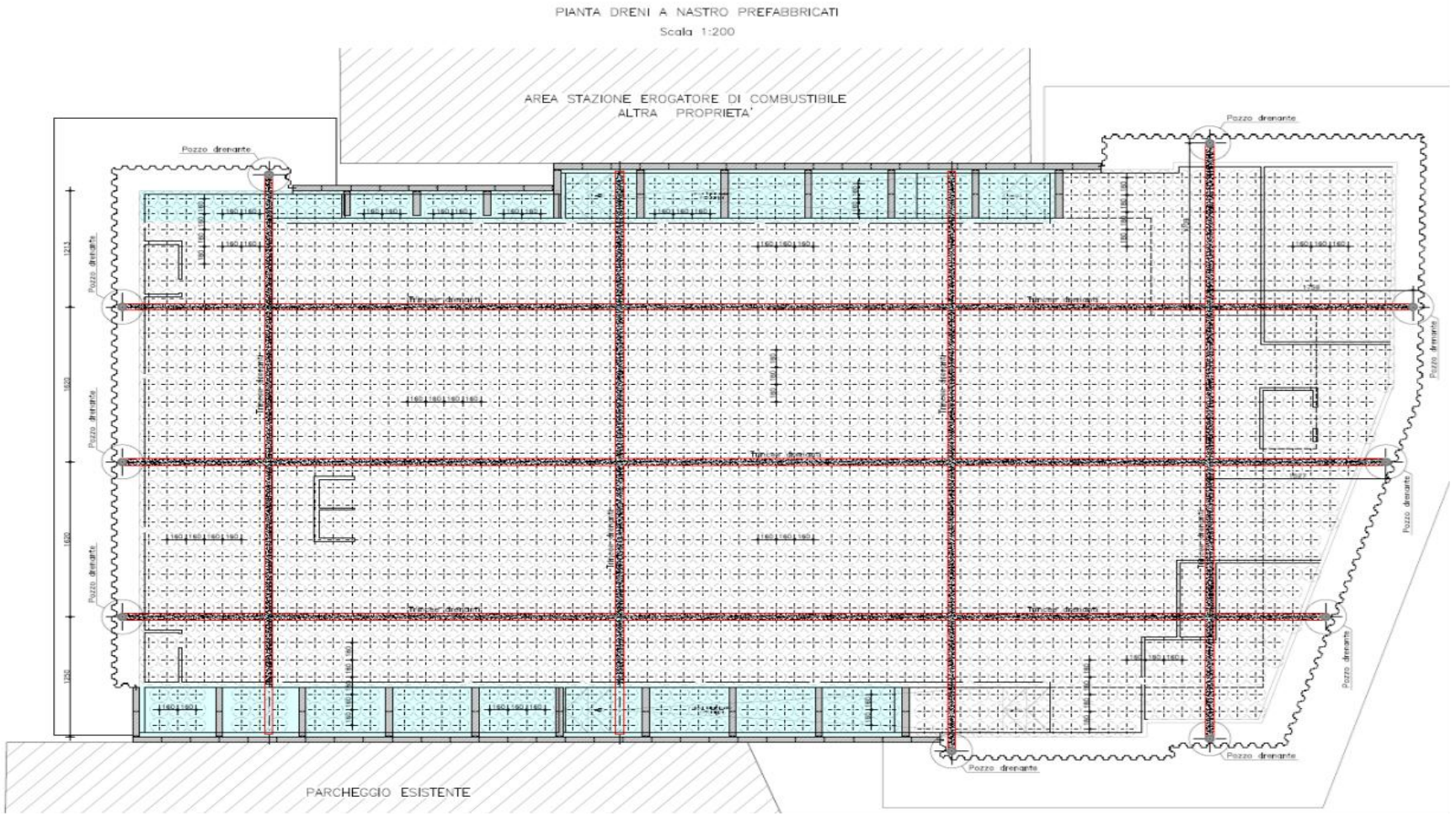
Passo dei dreni in direzione trasversale p=180 cm

Area con passo dei dreni in direzione longitudinale p=200 cm

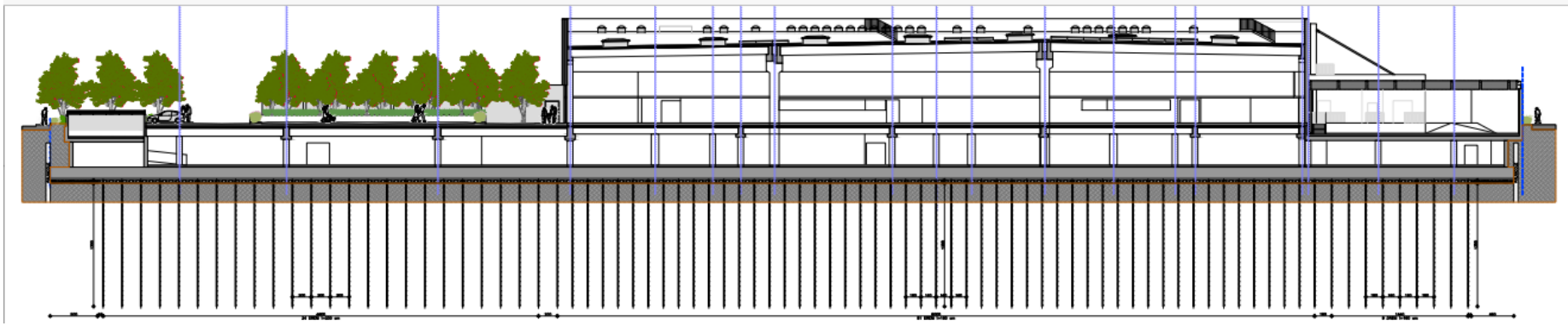
Area con passo dei dreni in direzione longitudinale p=160 cm

