

PERMESSO DI COSTRUIRE
PARCHEGGIO DA REALIZZARSI NELLE AREE ESTERNE
DI PERTINENZA DEL MUSEO DELL'AERONAUTICA

Committente

Marco Giovanni Reguzzoni
Presidente di Volandia

PdC	<u>Documento</u> Relazione tecnico-idraulica	<u>Elaborato</u> IN01	<u>Revisione</u> 2
		<u>Scala</u>	<u>Nome file</u>
STUDIO SPS S.R.L. <small>VIA DANTE, 14 - 20090 VIMODRONE (MI) TEL. 02 2500872 - FAX 02 2500020 E-MAIL INFO@STUDIOSPS.IT WWW.STUDIOSPS.IT</small>		arch. Davide Ferrari <small>via San Rocco 9 21013 Gallarate (VA) cell 3288567499</small>	
ing. Matteo Danielli			

INDICE

1 -	Premesse e scelte progettuali.....	2
2 -	Opere previste in progetto.....	3
3 -	Calcolo delle portate di pioggia.....	5
3.1 -	Curva di possibilità pluviometrica.....	5
3.2 -	Ietogrammi di progetto.....	7
3.3 -	Stima delle perdite idrologiche.....	8
3.4 -	Generazione delle portate di piena.....	8
4 -	Dimensionamento dei condotti per le acque bianche.....	9
5 -	Dimensionamento sfioratore e disoleatore.....	11
6 -	Dimensionamento trincea drenante.....	11
7 -	Dimensionamento vasca disperdente.....	15
8 -	Rispetto del requisito minimo (art.12 R.R. 7/2017).....	18

RELAZIONE TECNICO IDRAULICA

1 - Premesse e scelte progettuali

Il presente progetto ha lo scopo di dimensionare le reti per le acque bianche e del relativo sistema di smaltimento nel sottosuolo al servizio del parcheggio privato ad uso pubblico da circa 1000 posti, che verrà costruito presso il Parco e Museo del Volo di Volandia in Comune di Somma Lombardo, applicando i principi di invarianza idraulica e idrologica contenuti nel Regolamento Regionale n.7 del 23 novembre 2017 (R.R.7/17).

La progettazione è stata redatta tenendo conto delle indicazioni contenute:

- Regolamento Regionale n.7 del 23 novembre 2017;
- nella "SCHEDA TECNICA FOGNATURE" del Dipartimento provinciale dell'ARPA di Melegnano, tratta dal D. Lgs. 152/99,
- nella Legge Regionale n.62/85,
- nel Regolamento locale di igiene,
- nel Piano Regionale di Risanamento delle Acque (P.R.R.A.) della Regione Lombardia,
- nel Programma di Tutela e Uso delle Acque (P.T.U.A.)
- nel Regolamento Regionale in data 24/03/2006.

Il Comune di Somma Lombardo, in cui è sito l'intervento, ricade all'interno dell'area B a media criticità idraulica come riportato nell'Allegato C del R.R.7/17.

In accordo con l'art. 5 del R.R. n.7/2017 il controllo e la gestione delle acque pluviali del sito verranno effettuati mediante infiltrazione nel suolo.

La superficie (S) a cui si applicano i principi di invarianza idrologica e idraulica nel caso in oggetto, secondo lo schema 4 dell'allegato A del R.R. n.7/2017 è la superficie totale del parcheggio in progetto. A causa della localizzazione dell'intervento, si dovranno prevedere due sistemi di controllo e gestione delle acque pluviali separati. Le aree parziali

(vedi planimetria di progetto) riferite ai parcheggi 1 e 2 ed i relativi coefficienti di afflusso sono riportati nella tabella sottostante:

	PRG	PRG	PRG
	S [m ²]	fi	S · fi [m ²]
Nuova pavimentazione – PARCHEGGIO 1	17755	1.00	17755
Nuova pavimentazione – PARCHEGGIO 2	6772	1.00	6772
tot	24527	1.00	24527

In relazione all'effetto potenziale dell'intervento e alla criticità dell'ambito territoriale (rif. Art. 9 del R.R. n.7/2017), l'intervento ricade nella classe di intervento "3 - impermeabilizzazione potenziale alta" essendo caratterizzato da:

- superficie pari a 24527 m² (2.45 ha);
- coefficiente deflusso medio ponderale 1.00 > 0.4.

per tale motivo la modalità di calcolo adottata è la cosiddetta procedura dettagliata.

2 - Opere previste in progetto

Sia per lo smaltimento delle acque pluviali del parcheggio 1 che per quelle del parcheggio 2, le reti di smaltimento saranno composte dai seguenti elementi:

- condotti di raccolta a gravità in PVC lungo le file degli stalli con caditoie passanti;
- condotti di gronda laterali in c.a. a gravità, intervallati da pozzetti d'ispezione, che raccolgono i vari contributi dei condotti di raccolta;
- pozzetti d'ispezione e di campionamento opportunamente localizzati;
- disoleatori per le acque di prima pioggia;

I sistemi per la dispersione nel sottosuolo delle acque disoleate e delle acque eccedenti l'aliquota equivalente alla portata di prima pioggia saranno invece composti:

- per il parcheggio 2 da trincee drenanti
- Per il parcheggio 1 da un vaso in terra naturale disperdente

Mentre il parcheggio 1 sarà caratterizzato da due sistemi di raccolta speculari (e quindi due sistemi di disoleazione), uno posto nella parte nord del parcheggio ed uno nella parte sud, che confluiranno nell'vaso posto nell'area verde a sud di esso, per il parcheggio 2 il sistema di raccolta è unico, con disoleatore e trincea posti centralmente al parcheggio stesso.

I condotti di raccolta a gravità per le acque bianche saranno costituiti da tubazioni in PVC SN8 di diametro esterno

variabile da DN200 a DN315 mm e da tubazioni in c.a. di diametro da Ø40 a Ø60 cm e saranno corredati da caditoie di raccolta di tipo centrale, ognuna delle quali raccoglierà il contributo pluviale di una superficie di circa 160 m².

Le caditoie saranno di dimensioni 50x50 cm con sigilli in ghisa sferoidale classe D400.

Le tubazioni saranno corredate da pozzetti di ispezione a sezione quadrata in c.a. prefabbricato di dimensioni variabili da 80x80 a 120x120 cm con chiusini in ghisa sferoidale classe D400, posti ad ogni giunzione tra i diversi canali di raccolta e il canale di gronda.

La pendenza assegnata ai condotti (pari al 6‰) è stata scelta per mediare tra le opposte esigenze di ridurre i diametri necessari al convogliamento delle portate di pioggia e limitare le profondità di posa in modo da ridurre gli scavi per la realizzazione dei condotti.

Ogni sottorete di raccolta confluirà in uno sfioratore che permetterà il convogliamento delle acque di prima pioggia ad un disoleatore che garantirà un'elevata qualità dell'acqua avviata a dispersione prima di raggiungere la trincea drenante mentre l'eccedenza sarà scolmata direttamente verso l'opera di dispersione. I disoleatori saranno di tipo circolare e in c.a. prefabbricato, dotati di filtro a coalescenza per il trattenimento di eventuali olii e dotati di passo d'uomo per l'accesso diam. 60 cm coperto da chiusino in ghisa sferoidale anch'esso circolare classe D400.

