

IMMOBILIARE SAN PATRIZIO S.R.L.

Corso G. Matteotti , 49 - 10121 Torino (TO)

COMUNE DI CASTELLANZA (VA)

Piano Attuativo Ambito di Trasformazione AT 3A "Ex mostra del tessile"

Titolo elaborato :

Relazione geologica e geotecnica
e progetto di invarianza idraulica ed idrologica

All.to n.

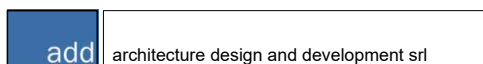
C_06

Revisioni	Controllato	Approvato	Data : <u>Luglio 2021</u>	Scala : _____
			Agg.to : _____	

Concept Design :

Consulenze :

Il Progettista :



via dezza 32
20144 milano
italia
tel +39 02 48193922
fax +39 02 48016628

via per busto 9
21058 solbiate olona (va)
italia
tel +39 0331 677959
fax +39 0331 329306

Visto

Visto

.....

.....

Dott Geologo Michele Salvatore
Ordine dei Geologi della Lombardia n° iscr. 1326
Via Dante Alighieri, 239/b

IMMOBILIARE SAN PATRIZIO S.r.l.
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ GEOLOGICA (ai sensi della DGR 2616/2011) A SUPPORTO
DEL PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI AREA COMMERCIALE SITA IN VIALE BORRI IN
COMUNE DI CASTELLANZA (VA)

Castelseprio, luglio 2021

INDICE

1. Premessa
2. Inquadramento geografico
3. Inquadramento geologico, geomorfologico e idrografico
4. Classe di fattibilità, quadro vincolistico, norme geologiche di piano e Pericolosità Sismica Locale
5. Stato di fatto dell'area di indagine
6. Confronto tra le caratteristiche architettoniche del progetto e il quadro vincolistico dell'area
7. Prima caratterizzazione geotecnica dell'area
 - 7.1 Caratteri litologici e caratteristiche geotecniche desunte dallo Studio Geologico a supporto del PGT di Castellanza
 - 7.2 Caratteristiche geotecniche ricavate da indagine in campo
 - 7.3 Verifica della sicurezza nei confronti degli stati limite ultimi
 - 7.4 Verifica agli stati limite di esercizio – valutazione dei cedimenti dei terreni di fondazione
 - 7.5 Risultati
- 8 Permeabilità del primo sottosuolo
- 9 Acquisizione dei dati di ingresso per la definizione del progetto di invarianza
- 10 Descrizione dell'impianto di raccolta delle acque meteoriche
- 11 Indagini geognostiche suppletive da eseguire in fase esecutiva
- 12 Conclusioni

ALLEGATI:

Grafici e tabelle prove penetrometriche

Ricostruzione stratigrafie da prove penetrometriche

Procedura dettagliata per il calcolo del volume di laminazione (ai sensi del R.R. n. 7 del 23 novembre 2017 e successiva modifica con R.R. n.8 del 19 aprile 2019)

Tavola 1: sistema di stoccaggio e dispersione delle acque meteoriche

1 PREMESSA

Il seguente documento costituisce l'inquadramento geologico e una analisi per verificare la compatibilità geologica del progetto a carattere commerciale, relativo all'ambito di trasformazione di Viale Borri in Comune di Castellanza.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area di indagine, attualmente dismessa, è localizzata a sud ovest del territorio di Castellanza. Provenendo da Legnano lungo la SS33, all'ultima rotonda prima dell'ingresso in Castellanza si prosegue diritto entrando in Viale Borri. Si percorre il sottopasso ferroviario e si prosegue sempre diritto oltre il semaforo. Dopo circa 500 m il sito si trova sulla sinistra. L'area continua lungo Viale Borri ed è delimitata da viale Piemonte (confine Ovest) e da Via Azimonti (confine Sud ed Est) (figura 1).



Figura 1: Sito di interesse delimitato in rosso (immagine tratta da Google Earth)

L'area risulta essere attualmente dismessa con la struttura, rappresentata in figura 1, demolita. La quota altimetrica media è 219 m s.l.m. (figura 2).

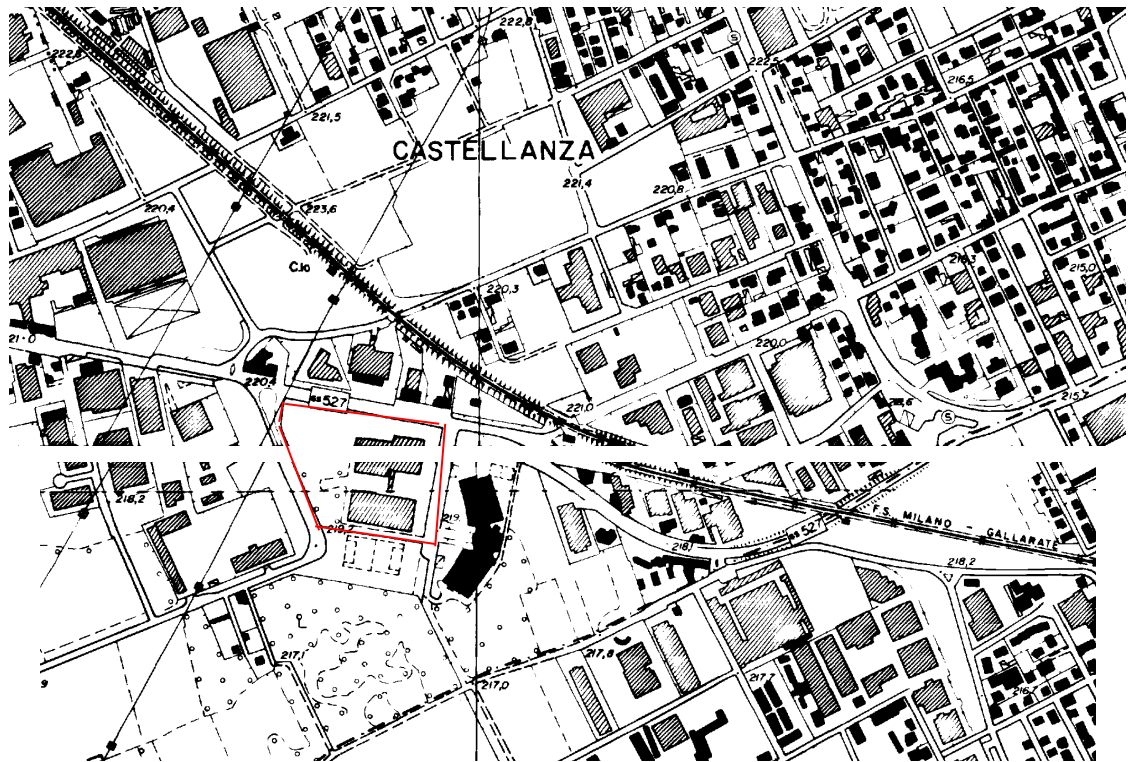


Figura 2: Area di interesse delimitata in rosso su stralcio CTR 1:10000

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGRAFICO

Il terreno sul quale è posizionata l'area di indagine è di origine fluvioglaciale. I depositi, secondo lo Studio Geologico a supporto del PGT di Castellanza, sono per la maggior parte costituiti da Sabbie limose e Ghiaie a supporto di matrice sabbioso-limosa. Nelle vicinanze dell'area di interesse, zona Esselunga, sono stati eseguiti tre sondaggi a carotaggio che hanno evidenziato una litologia composta in prevalenza da Ghiaia, ghiaietto e Ciottoli in matrice sabbioso-limosa (figura 3 e 4).

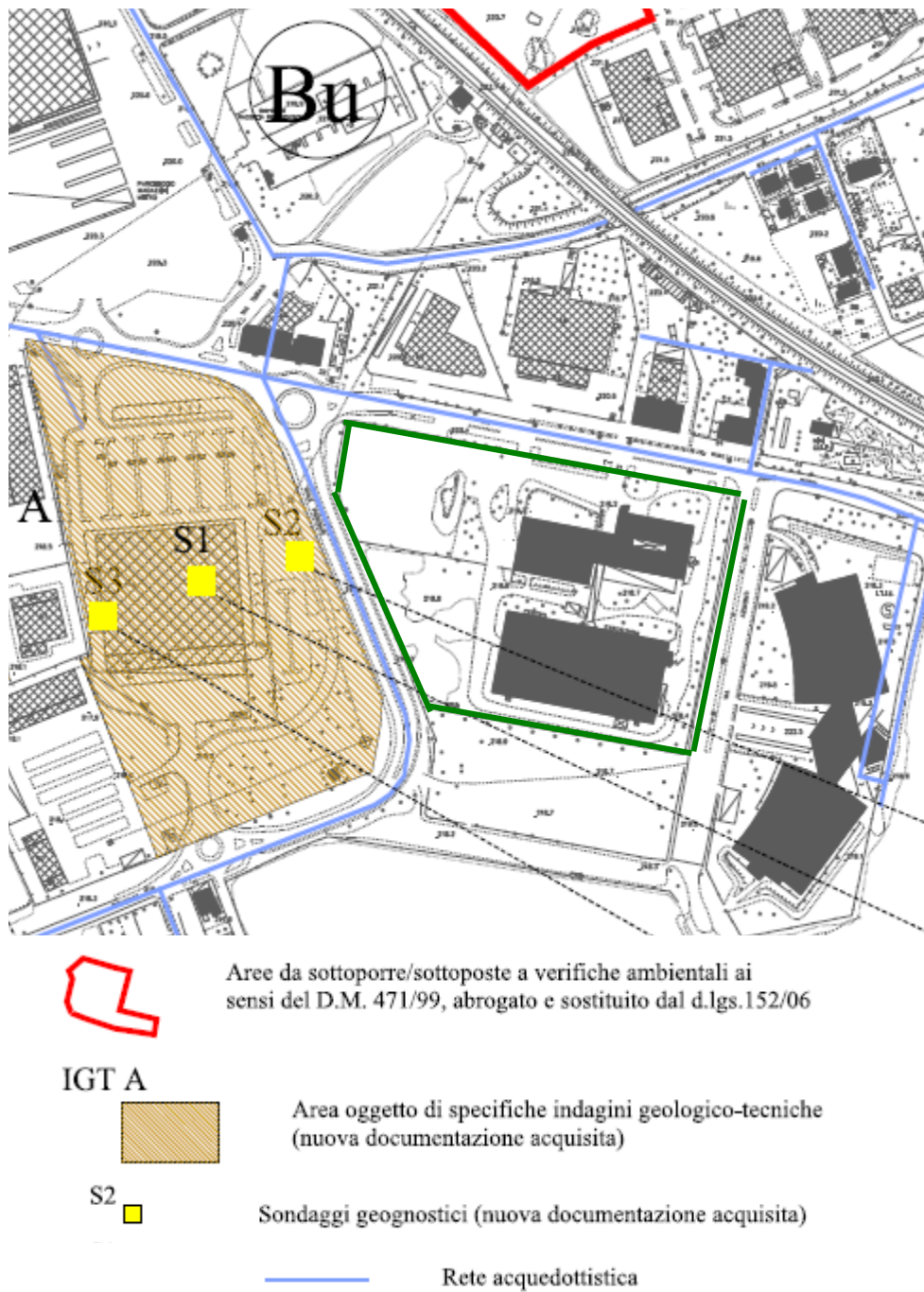


Figura 3: estratto dell'allegato n.1 (Caratteri Geologico Tecnici) allo studio Geologico a supporto del PGT di Castellanza con area di interesse delimitata in verde (Arethusa – aprile 2008 -scala 1:5000).

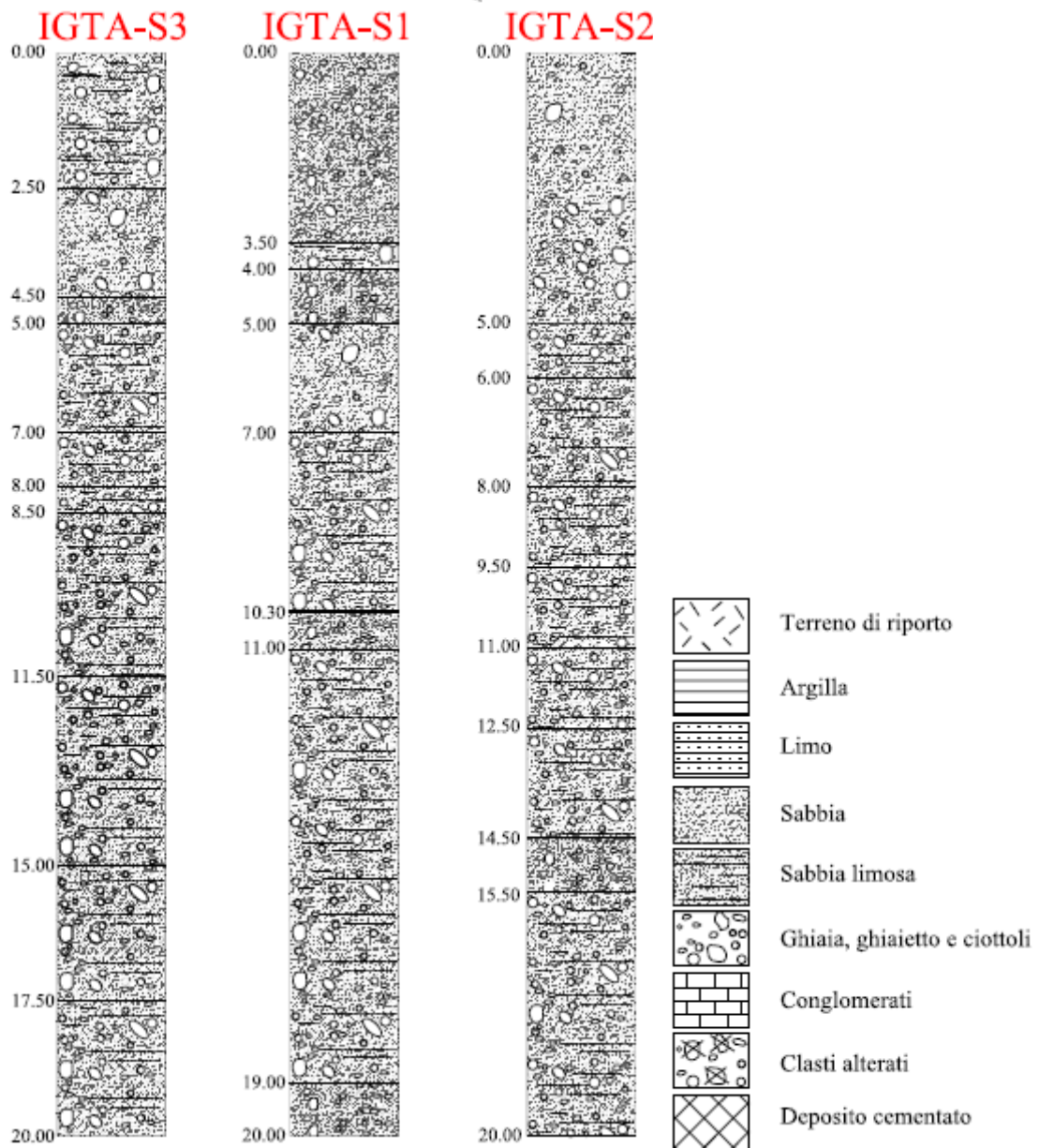


Figura 4: stratigrafie sondaggi eseguiti in area ad Ovest del sito di interesse (zona Esselunga)

Sull'area d'indagine e nel suo intorno non sono presenti corsi d'acqua naturali o artificiali. Secondo lo Studio Geologico a supporto del PGT Locale, la falda superficiale si attesta intorno a 40 m di profondità dal piano campagna. Il drenaggio delle acque viene definito discreto sia in superficie che in profondità.

4 CLASSE DI FATTIBILITÀ, QUADRO VINCOLISTICO, NORME GEOLOGICHE DI PIANO E PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

4.1 FATTIBILITÀ GEOLOGICA

Nella Carta di Fattibilità facente parte dello Studio Geologico a supporto del PGT Locale (Arethusa – aprile 2008) l'area oggetto della presente relazione ricade in classe 2b ovvero: fattibilità con modeste limitazioni legate alla verifica delle caratteristiche geotecniche dei terreni (figura 5).

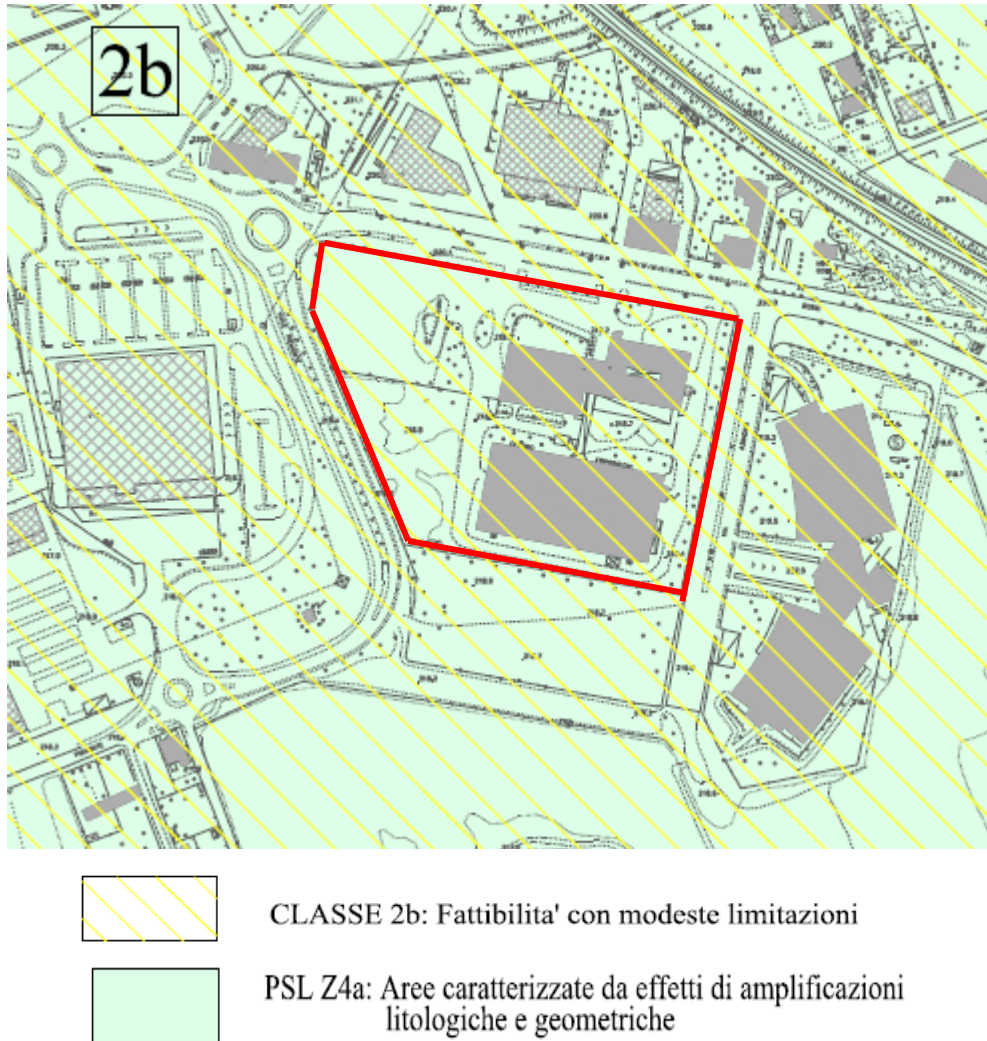


Figura 5: estratto dell'allegato n.5a (Carta di Fattibilità) allo studio Geologico a supporto del PGT di Castellanza con area di interesse delimitata in rosso (Arethusa – aprile 2008 -scala 1:5000).

Di seguito viene riportato un estratto delle Norme Geologiche di Piano allegate alla Relazione Tecnica dello Studio Geologico del PGT di Castellanza, riguardante l'area di interesse.

Stralcio delle Norme Geologiche di Attuazione allegate allo Studio geologico a supporto del PGT di Castellanza (Arethusa _ aprile 2008)

CLASSE 2b - FATTIBILITA' CON MODESTE LIMITAZIONI.

Essa comprende le aree pianeggianti litologicamente costituite da ghiaie e sabbie, ricoperte da limi sabbiosi e sabbie di spessore variabile fino a 1 m. Area con presenza di terreni fini superficiali, con scarse caratteristiche geotecniche fino a 3-4 m, puntualmente fino ad un massimo di 8-10 m. Miglioramento delle caratteristiche portanti a maggiore profondità. Drenaggio delle acque moderatamente difficoltoso in superficie, con formazione di orizzonti saturi.

In tali aree sono ammesse tutte le categorie di opere edificatorie ed infrastrutturali previa verifica tramite indagini geognostiche e geotecniche del modello litostratigrafico e geotecnico del sottosuolo ai fini dei calcoli di capacità portante e cedimenti. Si raccomanda una valutazione idrogeologica di dettaglio atta a definire l'eventuale presenza di falde sospese. La relazione geologico-tecnica è da effettuare preventivamente alla progettazione esecutiva per tutte le opere edificatorie.

Nel caso di opere che prevedano la realizzazione di vani interrati e l'effettuazione di scavi e sbancamenti, dovrà essere valutata la stabilità dei fronti di scavo.

La modifica di destinazione d'uso di aree esistenti inserite in zona produttiva necessita la verifica dello stato di qualità ambientale dei terreni da determinarsi ai sensi della normativa vigente (D.M. 471/99, abrogato e sostituito dal d.lgs. 152/06), sulla base di un apposito "Piano di caratterizzazione ambientale" (PCA).

A salvaguardia della falda idrica sotterranea è necessario che per ogni nuovo insediamento sia civile che industriale, già in fase progettuale, sia previsto ed effettivamente realizzabile il collettamento degli scarichi idrici in fognatura. Sono da prevedere interventi di regimazione idraulica per lo smaltimento delle acque superficiali e sotterranee.

Per gli ambiti produttivi soggetti a cambio di destinazione d'uso, dovranno essere previsti interventi di bonifica qualora venga accertato uno stato di contaminazione del suolo ai sensi del DM 471/99, abrogato e sostituito dal d.lgs. 152/06.

Indipendentemente dalla classe di fattibilità di appartenenza, stante il grado di vulnerabilità, dovranno inoltre essere proposti e predisposti sistemi di controllo

ambientale per gli insediamenti con scarichi industriali, stoccaggio temporaneo di rifiuti pericolosi e/o materie prime che possono dar luogo a rifiuti pericolosi al termine del ciclo produttivo.

In relazione alla tipologia dell'insediamento produttivo, i sistemi di controllo ambientale potranno essere costituiti da:

- *realizzazione di piezometri per il controllo idrochimico della falda, da posizionarsi a monte ed a valle dell'insediamento (almeno 2 piezometri);*
- *esecuzione di indagini negli strati superficiali del terreno insaturo dell'insediamento, per l'individuazione di eventuali contaminazioni in atto;*

Tali sistemi e indagini di controllo ambientale saranno da attivare in ogni caso in cui nuovi insediamenti, ristrutturazioni, ridestinzioni abbiano rilevanti interazioni con la qualità del suolo, del sottosuolo e delle risorse idriche, e dovranno essere quindi condizione essenziale ai fini del rilascio di autorizzazioni ad esempio nei seguenti casi:

- *nuovi insediamenti produttivi potenzialmente a rischio di inquinamento;*
- *subentro di nuove attività in aree già precedentemente interessate da insediamenti potenzialmente a rischio di inquinamento;*
- *ristrutturazioni o adeguamenti di impianti e strutture la cui natura abbia relazione diretta o indiretta con il sottosuolo e le acque, quali ad esempio rifacimenti di reti fognarie interne, sistemi di raccolta e smaltimento acque di prima pioggia, impermeabilizzazioni e pavimentazioni, asfaltatura piazzali, rimozione o installazione di serbatoi interrati di combustibili etc..*

4.2 VINCOLI

l'area di interesse non rientra, in base alle informazioni desunte dallo Studio Geologico a supporto del PGT di Castellanza, in alcuna zona vincolata (figura 6).

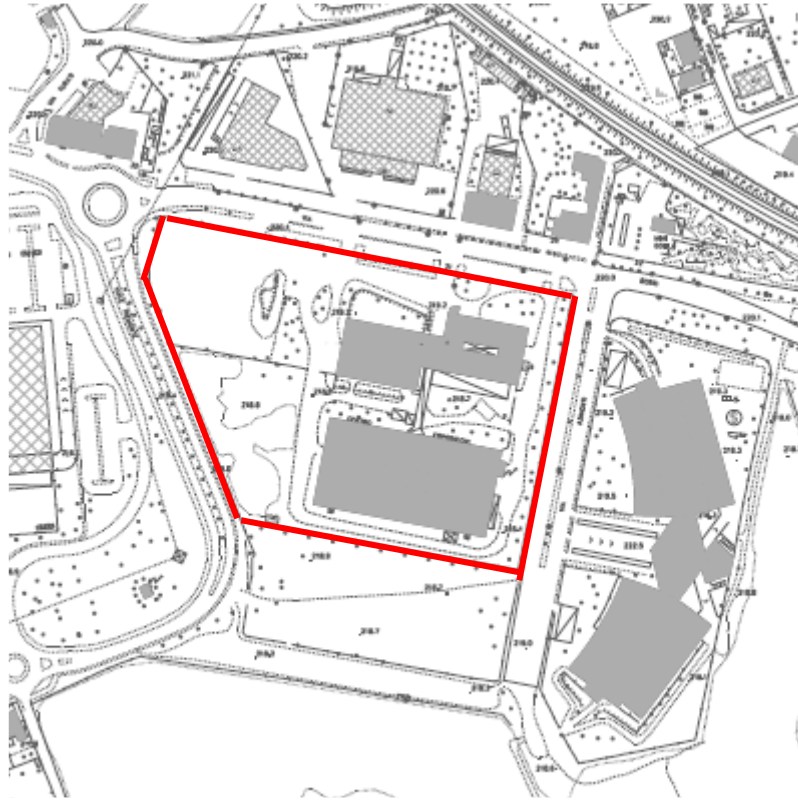
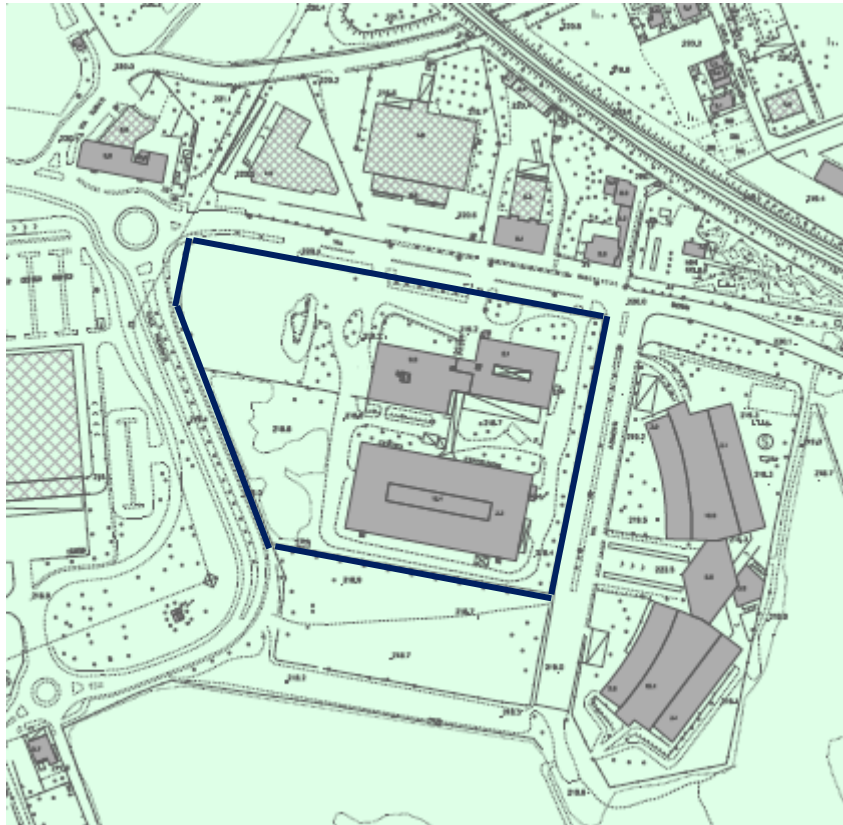


Figura 6: estratto dell'allegato n.2 (Carta dei Vicoli) allo studio Geologico a supporto del PGT di Castellanza con area di interesse delimitata in rosso (Arethusa – marzo 2010 -scala 1:5000).

4.3 INQUADRAMENTO SISMICO

Nello Studio Geologico a supporto del PGT di Castellanza (aggiornamento realizzato da Arethusa nel marzo 2010). è contenuta l'Analisi del Rischio Sismico del territorio.

Dal momento che il territorio del Comune di Castellanza rientra, in base alla O.P.C.M. 20 marzo 2003 n. 3274, recepita dalla Regione Lombardia con d.g.r. 7 novembre 2003 n. 14964, in zona sismica 4, è stata condotta l'analisi sismica di 1° livello definendo la carta di Pericolosità Sismica Locale. Analizzando la Tavola tratta dallo Studio Geologico a supporto del PGT Locale risulta che l'area di interesse appartiene allo Scenario di Pericolosità Sismica Z4a ovvero: zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio glaciali granulari e/o coesivi, con presenza di bedrock sismico a profondità inferiori a 30 m di profondità (figura 7).