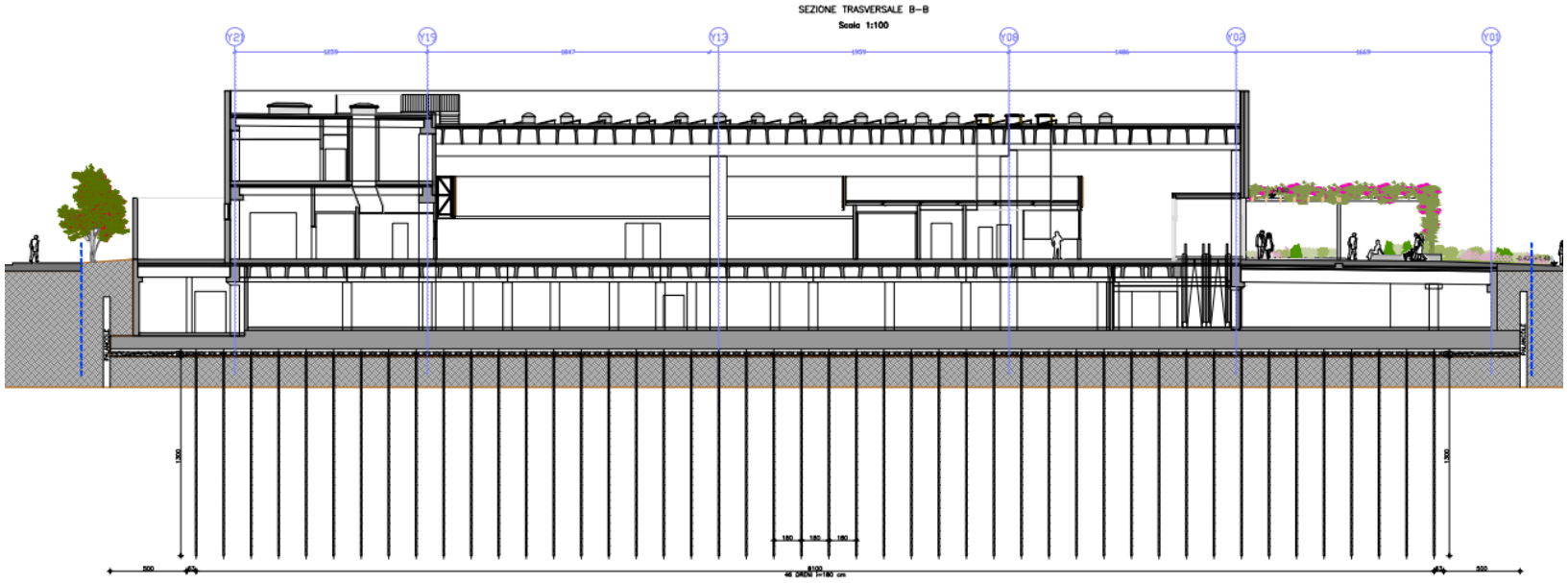
Area con passo dei dreni in direzione longitudinale p=180 cm