A monte ed a valle del disoleatore e subito a monte dell'immissione in trincea drenante saranno collocati i pozzetti di campionamento a sezione quadrata in c.a. prefabbricato di dimensioni variabili da 80x80 a 100x100 cm con chiusini in ghisa sferoidale classe D400.

Per il parcheggio 2 il recapito finale della rete bianca sarà una trincea drenante di lunghezza D=160 m costituita da tubazioni forate Ø80 cm in PE corrugato posate in uno strato di pietrisco lavato con porosità pari a 0.35 ed avente sezione pari a 2x2/h m, completamente circondato da uno strato di tessuto non tessuto che ne impedisce la commistione col terreno circostante. La trincea avrà una profondità del fondo dello strato drenante di 3.2 m dal piano finito del parcheggio e sarà dotata di pozzetti di ispezione in c.a. prefabbricato di dimensioni 120x120 cm.

Per il parcheggio 1 il recapito finale della rete bianca sarà invece un invaso disperdente in terra naturale che sfrutterà la buona permeabilità del terreno al di sotto di 1.2 m di profondità. Le dimensioni della vasca al fondo saranno di 15 x 50 m, la profondità complessiva pari a 2 m da piano campagna e l'inclinazione delle sponde B/H sarà pari a 2 per un volume complessivo di circa 2000 m³.

Va rilevato che attualmente nelle immediate vicinanze dell'area esiste un pozzo di emungimento ad uso idropotabile, utilizzato per i fabbisogni idrici interni a Volandia; tale pozzo verrà a breve declassato ad uso irriguo/industriale in quanto è in fase di richiesta da parte di Volandia l'allacciamento alla rete pubblica di acquedotto; il presente progetto prevede infatti la posa di una nuova tubazione DN75 mm in PE100 PN10 per il collegamento del nuovo allacciamento all'acquedotto (da realizzarsi in via Per Tornavento). In ragione di tale modifica è stato possibile prevedere la dispersione delle acque nel sottosuolo.

La rete sarà pertanto così costituita:

- tubazioni in PVC SN8 di diametro esterno variabile da DN200 a DN315 mm posate con sottofondo e rinfiacco completo in sabbia;
- tubazioni in c.a. prefabbricato da Ø40 a Ø60 cm posate con sottofondo e rinfiacco fino ad 1/3 del diametro in cls
- pozzetti di ispezione a sezione quadrata in c.a. prefabbricato di dimensioni variabili da 100x100 a 120x120 cm con chiusini in ghisa sferoidale classe D400, posti ad ogni cambio di direzione ed immissione;
- caditoie di raccolta di tipo centrale dimensioni 50x50 cm con sigilli in ghisa sferoidale classe D400;
- disoleatori circolari in c.a. prefabbricato dotati di filtro a coalescenza per il trattenimento di eventuali olii e dotati di passo d'uomo per l'accesso diam. 60 cm coperto da chiusino in ghisa sferoidale anch'esso circolare classe D400;
- pozzetti di campionamento in c.a. prefabbricato di dimensioni variabili da 60x60 a 100x100 cm con chiusini in ghisa sferoidale classe D400, posizionati a monte ed a valle dei disoleatori e subito a monte delle trincee;
- trincee drenanti costituite da tubazioni Pe corrugato forate diam. 80 cm posate all'interno di uno strato di pietrisco lavato con porosità pari a 0.35 di sezione pari a $2x2/h$ m, circondato da uno strato di separazione dal terreno naturale di tessuto non tessuto e completate da pozzetti di ispezione in c.a. prefabbricato dim. 120x120 cm.
- Vasca disperdente in terra naturale dim al fondo 15x50 m e profondità 2 m per un volume complessivo di 2000 m³ circa

Le tavole grafiche allegate al presente progetto illustrano in dettaglio la localizzazione e le caratteristiche tecnico-costruttive di tutte le opere previste.

A lavori conclusi, il direttore lavori compilerà il modulo all'allegato D del R.R. n.7/2017 e lo trasmetterà mediante posta elettronica certificata all'indirizzo di posta certificata della Regione invarianza.idraulica@pec.regione.lombardia.it come stabilito dall'art. 6 comma 1 lett. e) del suddetto Regolamento.

3 - Calcolo delle portate di pioggia

3.1 - Curva di possibilità pluviometrica

Le curve di possibilità pluviometrica (c.p.p.) esprimono la relazione che intercorre tra l'altezza di pioggia e la corrispondente durata, sono state ricavate dal Portale Idrologico Geografico di ARPA Lombardia, tramite il quale è possibile determinare per tutto il territorio regionale i parametri della curva di riferimento per la zona.

La tecnica idrologica abituale fornisce per le curve di possibilità climatica l'espressione di tipo monomio:

$$h = at^n$$

dove:

h = altezza di pioggia espressa in mm

t = durata della pioggia espressa in ore

a, n = sono parametri che dipendono dal tempo di ritorno dell'evento T



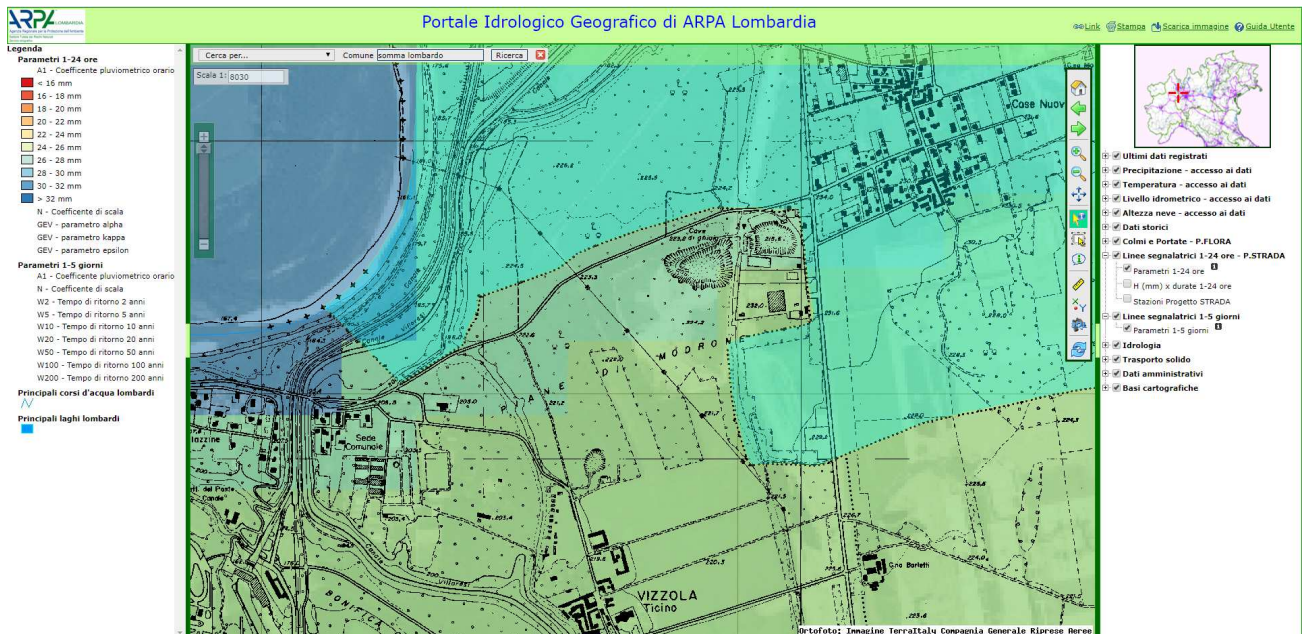
PARAMETRI ED EQUAZIONI	
A1 - Coefficiente pluviometrico orario	31.450
N - Coefficiente di scala	0.345
GEV - parametro alpha	0.285
GEV - parametro kappa	-0.014
GEV - parametro epsilon	0.831