ZONA SISMICA 4			
	SIGLA	SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
	PSL Z3a	Zona di ciglio H > 10 m orlo di terrazzo fluviale e di natura antropica	Amplificazioni topografiche
	PSL Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche

Figura 7: estratto dell'allegato n.3 (Carta della Pericolosità Sismica Locale) allo studio Geologico a supporto del PGT di Castellanza con area di interesse delimitata in blu (Arethusa – marzo 2010 - scala 1:5000).

5 STATO DI FATTO DELL'AREA DI INDAGINE

L'area di interesse, avente una superficie complessiva di circa 45.300 m², risulta attualmente dismessa. Le due strutture che occupavano parte dell'area sono state demolite. Rimane, allo stato attuale, una piattaforma in zona centrale (foto 1) e uno sbancamento, profondo circa 1,5 m, in corrispondenza di uno dei due edifici presenti in origine (foto 2) e un'altra sub area con pavimentazione in cemento nel settore nord ovest (foto 3). La rimanente parte dell'area è coperta da alberi e, in particolare nella zona sud, da prato.



Foto 1, 2, 3: piattaforma in zona centrale, area depressa per esecuzione sbancamento e pavimentazione in cemento in zona nord ovest

6 CONFRONTO TRA LE CARATTERISTICHE ARCHITETTONICHE DEL PROGETTO E IL QUADRO VINCOLISTICO DELL'AREA

L'ipotesi progettuale prevede la realizzazione di sette edifici a carattere commerciale, con aree a parcheggio (figura 8).

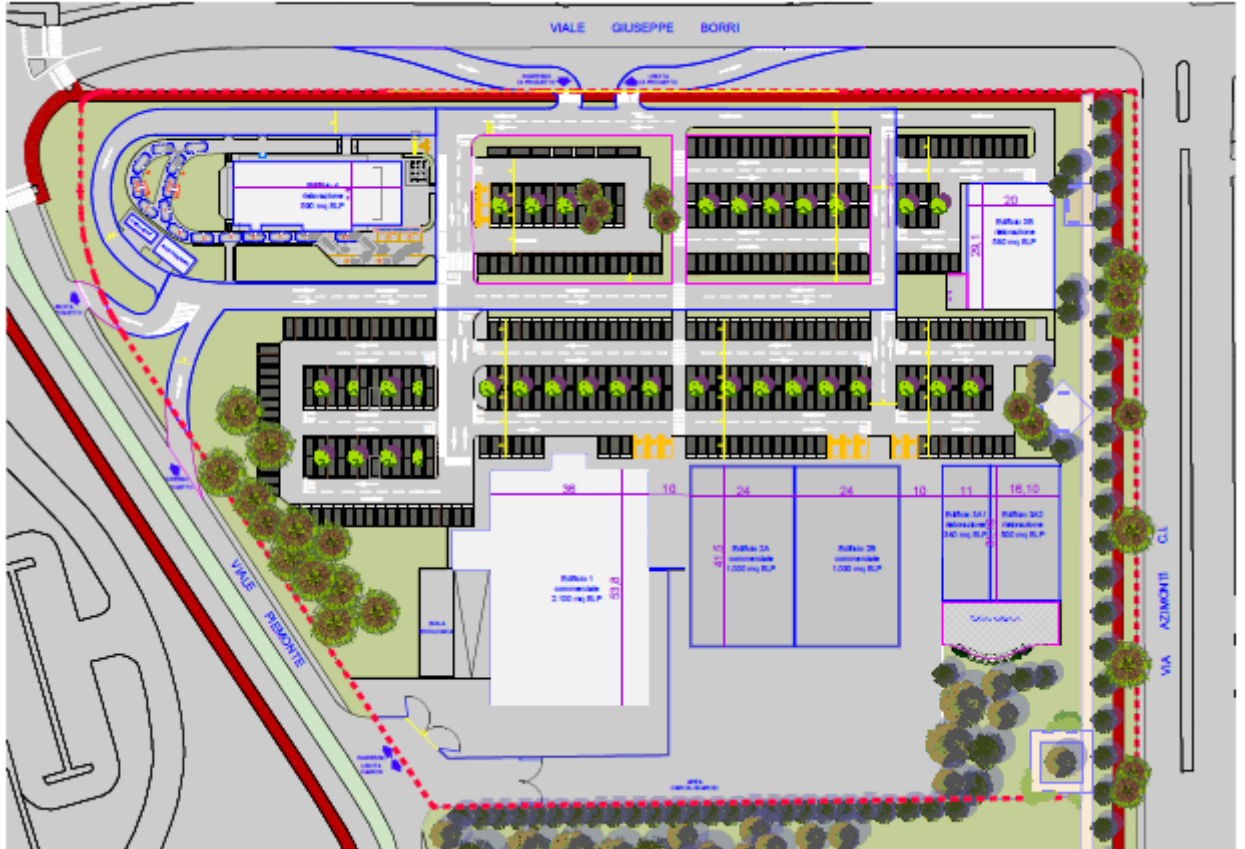


Figura 8: Planimetria di progetto (scala 1:2000)

Le strutture in progetto non sono soggette a vincoli di carattere geologico, idrogeologico o idraulico.

7 PRIMA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELL'AREA

7.1 CARATTERI LITOLOGICI E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DESUNTE DALLO STUDIO GEOLOGICO A SUPPORTO DEL PGT DI CASTELLANZA

Lo Studio Geologico a supporto del PGT di Castellanza definisce la litologia del settore in cui è inserito l'ambito come costituito in prevalenza da Sabbie limose e Ghiaie a supporto di matrice sabbioso-limosa. Le caratteristiche geologico tecniche generali della zona (definita con la sigla "Bu") indicano uno strato superficiale, spesso 1,3/3 m, avente valori di Nspt compresi tra 3 e 10 colpi/peide. I valori di Nspt aumentano da 10 a 25/30 colpi piede al disotto dei 3 m di profondità.

7.2 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RICAVATE DALL'INDAGINE IN CAMPO

Sul sito è stata condotta una indagine geognostica volta a caratterizzare il terreno dal punto di vista geotecnico. L'indagine è stata svolta eseguendo n. 6 prove penetrometriche dinamiche disposte in modo da fornire una valutazione omogenea del sito (figura 9, foto 4, 5, 6, 7, 8 e 9).

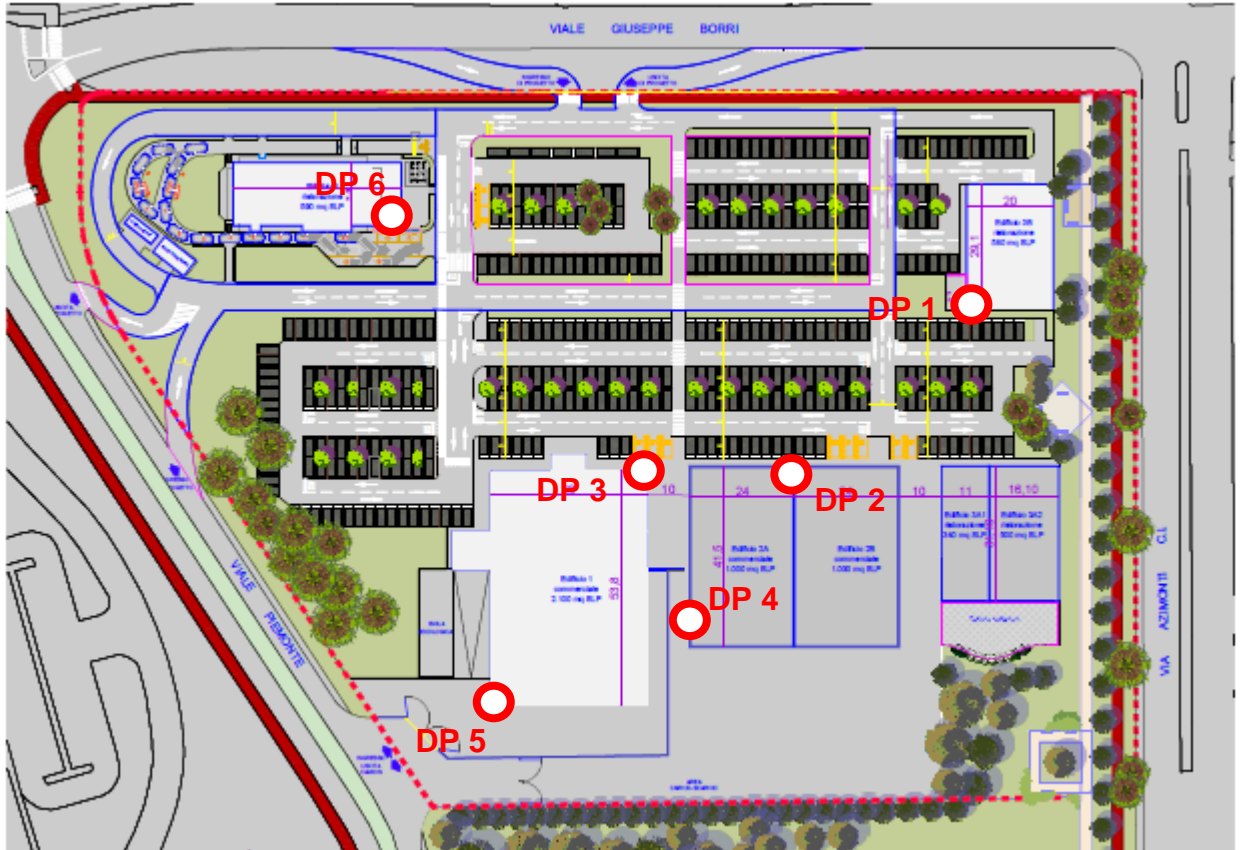


Figura 9: planimetria di progetto e ubicazione punti di prova penetrometrica (scala 1:2000)



Foto 4: Posizionamento ed esecuzione prova DP 1



Foto 5: Posizionamento ed esecuzione prova DP 2



Foto 6: Posizionamento ed esecuzione prova DP 3



Foto 7: Posizionamento ed esecuzione prova DP 4



Foto 8: Posizionamento ed esecuzione prova DP 5



Foto 9: Posizionamento ed esecuzione prova DP 6

Le tabelle e i grafici relativi alle prove DP sono riportate in allegato. La trasformazione dal numero di colpi ai valori standard N_{spt} è stata relazizzata tramite software Geostru dedicato che, attraverso vari algoritmi, trasforma i colpi considerando la profondità raggiunta.

Tutti i dati di N_{spt} sono stati normalizzati in funzione della pressione efficace alla quota di misura. Sulla base della seguente equazione:

$$N_{spt}(\text{corretto}) = N_{spt}/\sigma'(v_o)^{0.56} \quad (\text{Jamiolkowski et al., 1985})$$

Tutte le prove eseguite hanno riscontrato il rifiuto all'avanzamento della punta a profondità comprese tra -4,5 e -6,3 m da piano campagna.

Le prove sono state eseguite utilizzando un penetrometro super pesante Pagani modello TG 63 – 200.

Le principali caratteristiche tecniche del penetrometro sono:

- Massa del maglio 73 Kg
- Altezza di caduta libera 75 cm
- Lunghezza aste 1 m
- Massa aste 4,6 Kg
- Diametro base punta conica 50,8 mm
- Angolo apertura cono 60°

La tabella e il grafico relativo alla prova DP è riportato in allegato. La trasformazione dal numero di colpi ai valori standard N_{spt} è stata relazizzata tramite software Geostru dedicato che, attraverso vari algoritmi, trasforma i colpi considerando la profondità raggiunta.

Tutti i dati di N_{spt} sono stati normalizzati in funzione della pressione efficace alla quota di misura. Sulla base della seguente equazione:

$$N_{spt}(\text{corretto}) = N_{spt}/\sigma'(v_o)^{0.56} \quad (\text{Jamiolkowski et al., 1985})$$

◆ **Interpretazione**

L'analisi delle prove eseguite ha permesso di definire un terreno con caratteristiche geotecniche complessivamente omogenee su tutta l'area, suddiviso in tre litozone.

La litozona superficiale è costituita da terreno riportato bene costipato, con spessore medio di 0,3 m. La seconda litozona è costituita in prevalenza da sabbia ghiaiosa con Limo, con spessore medio di 2,3 m, da poco a mediamente addensata. La litozona 3 è costituita in prevalenza da Ghiaia sabbiosa con Ciottoli in matrice limosa, molto addensata, con grado di addensamento che aumenta con la profondità.

L'esecuzione delle prove, associata all'analisi dei diagrammi, delle tabelle di prova e ai dati ricavati dallo Studio Geologico a supporto del PGT di Castellanza, ha permesso di elaborare le caratteristiche geotecniche del terreno di seguito riportate.

In sintesi il modello geotecnico ricavato è il seguente (tabella 1):

	PROVA DP1	PROVA DP2	PROVA DP 3	PROVA DP 4	PROVA DP 5	PROVA DP 6	LITOLOGIA	PROPRIETÀ GEOTECNICHE (MEDIA SU TRE PROVE)
L I T O Z O N A 1	Da m 0,0 a m 0,3	Da m 0,0 a m 0,3	Da m 0,0 a m 0,3	Da m 0,0 a m 0,3	Da m 0,0 a m 0,3	Da m 0,0 a m 0,3	Terreno di riporto	
L I T O Z O N A 2	Da m 0,3 a m 2,4	da m 0,3 a m 2,4	da m 0,3 a m 3,3	da m 0,3 a m 3	da m 0,3 a m 3,3	da m 0,3 a m 3	Sabbia ghiaiosa con Limo, da poco a mediamente addensata	Nspt = 10 colpi $\phi' = 31^\circ$ circa $\gamma_{nat} = 1,74 \text{ t/m}^3$ $\gamma_{sat} = 1,92 \text{ t/m}^3$ DR = 73 %
L I T O Z O N A 3	Da m 2,4 a m 4,5	da m 2,4 a m 6	da m 3,3 a m 5,4	da m 3 a m 4,8	da m 3,3 a m 6,3	da m 3 a m 6,3	Ghiaia sabbiosa con Ciottoli, in matrice limosa, molto addensata.	Nspt = 43 colpi $\phi' = 35^\circ$ circa $\gamma_{nat} = 2,19 \text{ t/m}^3$ $\gamma_{sat} = 2,4 \text{ t/m}^3$ DR = 92 %

7.3 VERIFICA DELLA SICUREZZA NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE ULTIMI

◆ Normative di riferimento

Norme tecniche per le Costruzioni 2018

Norme tecniche per le costruzioni D.M. 17 gennaio 2018.

Eurocodice 7

Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.

Eurocodice 8

Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

◆ Teoria applicata

Formula Brich-Hansen (EC 7 – EC 8)

Affinché una fondazione possa resistere il carico di progetto con sicurezza nei riguardi della rottura generale, per tutte le combinazioni di carico relative allo SLU (stato limite ultimo), deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$V_d \leq R_d$$

Dove V_d è il carico di progetto allo SLU, normale alla base della fondazione, comprendente anche il peso della fondazione stessa; mentre R_d è il carico limite di progetto della fondazione nei confronti di carichi normali, tenendo conto anche dell'effetto di carichi inclinati o eccentrici.

Nella valutazione analitica del carico limite di progetto R_d si devono considerare le situazioni a breve e a lungo termine nei terreni a grana fine.

Il carico limite di progetto in condizioni non drenate si calcola come:

$$R/A' = (2 + \pi) c_u s_c i_c + q$$

Dove:

$A' = B' L'$ area della fondazione efficace di progetto, intesa, in caso di carico eccentrico, come l'area ridotta al cui centro viene applicata la risultante del carico.

c_u Coesione non drenata.

q pressione litostatica totale sul piano di posa.

s_c Fattore di forma

$s_c = 1 + 0,2 (B'/L')$ per fondazioni rettangolari

$s_c = 1,2$ Per fondazioni quadrate o circolari.

i_c Fattore correttivo per l'inclinazione del carico dovuta ad un carico H .

$$i_c = 0,5 \left(1 + \sqrt{1 - H/A' c_u} \right)$$

Per le condizioni drenate il carico limite di progetto è calcolato come segue.

$$R/A' = c' N_c s_c i_c + q' N_q s_q i_q + 0,5 \gamma' B' N_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

Dove:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi'} \tan^2(45 + \phi'/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi'$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \tan \phi'$$

Fattori di forma

$$s_q = 1 + (B'/L') \cdot \sin\phi' \text{ per forma rettangolare}$$

$$s_q = 1 + \sin\phi' \text{ per forma quadrata o circolare}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3(B'/L') \text{ per forma rettangolare}$$

$$s_\gamma = 0,7 \text{ per forma quadrata o circolare}$$

$$s_c = (s_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1) \text{ per forma rettangolare, quadrata o circolare.}$$

Fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale H parallelo a L'

$$i_q = i_c = 1 - H / (V + A' \cdot c' \cdot \cot \phi')$$

$$i_c = (i_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1)$$

Fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale H parallelo a B'

$$i_q = [1 - 0,7H / (V + A' \cdot c' \cdot \cot \phi')]^3$$

$$i_\gamma = [1 - H / (V + A' \cdot c' \cdot \cot \phi')]^3$$

$$i_c = (i_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1)$$

Oltre ai fattori correttivi di cui sopra sono considerati quelli complementari della profondità del piano di posa e dell'inclinazione del piano di posa e del piano campagna (Hansen).

Metodo di Richards et. Al.

Richards, Helm e Budhu (1993) hanno sviluppato una procedura che consente, in condizioni sismiche, di valutare sia il carico limite sia i cedimenti indotti, e quindi di procedere alle verifiche di entrambi gli stati limite (ultimo e di danno). La valutazione del carico limite viene perseguita mediante una semplice estensione del problema del carico limite al caso della presenza di forze di inerzia nel terreno di fondazione dovute al sisma, mentre la stima dei cedimenti viene ottenuta mediante un approccio alla Newmark (cfr. Appendice H di "Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica" – Associazione Geotecnica Italiana). Gli autori hanno esteso la classica formula trinomia del carico limite:

$$q_L = N_q \cdot q + N_c \cdot c + 0.5N_\gamma \cdot \gamma \cdot B$$

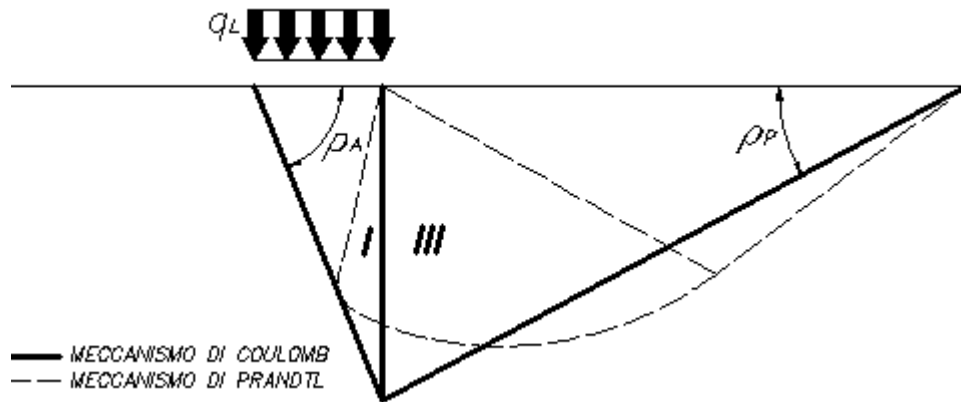
Dove i fattori di capacità portante vengono calcolati con le seguenti formule:

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot(\phi)$$

$$N_q = \frac{K_{pE}}{K_{AE}}$$

$$N_\gamma = \left(\frac{K_{pE}}{K_{AE}} - 1 \right) \cdot \tan(\rho_{AE})$$

Esaminando con un approccio da equilibrio limite, un meccanismo alla Coulomb e portando in conto le forze d'inerzia agenti sul volume di terreno a rottura. In campo statico, il classico meccanismo di Prandtl può essere infatti approssimato come mostrato nella figura che segue, eliminando la zona di transizione (ventaglio di Prandtl) ridotta alla sola linea AC, che viene riguardata come una parete ideale in equilibrio sotto l'azione della spinta attiva e della spinta passiva che riceve dai cunei I e III:



Schema di calcolo del carico limite (q_L)

Gli autori hanno ricavato le espressioni degli angoli ρ_A e ρ_P che definiscono le zone di spinta attiva e passiva, e dei coefficienti di spinta attiva e passiva K_A e K_P in funzione dell'angolo di attrito interno ϕ del terreno e dell'angolo di attrito δ terreno – parete ideale:

$$\rho_A = \phi + \tan^{-1} \cdot \left\{ \frac{\sqrt{\tan(\phi) \cdot (\tan(\phi) \cdot \cot(\phi)) \cdot (1 + \tan(\delta) \cdot \cot(\phi))} - \tan(\phi)}{1 + \tan(\delta) \cdot (\tan(\phi) + \cot(\phi))} \right\}$$

$$\rho_P = -\phi + \tan^{-1} \cdot \left\{ \frac{\sqrt{\tan(\phi) \cdot (\tan(\phi) \cdot \cot(\phi)) \cdot (1 + \tan(\delta) \cdot \cot(\phi))} + \tan(\phi)}{1 + \tan(\delta) \cdot (\tan(\phi) + \cot(\phi))} \right\}$$

$$K_A = \frac{\cos^2(\phi)}{\cos(\delta) \left\{ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi)}{\cos(\delta)}} \right\}^2}$$

$$K_P = \frac{\cos^2(\phi)}{\cos(\delta) \left\{ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi)}{\cos(\delta)}} \right\}^2}$$

E' comunque da osservare che l'impiego delle precedenti formule assumendo $\phi=0.5\delta$, conduce a valore dei coefficienti di carico limite molto prossimi a quelli basati su un analisi alla Prandtl. Richards et. Al. hanno quindi esteso l'applicazione del meccanismo di Coulomb al caso sismico, portando in conto le forze d'inerzia agenti sul volume di terreno a rottura. Tali forze di massa, dovute ad accelerazioni $k_h g$ e $k_v g$, agenti rispettivamente in direzione orizzontale e verticale, sono a loro volta pari a $k_h \gamma$ e $k_v \gamma$. Sono

state così ottenute le estensioni delle espressioni di ρ_a e ρ_p , nonché di K_A e K_P , rispettivamente indicate come ρ_{AE} e ρ_{PE} e come K_{AE} e K_{PE} per denotare le condizioni sismiche:

$$\rho_{AE} = (\varphi - \vartheta) + \tan^{-1} \cdot \left\{ \frac{\sqrt{(1 + \tan^2(\varphi - \vartheta)) \cdot [1 + \tan(\delta + \vartheta) \cdot \cot(\varphi - \vartheta)]} - \tan(\varphi - \vartheta)}{1 + \tan(\delta + \vartheta) \cdot (\tan(\varphi - \vartheta) + \cot(\varphi - \vartheta))} \right\}$$

$$\rho_{PE} = -(\varphi - \vartheta) + \tan^{-1} \cdot \left\{ \frac{\sqrt{(1 + \tan^2(\varphi - \vartheta)) \cdot [1 + \tan(\delta + \vartheta) \cdot \cot(\varphi - \vartheta)]} - \tan(\varphi - \vartheta)}{1 + \tan(\delta + \vartheta) \cdot (\tan(\varphi - \vartheta) + \cot(\varphi - \vartheta))} \right\}$$

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\varphi - \vartheta)}{\cos(\vartheta) \cdot \cos(\delta + \vartheta) \left\{ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \vartheta)}{\cos(\delta + \vartheta)}} \right\}^2}$$

$$K_{PE} = \frac{\cos^2(\varphi - \vartheta)}{\cos(\vartheta) \cdot \cos(\delta + \vartheta) \left\{ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \vartheta)}{\cos(\delta + \vartheta)}} \right\}^2}$$

I valori di N_q e N_γ sono determinabili ancora avvalendosi delle formule precedenti, impiegando naturalmente le espressioni degli angoli ρ_{AE} e ρ_{PE} e dei coefficienti K_{AE} e K_{PE} relative al caso sismico. In tali espressioni compare l'angolo θ definito come:

$$\tan(\theta) = \frac{k_h}{1 - k_v}$$

FATTORI CORRETTIVI SISMICI: PAOLUCCI E PECKER

Per tener conto degli effetti inerziali indotti dal sisma sulla determinazione del q_{lim} vengono introdotti i fattori correttivi z :

$$z_q = \left(1 - \frac{k_h}{tg\phi} \right)^{0,35}$$

$$z_c = 1 - 0,32 \cdot k_h$$

$$z_\gamma = z_q$$

Dove K_h è il coefficiente sismico orizzontale.

Calcolo coefficienti sismici

Le **NTC 2018** calcolano i coefficienti K_h e K_v in dipendenza di vari fattori:

$$K_h = \beta \times (a_{max}/g)$$

$$K_v = \pm 0,5 \times K_h$$

β = coefficiente di riduzione accelerazione massima attesa al sito;
 a_{\max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
 g = accelerazione di gravità;

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S_S S_T a_g$$

S_S (effetto di amplificazione stratigrafica): $0.90 \leq S_S \leq 1.80$; è funzione di F_0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).

S_T (effetto di amplificazione topografica) per fondazioni in prossimità di pendii.

Il valore di S_T varia con il variare delle quattro categorie topografiche introdotte:

$$T1 (S_T = 1.0) \quad T2 (S_T = 1.20) \quad T3 (S_T = 1.20) \quad T4 (S_T = 1.40).$$

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - PVR)$$

Con V_R vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso V_R dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

Per l'applicazione dell'**Eurocodice 8** (progettazione geotecnica in campo sismico) il coefficiente sismico orizzontale viene così definito:

$$K_h = a_{gR} \cdot \gamma_I \cdot S / (g)$$

a_{gR} : accelerazione di picco di riferimento su suolo rigido affiorante,
 γ_I : fattore di importanza,
 S : soil factor e dipende dal tipo di terreno (da A ad E).

$$a_g = a_{gR} \cdot \Gamma_i \text{ è la "design ground acceleration on type A ground".}$$

Il coefficiente sismico verticale K_v è definito in funzione di K_h , e vale:

$$K_v = \pm 0.5 \cdot K_h$$

7.4 VERIFICA AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO – Valutazione dei cedimenti dei terreni di fondazione

◆ Normative di riferimento

Norme tecniche per le Costruzioni 2018

Norme tecniche per le costruzioni D.M. 17 gennaio 2018.

Eurocodice 7

Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.

Eurocodice 8

Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

◆ Teoria applicata

Metodo di Burland e Burbidge

Qualora si disponga di dati ottenuti da prove penetrometriche dinamiche per il calcolo dei cedimenti è possibile fare affidamento al metodo di Burland e Burbidge (1985), nel quale viene correlato un indice di compressibilità I_C al risultato N della prova penetrometrica dinamica. L'espressione del cedimento proposta dai due autori è la seguente:

$$S = f_S \cdot f_H \cdot f_t \cdot \left[\sigma'_{v0} \cdot B^{0.7} \cdot I_C / 3 + (q' - \sigma'_{v0}) \cdot B^{0.7} \cdot I_C \right]$$

nella quale:

q' = pressione efficace lorda;

σ'_{v0} = tensione verticale efficace alla quota d'imposta della fondazione;

B = larghezza della fondazione;

I_C = indice di compressibilità;

f_S , f_H , f_t = fattori correttivi che tengono conto rispettivamente della forma, dello spessore dello strato compressibile e del tempo, per la componente viscosa.

L'indice di compressibilità I_C è legato al valore medio N_{AV} di N_{spt} all'interno di una profondità significativa z :

$$I_C = \frac{1.706}{N_{AV}^{1.4}}$$

Per quanto riguarda i valori di N_{spt} da utilizzare nel calcolo del valore medio N_{AV} va precisato che i valori vanno corretti, per sabbie con componente limosa sotto falda e $N_{spt} > 15$, secondo l'indicazione di Terzaghi e Peck (1948)

$$N_c = 15 + 0.5 (N_{spt} - 15)$$

dove N_c è il valore corretto da usare nei calcoli.

