

CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO
S.S. 33 - DEL SEMPIONE

LAVORI DI COSTRUZIONE DI UNA ROTATORIA IN
CORRISPONDENZA DELL'INCROCIO CON LA S.P. 299 NEI
COMUNI DI RHO, LAINATE, POGLIANO MILANESE.

PROGETTO ESECUTIVO

IL PROGETTISTA:



Centro operativo: 20090 TREZZANO S/N (MI) via Cristoforo Colombo n. 23
Tel. 02-48400557 (r.a.) - Fax 02-48400429 - e-mail: info@erre.via.com
C.F. 01556460184 - P.JVA 12806130154



IL DIRETTORE ESECUZIONE CONTRATTO:
Ing. Giuseppe Massimo FABIO

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:
Ing. Marco CAIROLI

Visto:
IL RESPONSABILE AREA COMPARTIMENTALE:
Ing. Marco BOSIO

Titolo elaborato:
Relazione idraulica

ELABORATO n.:

C.02.1

SCALA: —

Progetto N°:

0.0	Luglio 2019	Prima emissione	ERRE.VI.A	ERRE.VI.A	ERRE.VI.A
REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO

Sommario

1	Premessa	5
2	Inquadramento normativo	5
3	Inquadramento territoriale	6
4	Inquadramento geologico e idrogeologico	8
4.1	Indagini geologiche locali	9
5	Intervento di progetto	11
5.1	Inquadramento generale	11
5.2	Descrizione dello stato di fatto	12
5.3	Descrizione degli interventi	13
6	Calcolo delle precipitazioni di progetto	15
7	Portate di progetto	19
8	Sistema di smaltimento acque	21
8.1	Descrizione sistema di smaltimento esistente	21
8.2	Descrizione generale del sistema smaltimento acque	22
8.3	Elementi di drenaggio	23
8.3.1	Fossi di guardia	23
8.3.2	Invaso di accumulo e dispersione	26
8.3.3	Collettori	27
8.3.4	Pozzetti	28
9	Dimensionamento sistema di smaltimento	30
9.1	Collettori e pozzetti	30
9.2	Invasi di accumulo e dispersione - fossi di guardia	32
10	Verifica statica delle condotte	40
10.1	Rigidità tubazione	40
10.2	Carichi agenti sulla tubazione	40
10.2.1	Carichi dovuti al rinterro	41
10.2.2	Azioni dei sovraccarichi verticali	42
10.2.3	Azioni dell’acqua	43
10.3	Verifica statica con il metodo di Marston - Splangler	43
10.3.1	Tubazione rigida	43
10.3.2	Tubazioni deformabili	44
10.4	Risultati delle verifiche	46

Indice delle figure

Figura 1 - Foto aerea estratta da Google Maps dell'area di intervento	6
Figura 2 - Estratto della sezione B6A1 della CTR scala 1:100.000 per l'area di intervento	7
Figura 3 - Estratto Tav 2A Carta Idrogeologica Aggiornamento dello studio geologico del territorio comunale Caratterizzazione geotecnica e geopedologica - PGT Comune di Rho	9
Figura 4 - Planimetria fotografica indagini S1 e S2	10
Figura 5 - Rilievo dello stato di fatto area parcheggio di progetto	13
Figura 6 - Estratto Planimetria di progetto	14
Figura 7 - Andamento CPP relativa a prefissati tempi di ritorno con durata superiore all'ora	17
Figura 8 - Andamento CPP relativa a prefissati tempi di ritorno con durata inferiore all'ora	18
Figura 9 - Estratto planimetrico sistema fognario esistente	22
Figura 10 - Estratto Tav C.02.2 Planimetria smaltimento acque	23
Figura 11 - Sezione fosso di guardia di progetto	24
Figura 12 - Schema di campo di moto	25
Figura 13 - Sezione trapezia; schema di campo di moto	25
Figura 14 - Sezione tipo invaso di accumulo e dispersione	27
Figura 15 - Particolare idraulico - Pozzetto sifonato 50x50	29
Figura 16 - Particolare idraulico - Pozzetto di bypass 60x60	29
Figura 17 - Andamento volumi di ingresso, uscita e laminazione per il sistema di smaltimento - TR 50 anni	33
Figura 18 - Andamento volumi di ingresso, uscita e laminazione per il sistema di smaltimento - TR 200 anni	34