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

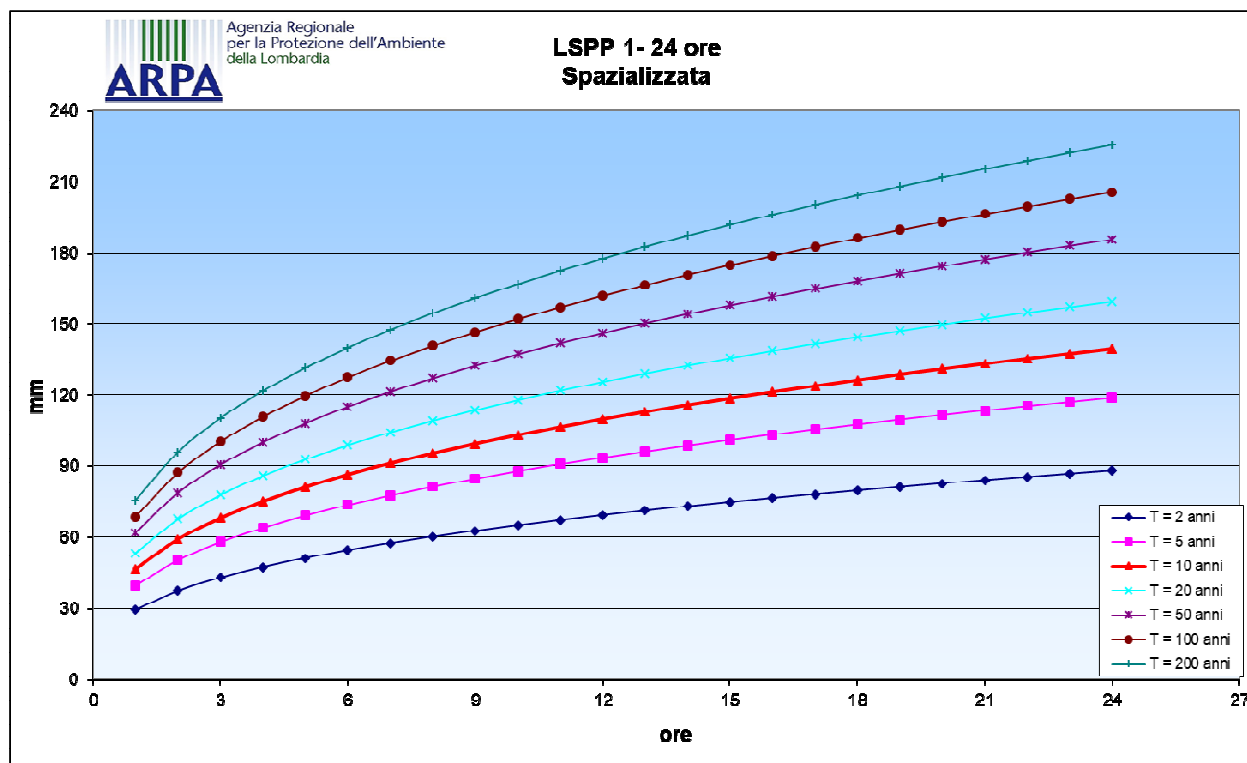
$$h_T(D) = a_1 w_T D^n$$

T	2	5	10	20	50	100	200
wT	0.94	1.26	1.48	1.70	1.97	2.19	2.40
aT	29.43	39.73	46.65	53.34	62.11	68.76	75.45

anni	5	10	50	100
a	39.73	46.65	62.11	68.76
n	0.345	0.345	0.345	0.345



Le curve ottenute, riferite a piogge intense con durate superiori all'ora, sono riportate nella seguente figura:



I calcoli di stima delle massime portate di piena e di dimensionamento opere sono stati effettuati considerando i seguenti tempi di ritorno:

- T= 10 anni per il dimensionamento del reticolo di drenaggio;
- T= 50 anni per il dimensionamento delle opere di invarianza;
- T = 100 anni per la verifica dei franchi di sicurezza delle opere sopra dimensionate.

3.2 - Ietogrammi di progetto

La generazione dell'idrogramma di piena su cui effettuare i dimensionamenti delle nuove opere presuppone, nota la curva di possibilità pluviometrica e fissato un tempo di ritorno di progetto, la ricostruzione di uno ietogramma di progetto dalla cui convoluzione con l'idrogramma unitario di piena relativo al bacino scolante in oggetto, di ottenere l'onda di piena col desiderato tempo di ritorno.

Per il dimensionamento delle sezioni dei condotti si è scelto di utilizzare uno ietogramma di tipo "chicago". Questo ietogramma ha la caratteristica, per il modo in cui è costruito, di contenere le piogge critiche per tutte le durate di pioggia inferiori al tempo di base, perciò lo stesso ietogramma può essere utilizzato, nel dimensionamento di una rete di fognatura, per determinare la massima portata relativa ad ogni sottobacino a patto che si scelga un tempo di base superiore al tempo di corrivazione stimato del bacino.

Per il dimensionamento dei sistemi di dispersione si è scelto di utilizzare uno ietogramma di tipo "costante" per simulare eventi di lunga durata e bassa intensità; tali eventi sono significativi dal punto di vista dei volumi da invasare

e/o disperdere.

In certi casi, pertanto, soprattutto quando i valori di permeabilità sono bassi e quindi si hanno ridotte portate infiltrate, gli eventi di lunga durata possono risultare quelli critici per i sistemi di accumulo e dispersione e pertanto vanno sempre verificati.

3.3 - Stima delle perdite idrologiche

Non tutta la pioggia caduta affluisce alla rete di drenaggio; esistono infatti delle perdite dovute a evapotraspirazione, infiltrazioni ed immagazzinamento dell'acqua nei naturali avvallamenti del terreno.

Per il caso in esame si è utilizzato il classico **metodo percentuale** che determina la pioggia netta da quella lorda applicando un coefficiente di perdita φ costante assunto pari a **1.00** per la pavimentazione, così come indicato nell'articolo 11, comma 2.d.2, del R.R. 07/2017.

3.4 - Generazione delle portate di piena

Il calcolo delle portate pluviali conseguenti agli afflussi meteorici è stato effettuato sulla base del metodo cinematico o della corrivazione.