Per depositi ghiaiosi o sabbioso-ghiaiosi il valore corretto è pari a:

$$N_c = 1.25 N_{spt}$$

Le espressioni dei fattori correttivi f_S , f_H ed f_t sono rispettivamente:

$$f_S = \left(\frac{1.25 \cdot L / B}{L / B + 0.25} \right)^2$$

$$f_H = \frac{H}{z_i} \left(2 - \frac{H}{z_i} \right)$$

$$f_t = \left(1 + R_3 + R \cdot \log \frac{t}{3} \right)$$

Con

t = tempo in anni > 3;

R₃ = costante pari a 0.3 per carichi statici e 0.7 per carichi dinamici;

R = 0.2 nel caso di carichi statici e 0.8 per carichi dinamici

7.5 RISULTATI

In base a questa prima caratterizzazione geotecnica del terreno, a livello indicativo sono state ipotizzate delle fondazioni impostate a -1 e -3 m da piano campagna. Le fondazioni prese ad esempio sono un plinto di dimensioni 1,5 x 1,5 m e una trave rovescia di dimensioni 1,5 x 25 m

PIANO DI POSA A -1 m da Piano Campagna

FONDAZIONE A PLINTO

DATI GENERALI

Normativa	NTC 2018
Zona	Viale Borri Castellanza
Lat./ Long. [WGS84]	45.6028633117676/8.88234901428223
Larghezza fondazione	1.5 m
Lunghezza fondazione	1.5 m
Profondità piano di posa	1.0 m
Altezza di incastro	0.5 m
Profondità falda	40.0

SISMA

Accelerazione massima (amax/g)	0.047
Effetto sismico secondo	Paolucci, Pecker (1997)
Coefficiente sismico orizzontale	0.0093

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	50.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.147	2.559	0.159
S.L.D.	50.0	0.186	2.535	0.167
S.L.V.	475.0	0.382	2.638	0.282
S.L.C.	975.0	0.451	2.669	0.305

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.1764	0.2	0.0036	0.0018
S.L.D.	0.2232	0.2	0.0046	0.0023
S.L.V.	0.4584	0.2	0.0093	0.0047
S.L.C.	0.5412	0.2	0.011	0.0055

STRATIGRAFIA TERRENO

Spessor e strato [m]	Peso unità di volume [kN/m ³]	Peso unità di volume saturato [kN/m ³]	Angolo di attrito [°]	Coesiane [kN/m ²]	Coesiane non drenata [kN/m ²]	Modulo Elastico [kN/m ²]	Modulo Edometrico [kN/m ²]	Poisson	Coeff. consolidazione primaria [cmq/s]	Coeff. consolidazione secondaria	Descrizione
0.3	19.0	20.0	30.0	0.0	0.0	10000.0	15000.0	0.0	0.0	0.0	Riporto
2.4	17.04	18.81	31.0	0.0	0.0	11000.0	16550.0	0.0	0.0	0.0	Sabbia Ghiaiosa
3.3	21.47	23.52	35.0	0.0	0.0	18620.0	22400.0	0.0	0.0	0.0	Ghiaia Sabbiosa
0.2	21.47	23.52	35.0	0.0	0.0	18620.0	22400.0	0.0	0.0	0.0	Ghiaia Sabbiosa

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [kN/m ²]	N [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Hx [kN]	Hy [kN]	Tipo
1	A1+M1+ R3	147.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
2	Sisma	147.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
3	S.L.E.	147.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Servizio
4	S.L.D.	147.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Servizio

Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

Nr	Correzione Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coef. Rid. Capacità portante verticale	Coef. Rid. Capacità portante orizzontale
1	No	1	1	1	1	1	2.3	1.1
2	Si	1	1	1	1	1	2.3	1.1
3	No	1	1	1	1	1	1	1
4	No	1	1	1	1	1	1	1

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...Sisma
Autore: TERZAGHI (1955)

Carico limite [Qult] 442.03 kN/m²
 Resistenza di progetto[Rd]192.19 kN/m²
 Tensione [Ed] 147.34 kN/m²
 Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] 3
 Condizione di verifica [Ed<=Rd] **Verificata**

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)
 Costante di Winkler 17681.05 kN/m³

A1+M1+R3

A
 CEDIMENTI BURLAND E BURBIDGE
 Pressione normale di progetto 140.0 kN/m²
 Tempo 0.0
 Profondità significativa Zi (m)1.666
 Media dei valori di N_{spt} all'interno di Zi 10
 Fattore di forma fs 1
 Fattore strato compressibile fh 1
 Fattore tempo ft 1
 Indice di compressibilità 0.068
 Cedimento 11.569 mm

CEDIMENTI BURLAND E BURBIDGE
 Pressione normale di progetto 140.0 kN/m²
 Tempo 30.0
 Profondità significativa Zi (m)1.666
 Media dei valori di N_{spt} all'interno di Zi 10
 Fattore di forma fs 1
 Fattore strato compressibile fh 1
 Fattore tempo ft 1.5
 Indice di compressibilità 0.068
 Cedimento 17.353 mm

PIANO DI POSA A -1 m da Piano Campagna

FONDAZIONE A TRAVE ROVESCIA

DATI GENERALI

Normativa	NTC 2018	
Zona	Viale Borri Castellanza	
Lat./ Long. [WGS84]	45.6028633117676/8.88234901428223	
Larghezza fondazione	1.5	m
Lunghezza fondazione	25.0	m
Profondità piano di posa	1.0	m
Altezza di incastro	0.5	m
Profondità falda	40.0	

SISMA

Accelerazione massima (amax/g)	0.047
Effetto sismico secondo	Paolucci, Pecker (1997)
Coefficiente sismico orizzontale	0.0093

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	50.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.147	2.559	0.159
S.L.D.	50.0	0.186	2.535	0.167
S.L.V.	475.0	0.382	2.638	0.282
S.L.C.	975.0	0.451	2.669	0.305

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.1764	0.2	0.0036	0.0018
S.L.D.	0.2232	0.2	0.0046	0.0023
S.L.V.	0.4584	0.2	0.0093	0.0047
S.L.C.	0.5412	0.2	0.011	0.0055

STRATIGRAFIA TERRENO

Spessore strato [m]	Peso unità di volume [kN/m ³]	Peso unità di volume saturo [kN/m ³]	Angolo di attrito [°]	Coesione [kN/m ²]	Coesione non drenata [kN/m ²]	Modulo Elastico [kN/m ²]	Modulo Edometrico [kN/m ²]	Poisson	Coeff. consolidaz. primaria [cmq/s]	Coeff. consolidazione secondaria	Descrizione
0.3	19.0	20.0	30.0	0.0	0.0	10000.0	15000.0	0.0	0.0	0.0	Riporto
2.4	17.04	18.81	31.0	0.0	0.0	11000.0	16550.0	0.0	0.0	0.0	Sabbia Ghiaiosa
3.3	21.47	23.52	35.0	0.0	0.0	18620.0	22400.0	0.0	0.0	0.0	Ghiaia Sabbiosa
0.2	21.47	23.52	35.0	0.0	0.0	18620.0	22400.0	0.0	0.0	0.0	Ghiaia Sabbiosa

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [kN/m ²]	N [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Hx [kN]	Hy [kN]	Tipo
1	A1+M1+R3	141.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
2	Sisma	141.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
3	S.L.E.	141.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Servizio
4	S.L.D.	141.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Servizio

Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

Nr	Correzione Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coeff. Rid. Capacità portante verticale	Coeff. Rid. Capacità portante orizzontale
1	No	1	1	1	1	1	2.3	1.1
2	Si	1	1	1	1	1	2.3	1.1
3	No	1	1	1	1	1	1	1
4	No	1	1	1	1	1	1	1

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...Sisma

Autore: HANSEN (1970)

Carico limite [Qult] 424.9 kN/m²
 Resistenza di progetto [Rd] 184.74 kN/m²
 Tensione [Ed] 141.63 kN/m²
 Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] 3
 Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 16996.11 kN/m³

A1+M1+R3

CEDIMENTI BURLAND E BURBIDGE

Pressione normale di progetto 140.0 kN/m²
Tempo 0.0
Profondità significativa Zi (m) 1.666
Media dei valori di N_{spt} all'interno di Zi 10
Fattore di forma fs 1.517
Fattore strato compressibile fh 1
Fattore tempo ft 1
Indice di compressibilità 0.068
Cedimento 17.546 mm

CEDIMENTI BURLAND E BURBIDGE

Pressione normale di progetto 140.0 kN/m²
Tempo 30.0
Profondità significativa Zi (m) 1.666
Media dei valori di N_{spt} all'interno di Zi 10
Fattore di forma fs 1.517
Fattore strato compressibile fh 1
Fattore tempo ft 1.5
Indice di compressibilità 0.068
Cedimento 26.319 mm

PIANO DI POSA A -3 m da Piano Campagna

FONDAZIONE A PLINTO

DATI GENERALI

Normativa	NTC 2018	
Zona	Viale Borri Castellanza	
Lat./ Long. [WGS84]	45.6028633117676/8.88234901428223	
Larghezza fondazione	1.5	m
Lunghezza fondazione	1.5	m
Profondità piano di posa	3.0	m
Altezza di incastro	0.5	m
Profondità falda	40.0	

SISMA

Accelerazione massima (amax/g) 0.047
Effetto sismico secondo Paolucci, Pecker (1997)
Coefficiente sismico orizzontale 0.0093

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera: 2 - Opere ordinarie

Classe d'uso: Classe II
Vita nominale: 50.0 [anni]
Vita di riferimento: 50.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo: B
Categoria topografica: T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.147	2.559	0.159
S.L.D.	50.0	0.186	2.535	0.167
S.L.V.	475.0	0.382	2.638	0.282
S.L.C.	975.0	0.451	2.669	0.305

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.1764	0.2	0.0036	0.0018
S.L.D.	0.2232	0.2	0.0046	0.0023
S.L.V.	0.4584	0.2	0.0093	0.0047
S.L.C.	0.5412	0.2	0.011	0.0055

STRATIGRAFIA TERRENO

Spessor e strato [m]	Peso unità di volume [kN/m ³]	Peso unità di volume saturo [kN/m ³]	Angolo di attrito [°]	Coesiane [kN/m ²]	Coesiane non drenata [kN/m ²]	Modulo Elastico [kN/m ²]	Modulo Edometrico [kN/m ²]	Poisson	Coeff. consolidaz. primaria [cmq/s]	Coeff. consolidazione secondaria	Descrizione
0.3	19.0	20.0	30.0	0.0	0.0	10000.0	15000.0	0.0	0.0	0.0	Riporto
2.4	17.04	18.81	31.0	0.0	0.0	11000.0	16550.0	0.0	0.0	0.0	Sabbia Ghiaiosa
3.3	21.47	23.52	35.0	0.0	0.0	18620.0	22400.0	0.0	0.0	0.0	Ghiaia Sabbiosa
0.2	21.47	23.52	35.0	0.0	0.0	18620.0	22400.0	0.0	0.0	0.0	Ghiaia Sabbiosa

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [kN/m ²]	N [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Hx [kN]	Hy [kN]	Tipo
1	A1+M1+R3	310.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
2	Sisma	310.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
3	S.L.E.	310.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Servizio
4	S.L.D.	310.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Servizio

Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

Nr	Correzione Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coef. Rid. Capacità portante verticale	Coef. Rid. Capacità portante orizzontale
1	No	1	1	1	1	1	2.3	1.1
2	Si	1	1	1	1	1	2.3	1.1
3	No	1	1	1	1	1	1	1
4	No	1	1	1	1	1	1	1

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...Sisma
Autore: TERZAGHI (1955)

Carico limite [Qult] 931.56 kN/m²
 Resistenza di progetto [Rd] 405.03 kN/m²
 Tensione [Ed] 310.52 kN/m²
 Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] 3
 Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)
 Costante di Winkler 37262.46 kN/m³

CEDIMENTI BURLAND E BURBIDGE
 Pressione normale di progetto 300.0 kN/m²
 Tempo 0.0
 Profondità significativa Zi (m) 1.666
 Media dei valori di N_{spt} all'interno di Zi 43
 Fattore di forma fs 1
 Fattore strato compressibile fh 1
 Fattore tempo ft 1
 Indice di compressibilità 0.009
 Cedimento 3.098 mm

CEDIMENTI BURLAND E BURBIDGE

Pressione normale di progetto **300.0** kN/m²
 Tempo **30.0**
 Profondità significativa Zi (m) 1.666
 Media dei valori di N_{spt} all'interno di Zi 43
 Fattore di forma fs 1
 Fattore strato compressibile fh 1
 Fattore tempo ft 1.5
 Indice di compressibilità 0.009
 Cedimento **4.647** mm

PIANO DI POSA A -3 m da Piano Campagna

FONDAZIONE A TRAVE ROVESCIA

DATI GENERALI

Normativa NTC 2018
 Zona Viale Borri Castellanza
 Lat./ Long. [WGS84] 45.6028633117676/8.88234901428223
 Larghezza fondazione 1.5 m
 Lunghezza fondazione 25.0 m
 Profondità piano di posa 3.0 m
 Altezza di incastro 0.5 m
 Profondità falda 40.0

SISMA

Accelerazione massima (amax/g) 0.047
 Effetto sismico secondo Paolucci, Pecker (1997)
 Coefficiente sismico orizzontale 0.0093

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera: 2 - Opere ordinarie
 Classe d'uso: Classe II
 Vita nominale: 50.0 [anni]
 Vita di riferimento: 50.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo: B
 Categoria topografica: T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.147	2.559	0.159
S.L.D.	50.0	0.186	2.535	0.167
S.L.V.	475.0	0.382	2.638	0.282
S.L.C.	975.0	0.451	2.669	0.305

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.1764	0.2	0.0036	0.0018
S.L.D.	0.2232	0.2	0.0046	0.0023
S.L.V.	0.4584	0.2	0.0093	0.0047
S.L.C.	0.5412	0.2	0.011	0.0055

STRATIGRAFIA TERRENO

Spessore strato [m]	Peso unità di volume [kN/m ³]	Peso unità di volume saturo [kN/m ³]	Angolo di attrito [°]	Coesione [kN/m ²]	Coesione non drenata [kN/m ²]	Modulo Elastico [kN/m ²]	Modulo Edometrico [kN/m ²]	Poisson	Coeff. consolidazione primaria [cmq/s]	Coeff. consolidazione secondaria	Descrizione
0.3	19.0	20.0	30.0	0.0	0.0	10000.0	15000.0	0.0	0.0	0.0	Ripporto
2.4	17.04	18.81	31.0	0.0	0.0	11000.0	16550.0	0.0	0.0	0.0	Sabbia Ghiaiosa
3.3	21.47	23.52	35.0	0.0	0.0	18620.0	22400.0	0.0	0.0	0.0	Ghiaia Sabbiosa
0.2	21.47	23.52	35.0	0.0	0.0	18620.0	22400.0	0.0	0.0	0.0	Ghiaia Sabbiosa

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [kN/m ²]	N [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Hx [kN]	Hy [kN]	Tipo
1	A1+M1+R3	315.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
2	Sisma	315.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
3	S.L.E.	315.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Servizio
4	S.L.D.	315.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Servizio

Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

Nr	Correzione Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coeff. Rid. Capacità portante verticale	Coeff. Rid. Capacità portante orizzontale
1	No	1	1	1	1	1	2.3	1.1
2	Si	1	1	1	1	1	2.3	1.1
3	No	1	1	1	1	1	1	1
4	No	1	1	1	1	1	1	1

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...Sisma

Autore: HANSEN (1970)

Carico limite [Qult] 947.68 kN/m²
Resistenza di progetto[Rd]412.03 kN/m²
Tensione [Ed] 315.89 kN/m²
Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] 3
Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 37907.09 kN/m³

A1+M1+R3

CEDIMENTI BURLAND E BURBIDGE

Pressione normale di progetto300.0 kN/m²
Tempo 0.0
Profondità significativa Zi (m)1.666
Media dei valori di N_{spt} all'interno di Zi 43
Fattore di forma fs 1.517
Fattore strato compressibile fh 1
Fattore tempo ft 1
Indice di compressibilità 0.009
Cedimento 4.698 mm

CEDIMENTI BURLAND E BURBIDGE

Pressione normale di progetto300.0 kN/m²
Tempo 30.0
Profondità significativa Zi (m)1.666
Media dei valori di N_{spt} all'interno di Zi 43
Fattore di forma fs 1.517
Fattore strato compressibile fh 1
Fattore tempo ft 1.5
Indice di compressibilità 0.009
Cedimento 7.047 mm

8 PERMEABILITÀ DEL PRIMO SOTTOSUOLO

Sull'ambito in progetto sono stati eseguiti quattro scavi allo scopo di determinare la permeabilità del terreno in funzione del progetto di Invarianza Idraulica, ai sensi del R.R. n. 7 del 23 novembre 2017 e successiva modifica con R.R. n.8 del 19 aprile 2019 (figura 10). Gli scavi hanno raggiunto una profondità compresa tra 160 e 180 cm (foto 10, 11, 12 e 13)

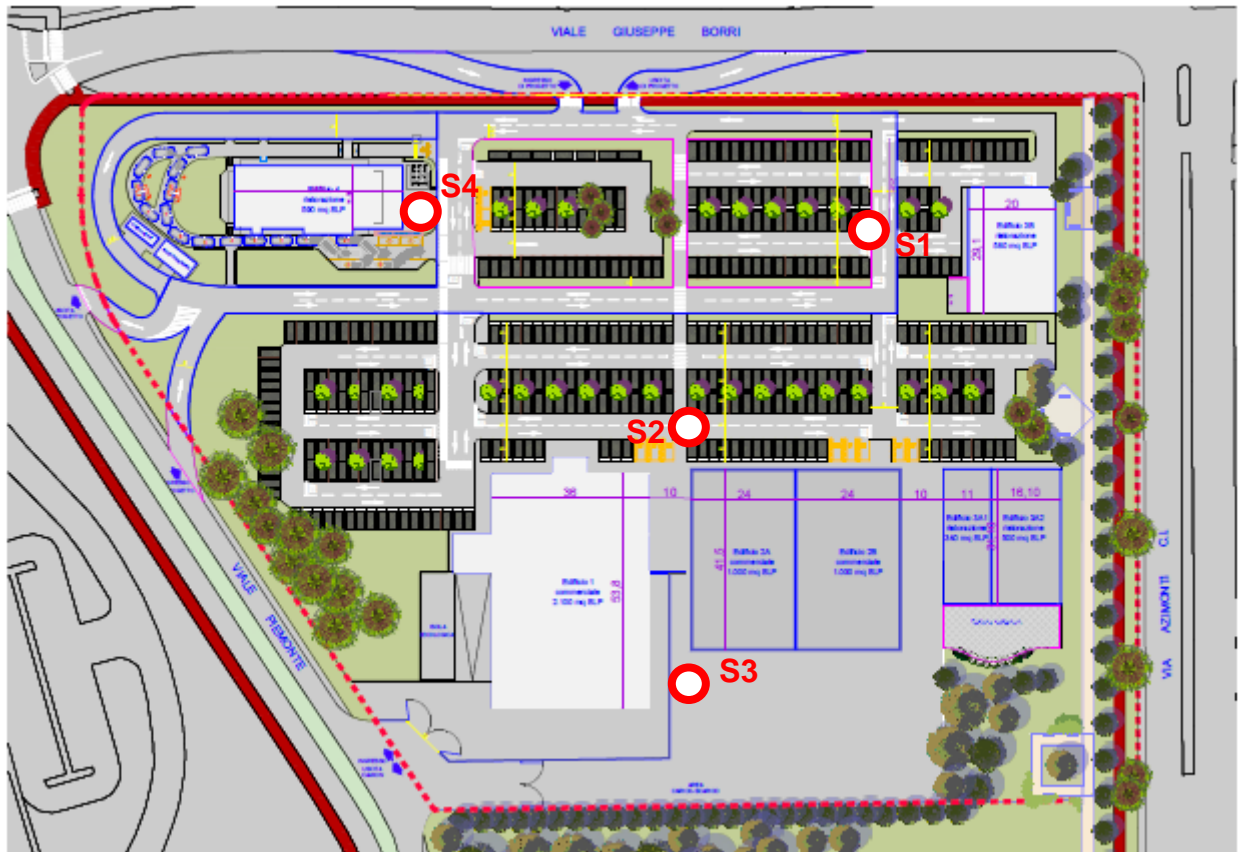


Figura 10: planimetria con ipotesi di progetto e ubicazione punti di prova di scavo (scala 1:2000)



Foto 10: scavo S1



Foto 11: scavo S2



Foto 12: scavo S3



Foto 13: scavo S4



Foto 14 e 15: Inizio e fine prova infiltrometrica in scavo S1



Foto 16 e 17: Inizio e fine prova infiltrometrica in scavo S2



Foto 18 e 19: Inizio e fine prova infiltrometrica in scavo S3



Foto 20 e 21: Inizio e fine prova infiltrometrica in scavo S4

Gli scavi eseguiti hanno permesso inoltre di riconoscere la seguente litologia, a partire da piano campagna:

da 0 cm a 40 cm: terreno di riporto;

da 40 cm a 110 cm: Sabbia ghiaiosa in matrice limosa;

da 110 cm a 180 cm: Ghiaia sabbiosa con Ciottoli in matrice limosa.

La prova "a carico variabile" (foto da 14 a 21) viene eseguita realizzando un pozzetto a base quadrata, riempiendo questo di acqua, previa saturazione del terreno, misurando la portata di assorbimento in termini di variazione del livello dell'acqua nel pozzetto ad un certo intervallo di tempo.

La permeabilità del terreno viene calcolata con la seguente formula:

$$K = \frac{(h_1 - h_2) [1 + (2h_m/b)]}{(t_2 - t_1) (27h_m/b) + 3}$$

Dove:

h_2 (m) = livello dell'acqua al tempo t_2 (s)

h_1 (m) = livello dell'acqua al tempo t_1 (s)

b (m) = lato del pozzetto

h_m (m) = altezza media dell'acqua

Dall'esito delle sei prove eseguite è stato ricavato un valore di permeabilità medio pari $2,23 \times 10^{-4}$ m/s.

9 ACQUISIZIONE DEI DATI DI INGRESSO PER LA DEFINIZIONE DEL PROGETTO DI INVARIANZA

In base all'allegato C inserito nel R.R. n.8 del 19 aprile 2019, il territorio di Castellanza rientra in area di Rischio Idraulico **A**, ovvero alta criticità idraulica. All'interno di queste aree gli scarichi nei ricettori sono limitati ad un massimo di 10 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile.

La superficie complessiva dell'area è circa $34.875,51 \text{ m}^2$. L'intervento in progetto prevede la realizzazione di cinque edifici per una superficie coperta complessiva di $6452,22 \text{ m}^2$. Le aree adibite a parcheggio (n. 396 posti auto in green block) raggiungono una superficie di $4.950,00 \text{ m}^2$, la viabilità corrisponde a $15.618,13 \text{ m}^2$ e le aree a verde corrispondono a $7.855,16 \text{ m}^2$.

Per poter definire la modalità di calcolo dei volumi di acqua meteorica per un evento con tempo di ritorno di 50 anni o 100 anni, è necessario calcolare il coefficiente di deflusso medio ponderale assegnando un coefficiente ϕ_1 a seconda del grado di impermeabilità del terreno. Per le superfici impermeabili il coefficiente sarà pari a 1, per le superfici semi permeabili il coefficiente da applicare è 0,7, mentre per l'area a verde sarà pari 0,3.

Il valore del coefficiente di deflusso medio ponderale si ottiene dalla formula:

$$((6.452,22 * 1) + (15.618,13 * 1) + (4.950,0 * 0,7) + (7.855,16 * 0,3)) / 34.875,51$$

Il coefficiente di deflusso medio ponderale, in base alla formula sopra riportata, ϕ risulta uguale a 0,8

Conoscendo la classe di criticità idraulica e il coefficiente ϕ è possibile individuare, accedendo nella tabella di seguito riportata, la modalità di calcolo dei volumi di pioggia (tabella 1).

CLASSE DI INTERVENTO		SUPERFICIE INTERESSATA DALL'INTERVENTO	COEFFICIENTE DEFUSSO MEDIO PONDERALE	MODALITÀ DI CALCOLO	
				AMBITI TERRITORIALI (articolo 7)	
				Aree A, B	Aree C
0	Impermeabilizzazione potenziale qualsiasi	≤ 0,03 ha (≤ 300 mq)	qualsiasi	Requisiti minimi articolo 12 comma 1	
1	Impermeabilizzazione potenziale bassa	da > 0,03 a ≤ 0,1 ha (da > 300 mq a ≤ 1.000 mq)	≤ 0,4	Requisiti minimi articolo 12 comma 2	

CLASSE DI INTERVENTO		SUPERFICIE INTERESSATA DALL'INTERVENTO	COEFFICIENTE DEFUSSO MEDIO PONDERALE	MODALITÀ DI CALCOLO	
				AMBITI TERRITORIALI (articolo 7)	
				Aree A, B	Aree C
2	Impermeabilizzazione potenziale media	da > 0,03 a ≤ 0,1 ha (da > 300 a ≤ 1.000 mq)	> 0,4	Metodo delle sole piogge (vedi articolo 11 e allegato G)	Requisiti minimi articolo 12 comma 2
		da > 0,1 a ≤ 1 ha (da > 1.000 a ≤ 10.000 mq)	qualsiasi		
		da > 1 a ≤ 10 ha (da > 10.000 a ≤ 100.000 mq)	≤ 0,4		
3	Impermeabilizzazione potenziale alta	da > 1 a ≤ 10 ha (da > 10.000 a ≤ 100.000 mq)	> 0,4	Procedura dettagliata (vedi articolo 11 e allegato G)	
		> 10 ha (> 100.000 mq)	qualsiasi		

Tabella 1: Tabella tratta dal R.R n.8 del 19/04/2019 per stabilire la modalità di calcolo con cui ricavare i volumi di pioggia da stoccare

La modalità di calcolo da utilizzare per il progetto è la "Procedura dettagliata", descritta nell'articolo 11 del R.R. n.8 del 19 aprile 2019 in aggiornamento al R.R. del n.7 del 23 novembre 2017, allegata alla presente relazione.

Il metodo di calcolo si basa sulle curve di possibilità pluviometrica generate da dati provenienti dalla banca dati di ARPA Lombardia, per il settore di territorio interessato.

Considerando un evento con tempo di ritorno t di 50 anni, dalle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica (figura 11), si possono ricavare i parametri necessari a determinare il volume di pioggia per l'evento stimato.

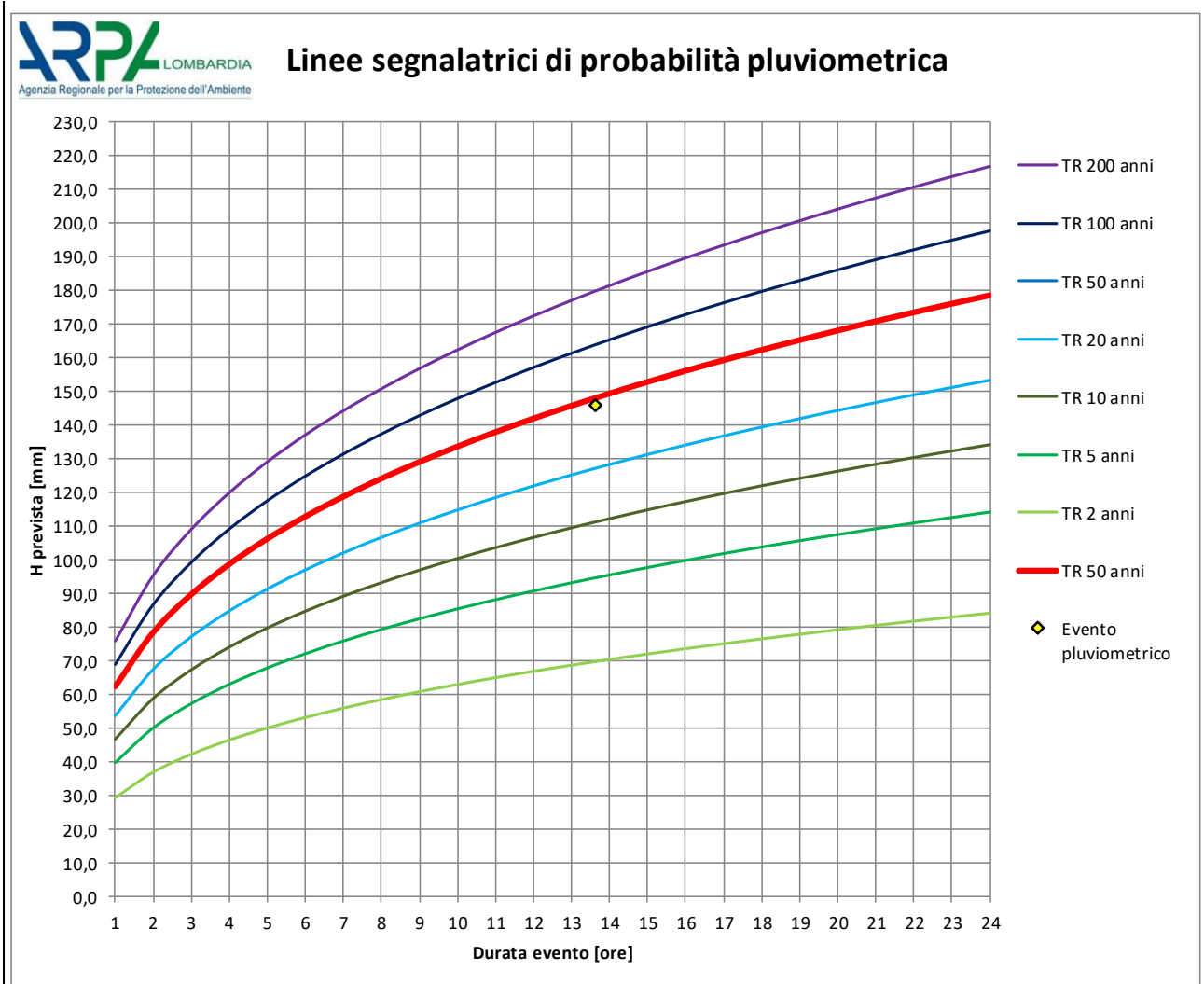


Figura 11: linee segnalatrici di probabilità pluviometrica elaborate con dati forniti da ARPA

I parametri, desunti dalle linee segnalatrici ARPA, a ($= a_1 \cdot wT$) e n valgono rispettivamente:

$$a = 62,3122 \text{ mm/ora}$$

$$n = 0,3311$$

Il sottosuolo dell'area di interesse è, come già mostrato nel paragrafo precedente, di natura prevalentemente ghiaiosa, senza interferenza con la falda freatica.

La portata di acqua da considerare per il dimensionamento dell'invaso che permette di rispettare il principio dell'invarianza idraulica è definita come:

$$Q_e = S \cdot \varphi \cdot a \cdot D^{n-1}$$

Dove S è la superficie scolante complessiva dell'area (espressa in ha)

φ è il coefficiente di deflusso medio ponderale

a che è uguale a $a_1 \cdot wT$ e n sono parametri ricavati dalla curva di possibilità pluviometrica e

D rappresenta la durata dell'evento

n è un parametro ricavato dai dati forniti da ARPA ed è definito come coefficiente di scala

Il calcolo dei volumi di laminazione mediante la procedura dettagliata, riportati in allegato, porta ad un volume di invaso pari a 996,95 m³.