Indice delle tabelle

Tabella 1 - Quadro riepilogativo normative di riferimento	5
Tabella 2 - Stratigrafia generale del terreno	11
Tabella 3 - Valori di permeabilità dei terreni	11
Tabella 4 - Parametri Curva di possibilità pluviometrica area intervento (ARPA Lombardia)	16
Tabella 5 - Altezze di pioggia relative a prefissati T_r (Dati ARPA Lombardia)	17
Tabella 6 - Valori di a e n per prefissati tempi di ritorno con durate superiori all'ora	17
Tabella 7 - Valori di a e n per prefissati tempi di ritorno con durate inferiori all'ora	18
Tabella 8 - Valori di a e m per il calcolo del coefficiente C	26
Tabella 9 - Diametri tubazioni polimeriche	28
Tabella 10 - Verifica caditoie	30
Tabella 11 - Verifica tubazioni	31
Tabella 12 - Verifica collettori PR/01-Fosso	32
Tabella 13 - Verifica collettori P/01 - Invaso	32
Tabella 14 - Dimensionamento invasi di accumulo e dispersione e fossi di guardia disperdenti	38
Tabella 15 - Riassunto dati di capacità e infiltrazione degli elementi di progetto	38
Tabella 16 - Carichi stradali secondo la DIN 1072	42
Tabella 17 - Coefficiente di Posa E_z per tre tipologie di posa delle condotte	44
Tabella 18 - Valori del coefficiente di supporto K	45
Tabella 19 - Tipologie di terreno	45
Tabella 20 - Moduli di elasticità moduli di rinfilanco	45
Tabella 21 - Verifica tubazione DN125	47
Tabella 21 - Verifica tubazione DN250 fessurato	47
Tabella 21 - Verifica tubazione DN250	48
Tabella 22 - Verifica tubazione DN315	49
Tabella 23 - Verifica tubazione DN400	50

1 Premessa

La presente relazione, parte integrante del progetto esecutivo, si occupa dello studio delle acque meteoriche di dilavamento e del suo smaltimento. Illustra inoltre i calcoli ed i procedimenti relativi al dimensionamento dei manufatti idraulici.

2 Inquadramento normativo

Le normative di riferimento cui si riferisce la progettazione in esame, vengono riassunte nel seguente quadro riepilogativo (Tabella 1)

RIFERIMENTO	TITOLO
R.R. n. 4 del 24/03/2006	Disciplina dello smaltimento delle acque di prima pioggia e di lavaggio delle aree esterne in attuazione dell'art. 52, comma 1, lettera a) della Legge Regionale 12/12/2003 n. 26
R.R. n. 7 del 23/11/2017	Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 (Legge per il governo del territorio)
R.R. n. 8 del 19/04/2019	Disposizioni sull'applicazione dei principi di invarianza idraulica ed idrologica. Modifiche al regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7 (Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 "Legge per il governo del territorio")
L.R. n. 12 del 11/03/2005	Legge per il governo del territorio
L.R. n. 26 del 12/12/2003	Disciplina dei servizi locali di interesse economico generale. Norme in materia di gestione dei rifiuti, di energia, di utilizzo del sottosuolo e di risorse idriche
D. L.vo n. 152 del 03/04/2006	Norme in materia ambientale

Tabella 1 - Quadro riepilogativo normative di riferimento

3 Inquadramento territoriale

La zona interessata dal progetto si presenta in area appartenente a tre comuni differenti: Rho, Lainate e Pogliano Milanese. (

Figura 1)



Figura 1 - Foto aerea estratta da Google Maps dell'area di intervento

Il sito, ricade interamente nella sezione B6A1 della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000 (Figura 2).

4 Inquadramento geologico e idrogeologico

L’area d’interesse si colloca nella media pianura Milanese, dove si distinguono tre unità idrogeologiche distinte in funzione della loro omogeneità litologica, che dall’alto in basso risultano costituite da:

- “Unità ghiaioso-sabbiosa”;
- “Unità “ghiaioso-sabbiosa-limosa”;
- “Unità sabbioso-argillosa”;

Unità “ghiaioso-sabbiosa”: è costituita dai sedimenti fluvioglaciale del Pleistocene superiore (Würm autoctono), litologicamente caratterizzati da ghiaie e sabbie in matrice limosa, intercalati a livelli discontinui e poco potenti di argilla. Questa unità costituisce l’acquifero della falda freatica superficiale. L’unità può raggiungere i 70-80 m di profondità, ma normalmente nel settore nord- occidentale della provincia di Milano raggiunge profondità di 40-50 m.