Questo modello di calcolo si basa sull'osservazione che, subito dopo l'inizio di un evento piovoso, nella sezione di chiusura del bacino in esame si presentano i contributi relativi all'acqua precipitata nei primi istanti solo su una piccola zona prossima a tale sezione.

Negli istanti successivi aumenta progressivamente la porzione di bacino che contribuisce alla formazione della portata.

Anche la portata, quindi, aumenta progressivamente raggiungendo un massimo nel momento in cui tutto il bacino contribuisce alla formazione della piena.

Definito il tempo di corrivazione T_c del bacino come il tempo necessario ad una goccia d'acqua caduta nel punto idraulicamente più lontano del bacino per raggiungere la sezione di chiusura, e tenuto conto che, usualmente, l'intensità di pioggia va diminuendo con l'aumentare della durata della stessa, la massima portata al colmo di piena si ottiene per piogge di durata pari al tempo di corrivazione del bacino.

Per una rete per acque meteoriche il tempo T_c è determinabile facendo riferimento al percorso idraulico più lungo della rete fino alla sezione di chiusura considerata.

In particolare, il tempo di corrivazione è ottenibile dalla somma:

$$T_c = t_e + t_r$$

Dove:

- t_r “tempo di rete”, è il tempo che la particella impiega a percorrere i condotti fino alla sezione di chiusura; si ottiene sommando i tempi di percorrenza dei singoli condotti;
- t_e “tempo di ingresso in rete” è definito come il massimo tempo impiegato da una particella d’acqua caduta sul bacino per raggiungere la rete.

I tempi di percorrenza dei singoli condotti possono essere calcolati dal rapporto tra la lunghezza della tubazione e la velocità v_r della corrente in condizioni di moto uniforme e a pieno riempimento.

Il tempo d’ingresso in rete dipende dalla pendenza e dalla tipologia dell’area in esame, dalla densità della rete di raccolta, dal numero di caditoie ecc. e risulta di difficile determinazione. Usualmente si utilizzano valori compresi tra i 7 e i 15 minuti.

Recenti tarature del modello hanno portato alla determinazione del “tempo critico” del bacino, inferiore al tempo di corrivazione, e definito come:

$$\theta_c = t_e + \frac{t_r}{1.5}$$

dove il coefficiente 1.5 tiene conto del fatto che i reali tempi di concentrazione delle portate di piena sono inferiori al tempo di corrivazione. Noto il tempo critico del bacino, la portata massima al colmo della piena è calcolabile utilizzando la seguente formula:

$$Q_{\max} = 2.78\varphi \cdot S \cdot i(\theta_c) \quad [l/s]$$

dove:

Q_{\max} = portata massima [l/s]

φ = coefficiente d’afflusso del bacino

S = superficie del bacino [ha]

$i(\theta_c)$ = intensità di pioggia di durata pari al tempo critico θ_c [mm/h]

4 - Dimensionamento dei condotti per le acque bianche

I calcoli idraulici di dimensionamento dei condotti per le acque bianche in progetto sono stati effettuati nell’ipotesi che lungo i diversi tratti dei collettori fognanti la corrente defluisca in condizione di moto uniforme.

Si è pertanto adottata la nota espressione di Chèzy:

$$Q = AC\sqrt{Ri}$$

dove:

Q = portata massima del condotto

A = area della sezione bagnata

R = raggio idraulico

i = pendenza del condotto

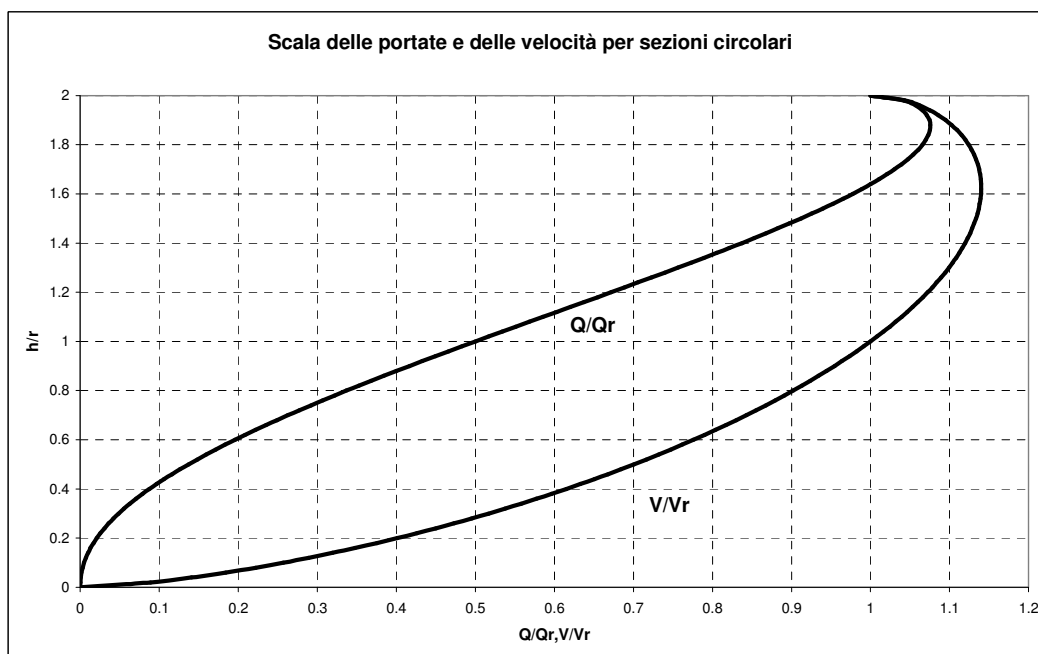
C = coefficiente di scabrezza

Per il coefficiente di scabrezza si è utilizzata la nota espressione di Stickler:

$$C = K_s R^{1/6}$$

In considerazione della tipologia dei condotti prescelti si è adottato un coefficiente $K_s = 80 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, così come consigliato in letteratura per i condotti in materiali plastici, e $K_s = 70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ per le tubazioni in c.a.

Nella figura seguente sono riportate: la scala delle portate e la scala delle velocità specifiche, relative a condotti di sezione circolare.



Di seguito si riporta una tabella sintetica che riassume, per ogni diametro, le caratteristiche, la portata costruttiva del condotto al massimo riempimento (Q_r), la superficie massima drenata corrispondente al numero di caditoie indicativo e la portata massima di pioggia (Q_{max}).

Diametro	Pendenza i	Q_r	Numero di caditoie	Superficie drenata max	Q_{max}
[mm]		[l/s]			[ha]
200	6 ‰	26.42	3	480	20.14
250	6 ‰	47.91	7	1120	47.00

Diametro	Pendenza l	Qr	Numero di caditoie	Superficie drenata max	Qmax
[mm]		[l/s]	-	[ha]	[l/s]
315	6 ‰	88.72	13	2080	87.28
400	6 ‰	146.80	21	3360	140.99
500	6 ‰	266.16	39	6240	261.84
600	6 ‰	432.81	64	10240	429.69

5 - Dimensionamento sfioratore e disoleatore

Gli sfioratori in progetto saranno in grado, dopo aver raccolto le acque pluviali provenienti dai canali di gronda, di derivare verso i disoleatori un'aliquota massima pari alla portata generata dalle acque di prima pioggia, definite da un ietogramma costante di durata 15 min ed altezza totale di pioggia pari a 5 mm. Per portate superiori alla prima pioggia lo sfioratore si attiva e parte delle acque vengono scolmate verso la trincea.