PIANTA DEI DRENI A NASTRO
E DELLA RETE DRENANTE

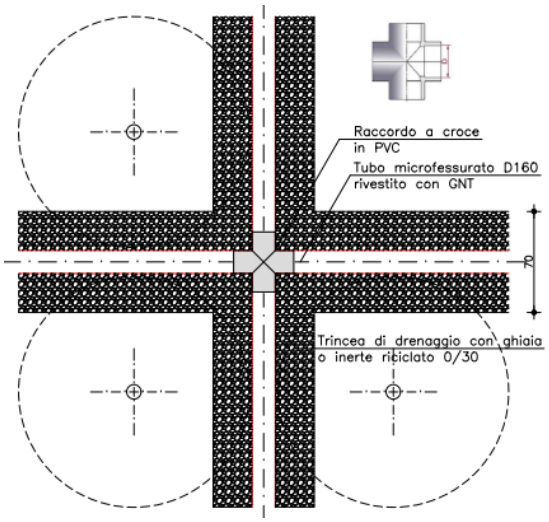


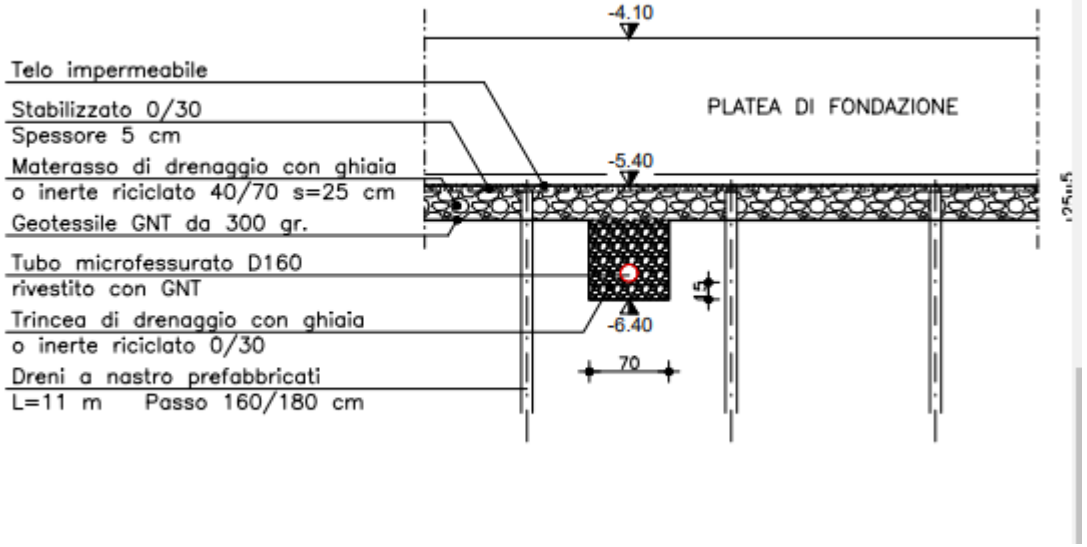
SEZIONI LONGITUDINALI CON INSTALLAZIONE DEI DRENI A NASTRO VERTICALI

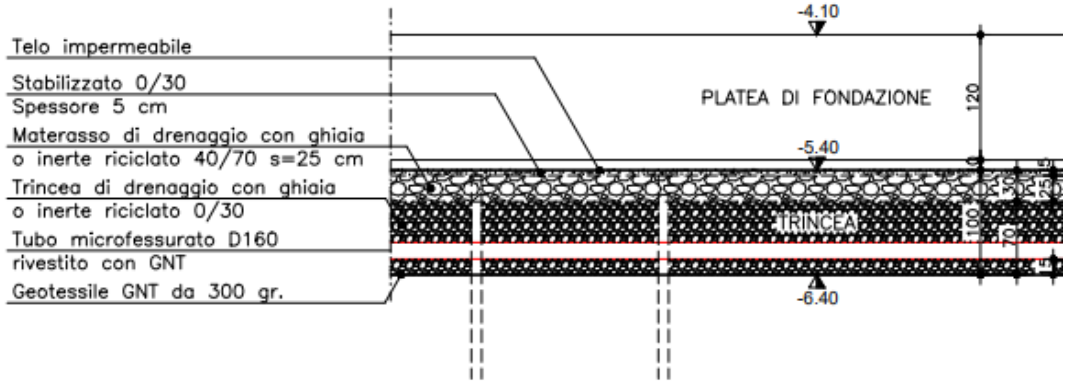




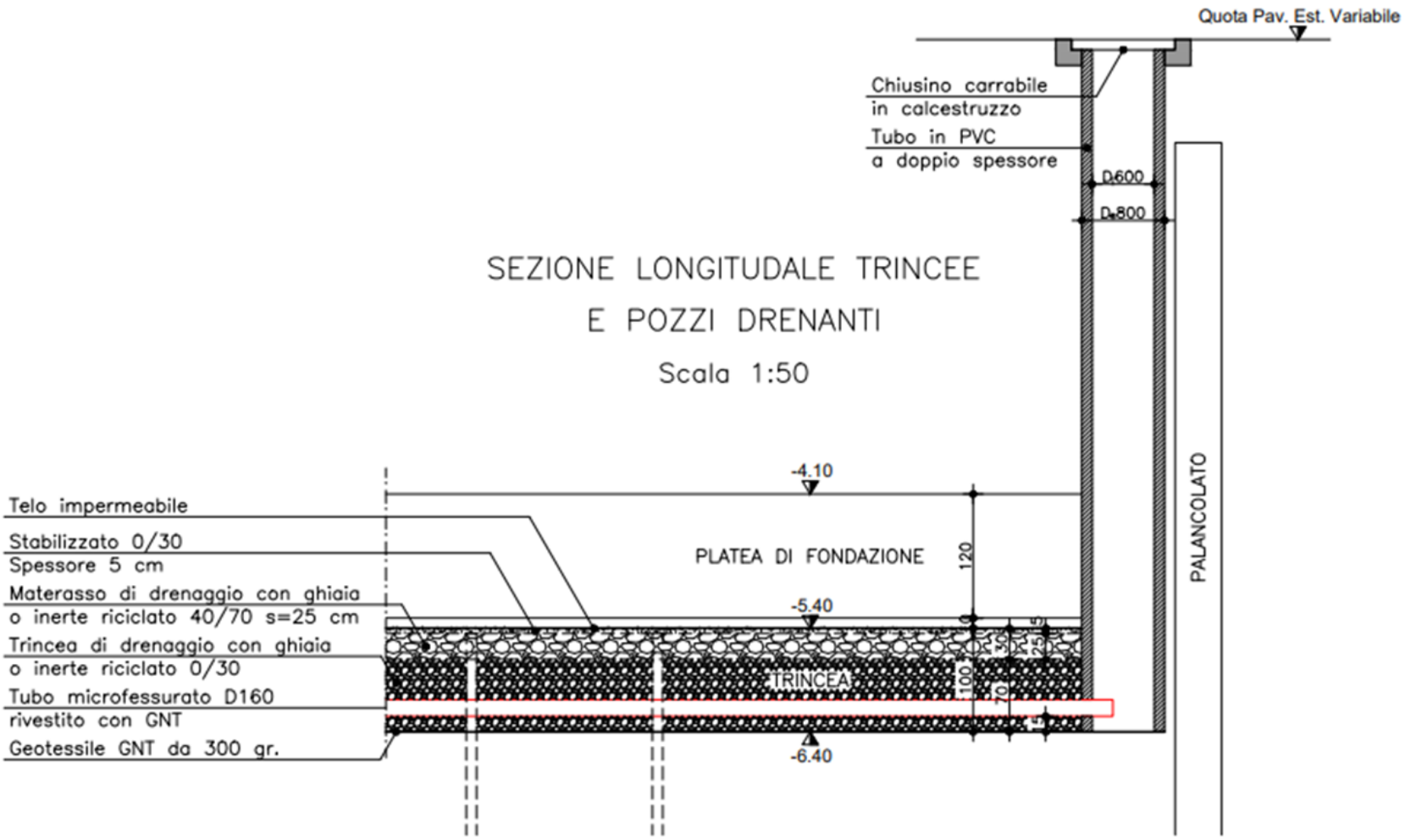
PARTICOLARI COSTRUTTIVI SISTEMA DRENANTE