Unità “ghiaioso-sabbiosa-limosa”: è sede di una falda semiconfinata ed è separata dal precedente acquifero da uno strato più o meno continuo di argilla dallo spessore variabile da qualche metro fino a 5-6 metri massimo. Questa unità è costituita dai sedimenti fluvioglaciali del Pleistocene medio (Riss-Mindel autoctono) che in profondità vengono sostituiti, in modo non sempre continuo, dall’unità a “conglomerati e arenarie basali” (Ceppo autoctono). Normalmente questa successione raggiunge i 100 m di profondità e, unitamente all’unità idrogeologica “ghiaioso-sabbiosa” costituisce quello che viene definito “l’acquifero tradizionale”, composto appunto da due falde, una libera più superficiale ed una semiconfinata. I rapporti tra le due falde dipendono dalla presenza, intorno ai 40-50 m di profondità, di un livello argilloso, discontinuo e a spessore variabile. Idraulicamente quindi l’“acquifero tradizionale” è un sistema monostrato multifalda, a causa degli scambi idrici legati ai fenomeni di drenaggio tra le due falde.

Unità “sabbioso-argillosa”: la terza unità idrogeologica, generalmente riscontrabile oltre i 100 m di profondità è caratterizzata da facies di origine sia continentale e di transizione (unità sabbioso-argillosa) che marine (unità argillosa) del Pleistocene inferiore e Calabrian. Questi sedimenti ospitano la falda più profonda, idraulicamente separata dall’ “acquifero tradizionale”.

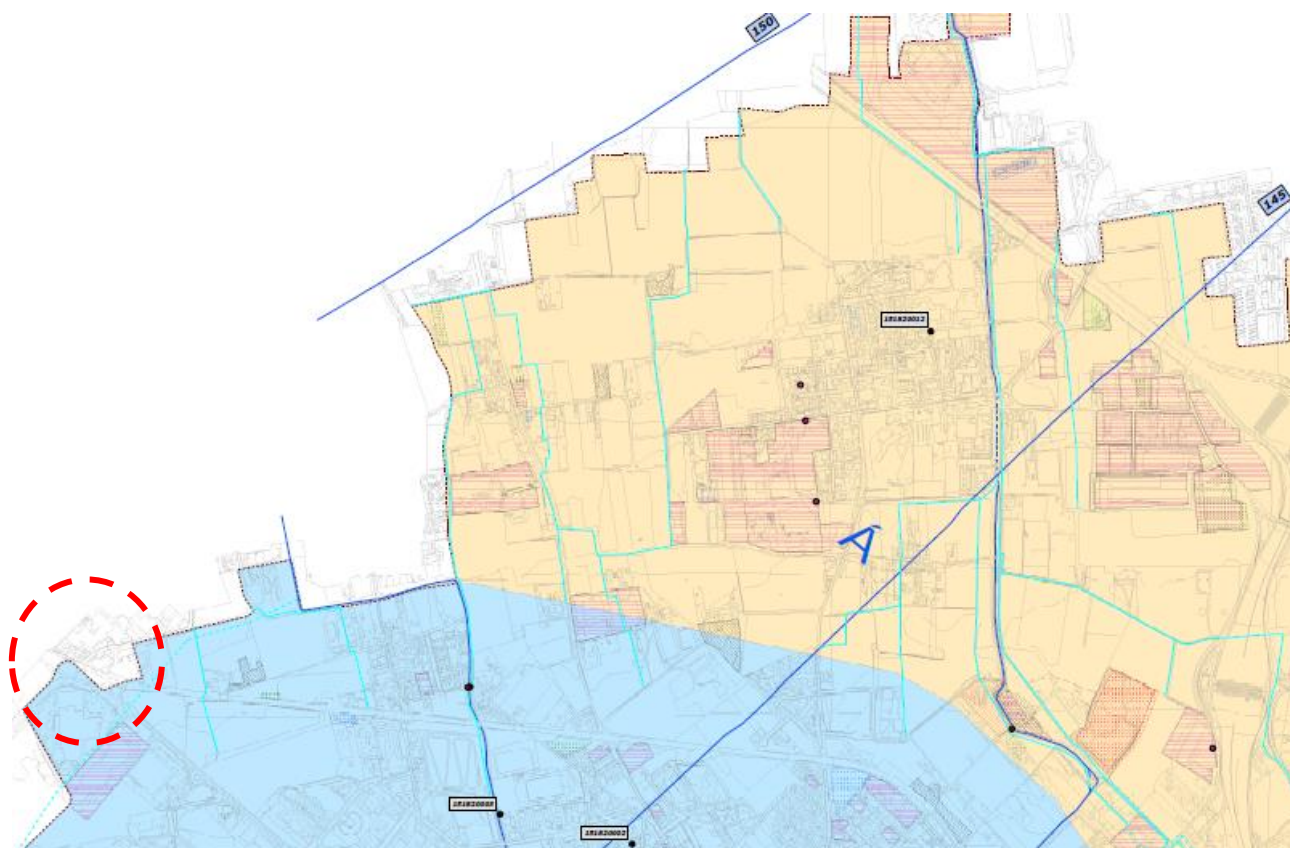
Si distinguono due acquiferi principali:

- L’acquifero superficiale in cui si trovano una falda libera superficiale e una falda più profonda semiconfinata;
- L’acquifero profondo, in cui si trova una falda confinata.

Il primo acquifero è caratterizzato da una buona omogeneità litologica e, in particolare nel settore nord-occidentale della provincia di Milano, si rileva in modo relativamente frequente, alla base dell’unità, livelli conglomeratici. Il loro spessore diminuisce notevolmente da nord a sud, tanto più che già in territorio comunale di Rho questi livelli diventano più sporadici e meno potenti. Altra caratteristica litologica è determinata dalla presenza di lenti e livelli argillosi a volte anche abbastanza potenti (spessori fino a 10 m) ma per lo più discontinui: la loro estensione areale infatti difficilmente supera il chilometro quadrato.

S.S.n.33 “del Sempione”
**Lavori di costruzione di una rotatoria in corrispondenza dell’incrocio con la
S.P. n.299 nei comuni di Rho, Lainate e Pogliano Milanese**
– Progetto Esecutivo –

Di seguito in Figura 3 si riporta un estratta della carta idrogeologica del PGT del comune di Rho.



*Figura 3 - Estratto Tav 2A Carta Idrogeologica Aggiornamento dello studio geologico del territorio comunale
Caratterizzazione geotecnica e geopedologica - PGT Comune di Rho*

Dalla carta soprastante si evince che l'area d'interesse ricade in una zona di soggiacenza compresa tra 13 e 18 m dal piano campagna. Data la presenza di limo argilloso di spessore variabile si possono instaurare falde sospese che possono presentare soggiacenza di circa -5m da piano campagna attuale. Inoltre dalla carta è possibile definire che conformazione della falda freatica è di tipo divergente, a causa di uno spartiacque sotterraneo collocato in corrispondenza dei territori comunali di Rho e Lainate. L'alimentazione della falda è legata sia alle condizioni meteoriche (pluviometriche) che alla rete idrica superficiale, che determina degli innalzamenti.

4.1 Indagini geologiche locali

Al fine di avere una descrizione più dettagliata ed approfondita della condizione geo-idrogeologica del sito in esame è stata condotta una campagna di indagini in data 24/06/2019.

S.S.n.33 “del Sempione”
**Lavori di costruzione di una rotatoria in corrispondenza dell’incrocio con la
S.P. n.299 nei comuni di Rho, Lainate e Pogliano Milanese**
– Progetto Esecutivo –

Sono state eseguite le seguenti indagini.

- n°1 sondaggio a carotaggio continuo spinto fino ad una profondità di 15 m da p.c. (S1);
- n°1 sondaggio a carotaggio continuo spinto fino ad una profondità di 7 m da p.c. (S2);
- n°3 prove di permeabilità Lefranc a carico variabile in un foro di sondaggio S1;

L’ubicazione delle indagini S1 e S2 è raffigurata in Figura 4



Figura 4 - Planimetria fotografica indagini S1 e S2

Sulla base delle indagini condotte (rif Relazione Geologica, elaborato A.02) è stata dedotta la seguente stratigrafia del terreno: (Tabella 2)

S.S.n.33 “del Sempione”
**Lavori di costruzione di una rotatoria in corrispondenza dell'incrocio con la
S.P. n.299 nei comuni di Rho, Lainate e Pogliano Milanese**
– Progetto Esecutivo –