I disoleatori a filtro a coalescenza tratteranno le seguenti portate:

Parcheggio 1

- Disoleatore D01, a valle dello sfioratore SF01: Q = 60 l/s
- Disoleatore D02, a valle dello sfioratore SF02: Q = 60 l/s

Parcheggio 2

- Disoleatore D03, a valle dello sfioratore SF03: Q = 40 l/s

6 - Dimensionamento trincea drenante

Come accennato sopra, per il calcolo delle trincee drenanti sono stati utilizzati ietogrammi di tipo costante in quanto risulta più adatto, come detto, rispetto al "Chicago" a stimare i volumi piovuti con tempo di ritorno T = 50 anni come richiesto dal R.R. n.7.

Il dimensionamento del sistema di dispersione è stato effettuato esprimendo la relazione che intercorre tra portata di pioggia affluente (Q_p), capacità d'infiltrazione del terreno ed il volume immagazzinato nel sistema drenante, tramite la seguente equazione di continuità che esprime il bilancio delle portate entranti e uscenti per il mezzo filtrante:

$$(Q_p - Q_f)\Delta t = \Delta W$$

con:

Q_p = portata di pioggia influente;

Q_f = portata infiltrata;

Δt = intervallo di tempo;

ΔW = variazione del volume invasato all'interno della trincea, nell'intervallo di tempo Δt

La **portata d'infiltrazione** si determina utilizzando la legge di Darcy:

$$Q_f = \frac{K}{2} J A_f$$

dove:

- K = permeabilità del terreno, assunta pari $2,44 \cdot 10^{-4}$ m/s, derivate dalla media delle prove di infiltrazione realizzate dal Dott. Geologo Zaro (per maggiori dettagli si veda la relazione geologica allegata al progetto);
- J = cadente piezometrica dipendente dalla posizione della falda a dall'altezza d'acqua all'interno della trincea drenante secondo l'espressione:

$$J = \frac{Z + h}{Z + \frac{h}{2}}$$

con:

h = altezza dell'acqua all'interno della trincea

Z = spessore dello strato di terreno compreso tra fondo della trincea e livello della falda.

Per l'area in oggetto la falda ha una soggiacenza media di 50 m.

- A_f = superficie netta d'infiltrazione, pari alla superficie della campana d'infiltrazione che crea la trincea:

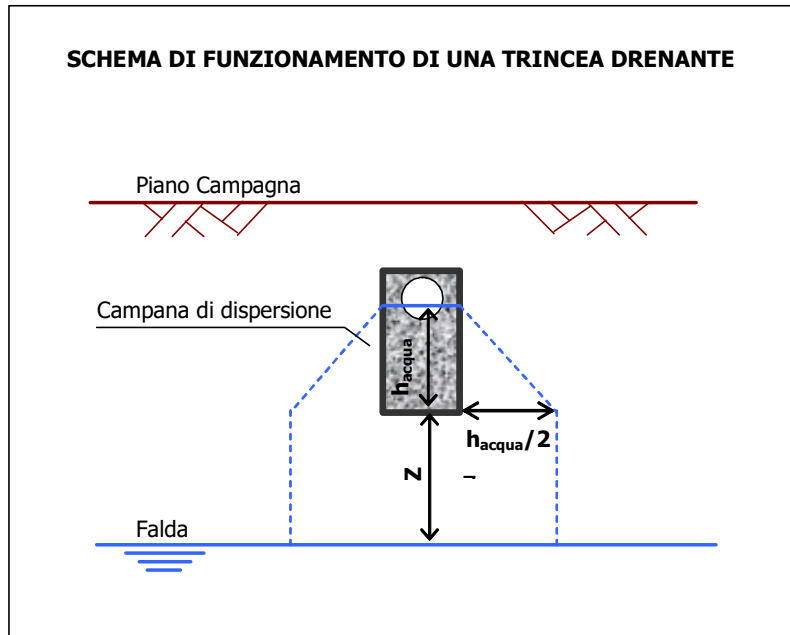
$$A_f = L(b + h_{acqua})$$

dove:

L = lunghezza della trincea

b = larghezza di base della trincea

h_{acqua} = altezza dell'acqua all'interno della trincea



Il **volume invasato** nell'intervallo di tempo viene calcolato in funzione della variazione di altezza d'acqua all'interno della trincea:

$$\Delta W = pb\Delta h$$

con:

b = larghezza di base della trincea

p = porosità dello spessore dello stato di ghiaione (assunto pari a 0.35)

Δh = variazione del livello dell'acqua all'interno della trincea nell'intervallo di tempo

Fissando un adeguato intervallo temporale è possibile simulare l'evento piovoso critico determinando l'altezza d'acqua massima invasata all'interno delle trincee e verificando che non crei rigurgiti nella rete di monte.

Variando la durata di pioggia si può determinare la durata dell'evento critico: quello cioè che determina la massima altezza d'acqua all'interno delle trincee drenanti.

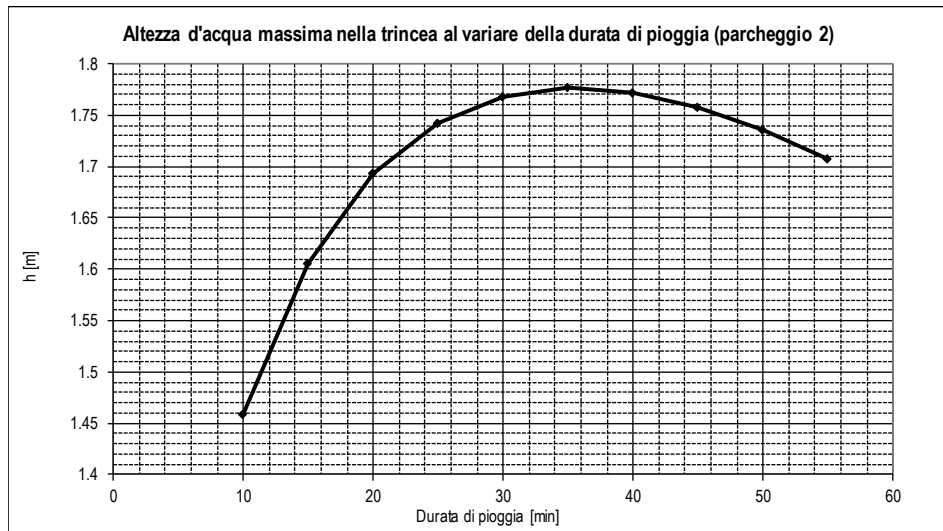
La trincea drenante avrà le seguenti caratteristiche:

Parcheggio 2:

- Larghezza di base = 2.0 m
- Profondità = 3.2 m
- Altezza rinfiango in pietrisco = 2,0 m
- Lunghezza complessiva = 160 m

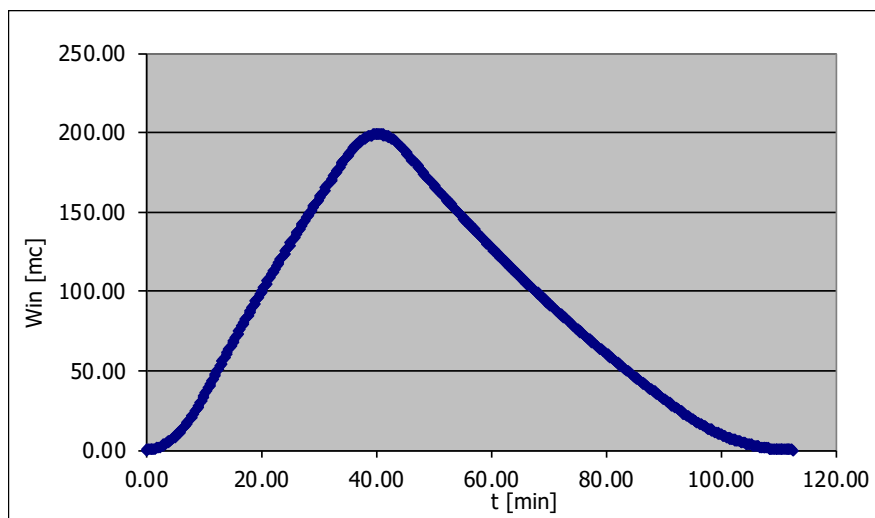
– Diametro tubo forato = 0.8 m

Nel seguente grafico è riportata la massima altezza dell'acqua nella trincea drenante con il variare della durata dell'evento piovoso.



Il livello massimo dell'acqua all'interno della trincea si attesta a 1.78 m dalla base dell'opera per l'evento critico di durata 35 min, garantendo un adeguato franco di sicurezza da piano campagna. Con tempo di ritorno centennale il livello massimo si attesta a 2.03 m dalla base dell'opera (durata critica pari a 40 min), garantendo comunque un adeguato franco di sicurezza rispetto al piano finito del parcheggio.

La trincea si svuota, dopo la fine dell'evento meteorico critico, in non più di 70 minuti (1 ora e 10 min circa), come si può constatare dal grafico seguente che riporta l'andamento del volume invasato nel tempo per l'evento critico. Tale durata è inferiore a quella richiesta dal Regolamento (48 ore).



7 - Dimensionamento vasca disperdente

Come accennato sopra, per il calcolo delle trincee drenanti sono stati utilizzati ietogrammi di tipo costante in quanto risulta più adatto, come detto, rispetto al "Chicago" a stimare i volumi piovuti con tempo di ritorno $T = 50$ anni come richiesto dal R.R. n.7.

Il dimensionamento del sistema di dispersione è stato effettuato esprimendo la relazione che intercorre tra portata di pioggia affluente (Q_p), capacità d'infiltrazione del terreno ed il volume immagazzinato nel sistema drenante, tramite la seguente equazione di continuità che esprime il bilancio delle portate entranti e uscenti per il mezzo filtrante:

$$(Q_p - Q_f)\Delta t = \Delta W$$

con:

Q_p = portata di pioggia influente;

Q_f = portata infiltrata;

Δt = intervallo di tempo;

ΔW = variazione del volume invasato all'interno della trincea, nell'intervallo di tempo Δt

La **portata d'infiltrazione** si determina utilizzando la legge di Darcy:

$$Q_f = \frac{K}{2} J A_f$$

dove:

- K = permeabilità del terreno, pari come detto precedentemente a $2.44 \cdot 10^{-4}$ m/s;
- J = cadente piezometrica assunta pari a 1 a favore di sicurezza;
- A_f = superficie netta d'infiltrazione, pari alla superficie della campana d'infiltrazione che crea la vasca calcolata in questo modo:

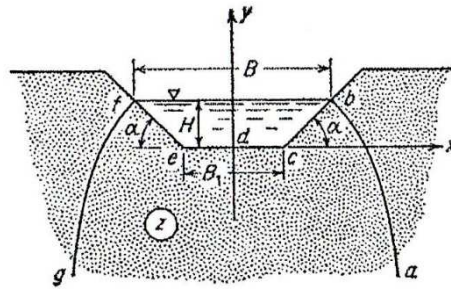
- o partendo dall'area sottesa dalla curva di livello corrispondente ad una certa altezza h rispetto al fondo, si calcola il raggio del cerchio equivalente (cioè avente la stessa superficie):

$$R_{eq} = \sqrt{\frac{A_{cdl}(h)}{\pi}}$$

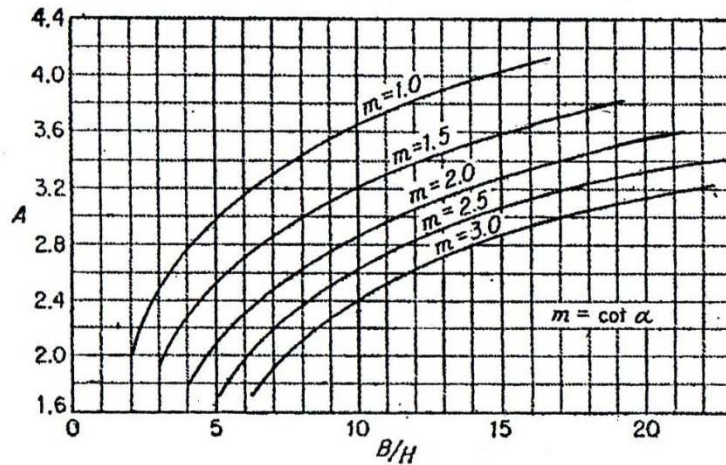
- o si incrementa R_{eq} secondo la teoria di Pavlovsky ed ulteriormente sviluppata da Vedernikov¹ per il calcolo della portata dispersa sviluppata da M. E. Harr nel libro "Groundwater and Seepage" per il

¹ Si omettono in questa sede i dettagli, riportati in esteso nel libro di Harr "Groundwater and Seepage – Chapter 9: Seepage from canals and ditches"

calcolo della dispersione in un canale di forma trapezoidale.