Tuttavia il regolamento di Invarianza idraulica e idrologica prevede il confronto tra questo volume calcolato con quello ricavato mediante l'applicazione dei "requisiti minimi" e la scelta del maggiore tra i due volumi calcolati.

In aree classificate a criticità alta il volume minimo di invaso si ottiene moltiplicando 800 per la superficie scolante impermeabile dell'intervento espressa in ettari

In questo caso si avrà che il volume ricavato mediante la procedura dei requisiti minimi $W_{min} = 800 * ((0,64522 * 1) + (1,56181 * 1) + (0,4950 * 0,7) + (0,78552 * 0,3)) = 2231,35 \text{ m}^3$

Se il progetto di Invarianza prevede la realizzazione di sole strutture di infiltrazione e quindi non sono previsti scarichi verso ricettori, il requisito minimo è ridotto del 30%, purché i calcoli di dimensionamento delle strutture siano basati su prove di permeabilità.

Pertanto, avendo eseguito per questo progetto le prove di permeabilità, illustrate in precedenza, il requisito minimo richiesto è di $2231,35 * 0,7 = 1561,94 \text{ m}^3$

10 DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO DI RACCOLTA DELLE ACQUE METEORICHE

Il volume di laminazione calcolato al paragrafo precedente può essere invasato mediante la realizzazione di una batteria di pozzi perdenti, così come riportato nella allegata Tavola 1. In questa configurazione le acque meteoriche delle coperture vengono raccolte dai pluviali ed inviate direttamente ai pozzi perdenti, mentre le acque meteoriche dei parcheggi e della viabilità vengono preventivamente trattate da impianti disoleatori e quindi trasferite ai pozzi. La dimensione e il numero di pozzi perdenti dipendono dal volume di invaso determinato e dal valore di permeabilità determinato in precedenza.

Ipotizzando di realizzare 26 pozzi perdenti di diametro 2,5 m con profondità utile pari a 4 m con fondo aperto, filtri laterali aggiuntivi e almeno un metro di dreno laterale, si determina la capacità di infiltrazione partendo dai seguenti dati:

K = permeabilità del terreno calcolata in $2,23 \cdot 10^{-4}$ m/s

S = sezione del pozzo

D = fattore di forma dipendente dalla forma del pozzo

Si ottiene:

$$Q_{inf} = S \cdot K \cdot D \text{ (m}^3\text{/s)}$$

$$Q_{inf} = \text{Capacità di infiltrazione} = 3,14 \cdot (1,25 \cdot 1,25) \cdot 2,23 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3\text{/s} = 3,94 \text{ m}^3\text{/h}$$

Dovendo ciascun pozzo smaltire un volume pari a circa $60,1 \text{ m}^3$ il tempo impiegato per lo svuotamento sarà:

$$t_1 \text{ (ore): } 60,1 / 3,94 = 15,3 \text{ ore}$$

Il tempo di svuotamento rientra nel limite di 48 ore previsto dal R.R. n.7

11 INDAGINI GEOGNOSTICHE SUPPLETIVE DA ESEGUIRE IN FASE ESECUTIVA

La campagna di indagini geognostiche da eseguire sul terreno dell'area di interesse, oltre ad essere una raccomandazione contenuta nelle norme geologiche di piano, è necessaria per ricavare con precisione i parametri geotecnici del terreno che l'ingegnere strutturista utilizzerà per il dimensionamento delle opere di fondazione (secondo il D.M. 17/01/2018 Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni). Le prove eseguite per dare una prima caratterizzazione geologico tecnica del terreno, inserite in questo documento, saranno integrate con n. 8 ulteriori prove penetrometriche lungo il perimetro dei tre edifici in progetto.

Per la tipologia e la destinazione d'uso degli edifici in progetto si deve prevedere l'esecuzione di una indagine sismica (MASW) allo scopo di procedere all'analisi sismica di secondo livello.

Eventuali altre prove o analisi di laboratorio saranno prese in considerazione qualora il Progettista della struttura richiedesse l'acquisizione di parametri geotecnici più dettagliati.

12 CONCLUSIONI

Nell'area di Viale Borri in Comune di Castellanza, sono in fase di progettazione un sito a destinazione commerciale (figura 8). L'area, attualmente dismessa, presenta un residuo di demolizione e un cumulo di terra dovuta ad uno sbancamento.

Nella Carta di Fattibilità Geologica contenuta nello studio Geologico a supporto del PGT di Castellanza, l'area di interesse rientra in classe di fattibilità 2 ovvero: fattibilità con consistenti limitazioni legate alla verifica delle caratteristiche geotecniche dei terreni.

L'area di interesse non ricade in zone vincolate di tipo geologico, idrogeologico o idrico.

L'indagine geognostica in sito realizzata mediante l'esecuzione di n. 6 prove penetrometriche dinamiche e l'apertura di n. 4 trincee esplorative, ha permesso di fornire una prima caratterizzazione geotecnica dei terreni, di stabilire la permeabilità del sottosuolo e di ipotizzare un progetto preliminare di Invarianza Idraulica e Idrologica.

Detto che la progettazione dovrà essere condotta adottando i criteri antisismici ai sensi del D.M. 17 gennaio 2018 (Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni), la realizzazione del progetto dell'area commerciale non porterà modifiche agli assetti idrografico, idrogeologico e geomorfologico esistenti.

Si esprime quindi parere favorevole alla fattibilità geologica del progetto sull'area di Viale Borri in Comune di Castellanza.

luglio 2021

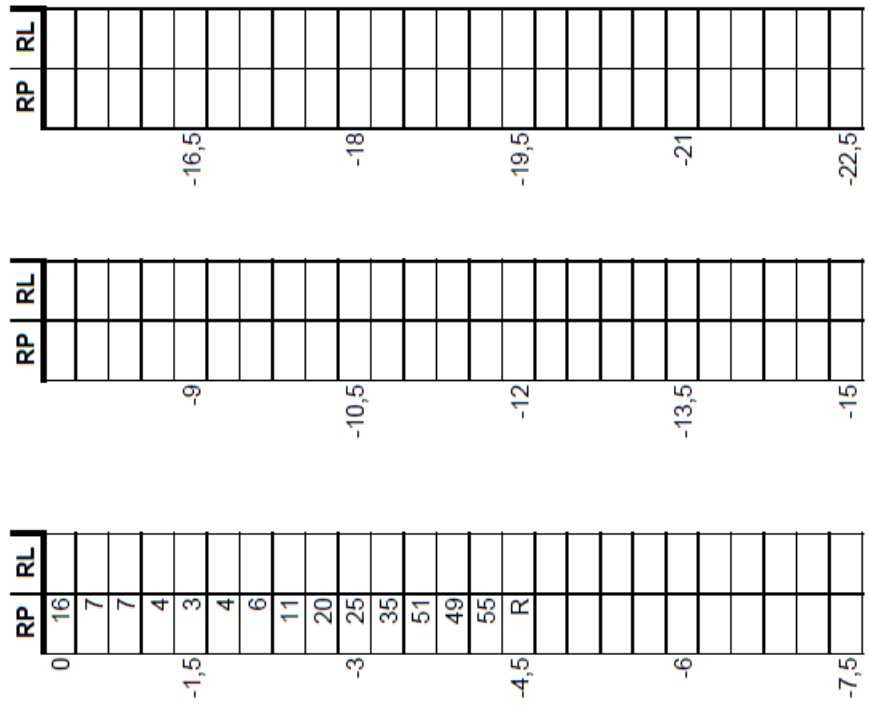
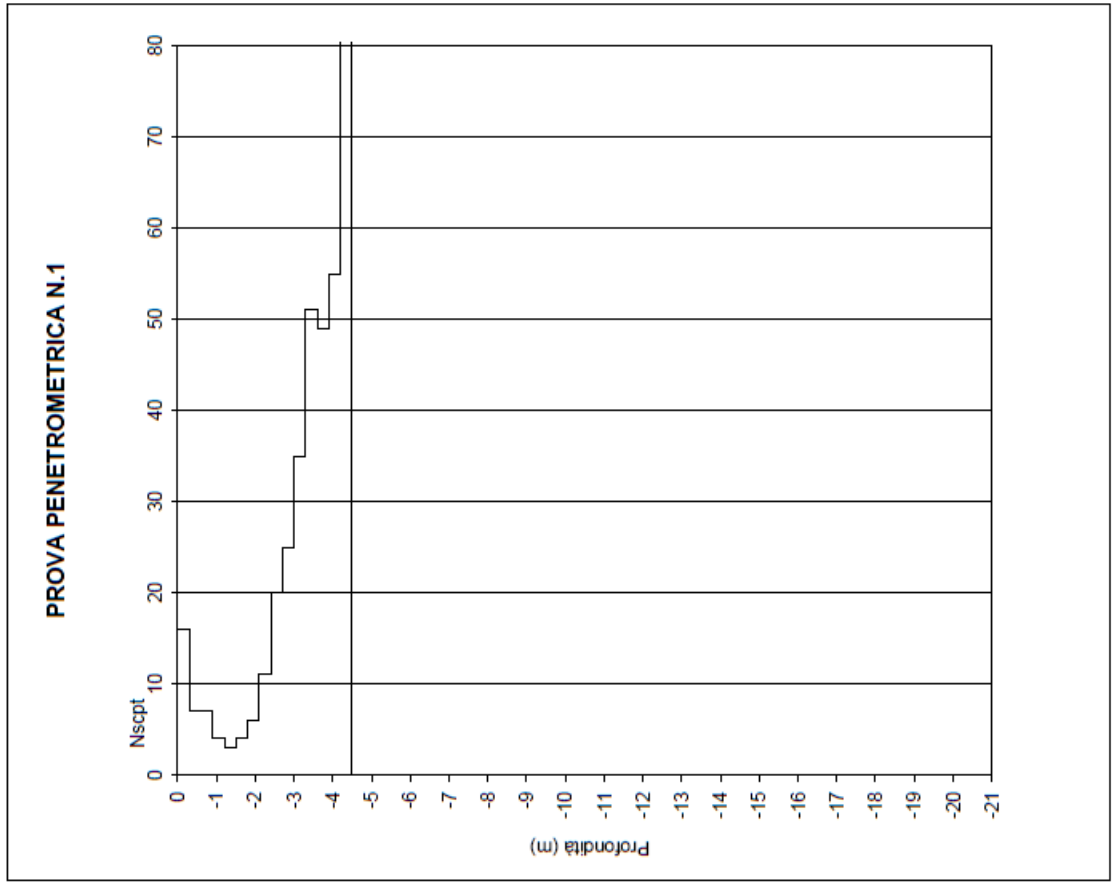
Il Tecnico:

Dott. Geol. Michele Salvatore

GRAFICI E TABELLE PROVE PENETROMETRICHE

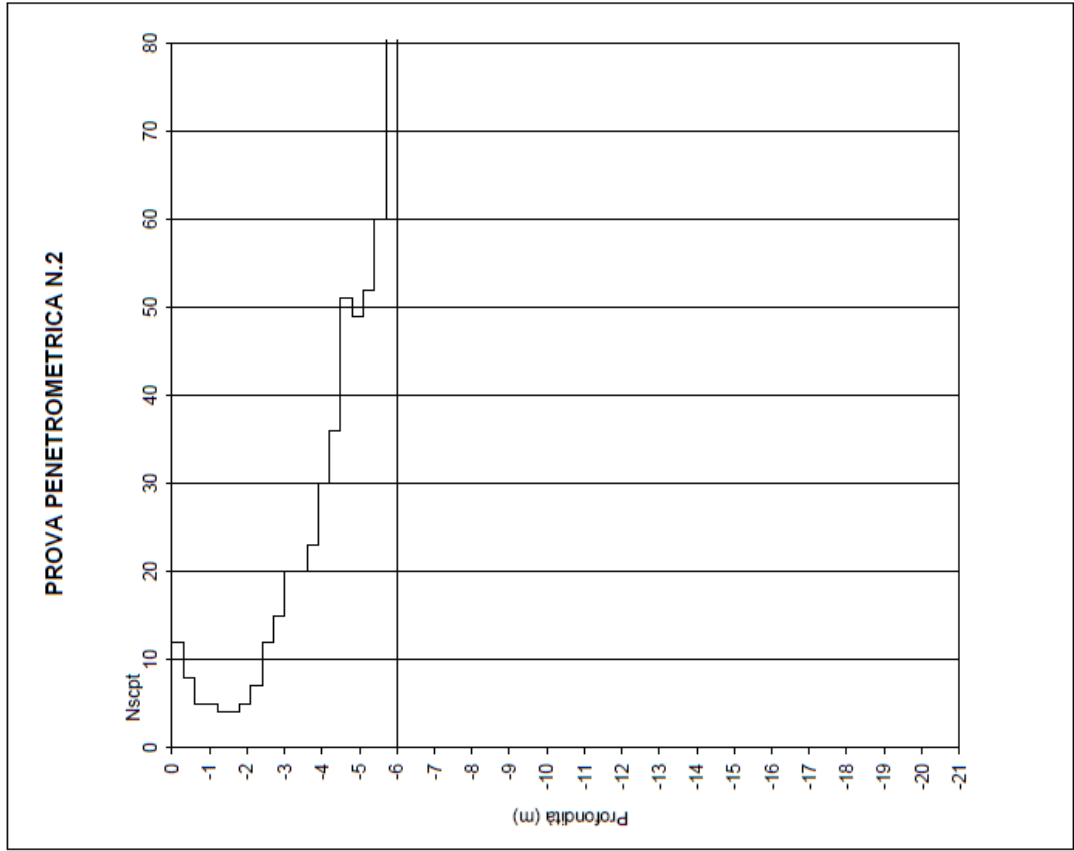
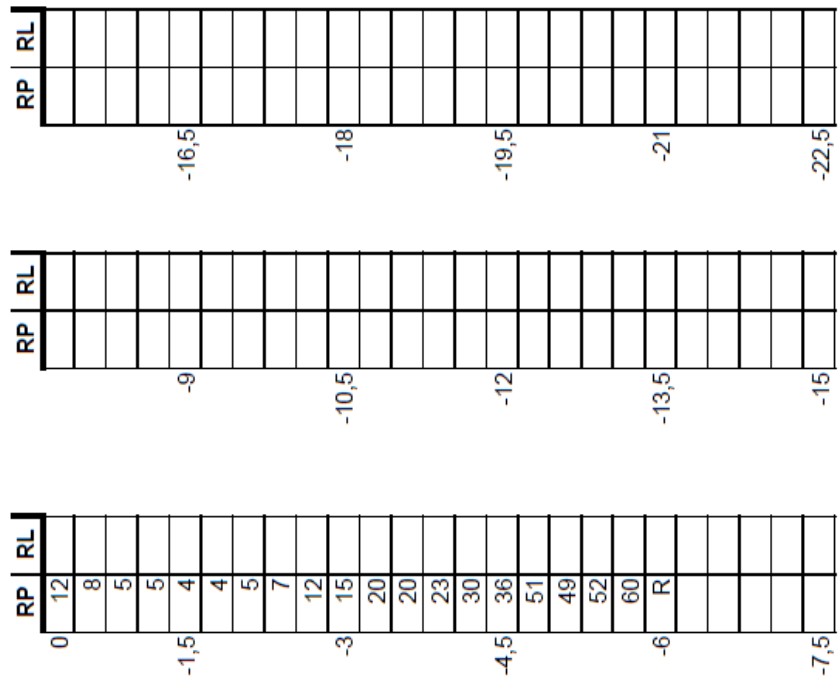
COMMITTENTE: Michele Salvatore
 CANTIERE DI CASTELLANZA - VIA PIEMONTE ANGOLO VIALE BORRI
 PROFONDITA' DELLA FALDA : NON RILEVATA
 DATA DI ESECUZIONE DELLE PROVE : 15/02/21

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA S.C.P.T. (STANDARD A.G.I.)



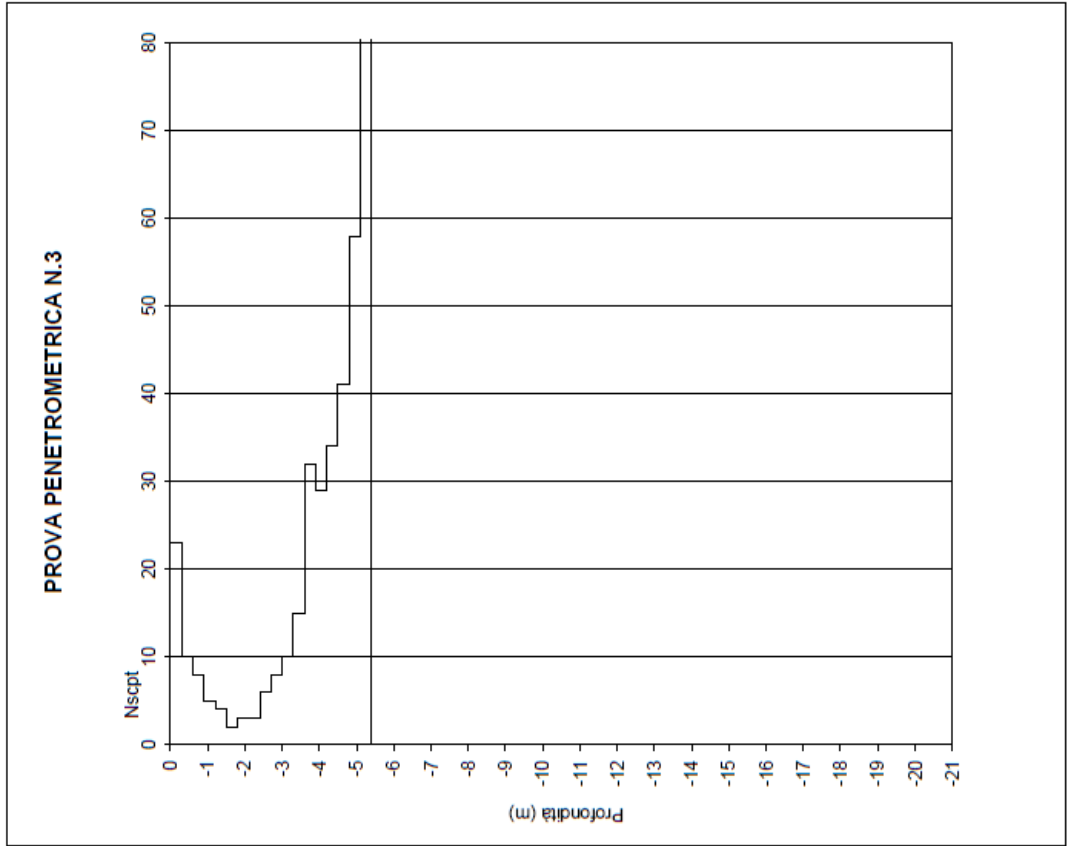
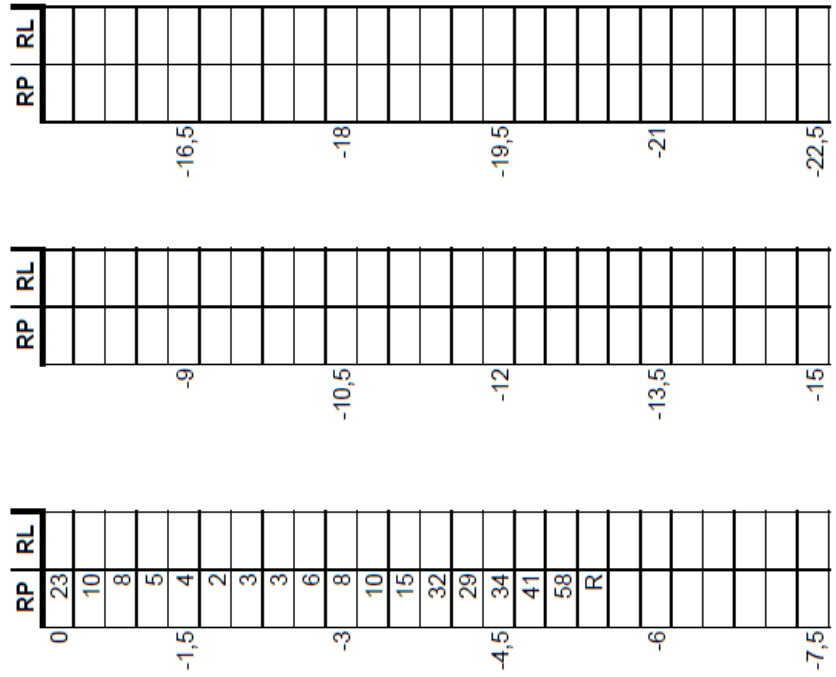
COMMITTENTE: Michele Salvatore
 CANTIERE DI CASTELLANZA - VIA PIEMONTE ANGOLO VIALE BORRI
 PROFONDITA' DELLA FALDA :NON RILEVATA
 DATA DI ESECUZIONE DELLE PROVE : 15/02/21

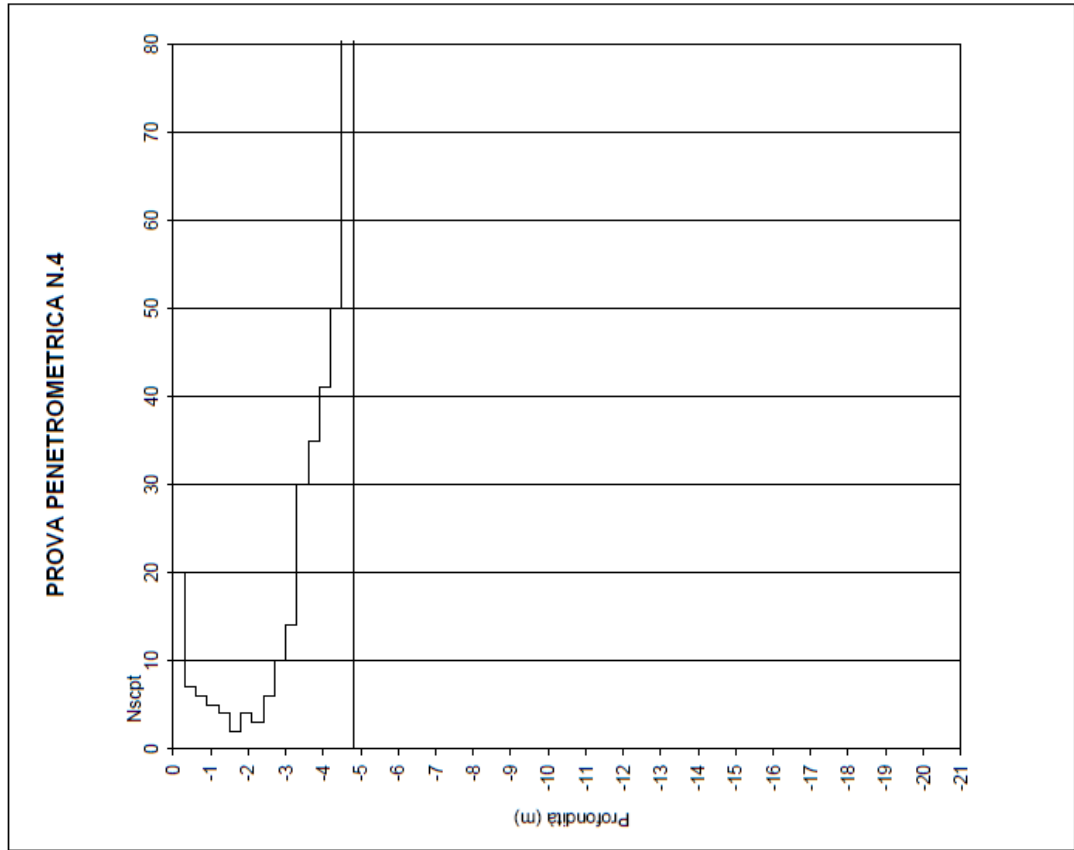
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA S.C.P.T. (STANDARD A.G.I.)



COMMITTENTE: Michele Salvatore
 CANTIERE DI CASTELLANZA - VIA PIEMONTE ANGOLO VIALE BORRI
 PROFONDITA' DELLA FALDA: NON RILEVATA
 DATA DI ESECUZIONE DELLE PROVE : 15/02/21

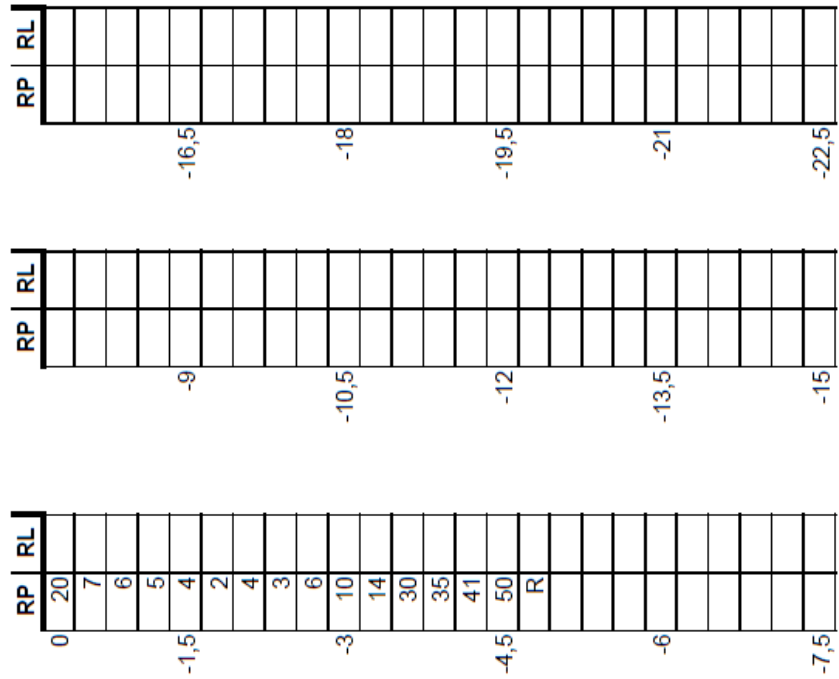
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA S.C.P.T. (STANDARD A.G.I.)

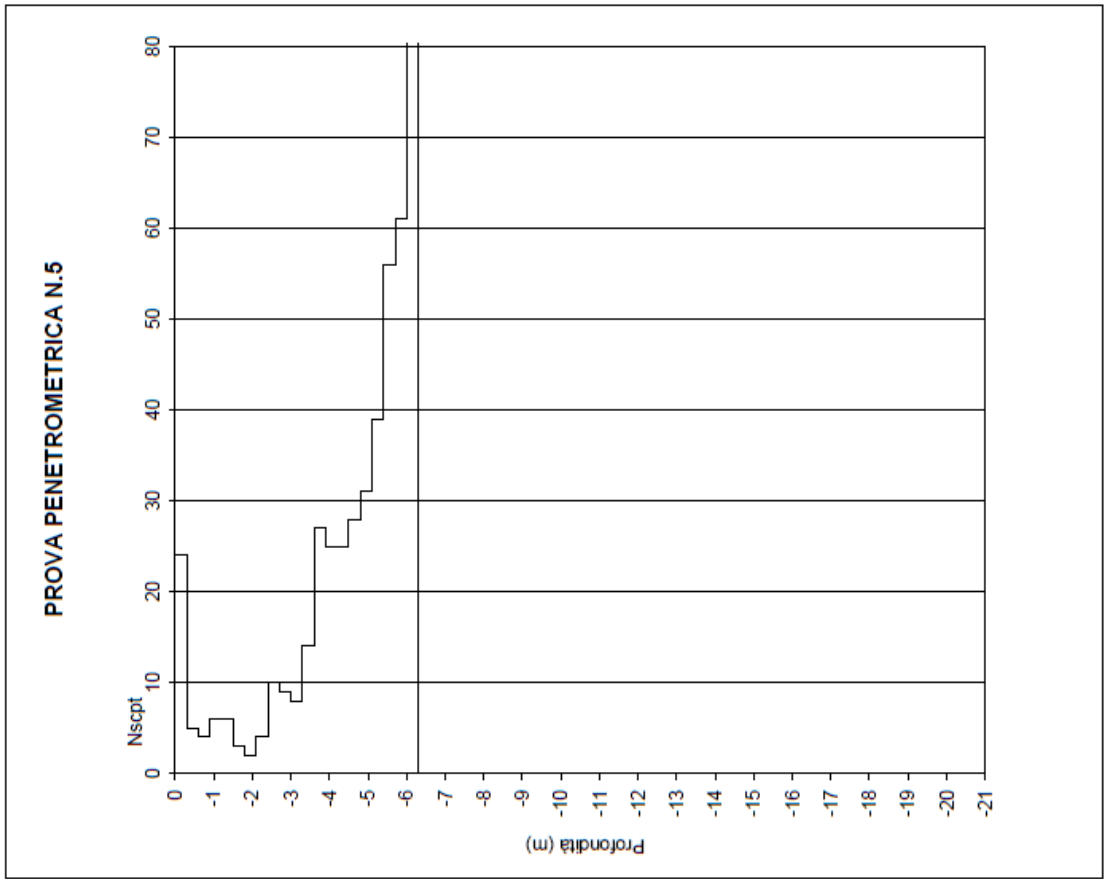




COMMITTENTE: Michele Salvatore
 CANTIERE DI CASTELLANZA - VIA PIEMONTE ANGOLO VIALE BORRI
 PROFONDITA' DELLA FALDA :NON RILEVATA
 DATA DI ESECUZIONE DELLE PROVE : 15/02/21

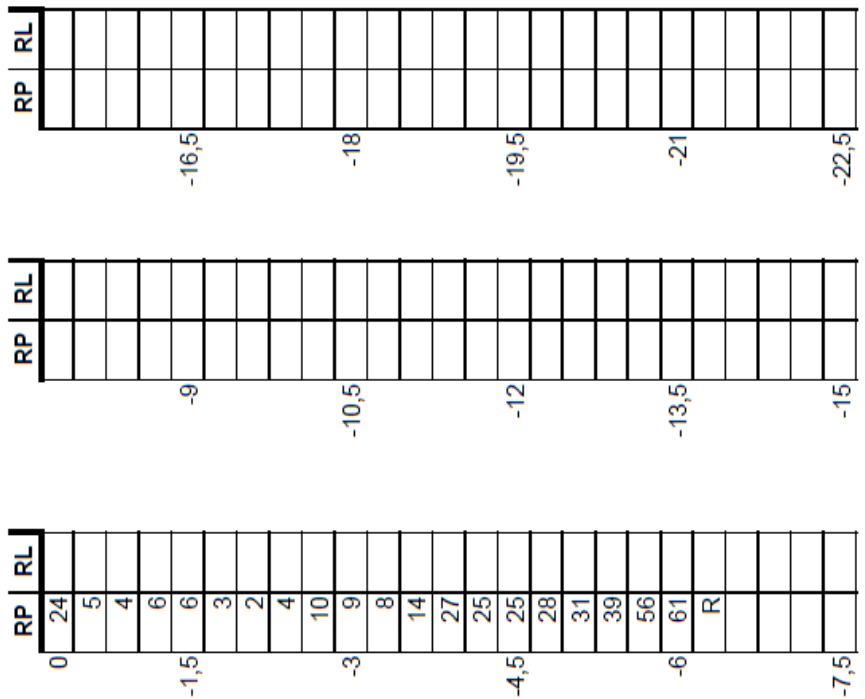
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA S.C.P.T. (STANDARD A.G.I.)