POZZI DI EQUALIZZAZIONE



BOBINE DEI DRENI A NASTRO



IMPIANTO WELL POINT



TESSUTO NONTESSUTO DI SEPARAZIONE E FILTRO TRA TERRENO E MATERASSO DRENANTE



VISTA DI INSIEME DEL CANTIERE




FASE DI INFISSIONE
DEI DRENI A NASTRO
PMI
930B
VENDRAME


VENDRAME
bobina


maglio
mandrino


piastrina di fondo
dreno

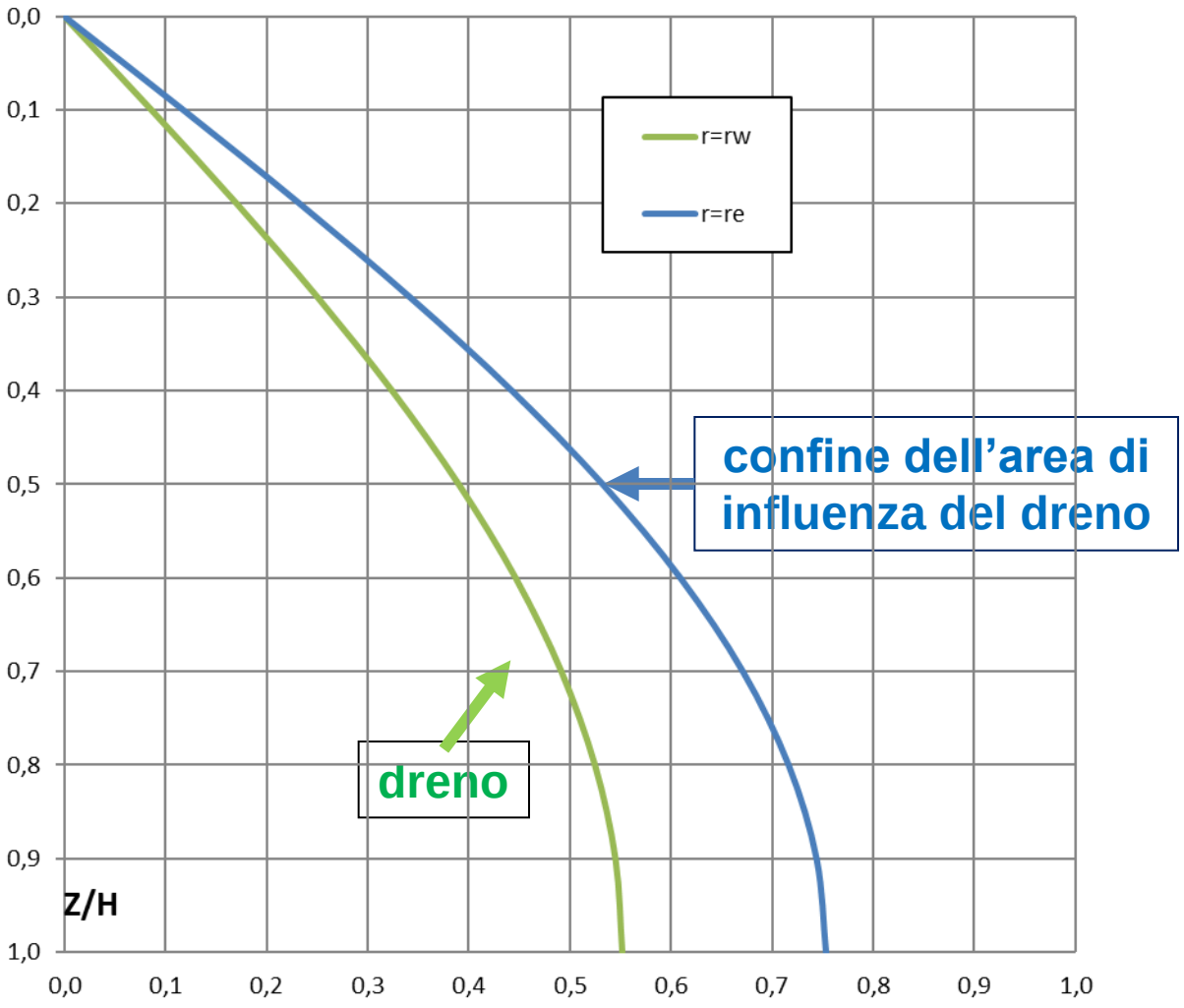


Prove (Norma)		Unità	P20	P30	P40	P50
Materia prima / Tipo di filamenti		–	100% polipropilene, stabil			
Resistenza a trazione (EN ISO 10319)	long. / trasv.	kN/m	16 / 16	21 / 21	27 / 27	36 / 36
Allungamento (EN ISO 10319)	long. / trasv.	%	80 / 68	80 / 70	85 / 70	85 / 70
Resistenza al 10% (EN ISO 10319) nella direzione con trazione inferiore		kN/m	3,5	5,0	7,0	8,0
CBR resistenza al punzonamento (EN ISO 12236)		kN	2,4	3,5	4,7	5,8
Test a caduta (Ø del foro) (EN ISO 13433)		mm	20	15	11	9
Efficienza di Protezione (EN 13719 – Deformazione a 300 kPa)		%	2,3	2	1,8	1,6