- $R_{eq}' = R_{eq} + \frac{Ah}{2}$ dove A è il coefficiente determinato dal seguente grafico di Vedernikov; nel caso specifico, poiché il rapporto B/H risulta pari a circa 19, A è stato assunto pari a 3.6



- si determina superficie netta d'infiltrazione calcolando l'area del cerchio di raggio R_{eq}'

Per il calcolo del **volume invasato** nell'intervallo di tempo si sono utilizzate le curve di livello dalle quali si determina il volume della vasca tramite il metodo dei tronchi di cono:

$$\Delta W = \left(A_{q1} + A_{q2} + \sqrt{A_{q1} A_{q2}} \right) \frac{q1 - q2}{3}$$

dove:

A_{q1} = superficie sottesa dalla curva di livello a quota q1

A_{q2} = superficie sottesa dalla curva di livello a quota q2

ΔW = volume di invasato tra la quota q1 e la quota q2

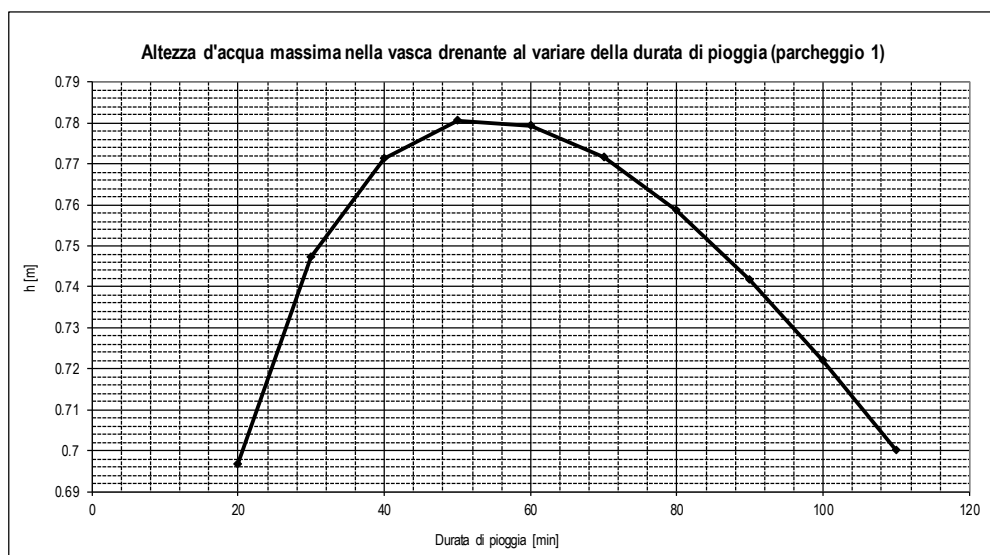
Le dimensioni della vasca saranno le seguenti:

- Larghezza di base (sul fondo vasca) = 15 m
- Lunghezza di base = 50 m
- Pendenza delle sponde B/H = 2
- Profondità rispetto a piano campagna = 2 m

Fissando un adeguato intervallo temporale è possibile simulare l'evento piovoso critico determinando l'altezza d'acqua massima invasata all'interno della vasca e verificando che non crei rigurgiti nella rete di monte.

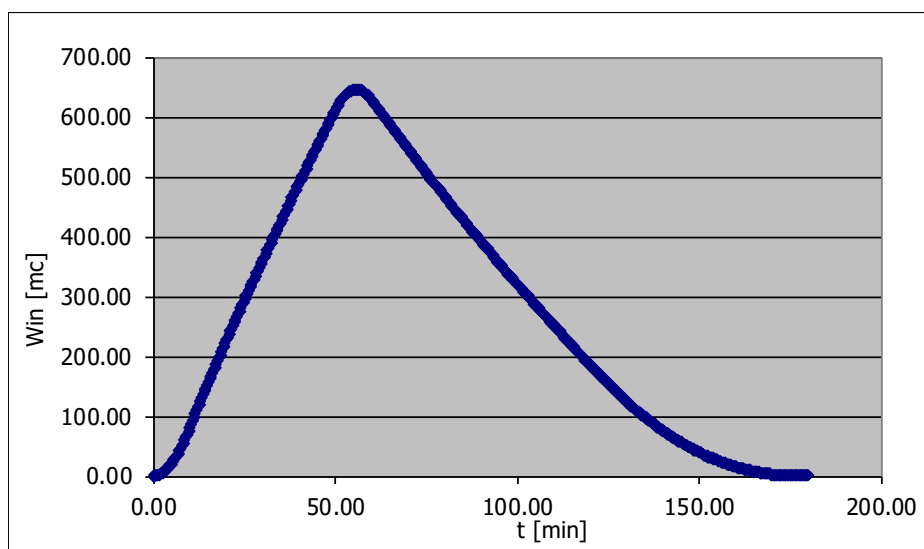
Variando la durata di pioggia si può determinare la durata dell'evento critico: quello cioè che determina la massima altezza d'acqua all'interno del manufatto.

Nel seguente grafico è riportata la massima altezza dell'acqua nella vasca drenante con il variare della durata di pioggia.



Il livello massimo dell'acqua all'interno della vasca si attesta a 0.78 m dal fondo dell'opera per l'evento critico di durata 50 min, garantendo un adeguato franco di sicurezza da piano campagna. Con tempo di ritorno centennale il livello massimo si attesta a 0.88 m da fondo vasca (durata critica pari a 60 min), restando quindi comunque ampiamente inferiore all'altezza spondale.

La vasca si svuota, dopo la fine dell'evento meteorico critico, in circa 120 minuti, come si può constatare dal grafico seguente che riporta l'andamento del volume invasato nel tempo per l'evento critico. Tale durata è inferiore a quella richiesta dal Regolamento (48 ore).



8 - Rispetto del requisito minimo (art.12 R.R. 7/2017)

Per il dimensionamento delle opere, l'art. 12 comma 3 del R.R. 7/2017 impone di adottare il massimo tra il volume definito dal requisito minimo e quello ricavato dai calcoli. Essendo l'intervento classificato ad impermeabilizzazione potenziale alta e ricadente nell'ambito territoriale B ad alta criticità, il requisito minimo da soddisfare viene calcolato partendo da un valore parametrico di 600 m³/ha di superficie scolante impemeabile dell'intervento (S).

Il volume da requisito minimo risulta pari a:

$$\text{Parcheggio 1: } W_{rm} = 600 \text{ m}^3/\text{ha}_{imp} * 1.78 \text{ ha}_{imp} = 1065 \text{ m}^3$$

$$\text{Parcheggio 2: } W_{rm} = 600 \text{ m}^3/\text{ha}_{imp} * 0.68 \text{ ha}_{imp} = 406 \text{ m}^3$$