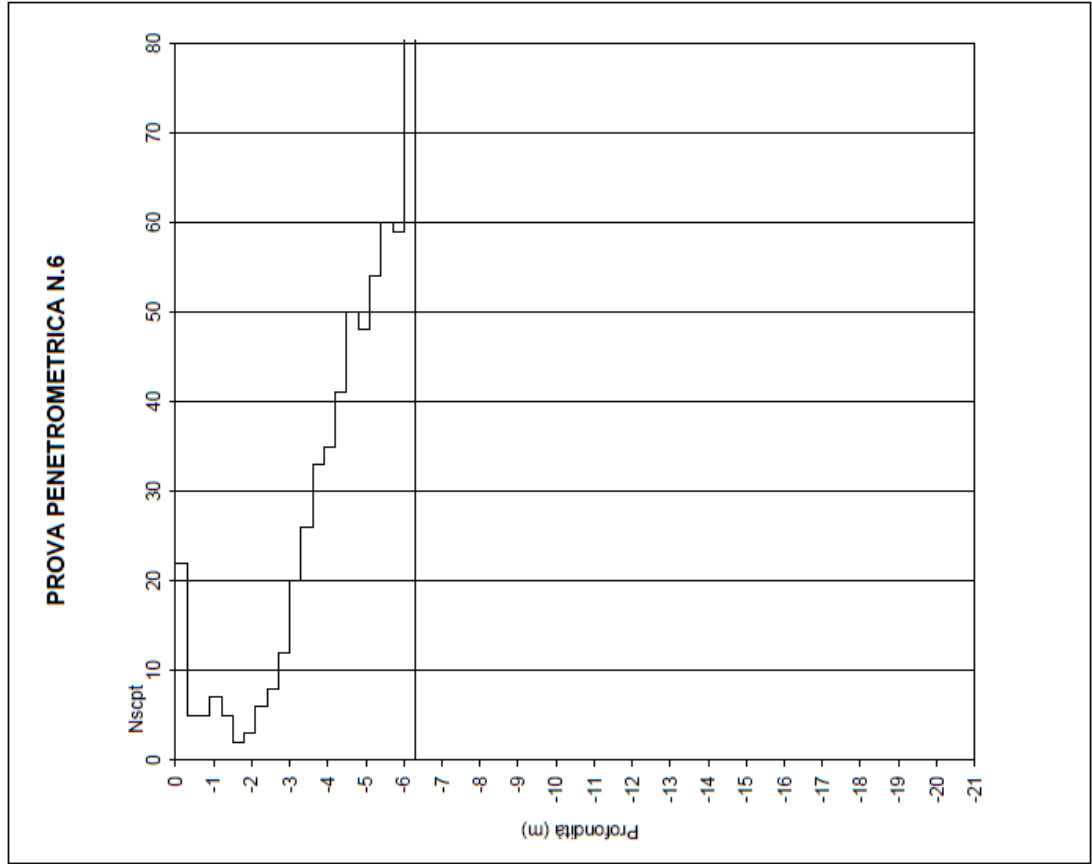
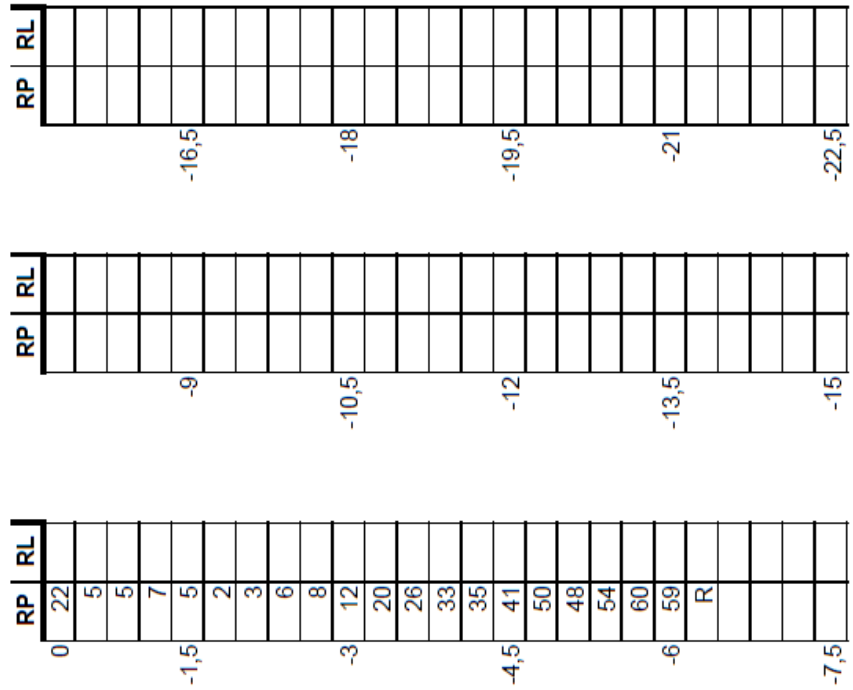
COMMITTENTE: Michele Salvatore
 CANTIERE DI CASTELLANZA - VIA PIEMONTE ANGOLO VIALE BORRI
 PROFONDITA' DELLA FALDA: NON RILEVATA
 DATA DI ESECUZIONE DELLE PROVE : 15/02/21

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA S.C.P.T. (STANDARD A.G.I.)



COMMITTENTE: Michele Salvatore
 CANTIERE DI CASTELLANZA - VIA PIEMONTE ANGOLO VIALE BORRI
 PROFONDITA' DELLA FALDA :NON RILEVATA
 DATA DI ESECUZIONE DELLE PROVE : 15/02/21

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA S.C.P.T. (STANDARD A.G.I.)



RICOSTRUZIONE STRATIGRAFIE DA PROVE PENETROMETRICHE

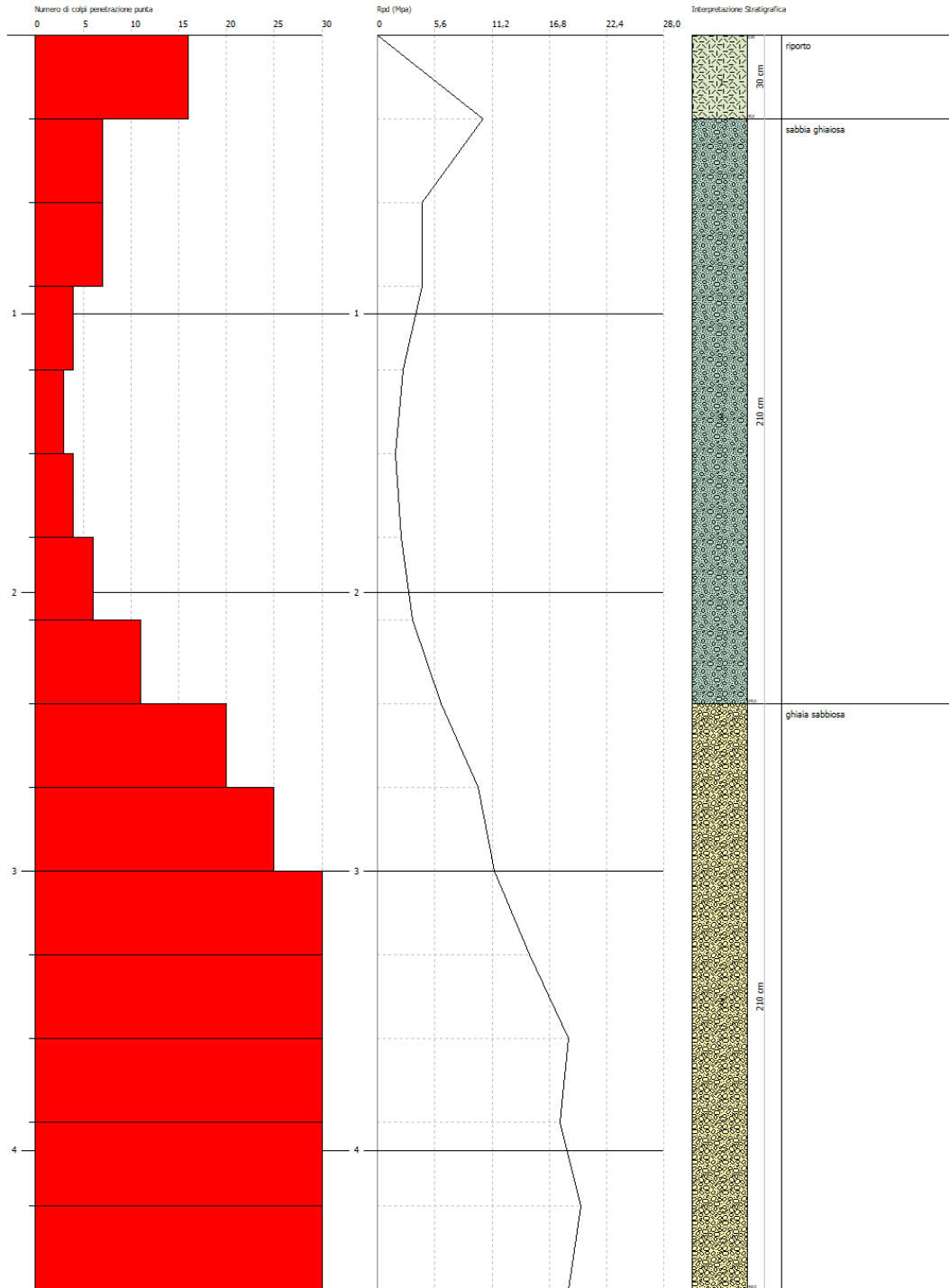
GEOSTRU SOFTWARE SRL
VIA LINGUARE
89032 BIANCO RC ITALY
www.geostru.com

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DP 1
Strumento utilizzato... SCPT TG 63-200 PAGANI

Committente: ADD
Cantiere: Viale Borri
Località: Castellanza

Data: 15/02/2021

Scala 1:20



SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

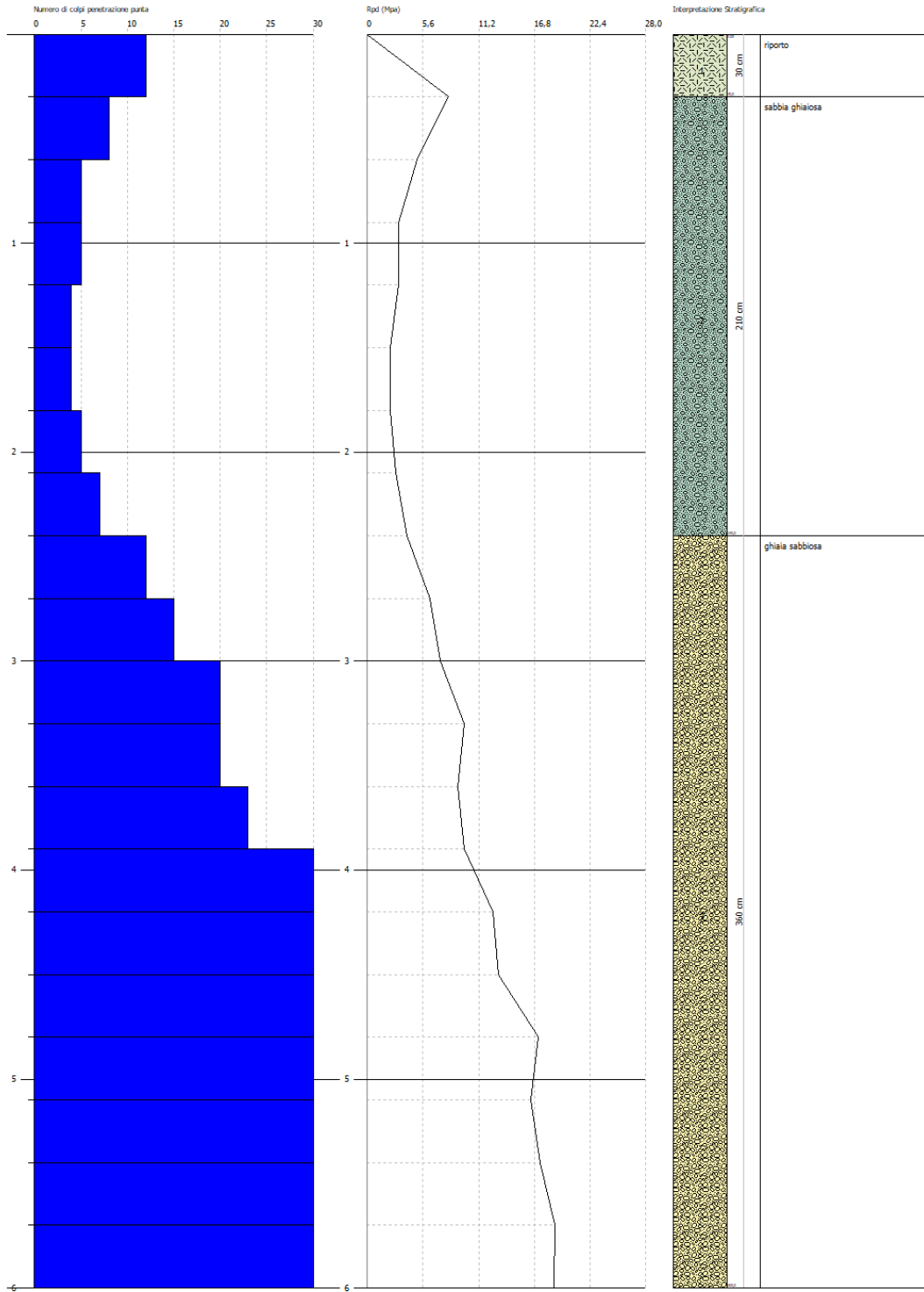
GEOSTRU SOFTWARE SRL
 VIA LINDHARE
 89032 BIANCO RC ITALY
 www.geostru.com

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DP 2
Strumento utilizzato... SCPT TG 63-200 PAGANI

Committente: ADD
 Cantiere: Viale Borri
 Località: Castellanza

Data: 15/02/2021

Scala 1:25



SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

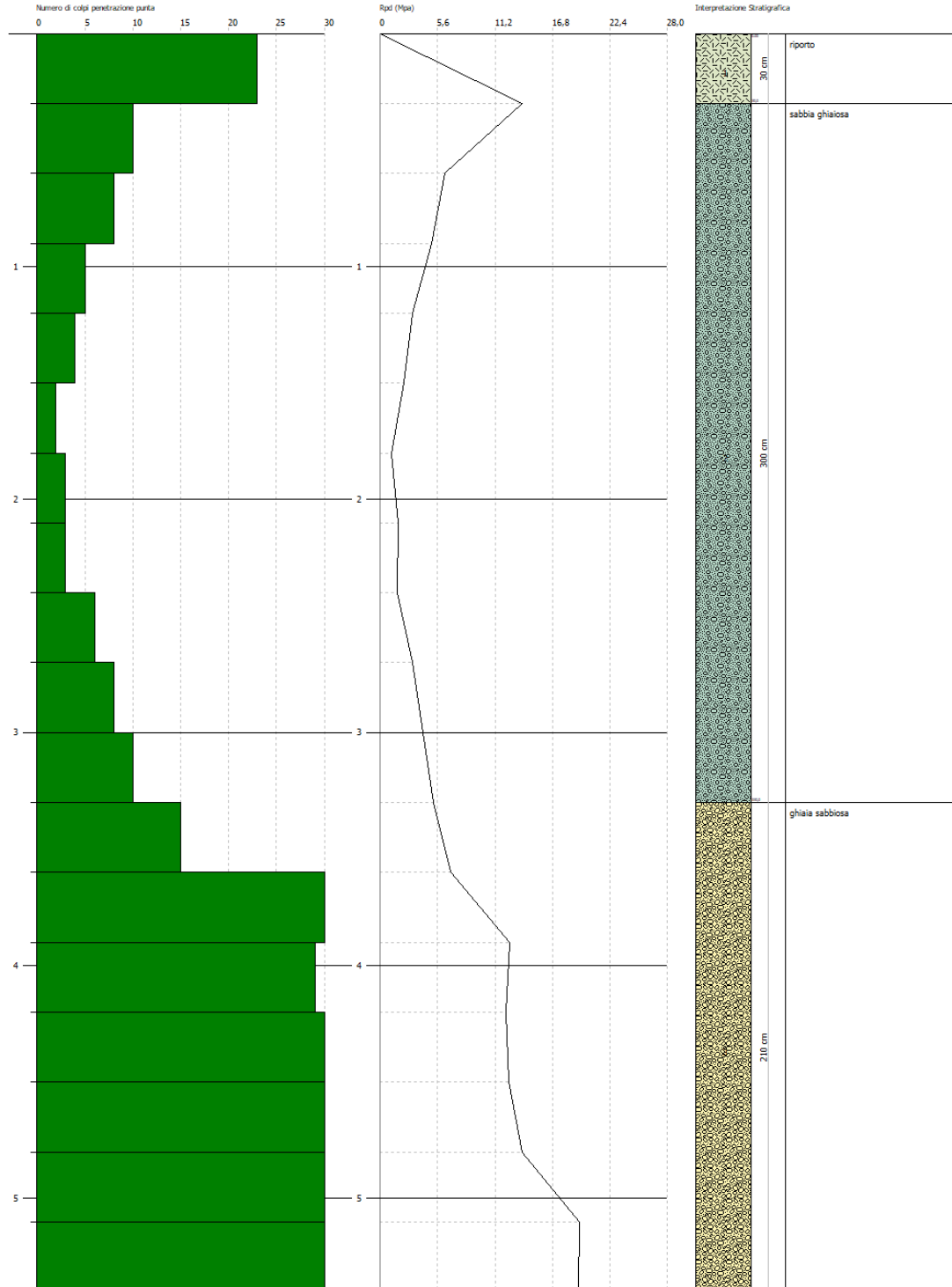
GEOSTRU SOFTWARE SRL
 VIA LINGUARE
 89032 BIANCO RC ITALY
 www.geostru.com

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DP 3
Strumento utilizzato... SCPT TG 63-200 PAGANI

Committente: ADO
 Cantiere: Viale Borri
 Località: Castellanza

Data: 15/02/2021

Scala 1:24



SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

GEOSTRU SOFTWARE SRL
VIA LINGUARE
89032 BIANCO RC ITALY
www.geostru.com

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DP 4
Strumento utilizzato... SCPT TG 63-200 PAGANI

Committente: ADD
Cantiere: Viale Borri
Località: Castellanza

Data: 15/02/2021

Scala 1:21



SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

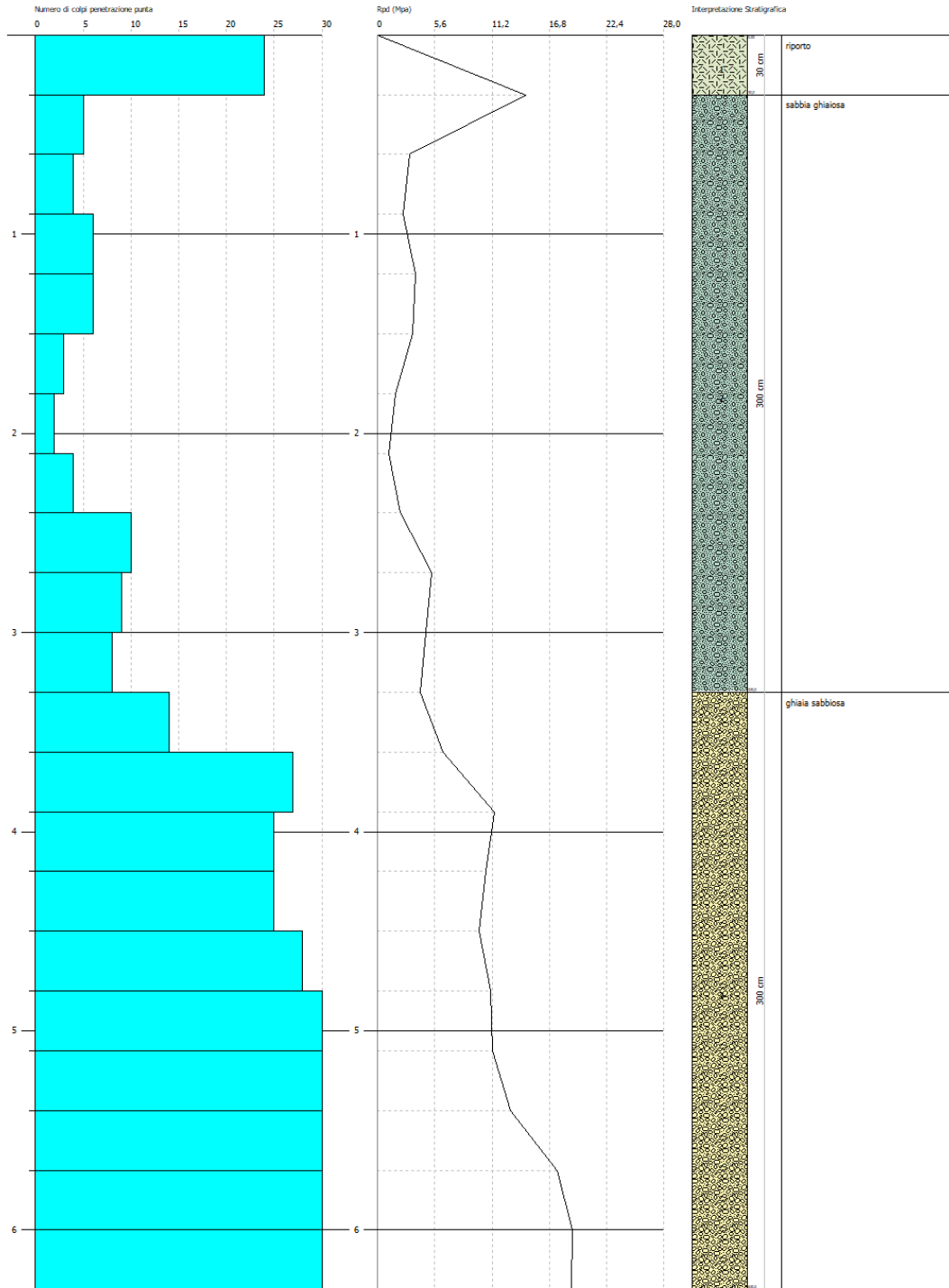
GEOSTRU SOFTWARE SRL
VIA LUNIGIANESE
89032 BIANCO RC ITALY
www.geostru.com

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DP 5
Strumento utilizzato... SCPT TG 63-200 PAGANI

Committente: ADD
Cantiere: Viale Borri
Località: Castellanza

Data: 15/02/2021

Scala 1:28



SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

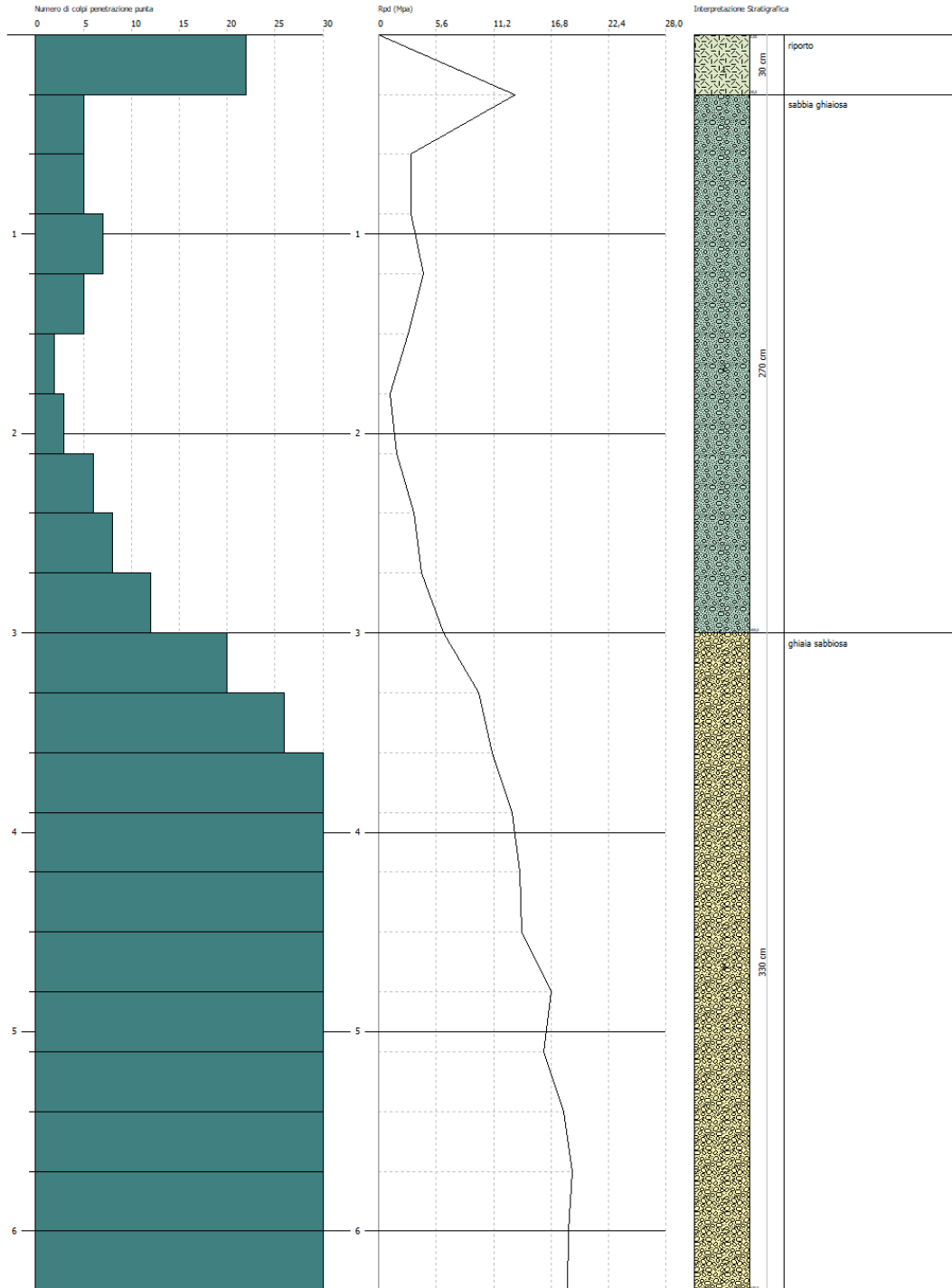
GEOSTRU SOFTWARE SRL
 VIA LUNCONARE
 89032 BIANCO RC ITALY
 www.geostru.com

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DP 6
Strumento utilizzato... SCPT TG 63-200 PAGANI

Committente: ADD
 Cantiere: Viale Borri
 Località: Castellanza

Data: 15/02/2021

Scala 1:28



SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

PROCEDURA DETTAGLIATA PER IL CALCOLO DEL VOLUME DI LAMINAZIONE

Regione LOMBARDIA

Provincia di Varese

Comune di Castellanza

Edifici commerciali

RELAZIONE INVARIANZA IDRAULICA E IDROLOGICA

Committente

Nome **IMMOBILIARE SAN PATRIZIO S.r.l.**

Indirizzo

Edificio / Area

Descrizione

ne **Progetto edifici commerciali**

Indirizzo **Viale Borri**

Studio tecnico

Nome **SALVADORE DOTT. MICHELE**

Indirizzo **VIA DANTE ALIGHIERI, 239/B - 21050 CASTELSEPRIO (VA)**

Progettista

Rif.: Procedura dettagliata Viale Borri luglio 2021 rev 1

Software di calcolo: Edilclima - EC737 - versione 2

Data di redazione del documento: 02/03/2021

INDICE

- 1. PREMESSA**
- 2. DESCRIZIONI GENERALI DELL'AREA E DATI AMMINISTRATIVI**
- 3. DESCRIZIONE DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE DI INVARIANZA IDRAULICA E/O IDROLOGICA**
- 4. PORTATE MASSIME SCARICABILI**
- 5. DEFINIZIONE DELLE PIOGGE DI PROGETTO**
- 6. METODOLOGIE DI DIMENSIONAMENTO E VERIFICA ADOTTATI**
 - 6.1 Requisiti minimi
 - 6.2 Metodo analitico di dettaglio
- 7. CALCOLO DELLA PORTATA MASSIMA SCARICATA**
- 8. TEMPO DI SVUOTAMENTO**
- 9. PRINCIPALI RISULTATI DEI CALCOLI**

1. PREMESSA

Oggetto della presente relazione è la verifica del rispetto dei requisiti minimi di invarianza idraulica e/o idrologica relativi al progetto di **Edifici commerciali**, sito in **Viale Borri Castellanza**.