Strato	Profondità [m dal p.c.]	Litologia
1	0.0 ÷ 0.1	Suolo limo ghiaioso sabbioso marrone con presenza di frustoli vegetali
2	0.1 ÷ 1.0	Riporto: Ghiaia sabbiosa limosa grigio-marrone con presenza di frustoli vegetali, bitume e laterizi
3	1.0 ÷ 6.5	Ghiaia sabbiosa in matrice limosa più o meno abbondante di colore grigio- marrone con talora clasti da subarrotondati a subangolari di diametro max. da 3-5cm
4	6.5 ÷ 7.6	Limo argilloso marrone chiaro
5	>7.6	Ghiaia limosa più o meno sabbiosa di colore marrone, clasti da subarrotondati ad angolari, anche molto alterati, diametro max. da 2 a 4cm

Tabella 2 - Stratigrafia generale del terreno

Nel sondaggio S1 sono state effettuate n.3 prove di permeabilità Lefranc a carico variabile per la definizione delle caratteristiche di permeabilità dei terreni indagati. In Tabella 3 è riportata una tabella con i risultati delle prove di permeabilità eseguite.

Profondità [m dal p.c.]	Permeabilità [m/s]
1.5 ÷ 2.0	3.66E-06
2.5 ÷ 3.0	5.00E-04
3.5 ÷ 4.0	3.55E-04

Tabella 3 - Valori di permeabilità dei terreni

Si nota come il valore di permeabilità cresce con la profondità da un minimo di 3.66E-06 a 3.55 E-04. In fase di dimensionamento dei sistemi di accumulo e dispersione utilizzati in progetto (fossi di guardia disperdenti e invasi di accumulo e dispersione), le cui profondità di scavo variano da un minimo di 0.5 m ad un massimo di 2.0 m, si è adottato un valore K di permeabilità del terreno (assunto costante per tutti gli interventi) pari a 1,00E-06 in modo da porsi a favore di sicurezza riguardo all'evoluzione temporale dell'efficienza dei processi di infiltrazione.

5 Intervento di progetto

5.1 Inquadramento generale

Il progetto corrisponde alla sistemazione dell'attuale intersezione tra la S.S. n. 33 “del Sempione” e la S.P. n.229 nei comuni di Rho, Lainate e Pogliano Milanese, attraverso la realizzazione di un nuovo schema di rotatoria a raso che meglio soddisfa le esigenze del territorio e mette in sicurezza un nodo altamente problematico.

L'intersezione in esame è parte integrante del sistema viabilistico del nord ovest Milanese compreso nel comparto delimitato dall'autostrada A8/A9 (Milano Laghi) a nord e dall'autostrada A4 (Torino – Milano) a sud.

S.S.n.33 “del Sempione”
**Lavori di costruzione di una rotatoria in corrispondenza dell’incrocio con la
S.P. n.299 nei comuni di Rho, Lainate e Pogliano Milanese**
– Progetto Esecutivo –

Nello specifico l'intervento di progetto è ubicato sulla S.S. n.33 “del Sempione” alla progr. Km 16+090; i comuni territorialmente interessati sono Rho, Lainate e Pogliano Milanese.

5.2 Descrizione dello stato di fatto

L'attuale intersezione è costituita da uno schema a “pseudo rotatoria” che privilegia le direzioni principali est – ovest transitanti sulla S.S. n.33, e regola gli innesti delle viabilità minori (Corso Europa e via Caracciolo) con un semplice schema a “T” provvisto di sole manovre in mano destra (via Caracciolo), e con uno schema completo che permette entrambe le manovre attraverso l'utilizzo di rampe dirette e semidirette (Corso Europa).

L'attuale rampa nord della S.S. n.33 (in direzione Legnano), presenta una carreggiata costituita da due corsie di marcia (di larghezza complessiva pari a circa 8.00m) che hanno inizio in corrispondenza del tratto a doppia carreggiata della stessa statale (direzione Milano) e terminano con l'innesto nella rotatoria ubicata sull'intersezione con via Roma (direzione Legnano); la rampa sud della S.S. n.33 (in direzione Milano), presenta una carreggiata prevalentemente costituita da una sola corsia (di larghezza complessiva pari a circa 5.00m), a cui si aggiunge una seconda corsia in corrispondenza degli innesti della S.P. n.229 e di Corso Europa al fine di consentire l'inserimento delle corsie di svolta in mano destra (larghezza complessiva pari a circa 8.00-9.00m).