Resistenza al punzonamento piramidale (EN 14574)		kN	0,20	0,30	0,45	0,55
Apertura dei pori O_{90} (EN ISO 12956)		µm	110	90	85	95
Permeabilità verticale (EN ISO 11058) Ab = 50 mm		l/m²s (mm/s)	90	80	55	45
Permeabilità all'acqua nel piano (EN ISO 12958)	20 kPa	10^{-4} m²/s	1,5	2,6	3,9	5,5
	100 kPa	10^{-4} m²/s	0,4	0,66	1,1	1,6
Res. alle cond. atmosferiche (EN 12224) Resistenza residua		%	> 90	> 90	> 90	> 90
Resistenza chimica (EN 14030, metodo A) Resistenza residua		%	100	100	100	100
Resist. ai microorganismi (EN 12225) Resistenza residua		%	100	100	100	100
Spessore (EN ISO 9863-1)	2 kPa	mm	2,0	3,0	3,4	4,5
Massa areica (EN ISO 9864)		g/m²	205	300	400	500

TESSUTO NON TESSUTO (GNT) DI SEPARAZIONE E DI FILTRO TRA TERRENO E STRATO DRENANTE IN GHIIAIA


Geotessuto di separazione
Materasso drenante in ghiaia con
sigillatura superficiale in stabilizzato

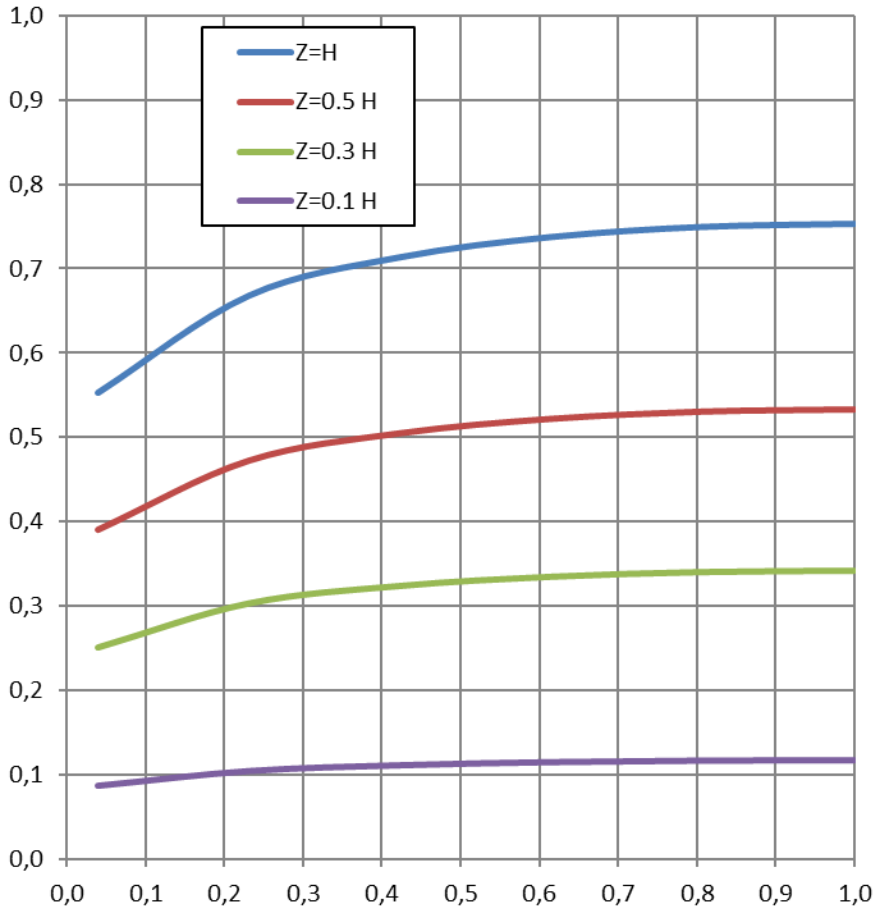
Distribuzione verticale delle sovrappressioni