L'area drenata oggetto d'intervento si estende su una superficie di **34875,5 m²**.

Nello specifico, scopo del presente lavoro è l'individuazione delle modifiche all'assetto idrogeologico dell'area, conseguenti alle trasformazioni in progetto, con l'obiettivo di definire le misure compensative e/o le caratteristiche delle opere necessarie ad evitare l'aggravio delle condizioni idrauliche rispetto alla situazione preesistente o come da richiesta di norma.

Le verifiche del rispetto dei requisiti minimi di invarianza idraulica e/o idrologica vengono condotte conformemente al R.R. 7/2017 di Regione Lombardia come integrato e modificato dal R.R. 8/2019 e normative correlate. Nello specifico verranno adottati i metodi di calcolo in essa richiamati.

Nel presente documento verranno descritte le soluzioni progettuali adottate, i metodi di calcolo utilizzati e verranno riportati i report dei calcoli eseguiti, con relativi grafici, e le verifiche effettuate.

Il Regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7 contiene "criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica e idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n.12 (Legge per il governo del territorio)".

Invarianza idraulica: principio in base al quale le portate massime di afflusso meteorico scaricate dalle aree urbanizzate nei ricettori naturali o artificiali di valle non sono maggiori di quelle preesistenti all'urbanizzazione (articolo 58 bis, comma 1, lettera a) della l.r. 12/2005.

Invarianza idrologica: principio in base al quale sia le portate che i volumi di afflusso meteorico scaricati dalle aree urbanizzate nei ricettori naturali o artificiali di valle non devono essere maggiori di quelli preesistenti all'urbanizzazione (articolo 58 bis, comma 1, lettera b) della l.r. 12/2005.

In particolare, con tale Regolamento, la Regione Lombardia definisce:

- gli interventi edilizi richiedenti le misure di invarianza idraulica e idrologica;
- gli ambiti territoriali di applicazione differenziati in funzione del livello di criticità idraulica dei bacini dei corsi d'acqua ricettori;
- il valore massimo della portata meteorica scaricabile nei ricettori per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica e idrologica nei diversi ambiti territoriali individuati;
- la classificazione degli interventi richiedenti misure di invarianza idraulica e idrologica e le modalità di calcolo;
- le indicazioni tecniche costruttive e degli esempi di buone pratiche di gestione delle acque meteoriche in ambito urbano;
- la possibilità, per i comuni, di prevedere la monetizzazione come alternativa alla diretta realizzazione per gli interventi previsti in ambiti urbani caratterizzati da particolari condizioni urbanistiche o idrogeologiche.

2. DESCRIZIONI GENERALI DELL'AREA E DATI AMMINISTRATIVI

Individuazione dell'area

Comune di Castellanza Provincia Varese
Livello di criticità Area A - criticità alta
Classe dell'intervento 3 - Impermeabilizz. potenziale alta

CARATTERISTICHE AREA			
Descrizione	Tipo area	Superficie [m ²]	Coeff. Afflusso ϕ
Coperture edifici	Area impermeabile	6452,2	1,00
Viabilità +piazze + cilabile	Area impermeabile	15618,1	1,00
Posti auto	Area semi-impermeabile	4950,0	0,70
Verde	Area permeabile	7855,2	0,30

Superficie totale 34875,5 m² Coefficiente afflusso medio ponderale ϕ_m 0,80

Dati amministrativi

Concessione edilizia n. _____ del 02/03/2021
Richiesta permesso di costruire _____ del 02/03/2021
Permesso di costruire/DIA/SCIA/CIL o CIA _____ del 02/03/2021
Variante permesso di costruire/DIA/SCIA/CIL o CIA _____ del 02/03/2021

3. DESCRIZIONE DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE DI INVARIANZA IDRAULICA E/O IDROLOGICA

La soluzione adottata per il rispetto delle prescrizioni sull'invarianza idraulica e idrologica è la seguente.

Pozzi perdenti

4. PORTATE MASSIME SCARICABILI

Per quanto attiene alle portate massime scaricabili la normativa prevede il seguente valore:

$$Q_{umax} = u_{lim} \cdot \varphi_m \cdot A$$

Q_{umax} [l/s]: portata massima in uscita dall'invaso

A [ha]: area totale dell'intervento

φ_m [-]: coefficiente di afflusso medio ponderale

u_{lim} [l/(s · ha_{imp})]: portata massima scaricabile specifica per unità d'area impermeabile

I valori massimi scaricabili ammissibili definiti dal Regolamento Regionale n. 7 del 23/11/2017 per ciascun ambito, sono:

- Aree A: $u_{lim} = 10$ [l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento]
- Aree B: $u_{lim} = 20$ [l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento]
- Aree C: $u_{lim} = 20$ [l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento]

Nel caso specifico $Q_{umax} = 27,9$ l/s.

5. DEFINIZIONE DELLE PIOGGE DI PROGETTO

Al fine di dimensionare e verificare le opere d'invarianza idraulica in progetto devono essere definite preventivamente le precipitazioni di progetto.

A tal fine, per durate di precipitazione superiori ad un'ora, viene applicato il metodo della legge probabilistica GEV (Generalized Extreme Values).

Tale metodo a partire dai parametri di riferimento a_1 ed n della curva di possibilità pluviometrica, definito il tempo di ritorno TR dell'evento critico, ricalcola il parametro a per il caso specifico e calcola l'altezza di pioggia come segue:

$$h = a_1 \cdot w_T \cdot D^n$$

h [mm]: altezza di pioggia

a_1 [mm/oraⁿ]: coefficiente pluviometrico orario

D [ore]: durata di pioggia

n [-]: coefficiente di scala della linea segnalatrice di pioggia

w_T [-]: coefficiente probabilistico legato al tempo di ritorno TR [anni]

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \cdot \left\{ 1 - \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\}$$

$\varepsilon, \alpha, \kappa$ [-]: parametri della legge probabilistica GEV

Per durate inferiori a un'ora si utilizzano tutti i parametri adottati per le durate superiori ad un'ora, tranne il parametro n che viene definito in modo specifico per tale durata.

In assenza di dati più precisi spesso, in letteratura tecnica idrologica, viene riportato un valore indicativo pari a $n = 0,5$.

Per quanto attiene i parametri caratteristici delle linee segnalatrici di pioggia si possono estrarre per il territorio regionale dal Portale Idrologico Geografico di ARPA Lombardia: <http://idro.arpalombardia.it/pmapper-4.0/map.phtml>

In alternativa a tali precipitazioni di progetto, possono essere assunti valori diversi solo nel caso si disponga di dati ufficiali più specifici per la località oggetto dell'intervento, dichiarandone l'origine e la validità.

Considerato che l'applicazione dei principi di invarianza idraulica ed idrologica contribuisce in modo fondamentale alle misure di prevenzione dell'esondazione dei corsi d'acqua e delle reti di drenaggio urbano, il Regolamento regionale prevede che siano valutate le condizioni locali di rischio di allagamento residuo per eventi di tempo di ritorno alti, quelli cioè che determinano un superamento anche rilevante delle capacità di controllo assicurate dalle strutture fognarie; gli interventi di contenimento e controllo delle acque meteoriche sono conseguentemente dimensionati in modo da rispettare i valori di portata limite di cui all'articolo 8, assumendo i seguenti valori di tempi di ritorno:

$TR = 50$ [anni]: tempo di ritorno da adottare per il dimensionamento delle opere d'invarianza idraulica e idrologica per un accettabile grado di sicurezza delle stesse, in considerazione dell'importanza ambientale ed economica degli insediamenti urbani.

$TR = 100$ [anni]: tempo di ritorno da adottare per la verifica dei franchi di sicurezza delle opere come sopra dimensionate; il medesimo tempo di ritorno è adottato anche per il dimensionamento e la verifica

delle eventuali ulteriori misure locali anche non strutturali di protezione idraulica dei beni insediati, quali barriere e paratoie fisse o rimovibili a difesa di ambienti sotterranei, cunette di drenaggio verso recapiti non pericolosi.

6. METODOLOGIE DI DIMENSIONAMENTO E VERIFICA ADOTTATI

Al fine di ottemperare alle verifiche di invarianza idraulica e/o idrologica vengono adottati i seguenti metodi di calcolo:

- metodo dei requisiti minimi
- metodo analitico di dettaglio

Nei paragrafi seguenti verranno descritti tali metodi ed a fine relazione verranno riportati i report dei calcoli.

Tra tutti questi metodi adottati si assumerà quale valore del volume minimo di progetto il maggiore tra tutti i valori calcolati.

6.1 Requisiti minimi

Per gli interventi aventi superficie interessata dall'intervento minore o uguale a 300 m², ovunque ubicati nel territorio regionale, il requisito minimo richiesto consiste, in alternativa:

- nell'adozione di un sistema di scarico sul suolo o negli strati superficiali del sottosuolo e non in un ricettore, salvo il caso in cui questo sia costituito da laghi o dai fiumi Po, Ticino, Adda, Brembo, Serio, Oglio, Chiese e Mincio. In questo caso non è richiesto il rispetto della portata massima e non è necessario redigere il progetto d'invarianza idraulica;
- nell'adozione del requisito minimo.

Nel caso d'interventi classificati ad impermeabilizzazione potenziale bassa, indipendentemente dalla criticità dell'ambito territoriale in cui ricadono, e nel caso di interventi classificati ad impermeabilizzazione potenziale media o alta e ricadenti nell'ambito territoriale di bassa criticità, il requisito minimo da soddisfare consiste nella realizzazione di uno o più invasi di laminazione, comunque configurati, dimensionati adottando i seguenti valori parametrici del volume minimo dell'invaso, o del complesso degli invasi, di laminazione:

- Aree A: $w_{\min} = 800$ [m³ per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento]
- Aree B: $w_{\min} = 500$ [m³ per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento]
- Aree C: $w_{\min} = 400$ [m³ per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento]

* Il valore va moltiplicato per il coefficiente di riduzione di cui alla tabella riportata nell'Allegato C del Regolamento.

Tali volumi sono da adottare anche nel caso d'interventi classificati a impermeabilizzazione potenziale media o alta e ricadenti negli ambiti territoriali ad alta e media criticità, qualora il volume risultante dai calcoli fosse minore.

Ulteriormente, il progetto prevede di ottemperare ai requisiti di invarianza mediante il solo utilizzo di strutture di infiltrazione, quindi il requisito minimo di cui sopra è ridotto del 30 per cento. I calcoli di dimensionamento delle strutture di infiltrazione saranno basati su prove di permeabilità, allegate al progetto, rispondenti ai requisiti riportati nell'Allegato F di cui al R.R. 7/2017 e s.m.i.

6.2 Metodo analitico di dettaglio

Il metodo analitico di dettaglio prevede di calcolare in modo analitico la curva della portata entrante nell'accumulo, minuto per minuto, l'altezza idrica nell'invaso e la contestuale portata uscente o infiltrata, per un evento meteorico di fissata durata e tempo di ritorno.

Noto il volume invasato istante per istante, si calcola il relativo valore massimo, che rappresenta il volume minimo che l'accumulo deve possedere al fine di garantire il vincolo di invarianza ed il rispetto della portata scaricata, per detto evento meteorico di fissata durata e tempo di ritorno.

La durata dell'evento meteorico ritenuto critico viene riportato nel report dei calcoli.

Per quanto attiene alla portata entrante nel serbatoio essa viene calcolata, mediante il modello cinematico, come somma delle portate generate dalle singole aree.

L'applicazione della procedura dettagliata prevede l'implementazione dei seguenti passaggi:

- calcolo ietogramma di pioggia di progetto lorda mediante lo ietogramma Chicago;
- depurazione delle piogge e calcolo dello ietogramma netto;
- calcolo dell'idrogramma in ingresso all'accumulo come somma degli idrogrammi generati dalla singola area;
- calcolo del bilancio del serbatoio e del battente idrico al suo interno minuto per minuto;
- calcolo del volume invasato e dell'idrogramma in uscita dall'invaso;
- calcolo del volume minimo di laminazione come valore massimo del volume invasato.

Ietogramma di pioggia di progetto

Per la definizione dell'evento di pioggia di progetto si può utilizzare lo ietogramma Chicago, sviluppato da Keifer e Chu nel 1957 con riferimento alla fognatura di Chicago. Tale ietogramma è caratterizzato da un picco d'intensità massima e da una intensità media per ogni durata, anche parziale, uguale a quella definita dalla curva di possibilità pluviometrica. Analiticamente lo ietogramma Chicago è descritto da due equazioni, rispettivamente riferite al ramo crescente prima del picco e al successivo ramo decrescente dopo il picco.

Il calcolo dell'altezza di precipitazione h [mm], in funzione del tempo t [ore], viene calcolato con le seguenti.

$$h(t) = r \cdot a \left[\left(\frac{t_r}{r} \right)^n - \left(\frac{t_r - t}{r} \right)^n \right] \quad \text{per } t \leq t_r$$

$$h(t) = r \cdot a \cdot \left(\frac{t_r}{r} \right)^n + a \cdot (1 - r) \cdot \left(\frac{t - t_r}{1 - r} \right)^n \quad \text{per } t_r < t \leq t_p$$

Per durate superiori alla durata della precipitazione t_p esso rimane costante.

h [mm]: altezza di precipitazione

a [mm/oraⁿ]: parametro della linea segnalatrice di pioggia

n [-]: coefficiente di scala della linea segnalatrice di pioggia

r [-]: coefficiente di posizione del picco di precipitazione rispetto alla durata della pioggia

t [ore]: generico istante di calcolo

t_p [ore]: durata della precipitazione

t_r [ore]: tempo del picco di precipitazione pari a $t_p \cdot r$

I parametri a ed n adottati sono quelli che fanno riferimento alla durata della precipitazione di progetto.

Il range di applicazione del coefficiente di posizione risulta $0 \leq r \leq 1$. La sua posizione all'interno della durata complessiva θ dell'evento può essere scelta sulla base di indagini statistiche relative alla zona in esame, oppure in mancanza di informazioni si può porre $r=0,4$ valore medio che risulta dagli studi in materia riportati in letteratura.

Sulla base di tali formule l'intensità di precipitazione i [mm/h], al generico istante t [ore], viene calcolato con la seguente.

$$i(t) = \frac{h(t) - h(t - \Delta t)}{\Delta t}$$

i [mm/ora]: intensità di precipitazione

Δt [ore]: passo di calcolo dell'intensità di precipitazione posto pari a 1 min.

Ietogramma di pioggia netto

Lo ietogramma di pioggia netto viene calcolato mediante il metodo di depurazione delle piogge di Horton.

Tale modello prevede che l'infiltrazione delle acque di pioggia nel sottosuolo decresce da un valore massimo iniziale legato al tipo di suolo ed al suo stato di imbibizione all'inizio dell'evento, ad un valore minimo asintotico che eguaglia la conduttività idraulica a saturazione, la quale è legata alle caratteristiche di porosità del terreno, alla stratigrafia del sottosuolo, alla presenza e distanza dalla falda.

La rapidità con cui la curva esponenziale decresce, è anch'essa legata al tipo di suolo.

Se $i_0 \geq f_0$:

$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c) \cdot e^{-kt}$$

$f(t)$ [mm/ora]: infiltrazione al tempo t

f_c [mm/ora]: conduttività idraulica a saturazione

f_0 [mm/ora]: infiltrazione iniziale (per $t=0$)

k [1/ora]: costante di decadimento

Se $i_0 < f_0$:

È necessario traslare tale curva di un intervallo di tempo t_0 tale che nel momento in cui si verifica l'intersezione tra la nuova curva d'infiltrazione e lo ietogramma di pioggia lordo ($i = f'$), il volume di pioggia affluito sia uguale a quello infiltrato ($I = F'$), ovvero:

$$\begin{cases} i(t_p) = f'(t_p - t_0) \\ I(t_p) = F'(t_p - t_0) \end{cases}$$

t_p [ora]: tempo di ponding; intersezione tra la curva di infiltrazione traslata e lo ietogramma di pioggia lordo

t_0 [ora]: tempo di traslazione della curva d'infiltrazione

i_p [mm/ora]: intensità di pioggia al tempo di ponding
 $f'(t_p-t_0)$ [mm/ora]: infiltrazione al tempo $t=t_p-t_0$
 $I(t_p)$ [mm]: volume di pioggia affluito al tempo di ponding
 $F'(t_p-t_0)$ [mm]: volume infiltrato al tempo $t=t_p-t_0$

Il tempo di ponding t_p ed il tempo di traslazione della curva d'infiltrazione t_0 vengono calcolati risolvendo numericamente il sistema di equazioni sopra riportato.

Il volume di infiltrazione si calcola come:

$$F'(t) = \int_0^t f(\tau) \cdot d\tau = f_c \cdot t + (f_0 - f_c) \cdot \frac{(1 - e^{-kt})}{k}$$

Per quanto riguarda i valori da attribuire ai parametri della legge di Horton si fa riferimento a quanto riportato anche nel Regolamento Regionale n.7 del 23/11/2017 di Regione Lombardia, che suggerisce l'utilizzo dei valori riportati in Tabella seguente:

Valori parametri modello di Horton

Classe suolo	f_0 [mm/ora]	f_c [mm/ora]	k [ore ⁻¹]
A	250	25.4	2
B	200	12.7	2
C	125	6.3	2
D	76	2.5	2

Le classi d'uso del suolo sono quelle proposte dal Natural Resources Conservation Service:

- **Classe A** - Scarsa potenzialità di afflusso: comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili;
- **Classe B** - Potenzialità di afflusso moderatamente bassa: comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione;
- **Classe C** - Potenzialità di afflusso moderatamente alta: comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D; il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione;
- **Classe D** - Potenzialità di afflusso molto alta: comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.

Lo ietogramma netto $i_n(t)$ si può calcolare come segue.

Per $t > t_p$ e $i(t) > f'(t)$:

$$i_n(t) = i(t) - f'(t)$$

Altrimenti:

$$i_n(t) = 0$$

i_n [mm/ora]: intensità di pioggia netta

i [mm/ora]: intensità di pioggia lorda

t_p [ore]: tempo di "ponding"

f' [mm/ora]: intensità d'infiltrazione (curva di Horton traslata)

Idrogramma in ingresso all'invaso

L'idrogramma in ingresso all'invaso viene calcolato come somma degli idrogrammi delle singole aree.

Nello specifico si adotta il modello cinematico, ipotizzando una curva area tempi lineare.

Il Regolamento Regionale n.7 del 23/11/2017 suggerisce di utilizzare come modello afflussi-deflussi per il calcolo dell'idrogramma in ingresso all'invaso il metodo della corrivazione.

Le equazioni generali di riferimento sono, in forma discretizzata, le seguenti.

$$\begin{cases} q_k = \sum_{j=1}^k p_j \cdot IUH_{k-j+1} \cdot \Delta t \\ p_j = \frac{2,78}{1000} \cdot i_{n,j} \cdot A \\ IUH_{k-j+1} = \frac{1}{A} \cdot \frac{A_{k-j+1}}{\Delta t} \end{cases}$$

q_k [m^3/s]: portata all'istante di tempo $t = k \cdot \Delta t$

p_j [m^3/s]: volume di pioggia netta all'istante di tempo $t = j \cdot \Delta t$

$i_{n,j}$ [mm/ora]: intensità di pioggia netta all'istante di tempo $t = j \cdot \Delta t$

Δt [ore]: intervallo di tempo considerato, pari ad 1 minuto

IUH_{k-j+1} [-]: idrogramma istantaneo unitario all'istante di tempo $t = (k - j + 1) \cdot \Delta t$

A_{k-j+1} [ha]: porzione di bacino alla sezione di chiusura all'istante di tempo $t = (k - j + 1) \cdot \Delta t$

A [ha]: area totale dell'intervento

In mancanza d'indicazioni specifiche, si consideri la curva aree-tempi lineare, caso particolare per cui l'idrogramma istantaneo unitario (IUH) risulta costante nel tempo e pari:

$$IUH_{k-j+1} = \frac{1}{t_c}$$

t_c [ore]: tempo di corrivazione

Il tempo di corrivazione t_c , nelle reti di drenaggio urbano può essere calcolato come:

$$t_c = t_e + \frac{t_r}{1,5}$$

t_e [ore]: tempo di entrata in rete

t_r [ore]: tempo di rete del percorso idraulicamente più lungo a monte della sezione di calcolo

1,5: coefficiente di taratura

Il tempo di rete t_r si può calcolare come, il valore massimo di percorrenza di tutti i percorsi possibili:

$$t_r = \max_j \left\{ \sum_l \frac{L_{i,j}}{V_{r,i,j}} \right\}$$

$j [-]$: j-esimo percorso possibile lungo la rete fino alla sezione di calcolo considerata

$i [-]$: i-esimo ramo lungo il j-esimo percorso

$L_{ij} [m]$: lunghezza dell'i-esimo ramo lungo il j-esimo percorso

$V_{rij} [m/s]$: velocità a pieno riempimento dell'i-esimo ramo lungo il j-esimo percorso

La velocità a pieno riempimento V_r si può calcolare utilizzando l'equazione di Chezy-Strickler:

$$V_r = k_s \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{i}$$

$R [m]$: raggio idraulico, che per condotte circolari risulta pari a: $R = D/4$

$D [m]$: diametro interno della condotta

$i [-]$: pendenza della condotta

$k_s [m^{1/3}/s]$: coefficiente di scabrezza della condotta di Strikler

Per piccole superfici, quali tetti e cortili interni, il tempo di corrivazione è generalmente molto piccolo e può essere assunto pari al tempo di ingresso in rete, per cui in assenza di dati specifici relativi al caso in esame, possono essere presi a riferimento i valori in tabella seguente.

Valori proposti in letteratura per la stima del tempo di entrata in rete

Tipi di bacini	t_e [min]
Centri urbani intensivi con tetti collegati direttamente alle canalizzazioni e con frequenti caditoie stradali	5 ÷ 7
Centri commerciali con pendenze modeste e caditoie meno frequenti	7 ÷ 10
Aree residenziali di tipo intensivo con piccole pendenze e caditoie poco frequenti	10 ÷ 15

Il tempo di base dell'idrogramma di piena t_b si calcola come $t_b = \theta + t_c$, dove θ è la durata della precipitazione.

Calcolo portata infiltrata

Per calcolare la portata infiltrata dal sistema di pozzi si adotta la formulazione di Sieker (1984), che non considera, cautelativamente, come superficie infiltrante la base del pozzo, assumendo che a lungo termine, a causa dei depositi delle particelle più fini, si possa intasare.

$$Q_{inf} = n_p \cdot K_{calc} \cdot \left(\frac{L + H}{L + H/2} \right) \cdot A_f$$

$$A_f = \pi \cdot \left[\left(\frac{D}{2} + \frac{H}{2} \right)^2 - \left(\frac{D}{2} \right)^2 \right]$$

Q_{inf} [m^3/s]: portata infiltrata

n_p [-]: numero dei pozzi

K_{calc} [m/s]: coefficiente di permeabilità di calcolo del terreno a lungo termine

H [m]: altezza dell'acqua rispetto al fondo del pozzo

D [m]: diametro dei pozzi/o

L [m]: distanza tra il fondo del pozzo e il livello della falda

A_f [m^2]: superficie d'infiltrazione di calcolo

In caso di presenza di più pozzi il funzionamento è calcolato in parallelo.

Nel calcolo del processo di infiltrazione vengono adottati valori cautelativi dei coefficienti di permeabilità del terreno idonei a rappresentare condizioni di permeabilità a lungo termine.

Calcolo del volume invasato con il metodo di dettaglio

Il calcolo del volume invasato dal sistema di laminazione e della portata scaricata viene descritto dall'equazioni di continuità seguente.

$$Q_e(t) - Q_u(t) = \frac{dW(t)}{dt}$$

Q_e [m^3/s]: portata in ingresso all'invaso

Q_u [m^3/s]: portata in uscita dall'invaso, scaricata o infiltrata

W [m^3]: volume invasato

t [s]: tempo

Dove il volume invasato W , in ipotesi di forma prismatica, è dato dalla seguente relazione.

$$W = W[H(t)] = A_{inv} \cdot H(t)$$

H [m]: battente idrico all'interno dell'invaso

A_{inv} [m^2]: area di base dell'invaso

Q_u è la legge di efflusso dell'invaso che dipende dal battente idrico H , come descritto nel paragrafo precedente.

$$Q_u = Q_u(H(t))$$

Q_e è la portata in ingresso all'invaso relativa al tempo di ritorno di progetto ed alla durata critica di progetto.

Risolvendo numericamente l'equazione di continuità è possibile definire istante per istante l'altezza del battente idrico, il volume invasato e la portata scaricata o infiltrata.

Il volume minimo che deve avere l'invaso W_0 è dato dal massimo valore di tutti i volumi d'acqua invasati in tutti gli intervalli di tempo i -esimi.

$$W_0 = \max_i(W_i)$$

7. CALCOLO DELLA PORTATA MASSIMA SCARICATA

Trattandosi di sistema ad infiltrazione non ci sono portate scaricate.

8. TEMPO DI SVUOTAMENTO

Il tempo di svuotamento T_{sv} [s] viene calcolato con la seguente.

$$T_{sv} = \frac{W}{Q_{inf} + Q_u}$$

W [m^3]: volume invasato massimo

Q_{inf} [m^3/s]: portata infiltrata

Q_u [m^3/s]: portata scaricata

Nel caso di sistemi di scarico o di infiltrazione a portata variabile si adotta il valore medio della portata infiltrata e/o scaricata durante il periodo di svuotamento.

Il tempo di svuotamento dell'invaso non deve superare le 48 ore, in modo da ripristinare la capacità d'invaso quanto prima possibile. Qualora non si riesca a rispettare il termine di 48 ore, ovvero qualora il volume calcolato sia realizzato all'interno di aree che prevedono anche volumi aventi altre finalità, il volume complessivo deve essere calcolato tenendo conto che dopo 48 ore deve comunque essere disponibile il volume calcolato. Il volume di laminazione calcolato deve quindi essere incrementato della quota parte che è ancora presente all'interno dell'opera una volta trascorse 48 ore. Per considerare l'eventualità che una seconda precipitazione possa avvenire in condizioni di parziale pre-riempimento degli invasi, nonostante si sia rispettato nella progettazione, il progetto valuta il rischio sui beni insediati e prevede misure locali anche non strutturali di protezione idraulica dei beni stessi in funzione della tipologia degli invasi e della locale situazione morfologica e insediativa.

Il tempo di svuotamento T_{sv} viene calcolato mediante la simulazione dinamica dell'invaso, come tempo intercorrente tra il termine dell'evento meteorico ed il tempo di completo svuotamento dell'invaso.

9. PRINCIPALI RISULTATI DEI CALCOLI

Si riportano di seguito i risultati del calcolo.

CARATTERISTICHE GENERALI

Comune di Castellanza Provincia Varese
Livello di criticità Area A - criticità alta

Metodi di calcolo adottati	
Requisiti minimi	
Metodo analitico di dettaglio	

Portata massima scaricabile			
Portata massima scaricabile	10,00	l/(s*ha _{imp})	
Origine del vincolo di portata: .			

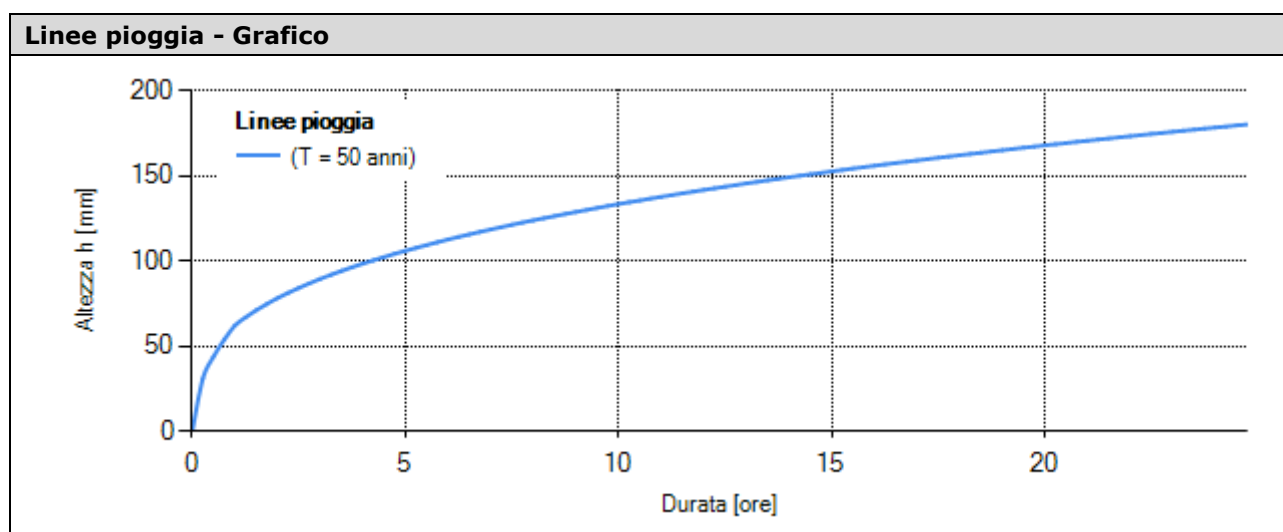
Definizione aree			
Descrizione	Tipo area	Superficie [m ²]	Coeff. Afflusso φ
Coperture edifici	Area impermeabile	6452,2	1,00
Viabilità + piazzali + cilabile	Area impermeabile	15618,1	1,00
Posti auto	Area semi-impermeabile	4950,0	0,70
Verde	Area permeabile	7855,2	0,30

Sup. totale intervento 34875,5 m² Coeff. afflusso medio ponderale φ_m 0,80

LINEE SEGNALETRICI DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA

Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica			
Coefficiente pluviometrico orario	a_1	31,42	mm/h ⁿ
Coefficiente di scala	n	0,3311	-
GEV - Parametro alfa	α	0,2893	-
GEV - Parametro kappa	k	-0,0112	-
GEV - Parametro epsilon	ϵ	0,8293	-
Coefficiente di scala (durata < 1 ora)	n_1	0,5000	-

Nota: A ciascuno dei Comuni della Lombardia sono assegnati cinque parametri per la definizione della pioggia di progetto presi, come indicato dal Regolamento Regionale n. 7 del 23/11/2017, dal Portale Idrologico Geografico di ARPA Lombardia (<http://idro.arpalombardia.it/pmapper4.0/map.phtml>). Tali valori corrispondono ai parametri 1-24 ore delle Linee segnalatrici (Progetto Strada).