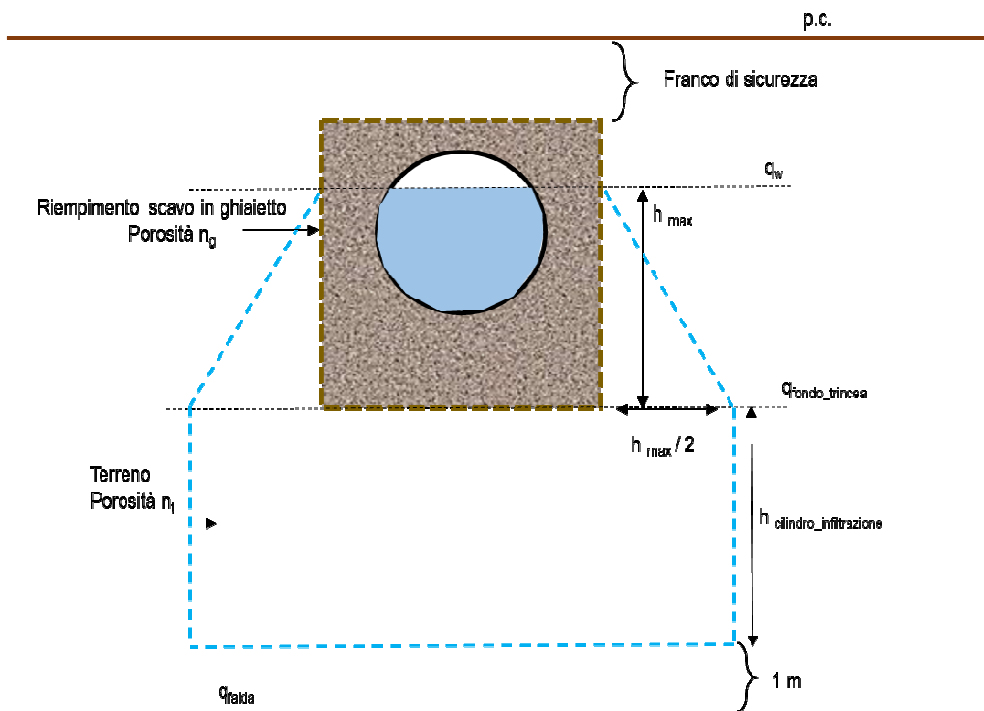
Per verificare il rispetto del requisito minimo si è stimato il volume "vuoto" invasabile.

Per la **trincea drenante**, tale volume è stato calcolato considerando:

- il volume "vuoto" interno al tubo forato;
- il volume dei vuoti del riempimento in ghiaietto dello scavo considerando una porosità pari a $n_g=0.35$;
- il volume dei vuoti del terreno considerando una porosità efficace pari a $n_t=0.10$;

L'altezza della campana di infiltrazione nel caso in oggetto è pari a circa 45.89 m, ottenuta dalla differenza tra la massima quota raggiunta dall'acqua nella trincea per l'evento critico T=50 anni q_w e la quota della falda q_{falda} incrementata di 1 m a favore di sicurezza.

Nel calcolo dei volumi è stata considerata una forma semplificata della campana assimilandola al disegno riportato di seguito. I calcoli effettuati sono riportati nella tabella sottostante.



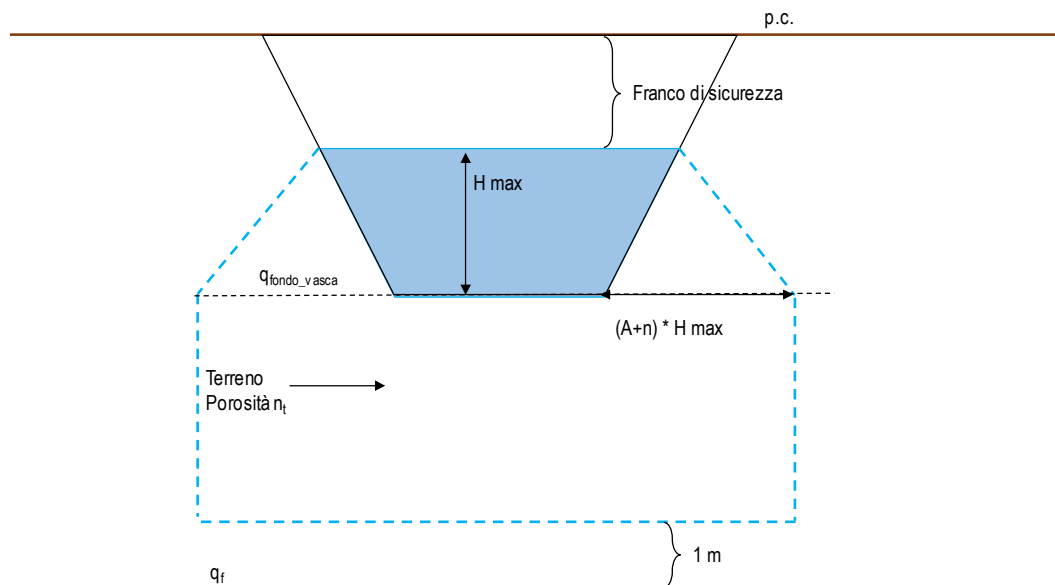
CALCOLO VOLUME CAMPANA DI INFILTRAZIONE – PARCHEGGIO 2		
$h_{max} = q_w - q_{fondo_trincea}$	1.78	m
$h_{cilindro\ infiltrazione} = q_{fondo_trincea} - q_{falda} + 1\ m$	45.89	m
Area bagnata nel tubo forato	0.503	m ²
Area sezione campana di infiltrazione ($A_{sez_campana}$)	19.06	m ²
Lunghezza di progetto trincea L	160.00	m
VOLUME EFFETTIVO CAMPANA DI INFILTRAZIONE $W_{eff} = L * A_{sez_campana}$	3049.22	m³
VOLUME REQUISITO MINIMO W_{rm}	406	m ³
Rispetto del requisito minimo ($W_{eff} \geq W_{rm}$)	OK	

Per la **vasca drenante**, il volume invasabile è stato invece calcolato considerando:

- il volume invasato dalla vasca;
- il volume dei vuoti del terreno considerando una porosità efficace pari a $n_t=0.10$;

L'altezza della campana di infiltrazione nel caso in oggetto è pari a circa 47 m, ottenuta dalla differenza tra la massima quota raggiunta dall'acqua nella vasca per l'evento critico T=50 anni q_w e la quota della falda q_{falda} incrementata di 1 m a favore di sicurezza.

Nel calcolo dei volumi è stata considerata una forma semplificata della campana assimilandola al disegno riportato di seguito; come sopra descritto il coefficiente n indica la pendenza della sponda mentre A è il coefficiente di forma della campana derivato dalla teoria di Vedernikov. I calcoli effettuati sono riportati nella tabella sottostante.



CALCOLO VOLUME CAMPANA DI INFILTRAZIONE – PARCHEGGIO 1		
H max	0.78	m
$h_{\text{campana infiltrazione}} = q_{\text{fondo_trincea}} - q_{\text{falda}} + 1 \text{ m}$	47	m
Area sezione bagnata della vasca: A_{vasca}	12.92	m ²
Area sezione campana di infiltrazione: $A_{\text{sez_campana}}$	108.96	m ²
Lunghezza di progetto della vasca L	50.00	m
VOLUME EFFETTIVO CAMPANA DI INFILTRAZIONE $W_{\text{eff}} = L * (A_{\text{vasca}} A_{\text{sez_campana}})$	6094.31	m ³
VOLUME REQUISITO MINIMO	1065	m ³
Rispetto del requisito minimo ($W_{\text{eff}} \geq W_{\text{rm}}$)	OK	

In conclusione il volume “vuoto” invasabile ottenuto è pari a:

parcheggio 1: $W_{\text{eff campana}} = 6094.31 \text{ m}^3 > W_{\text{rm}} = 1065 \text{ m}^3$

parcheggio 2: $W_{\text{eff campana}} = 3049.22 \text{ m}^3 > W_{\text{rm}} = 406 \text{ m}^3$

superiore al requisito minimo stabilito dall'art. 12 comma 2 del R.R. 7/2017.