r_u = rapporto di sovrappressione

Distribuzione radiale delle sovrappressioni

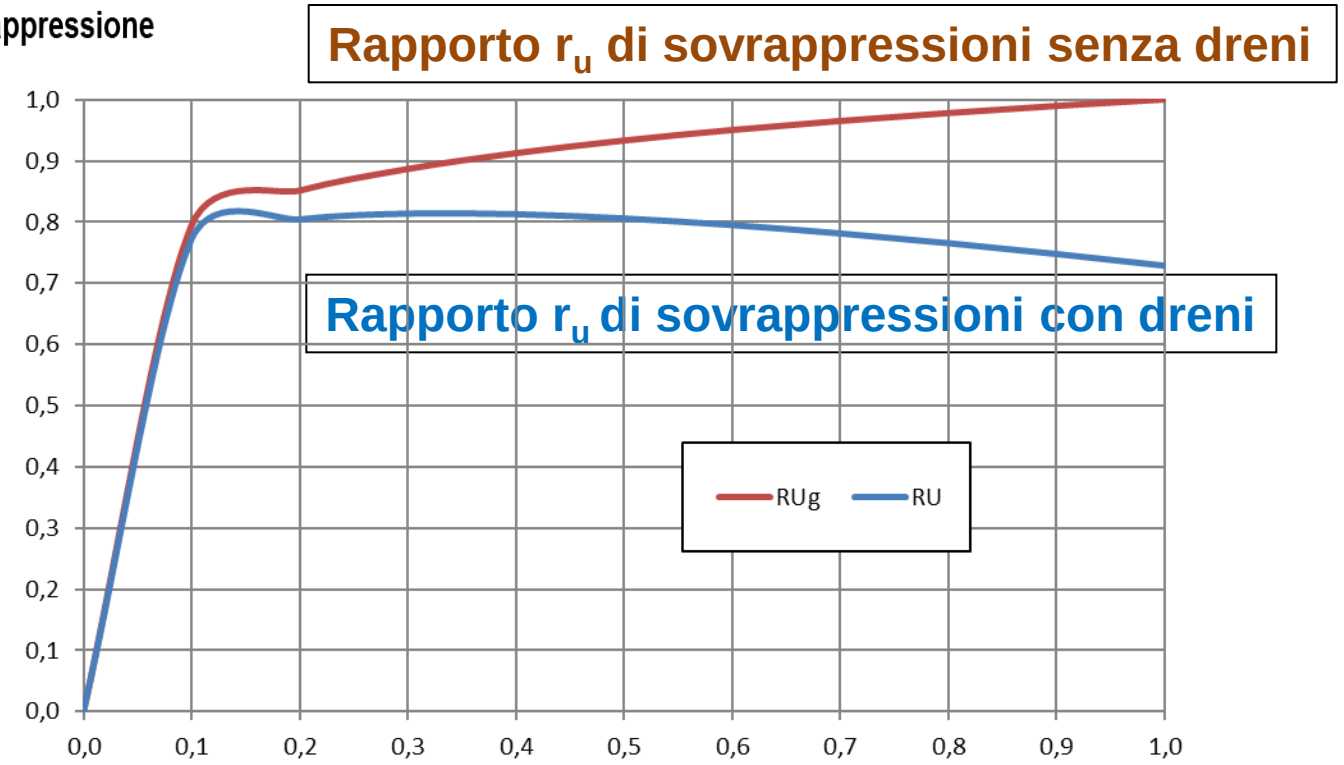
r_u = rapporto di sovrappressione



r /r_e = raggio / raggio equivalente del cilindro di terreno

Decorso nel tempo delle sovrappressioni indotte dal sisma

r_u = rapporto di sovrappressione



N/ N_L = numero di cicli / numero di cicli a liquefazione

RISULTATI ELABORAZIONI NUMERICHE
Distribuzione delle sovrappressioni Ru = $\Delta u / \sigma'_{vo}$
in direzione radiale e verticale con dreni