Linee pioggia - Risultati tabellari

Durata [ore]	(T= 50 anni) h [mm]
0	0,00
1	62,31
2	78,39
3	89,65
4	98,61
5	106,17
6	112,77
7	118,68
8	124,04
9	128,98
10	133,56
11	137,84
12	141,87
13	145,68
14	149,30
15	152,75
16	156,04
17	159,21
18	162,25
19	165,18

20	168,01
21	170,75
22	173,40
23	175,97
24	178,46

Scelta tempo di ritorno			
Dimensionamento delle opere di invarianza idraulica ed idrologica			
Tempo di ritorno adottato		50	anni
Coefficiente probabilistico	w_T	1,983	-
Parametro pioggia	a	62,311	mm/h ⁿ
<p><i>Nota: Il Regolamento Regionale n. 7 del 23/11/2017 definisce i seguenti valori di tempi di ritorno.</i></p> <p><i>T = 50 [anni]: tempo di ritorno da adottare per il dimensionamento delle opere di invarianza idraulica e idrologica per un accettabile grado di sicurezza delle stesse, in considerazione dell'importanza ambientale ed economica degli insediamenti urbani.</i></p> <p><i>T = 100 [anni]: tempo di ritorno da adottare per la verifica dei franchi di sicurezza delle opere come sopra dimensionate; il medesimo tempo di ritorno è adottato anche per il dimensionamento e la verifica delle eventuali ulteriori misure locali anche non strutturali di protezione idraulica dei beni insediati, quali barriere e paratoie fisse o rimovibili a difesa di ambienti sotterranei, cunette di drenaggio verso recapiti non pericolosi.</i></p>			

CARATTERISTICHE IDROLOGICHE AREE

Caratteristiche idrologiche				
Descrizione	Tipo area	Superficie A [m ²]	Coeff. Afflusso ϕ	T. corriv. t_c [min]
Coperture edifici	Area impermeabile	6452,2	1,00	8
Viabilità +piazzi + cilabile	Area impermeabile	15618,1	1,00	8
Posti auto	Area semi-impermeabile	4950,0	0,70	8
Verde	Area permeabile	7855,2	0,30	8
Superficie totale intervento: 34875,5 m ²		Valori medi	0,80	

IETOGRAMMA DI PIOGGIA

Definizione ietogramma di pioggia - Coperture edifici		
Durata pioggia di progetto (θ)	13,00	ore
Coefficiente di posizione (r)	0,40	-
Metodo di depurazione delle piogge	Metodo di Horton	
Classe di suolo	C - moderatamente alta potenzialità di deflusso	
Parametro f_0	125	mm/h
Parametro f_c	6,3	mm/h
Parametro k	2	1/h

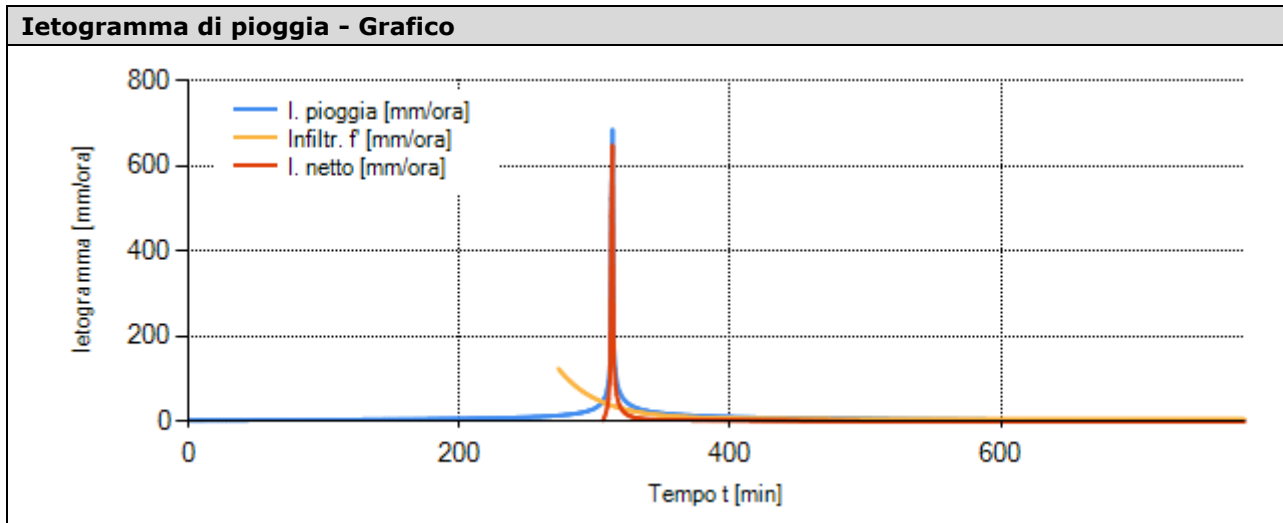
*Nota: Il Regolamento Regionale n.7 del 23/11/2017, suggerisce l'utilizzo della seguente tabella:
In cui le classi d'uso del suolo sono quelle proposte dal Natural Resources Conservation Service:*

Classe A Scarsa potenzialità di afflusso: comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.

Classe B Potenzialità di afflusso moderatamente bassa: comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.

Classe C Potenzialità di afflusso moderatamente alta: comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D; il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.

Classe D Potenzialità di afflusso molto alta: comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.



Ietogramma di pioggia - Risultati tabellari			
Tempo di ponding (t_p)		125	min
Tempo [min]	Intensità di pioggia [mm/h]	Infiltrazione [mm/h]	Int. di pioggia netta [mm/h]
0	3,71	0,00	0,00
30	3,97	0,00	0,00
60	4,27	0,00	0,00
90	4,65	0,00	0,00
120	5,12	0,00	0,00
150	5,74	0,00	0,00
180	6,58	0,00	0,00
210	7,81	0,00	0,00
235	9,42	0,00	0,00
240	9,85	0,00	0,00

245	10,33	0,00	0,00
250	10,88	0,00	0,00
255	11,50	0,00	0,00
260	12,22	0,00	0,00
265	13,07	0,00	0,00
270	14,08	0,00	0,00
275	15,31	117,04	0,00
280	16,84	100,04	0,00
285	18,84	85,65	0,00
290	21,54	73,47	0,00
295	25,49	63,16	0,00
296	26,51	61,29	0,00
297	27,65	59,49	0,00
298	28,91	57,75	0,00
299	30,32	56,06	0,00
300	31,93	54,43	0,00
301	33,76	52,85	0,00
302	35,88	51,32	0,00
303	38,37	49,85	0,00
304	41,34	48,42	0,00
305	44,95	47,04	0,00
306	49,48	45,70	3,78
307	55,36	44,41	10,95
308	63,36	43,16	20,20
309	75,07	41,95	33,12
310	94,37	40,79	53,59
311	134,70	39,65	95,04
312	522,14	38,56	483,58
313	684,82	37,50	647,31
314	176,66	36,48	140,18
315	123,78	35,49	88,29
316	98,46	34,53	63,93
317	83,10	33,61	49,49
318	72,61	32,71	39,89
319	64,90	31,85	33,05
320	58,96	31,01	27,95
321	54,22	30,20	24,02
322	50,32	29,42	20,91
323	47,06	28,66	18,40
324	44,28	27,93	16,35
325	41,87	27,22	14,66
326	39,77	26,53	13,24
327	37,91	25,87	12,05
328	36,26	25,23	11,03
329	34,77	24,61	10,17
330	33,43	24,01	9,42
331	32,21	23,42	8,78
332	31,09	22,86	8,23
333	30,07	22,32	7,75
334	29,13	21,80	7,33
335	28,26	21,29	6,97
336	27,44	20,80	6,65
337	26,69	20,32	6,37
338	25,99	19,86	6,12
339	25,33	19,42	5,91
340	24,71	18,99	5,72
341	24,12	18,57	5,55
342	23,57	18,17	5,40
343	23,05	17,78	5,27
344	22,56	17,40	5,16

345	22,09	17,04	5,05
350	20,08	15,39	4,69
355	18,46	13,99	4,47
360	17,14	12,81	4,33
365	16,03	11,81	4,22
370	15,08	10,97	4,12
375	14,27	10,25	4,01
380	13,55	9,64	3,91
385	12,92	9,13	3,79
390	12,35	8,70	3,66
395	11,85	8,33	3,52
400	11,39	8,02	3,37
405	10,97	7,75	3,22
410	10,59	7,53	3,06
415	10,25	7,34	2,90
420	9,92	7,18	2,74
425	9,63	7,05	2,58
430	9,35	6,93	2,42
450	8,42	6,62	1,79
480	7,38	6,42	0,96
510	6,61	6,34	0,26
540	6,01	6,32	0,00
570	5,53	6,31	0,00
600	5,14	6,30	0,00
630	4,81	6,30	0,00
660	4,53	6,30	0,00
690	4,28	6,30	0,00
720	4,07	6,30	0,00
750	3,88	6,30	0,00
780	3,71	6,30	0,00

Definizione ietogramma di pioggia - Viabilità + piazzali + cilabile		
Durata pioggia di progetto (θ)	13,00	ore
Coefficiente di posizione (r)	0,40	-
Metodo di depurazione delle piogge	Metodo di Horton	
Classe di suolo	C - moderatamente alta potenzialità di deflusso	
Parametro f_0	125	mm/h
Parametro f_c	6,3	mm/h
Parametro k	2	1/h

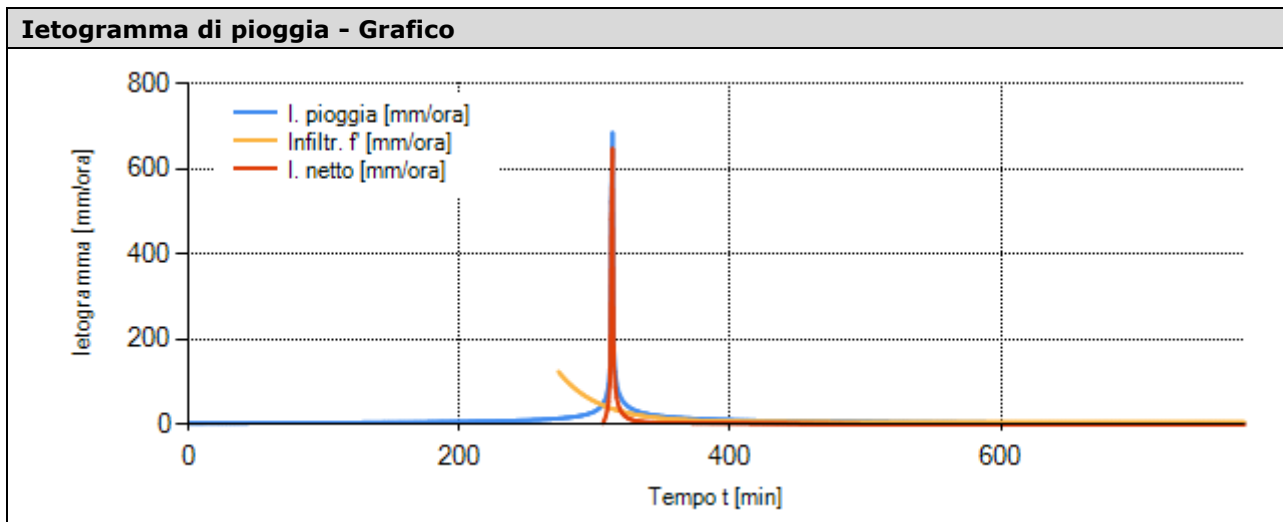
Nota: Il Regolamento Regionale n.7 del 23/11/2017, suggerisce l'utilizzo della seguente tabella:
In cui le classi d'uso del suolo sono quelle proposte dal Natural Resources Conservation Service:

Classe A Scarsa potenzialità di afflusso: comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.

Classe B Potenzialità di afflusso moderatamente bassa: comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.

Classe C Potenzialità di afflusso moderatamente alta: comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloid, anche se meno che nel gruppo D; il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.

Classe D Potenzialità di afflusso molto alta: comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.



Ietogramma di pioggia - Risultati tabellari			
Tempo di ponding (tp)		125	min
Tempo [min]	Intensità di pioggia [mm/h]	Infiltrazione [mm/h]	Int. di pioggia netta [mm/h]
0	3,71	0,00	0,00
30	3,97	0,00	0,00
60	4,27	0,00	0,00
90	4,65	0,00	0,00
120	5,12	0,00	0,00
150	5,74	0,00	0,00
180	6,58	0,00	0,00
210	7,81	0,00	0,00
235	9,42	0,00	0,00
240	9,85	0,00	0,00
245	10,33	0,00	0,00
250	10,88	0,00	0,00

255	11,50	0,00	0,00
260	12,22	0,00	0,00
265	13,07	0,00	0,00
270	14,08	0,00	0,00
275	15,31	117,04	0,00
280	16,84	100,04	0,00
285	18,84	85,65	0,00
290	21,54	73,47	0,00
295	25,49	63,16	0,00
296	26,51	61,29	0,00
297	27,65	59,49	0,00
298	28,91	57,75	0,00
299	30,32	56,06	0,00
300	31,93	54,43	0,00
301	33,76	52,85	0,00
302	35,88	51,32	0,00
303	38,37	49,85	0,00
304	41,34	48,42	0,00
305	44,95	47,04	0,00
306	49,48	45,70	3,78
307	55,36	44,41	10,95
308	63,36	43,16	20,20
309	75,07	41,95	33,12
310	94,37	40,79	53,59
311	134,70	39,65	95,04
312	522,14	38,56	483,58
313	684,82	37,50	647,31
314	176,66	36,48	140,18
315	123,78	35,49	88,29
316	98,46	34,53	63,93
317	83,10	33,61	49,49
318	72,61	32,71	39,89
319	64,90	31,85	33,05
320	58,96	31,01	27,95
321	54,22	30,20	24,02
322	50,32	29,42	20,91
323	47,06	28,66	18,40
324	44,28	27,93	16,35
325	41,87	27,22	14,66
326	39,77	26,53	13,24
327	37,91	25,87	12,05
328	36,26	25,23	11,03
329	34,77	24,61	10,17
330	33,43	24,01	9,42
331	32,21	23,42	8,78
332	31,09	22,86	8,23
333	30,07	22,32	7,75
334	29,13	21,80	7,33
335	28,26	21,29	6,97
336	27,44	20,80	6,65
337	26,69	20,32	6,37
338	25,99	19,86	6,12
339	25,33	19,42	5,91
340	24,71	18,99	5,72
341	24,12	18,57	5,55
342	23,57	18,17	5,40
343	23,05	17,78	5,27
344	22,56	17,40	5,16
345	22,09	17,04	5,05
350	20,08	15,39	4,69

355	18,46	13,99	4,47
360	17,14	12,81	4,33
365	16,03	11,81	4,22
370	15,08	10,97	4,12
375	14,27	10,25	4,01
380	13,55	9,64	3,91
385	12,92	9,13	3,79
390	12,35	8,70	3,66
395	11,85	8,33	3,52
400	11,39	8,02	3,37
405	10,97	7,75	3,22
410	10,59	7,53	3,06
415	10,25	7,34	2,90
420	9,92	7,18	2,74
425	9,63	7,05	2,58
430	9,35	6,93	2,42
450	8,42	6,62	1,79
480	7,38	6,42	0,96
510	6,61	6,34	0,26
540	6,01	6,32	0,00
570	5,53	6,31	0,00
600	5,14	6,30	0,00
630	4,81	6,30	0,00
660	4,53	6,30	0,00
690	4,28	6,30	0,00
720	4,07	6,30	0,00
750	3,88	6,30	0,00
780	3,71	6,30	0,00

Definizione ietogramma di pioggia - Posti auto

Durata pioggia di progetto (θ)	13,00	ore
Coefficiente di posizione (r)	0,40	-
Metodo di depurazione delle piogge	Metodo di Horton	
Classe di suolo	C - moderatamente alta potenzialità di deflusso	
Parametro f_0	125	mm/h
Parametro f_c	6,3	mm/h
Parametro k	2	1/h

Nota: Il Regolamento Regionale n.7 del 23/11/2017, suggerisce l'utilizzo della seguente tabella:

In cui le classi d'uso del suolo sono quelle proposte dal Natural Resources Conservation Service:

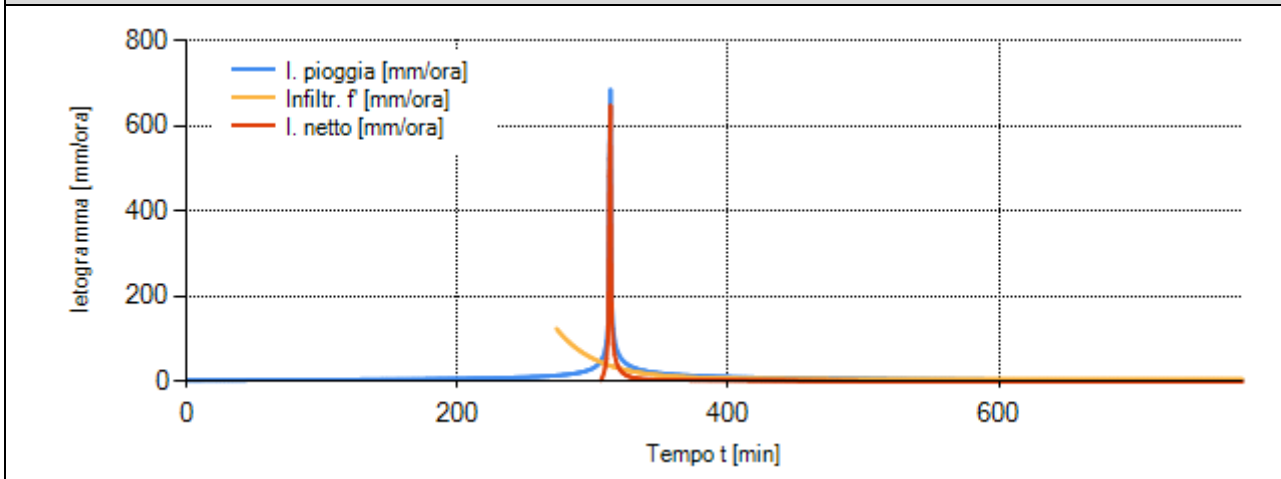
Classe A Scarsa potenzialità di afflusso: comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.

Classe B Potenzialità di afflusso moderatamente bassa: comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.

Classe C Potenzialità di afflusso moderatamente alta: comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloid, anche se meno che nel gruppo D; il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.

Classe D Potenzialità di afflusso molto alta: comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.

Ietogramma di pioggia - Grafico



Ietogramma di pioggia - Risultati tabellari

Tempo di ponding (tp)		125	min
Tempo [min]	Intensità di pioggia [mm/h]	Infiltrazione [mm/h]	Int. di pioggia netta [mm/h]
0	3,71	0,00	0,00
30	3,97	0,00	0,00
60	4,27	0,00	0,00
90	4,65	0,00	0,00
120	5,12	0,00	0,00
150	5,74	0,00	0,00
180	6,58	0,00	0,00
210	7,81	0,00	0,00
235	9,42	0,00	0,00
240	9,85	0,00	0,00
245	10,33	0,00	0,00
250	10,88	0,00	0,00

255	11,50	0,00	0,00
260	12,22	0,00	0,00
265	13,07	0,00	0,00
270	14,08	0,00	0,00
275	15,31	117,04	0,00
280	16,84	100,04	0,00
285	18,84	85,65	0,00
290	21,54	73,47	0,00
295	25,49	63,16	0,00
296	26,51	61,29	0,00
297	27,65	59,49	0,00
298	28,91	57,75	0,00
299	30,32	56,06	0,00
300	31,93	54,43	0,00
301	33,76	52,85	0,00
302	35,88	51,32	0,00
303	38,37	49,85	0,00
304	41,34	48,42	0,00
305	44,95	47,04	0,00
306	49,48	45,70	3,78
307	55,36	44,41	10,95
308	63,36	43,16	20,20
309	75,07	41,95	33,12
310	94,37	40,79	53,59
311	134,70	39,65	95,04
312	522,14	38,56	483,58
313	684,82	37,50	647,31
314	176,66	36,48	140,18
315	123,78	35,49	88,29
316	98,46	34,53	63,93
317	83,10	33,61	49,49
318	72,61	32,71	39,89
319	64,90	31,85	33,05
320	58,96	31,01	27,95
321	54,22	30,20	24,02
322	50,32	29,42	20,91
323	47,06	28,66	18,40
324	44,28	27,93	16,35
325	41,87	27,22	14,66
326	39,77	26,53	13,24
327	37,91	25,87	12,05
328	36,26	25,23	11,03
329	34,77	24,61	10,17
330	33,43	24,01	9,42
331	32,21	23,42	8,78
332	31,09	22,86	8,23
333	30,07	22,32	7,75
334	29,13	21,80	7,33
335	28,26	21,29	6,97
336	27,44	20,80	6,65
337	26,69	20,32	6,37
338	25,99	19,86	6,12
339	25,33	19,42	5,91
340	24,71	18,99	5,72
341	24,12	18,57	5,55
342	23,57	18,17	5,40
343	23,05	17,78	5,27
344	22,56	17,40	5,16
345	22,09	17,04	5,05
350	20,08	15,39	4,69

355	18,46	13,99	4,47
360	17,14	12,81	4,33
365	16,03	11,81	4,22
370	15,08	10,97	4,12
375	14,27	10,25	4,01
380	13,55	9,64	3,91
385	12,92	9,13	3,79
390	12,35	8,70	3,66
395	11,85	8,33	3,52
400	11,39	8,02	3,37
405	10,97	7,75	3,22
410	10,59	7,53	3,06
415	10,25	7,34	2,90
420	9,92	7,18	2,74
425	9,63	7,05	2,58
430	9,35	6,93	2,42
450	8,42	6,62	1,79
480	7,38	6,42	0,96
510	6,61	6,34	0,26
540	6,01	6,32	0,00
570	5,53	6,31	0,00
600	5,14	6,30	0,00
630	4,81	6,30	0,00
660	4,53	6,30	0,00
690	4,28	6,30	0,00
720	4,07	6,30	0,00
750	3,88	6,30	0,00
780	3,71	6,30	0,00

Definizione ietogramma di pioggia - Verde

Durata pioggia di progetto (θ)	13,00	ore
Coefficiente di posizione (r)	0,40	-
Metodo di depurazione delle piogge	Metodo di Horton	
Classe di suolo	C - moderatamente alta potenzialità di deflusso	
Parametro f_0	125	mm/h
Parametro f_c	6,3	mm/h
Parametro k	2	1/h

Nota: Il Regolamento Regionale n.7 del 23/11/2017, suggerisce l'utilizzo della seguente tabella:

In cui le classi d'uso del suolo sono quelle proposte dal Natural Resources Conservation Service:

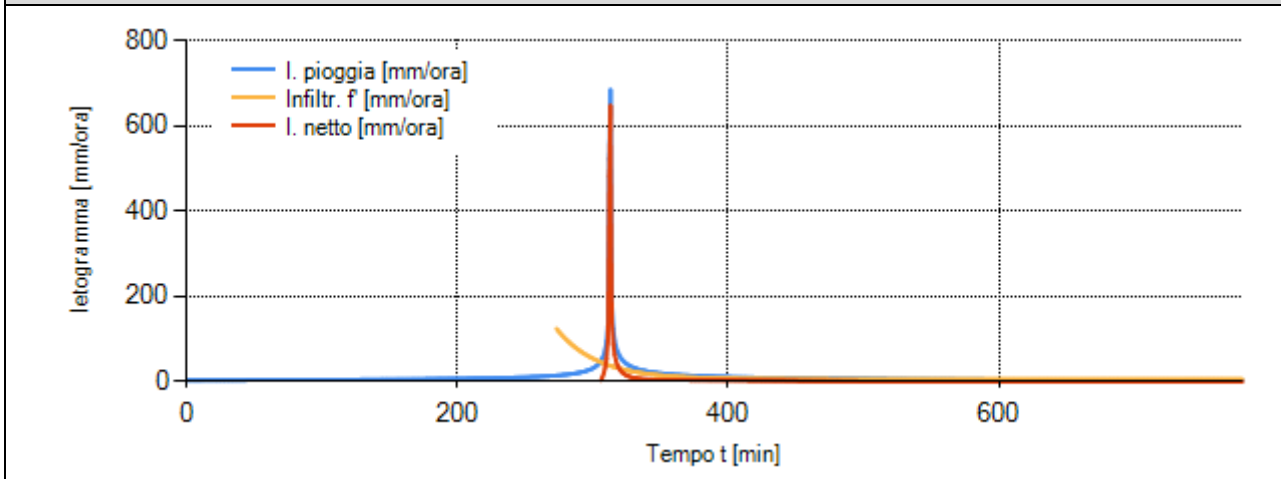
Classe A Scarsa potenzialità di afflusso: comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.

Classe B Potenzialità di afflusso moderatamente bassa: comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.

Classe C Potenzialità di afflusso moderatamente alta: comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloid, anche se meno che nel gruppo D; il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.

Classe D Potenzialità di afflusso molto alta: comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.

Ietogramma di pioggia - Grafico



Ietogramma di pioggia - Risultati tabellari

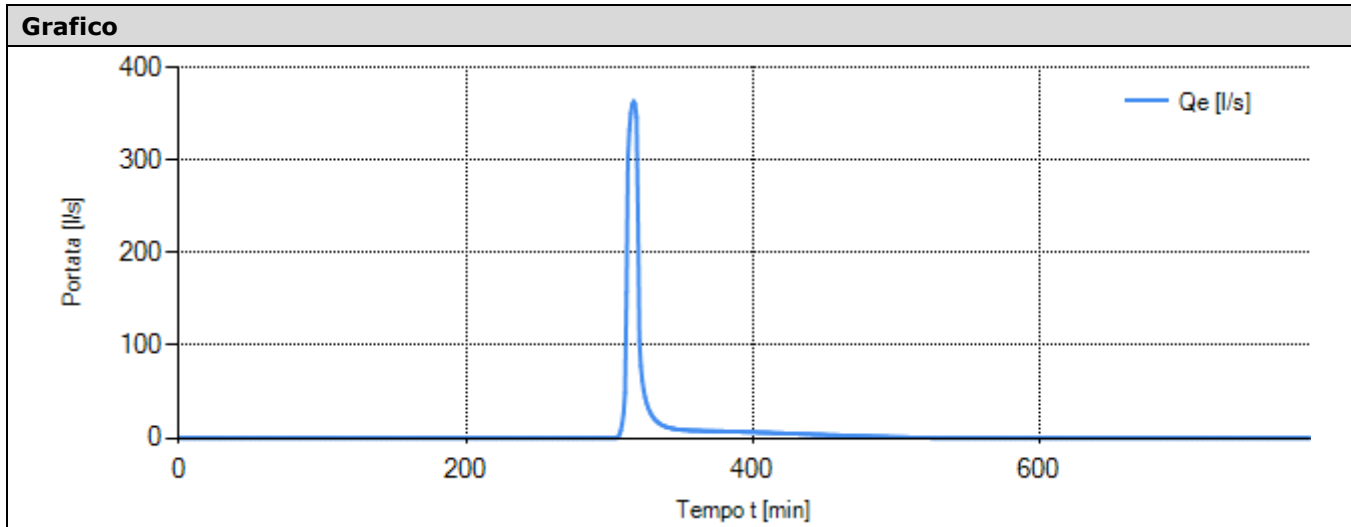
Tempo di ponding (tp)		125	min
Tempo [min]	Intensità di pioggia [mm/h]	Infiltrazione [mm/h]	Int. di pioggia netta [mm/h]
0	3,71	0,00	0,00
30	3,97	0,00	0,00
60	4,27	0,00	0,00
90	4,65	0,00	0,00
120	5,12	0,00	0,00
150	5,74	0,00	0,00
180	6,58	0,00	0,00
210	7,81	0,00	0,00
235	9,42	0,00	0,00
240	9,85	0,00	0,00
245	10,33	0,00	0,00
250	10,88	0,00	0,00

255	11,50	0,00	0,00
260	12,22	0,00	0,00
265	13,07	0,00	0,00
270	14,08	0,00	0,00
275	15,31	117,04	0,00
280	16,84	100,04	0,00
285	18,84	85,65	0,00
290	21,54	73,47	0,00
295	25,49	63,16	0,00
296	26,51	61,29	0,00
297	27,65	59,49	0,00
298	28,91	57,75	0,00
299	30,32	56,06	0,00
300	31,93	54,43	0,00
301	33,76	52,85	0,00
302	35,88	51,32	0,00
303	38,37	49,85	0,00
304	41,34	48,42	0,00
305	44,95	47,04	0,00
306	49,48	45,70	3,78
307	55,36	44,41	10,95
308	63,36	43,16	20,20
309	75,07	41,95	33,12
310	94,37	40,79	53,59
311	134,70	39,65	95,04
312	522,14	38,56	483,58
313	684,82	37,50	647,31
314	176,66	36,48	140,18
315	123,78	35,49	88,29
316	98,46	34,53	63,93
317	83,10	33,61	49,49
318	72,61	32,71	39,89
319	64,90	31,85	33,05
320	58,96	31,01	27,95
321	54,22	30,20	24,02
322	50,32	29,42	20,91
323	47,06	28,66	18,40
324	44,28	27,93	16,35
325	41,87	27,22	14,66
326	39,77	26,53	13,24
327	37,91	25,87	12,05
328	36,26	25,23	11,03
329	34,77	24,61	10,17
330	33,43	24,01	9,42
331	32,21	23,42	8,78
332	31,09	22,86	8,23
333	30,07	22,32	7,75
334	29,13	21,80	7,33
335	28,26	21,29	6,97
336	27,44	20,80	6,65
337	26,69	20,32	6,37
338	25,99	19,86	6,12
339	25,33	19,42	5,91
340	24,71	18,99	5,72
341	24,12	18,57	5,55
342	23,57	18,17	5,40
343	23,05	17,78	5,27
344	22,56	17,40	5,16
345	22,09	17,04	5,05
350	20,08	15,39	4,69

355	18,46	13,99	4,47
360	17,14	12,81	4,33
365	16,03	11,81	4,22
370	15,08	10,97	4,12
375	14,27	10,25	4,01
380	13,55	9,64	3,91
385	12,92	9,13	3,79
390	12,35	8,70	3,66
395	11,85	8,33	3,52
400	11,39	8,02	3,37
405	10,97	7,75	3,22
410	10,59	7,53	3,06
415	10,25	7,34	2,90
420	9,92	7,18	2,74
425	9,63	7,05	2,58
430	9,35	6,93	2,42
450	8,42	6,62	1,79
480	7,38	6,42	0,96
510	6,61	6,34	0,26
540	6,01	6,32	0,00
570	5,53	6,31	0,00
600	5,14	6,30	0,00
630	4,81	6,30	0,00
660	4,53	6,30	0,00
690	4,28	6,30	0,00
720	4,07	6,30	0,00
750	3,88	6,30	0,00
780	3,71	6,30	0,00

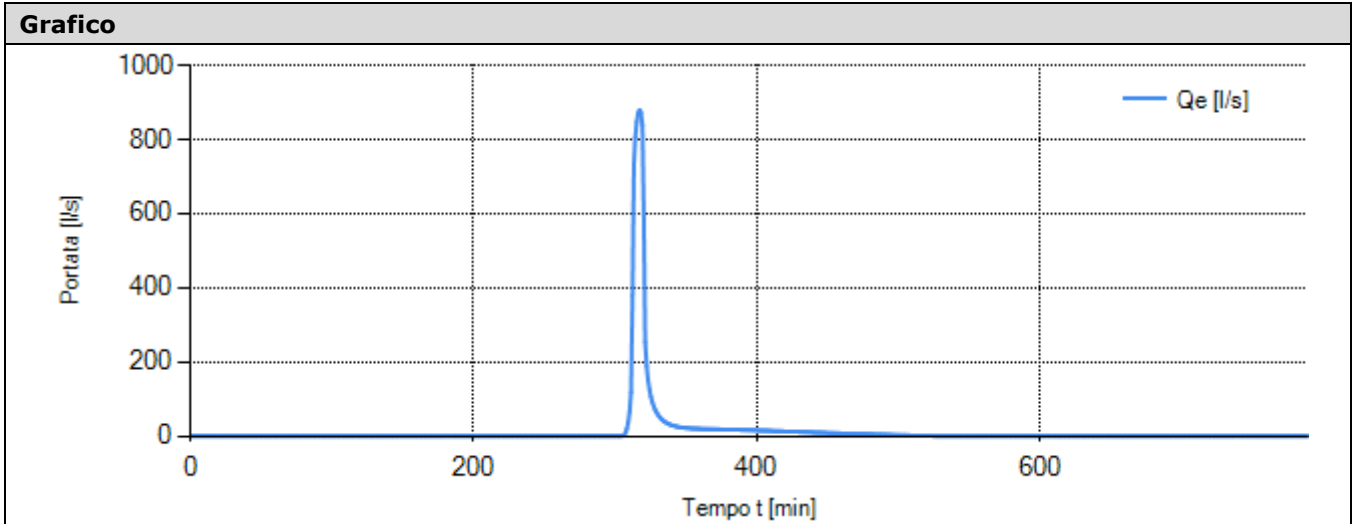
IDROGRAMMA DI PIENA

Area Coperture edifici		
Tipo area	Area impermeabile	
Superficie	6452,2	m ²
Classe di suolo	C - moderatamente alta potenzialità di deflusso	
Tempo corrivazione	t _c	8 min



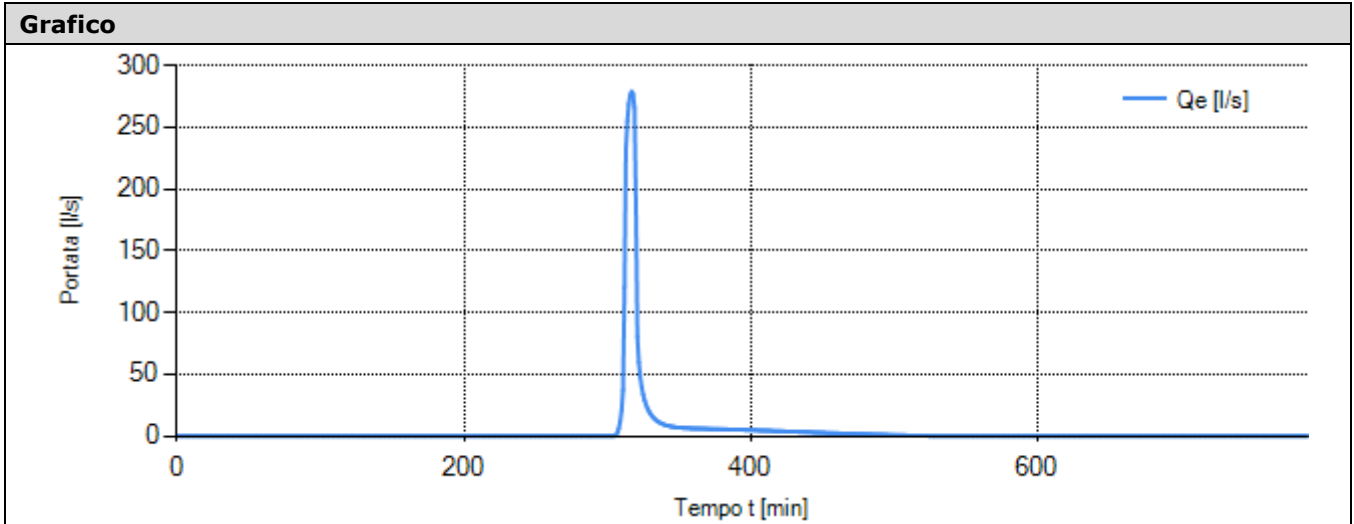
Risultati tabellari										
Tempo [min]	0	30	60	90	120	150	180	210	235	240
Portata Q _e [l/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tempo [min]	245	250	255	260	265	270	275	280	285	290
Portata Q _e [l/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tempo [min]	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304
Portata Q _e [l/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tempo [min]	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314
Portata Q _e [l/s]	0,00	0,85	3,30	7,83	15,26	27,27	48,58	157,01	302,14	332,73
Tempo [min]	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324
Portata Q _e [l/s]	350,07	359,87	363,54	360,47	346,57	244,41	104,66	77,92	62,25	51,58
Tempo [min]	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334
Portata Q _e [l/s]	43,77	37,80	33,09	29,30	26,19	23,61	21,46	19,64	18,09	16,76
Tempo [min]	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344
Portata Q _e [l/s]	15,62	14,64	13,79	13,05	12,41	11,84	11,35	10,92	10,54	10,20
Tempo [min]	345	350	355	360	365	370	375	380	385	390
Portata Q _e [l/s]	9,91	8,87	8,29	7,94	7,70	7,52	7,33	7,14	6,94	6,72
Tempo [min]	395	400	405	410	415	420	425	430	450	480
Portata Q _e [l/s]	6,49	6,23	5,96	5,69	5,41	5,12	4,83	4,54	3,41	1,88
Tempo [min]	510	540	570	600	630	660	690	720	750	780
Portata Q _e [l/s]	0,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Area Viabilità + piazzali + cilabile		
Tipo area	Area impermeabile	
Superficie	15618,1	m ²
Classe di suolo	C - moderatamente alta potenzialità di deflusso	
Tempo corrvazione	t _c	8 min



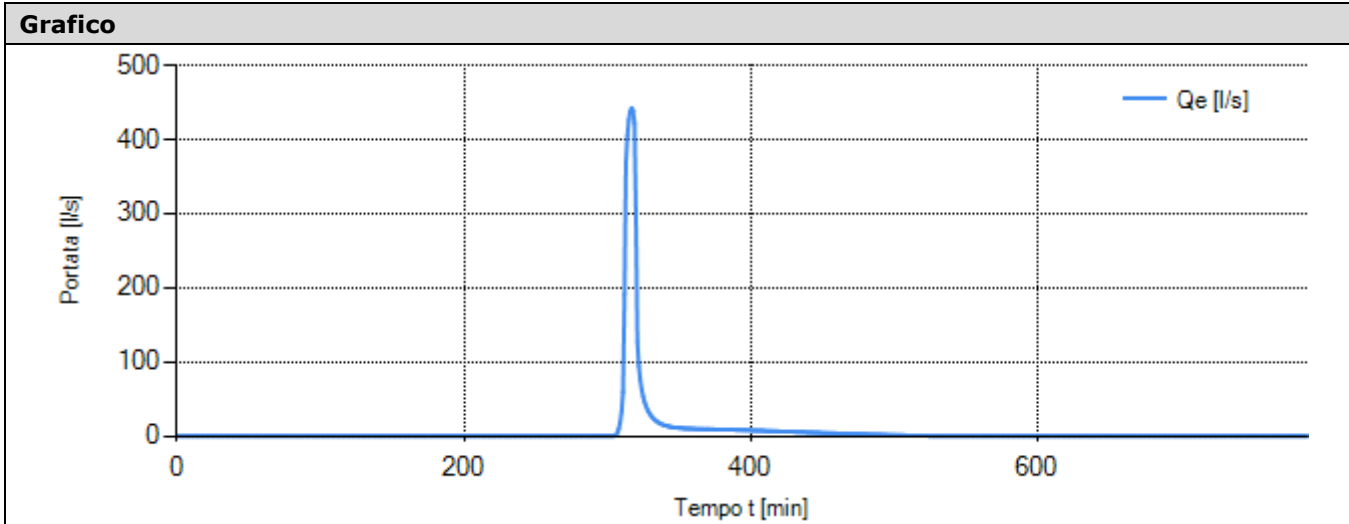
Risultati tabellari										
Tempo [min]	0	30	60	90	120	150	180	210	235	240
Portata Q _e [l/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tempo [min]	245	250	255	260	265	270	275	280	285	290
Portata Q _e [l/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tempo [min]	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304
Portata Q _e [l/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tempo [min]	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314
Portata Q _e [l/s]	0,00	2,05	7,99	18,96	36,93	66,02	117,60	380,05	731,37	805,39
Tempo [min]	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324
Portata Q _e [l/s]	847,37	871,10	879,99	872,55	838,91	591,62	253,35	188,61	150,68	124,86
Tempo [min]	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334
Portata Q _e [l/s]	105,96	91,49	80,10	70,91	63,40	57,16	51,94	47,53	43,78	40,57
Tempo [min]	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344
Portata Q _e [l/s]	37,82	35,44	33,38	31,59	30,03	28,67	27,47	26,43	25,50	24,69
Tempo [min]	345	350	355	360	365	370	375	380	385	390
Portata Q _e [l/s]	23,98	21,47	20,06	19,22	18,65	18,19	17,75	17,29	16,81	16,28
Tempo [min]	395	400	405	410	415	420	425	430	450	480
Portata Q _e [l/s]	15,70	15,09	14,44	13,78	13,10	12,40	11,70	11,00	8,25	4,55
Tempo [min]	510	540	570	600	630	660	690	720	750	780
Portata Q _e [l/s]	1,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Area Posti auto		
Tipo area	Area semi-impermeabile	
Superficie	4950,0	m ²
Classe di suolo	C - moderatamente alta potenzialità di deflusso	
Tempo corrvazione	t _c	8 min



Risultati tabellari										
Tempo [min]	0	30	60	90	120	150	180	210	235	240
Portata Q _e [l/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tempo [min]	245	250	255	260	265	270	275	280	285	290
Portata Q _e [l/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tempo [min]	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304
Portata Q _e [l/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tempo [min]	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314
Portata Q _e [l/s]	0,00	0,65	2,53	6,01	11,71	20,92	37,27	120,45	231,80	255,26
Tempo [min]	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324
Portata Q _e [l/s]	268,56	276,09	278,90	276,55	265,88	187,51	80,30	59,78	47,76	39,57
Tempo [min]	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334
Portata Q _e [l/s]	33,58	29,00	25,39	22,48	20,09	18,12	16,46	15,06	13,88	12,86
Tempo [min]	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344
Portata Q _e [l/s]	11,99	11,23	10,58	10,01	9,52	9,09	8,71	8,38	8,08	7,83
Tempo [min]	345	350	355	360	365	370	375	380	385	390
Portata Q _e [l/s]	7,60	6,80	6,36	6,09	5,91	5,77	5,63	5,48	5,33	5,16
Tempo [min]	395	400	405	410	415	420	425	430	450	480
Portata Q _e [l/s]	4,98	4,78	4,58	4,37	4,15	3,93	3,71	3,48	2,62	1,44
Tempo [min]	510	540	570	600	630	660	690	720	750	780
Portata Q _e [l/s]	0,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Area Verde		
Tipo area	Area permeabile	
Superficie	7855,2	m ²
Classe di suolo	C - moderatamente alta potenzialità di deflusso	
Tempo corrivazione	t _c	8 min



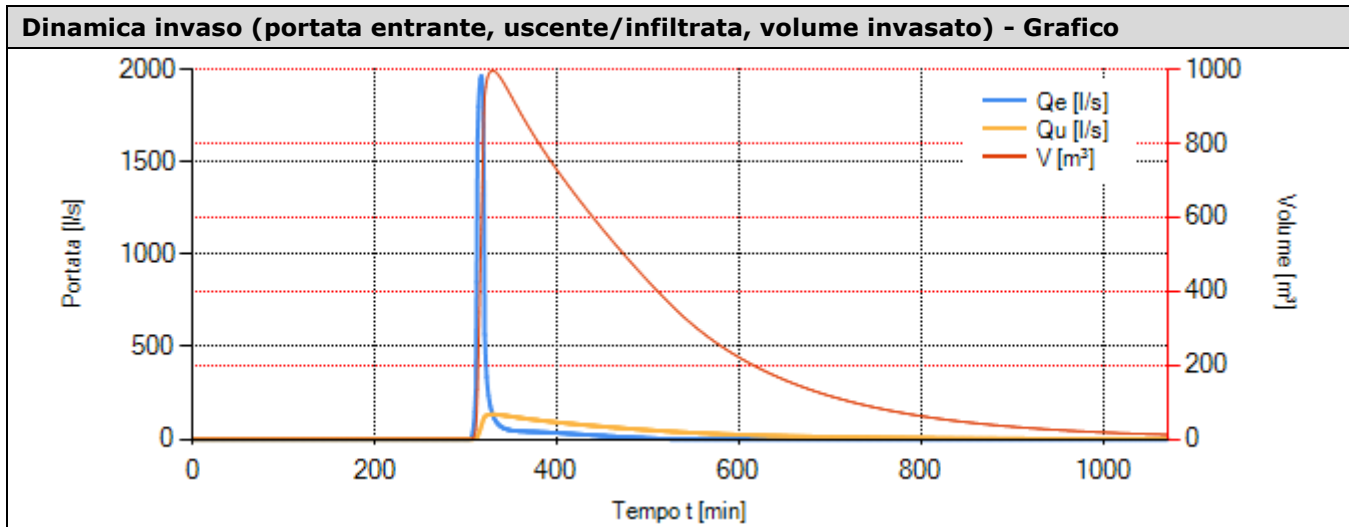
Risultati tabellari										
Tempo [min]	0	30	60	90	120	150	180	210	235	240
Portata Q _e [l/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tempo [min]	245	250	255	260	265	270	275	280	285	290
Portata Q _e [l/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tempo [min]	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304
Portata Q _e [l/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tempo [min]	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314
Portata Q _e [l/s]	0,00	1,03	4,02	9,53	18,58	33,20	59,15	191,15	367,84	405,08
Tempo [min]	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324
Portata Q _e [l/s]	426,19	438,12	442,59	438,85	421,93	297,56	127,42	94,86	75,79	62,80
Tempo [min]	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334
Portata Q _e [l/s]	53,29	46,02	40,28	35,67	31,89	28,75	26,12	23,91	22,02	20,41
Tempo [min]	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344
Portata Q _e [l/s]	19,02	17,82	16,79	15,89	15,10	14,42	13,82	13,29	12,83	12,42
Tempo [min]	345	350	355	360	365	370	375	380	385	390
Portata Q _e [l/s]	12,06	10,80	10,09	9,67	9,38	9,15	8,93	8,70	8,45	8,19
Tempo [min]	395	400	405	410	415	420	425	430	450	480
Portata Q _e [l/s]	7,90	7,59	7,26	6,93	6,59	6,24	5,89	5,53	4,15	2,29
Tempo [min]	510	540	570	600	630	660	690	720	750	780
Portata Q _e [l/s]	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

DIMENSIONAMENTO SISTEMA D'INVARIANZA

Metodo dei requisiti minimi			
Volume invaso minimo	W_0	0	m^3/ha_{imp}
<i>Nota: Requisito minimo ridotto del 30% in quanto si adottano sole strutture d'infiltrazione e non si prevedono scarichi in corpi idrici ricettori.</i>			

Metodo analitico di dettaglio			
Durata critica	D_w	13,00	ore
Battente idrico massimo	H_{max}	3,95	m
Volume invaso minimo	W	996,95	m^3
<i>Metodologia: Modello cinematico, mediante integrale di convoluzione, con curva area tempi lineare e ietogramma tipo Chicago.</i>			

CALCOLO DINAMICA INVASO



Risultati tabellari				
Tempo [min]	Portata entrante Q_e [l/s]	Portata scaricata/infiltrata Q_u [l/s]	Vol. utile invasato W [m ³]	Battente idrico H [m]
0	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,00	0,00	0,00	0,00
60	0,00	0,00	0,00	0,00
90	0,00	0,00	0,00	0,00
120	0,00	0,00	0,00	0,00
150	0,00	0,00	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	0,00
210	0,00	0,00	0,00	0,00
235	0,00	0,00	0,00	0,00
240	0,00	0,00	0,00	0,00
245	0,00	0,00	0,00	0,00
250	0,00	0,00	0,00	0,00
255	0,00	0,00	0,00	0,00
260	0,00	0,00	0,00	0,00
265	0,00	0,00	0,00	0,00
270	0,00	0,00	0,00	0,00
275	0,00	0,00	0,00	0,00
280	0,00	0,00	0,00	0,00
285	0,00	0,00	0,00	0,00
290	0,00	0,00	0,00	0,00
295	0,00	0,00	0,00	0,00
296	0,00	0,00	0,00	0,00
297	0,00	0,00	0,00	0,00
298	0,00	0,00	0,00	0,00
299	0,00	0,00	0,00	0,00
300	0,00	0,00	0,00	0,00
301	0,00	0,00	0,00	0,00
302	0,00	0,00	0,00	0,00
303	0,00	0,00	0,00	0,00
304	0,00	0,00	0,00	0,00
305	0,00	0,00	0,00	0,00
306	4,58	0,01	0,14	0,00
307	17,85	0,08	0,81	0,00

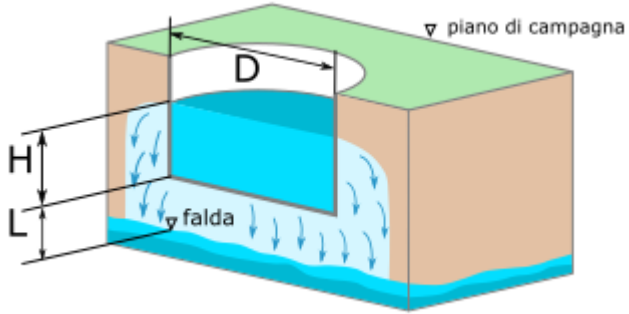
308	42,33	0,26	2,60	0,01
309	82,47	0,64	6,32	0,02
310	147,42	1,34	13,16	0,03
311	262,60	2,59	25,34	0,06
312	848,66	6,03	58,42	0,15
313	1633,15	13,98	132,27	0,33
314	1798,46	25,50	234,04	0,59
315	1892,19	38,58	342,83	0,87
316	1945,19	52,92	455,21	1,15
317	1965,03	68,28	568,88	1,44
318	1948,42	84,38	681,70	1,72
319	1873,29	100,78	790,80	2,00
320	1321,11	114,81	880,16	2,23
321	565,73	122,82	929,64	2,35
322	421,18	126,46	951,77	2,41
323	336,48	128,95	966,84	2,45
324	278,82	130,73	977,50	2,47
325	236,60	132,00	985,09	2,49
326	204,31	132,88	990,37	2,51
327	178,86	133,47	993,87	2,51
328	158,35	133,82	995,97	2,52
329	141,56	133,98	996,93	2,52
330	127,64	133,99	996,95	2,52
331	115,98	133,87	996,24	2,52
332	106,14	133,64	994,88	2,52
333	97,77	133,32	992,99	2,51
334	90,60	132,93	990,65	2,51
335	84,45	132,47	987,94	2,50
336	79,14	131,97	984,92	2,49
337	74,53	131,42	981,62	2,48
338	70,53	130,83	978,11	2,47
339	67,06	130,21	974,41	2,46
340	64,01	129,57	970,54	2,45
341	61,35	128,91	966,55	2,44
342	59,01	128,22	962,45	2,43
343	56,95	127,53	958,25	2,42
344	55,14	126,82	953,99	2,41
345	53,54	126,11	949,66	2,40
350	47,94	122,47	927,51	2,35
355	44,80	118,84	905,19	2,29
360	42,93	115,30	883,21	2,23
365	41,64	111,89	861,81	2,18
370	40,62	108,61	841,07	2,13
375	39,64	105,46	821,01	2,08
380	38,61	102,44	801,56	2,03
385	37,53	99,53	782,69	1,98
390	36,35	96,73	764,34	1,93
395	35,06	94,01	746,44	1,89
400	33,69	91,38	728,95	1,84
405	32,24	88,83	711,81	1,80
410	30,77	86,34	694,99	1,76
415	29,24	83,91	678,46	1,72
420	27,69	81,54	662,18	1,67
425	26,13	79,21	646,14	1,63
430	24,55	76,94	630,32	1,59
450	18,43	68,30	569,01	1,44
480	10,17	56,52	482,41	1,22
510	3,27	46,05	402,19	1,02
540	0,00	36,93	329,38	0,83
570	0,00	29,70	269,69	0,68

600	0,00	24,05	221,51	0,56
630	0,00	19,57	182,41	0,46
660	0,00	15,99	150,52	0,38
690	0,00	13,11	124,41	0,31
720	0,00	10,78	102,98	0,26
750	0,00	8,89	85,34	0,22
780	0,00	7,34	70,78	0,18
810	0,00	6,07	58,76	0,15
840	0,00	5,02	48,80	0,12
870	0,00	4,16	40,56	0,10
900	0,00	3,45	33,72	0,09
930	0,00	2,87	28,04	0,07
960	0,00	2,38	23,33	0,06
990	0,00	1,98	19,42	0,05
1020	0,00	1,65	16,17	0,04
1050	0,00	1,37	13,46	0,03
1071	0,00	1,20	11,84	0,03

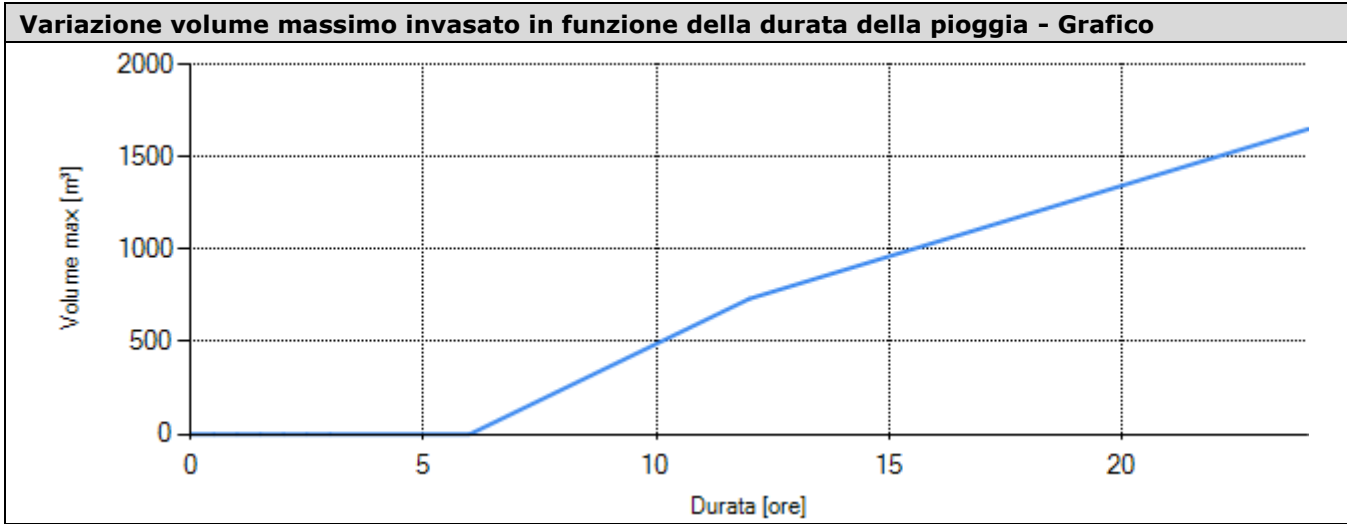
VERIFICA SISTEMA D'INVARIANZA

Dimensioni invaso			
Superficie pianta invaso	A_{inv}	395,34	m ²

Verifiche invaso						
		Valore Progetto		Valore Ammissibile		VERIFICA
Altezza utile invaso	H	4,00	≥	3,95	m	Positiva
Volume utile invaso	W	1581,35	≥	1561,94	m ³	Positiva
Tempo di svuotamento	T_{sv}	4,9				
Portata massima scaricata	Q	0,00	≤	27,89	l/s	Positiva

Sistema di scarico			
Tipologia di svuotamento	Pozzo d'infiltrazione (Sieker 1984)		
			
Battente idrico utile massimo	H	4,00	m
Portata massima scaricabile	$Q_{u,max}$	244,25	l/s
Numero di pozzi	n	26	
Diametro pozzo	D	2,50 (+ 1 m dreno minimo)	m
Distanza dalla falda	L	40,0	m
Coeff. permeabilità di calcolo	K_{calc}	22,30	m/s * 10 ⁻⁵

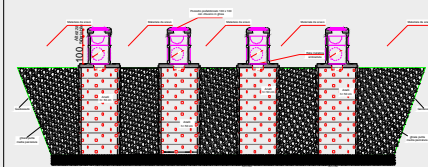
VARIAZIONE VOLUME MASSIMO INVASATO



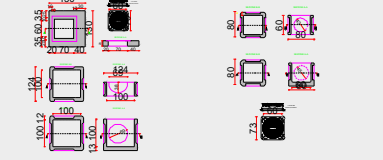
Risultati tabellari	
Durata pioggia [ore]	Volume [m³]
0,0	0,00
0,5	0,00
1,0	0,00
1,5	0,00
2,0	0,00
2,5	0,00
3,0	0,00
6,0	0,00
12,0	732,15
24,0	1649,99









PIANTA E SEZIONE BATTERIA POZZI PERDENTI



Sezione pozzetti 100 x 100 e 60 x 60



LEGGENDA

-  POZZO PERDENTE (in scala)
-  DISOLEATORE (non in scala)
-  CADITOIE (non in scala)
-  ACQUE METEORICHE TRATTATE O PROVENIENTI DALLE COPERTURE
-  ACQUE METEORICHE DA TRATTARE VERSO DISOLEATORI
-  POZZETTI (non in scala)

Realizzazione area commerciale sita in Viale Borri in Comune di Castellanza (VA)
 Progetto preliminare di Invarianza Idraulica e Idrologica
 Ai sensi del R.R. n. 7 del 23 novembre 2017 e successiva modifica con R.R. n.8 del 19 aprile 2019
TAVOLA 1 ALLEGATA ALLA RELAZIONE DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA: PLANIMETRIA CON IPOTESI DI SISTEMA DI STOCCAGGIO E SMALTIMENTO ACQUE METEORICHE MEDIANTE BATTERIE DI POZZI PERDENTI (scala 1:500)

Dott. Geologo Michele Salvatore
 Ordine dei Geologi della Lombardia n° iscr. 1396
 Via Dante Alighieri, 239/b
 21100 Castellanza (VA)