VALORI DEL RAPPORTO DI SOVRAPPRESSIONE RU_{max} $(N=N_L)$									Coord. Normalizzate	
Z			R (m)				Z	R_{umed}	Z/H	R/Re
(m)	0,070	0,236	0,402	0,568	0,734	0,900	(m)	(--)	(-)	(-)
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	**0,000**	0,00	0,04
1,30	0,086	0,104	0,112	0,115	0,117	0,118	1,30	**0,114**	0,10	0,23
2,60	0,171	0,206	0,220	0,228	0,232	0,233	2,60	**0,226**	0,20	0,42
3,90	0,251	0,303	0,324	0,335	0,340	0,342	3,90	**0,332**	0,30	0,62
5,20	0,325	0,392	0,419	0,433	0,440	0,443	5,20	**0,429**	0,40	0,81
6,50	0,390	0,472	0,504	0,521	0,530	0,532	6,50	**0,517**	0,50	1,00
7,80	0,447	0,540	0,577	0,597	0,606	0,609	7,80	**0,591**	0,60	*
9,10	0,492	0,595	0,636	0,657	0,668	0,671	9,10	**0,651**	0,70	*
10,40	0,525	0,635	0,678	0,701	0,713	0,716	10,40	**0,695**	0,80	*
11,70	0,545	0,660	0,705	0,728	0,740	0,744	11,70	**0,721**	0,90	*
13,00	0,552	0,668	0,713	0,737	0,749	0,753	13,00	**0,730**	1,00	*
							R_{umed}	0,501		

CALCOLO EFFICIENZA DEI DRENI

RAPPORTO DI SOVRAPPRESSIONE

$$r_u = \Delta u / \sigma'_{vo}$$

RESISTENZA ALLA LIQUEFAZIONE

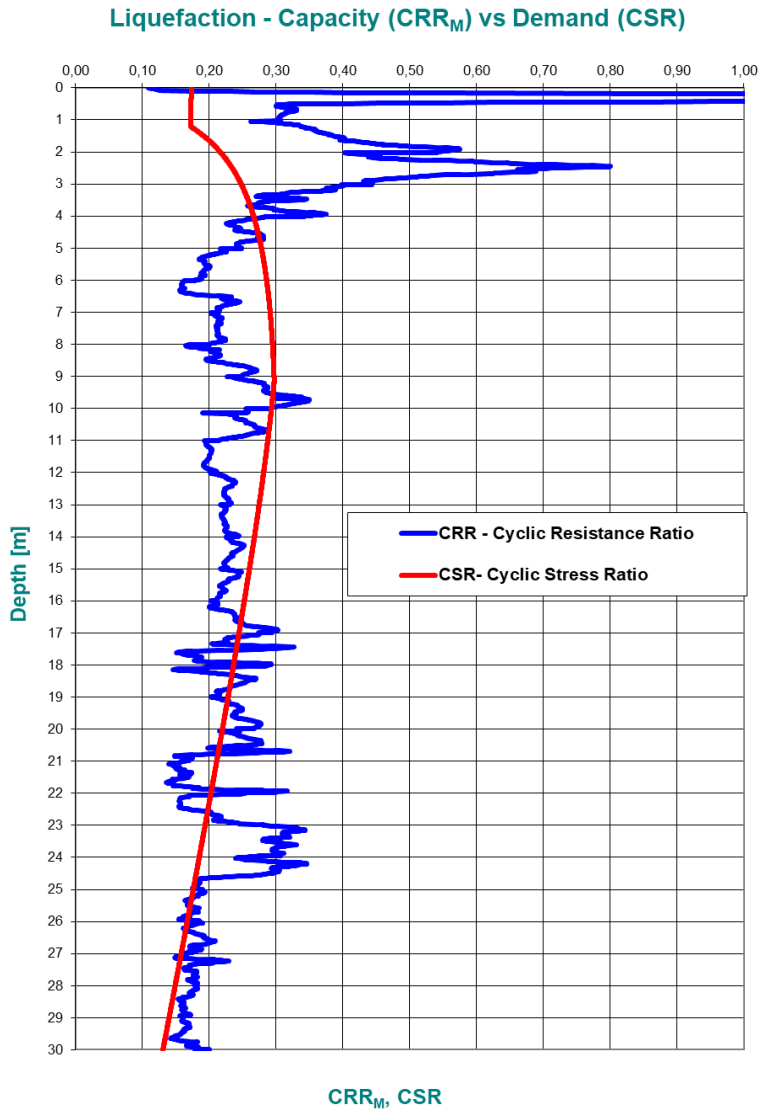
$$CRR_{post} = K_{drain} \cdot CRR_{ante}$$

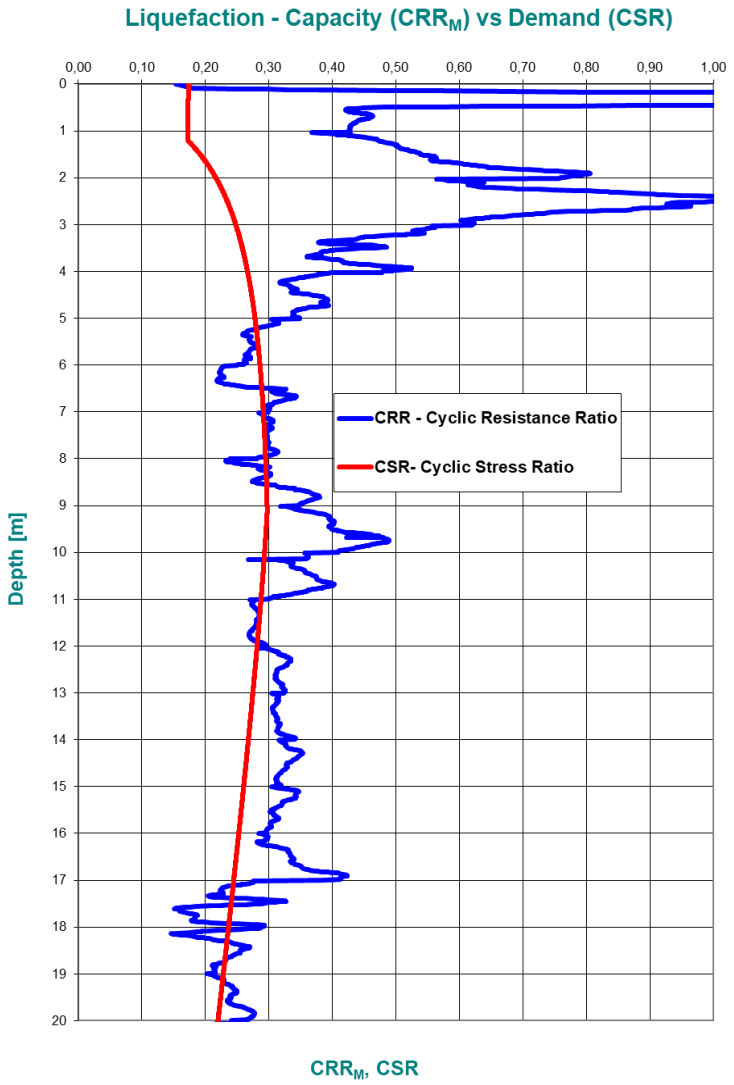
CRR_{post} = Resistenza ciclica a taglio del terreno con i dreni (post)
CRR_{ante} = Resistenza ciclica a taglio del terreno senza dreni (ante)

$$K_{drain} = (1-r_{u,post}) / (1- r_{u,ante})$$

Coefficiente di incremento della resistenza ciclica a taglio
$K_{drain} = 1.33$

CONFRONTO CAPACITA' SISMICA VS DOMANDA SISMICA





CRR_{ante} (capacità sismica ante) vs CSR (domanda sismica)
(a_{max} = 0.267 g - Mw = 6.14)
Soluzione senza dreni

CRR_{post} (capacità sismica post) vs CSR (domanda sismica)
(a_{max} = 0.267 g - Mw = 6.14)
Soluzione con dreni a nastro prefabbricati

RIEPILOGO VERIFICHE A LIQUEFAZIONE

Magnitudo = 6.14 – Accelerazione max in superficie = 0.267 g

Stato di drenaggio del terreno	Indice del Potenziale di Liquefazione		
	CPTU1	CPTU5	MAX
senza dreni	12.69	13.52	13.52
con dreni (K_{dr}=1.33)	2.61	2.42	2.42

CRITERIO DI VALUTAZIONE

LPI	*Pericolosità di liquefazione*
0	Nulla
0 ÷ 2	Bassa
2 ÷ 5	Moderata
5 ÷ 15	Alta
> 15	Molto alta

Probabilità di Liquefazione

Magnitudo	ag=0.267 g
M_W	6.14
PL	7.0%

Valori di PL	Classe	Probabilità di liquefazione
0,85 ≤ PL < 1,00	5	Liquefazione quasi certa
0,65 ≤ PL < 0,85	4	Liquefazione probabile
0,35 ≤ PL < 0,65	3	Liquefazione incerta
0,15 ≤ PL < 0,35	2	Liquefazione improbabile
0,00 ≤ PL < 0,15	1	Non liquefazione quasi certa

La vulnerabilità sismica può essere anche stimata in termini probabilistici in funzione dell'Indice del Potenziale di Liquefazione. A tal proposito si può fare riferimento alla relazione seguente:

PL = 1 / [1+exp(-(-3.092+0,218*LPI))]

che permette di stimare la Probabilità di Liquefazione (PL), formula che nel caso in esame restituisce per la prova CPTU5:

PL = 0.464 = 46.4 % senza dreni (LPI = 13.52)
PL = 0.071 = 7.1 % con dreni (LPI = 2.42)

CONCLUSIONI

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Nello studio dei problemi riguardanti i terreni l'ingegnere, trovandosi al cospetto dello sterminato numero di stati che la natura presenta, spesso complessi e per di più mutevoli nel tempo a causa di fenomeni viscosi e di variabile presenza di acqua, trae grande aiuto dai confronti con casi simili, dalle prove sul posto e in laboratorio, e soprattutto dal senso che è possibile acquisire soltanto attraverso l'esperienza.

Piero Pozzati. " Teoria e Tecnica delle Strutture " ,Vol. 1, Cap. III – "Azioni dovute al terreno " - Ed. UTET - Torino