La rampa nord della S.S.n.33 presenta sul margine destro un marciapiede di larghezza pari a circa 1.50m che ha inizio in corrispondenza dell'innesto di via Caracciolo e prosegue fino alla rotatoria con via Roma; su questo lato sono inoltre presenti una serie di accessi privati carrabili nel tratto compreso tra la stessa via Caracciolo e via F.lli Cairoli.

Sul lato sud dell'intersezione (area a ovest della S.P.n.229) è presente un insediamento commerciale la cui corsia di ingresso si stacca direttamente dalla rampa sud della S.S.n.33. In corrispondenza del limite esterno del parcheggio dell'attività commerciale è ubicato un marciapiede adiacente il piano viabile dell'intersezione.

Su tutta l'area dell'intersezione è presente un impianto di illuminazione costituito da pali conici ubicati lungo i margini laterali esterni; sono presenti inoltre una serie di sottoservizi riferiti a linee gas metano (Snam) ed elettriche (Terna) oltre a reti di telecomunicazione ed acquedotto / fognatura la cui ubicazione è rappresentata negli elaborati specifici di progetto (vedi elaborato progettuale n.B.11 - Planimetria ubicazione reti servizi esistenti).

La progettazione in esame è stata sviluppata sulla base di specifico rilievo topografico dell'area oggetto d'intervento (vedi elaborati progettuali n. B.01 - Rilievo piano altimetrico stato di fatto).

In Figura 5 è illustrato lo stato di fatto dell'intervento.

S.S.n.33 “del Sempione”
**Lavori di costruzione di una rotatoria in corrispondenza dell’incrocio con la
S.P. n.299 nei comuni di Rho, Lainate e Pogliano Milanese**
– Progetto Esecutivo –

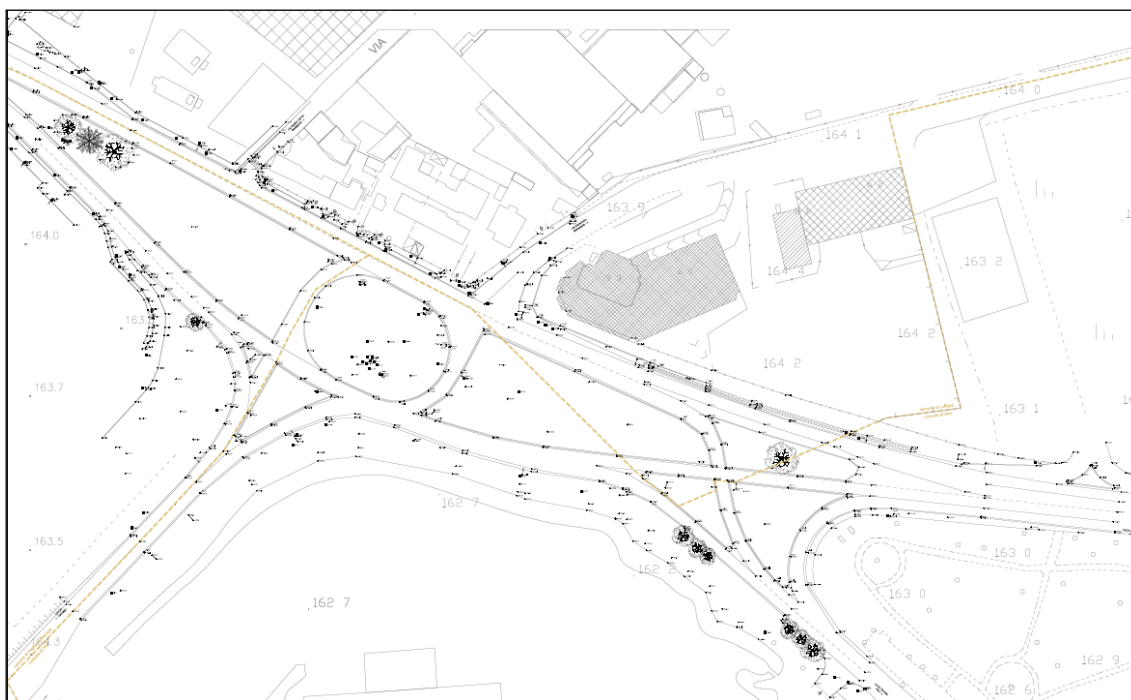


Figura 5 - Rilievo dello stato di fatto area parcheggio di progetto

5.3 Descrizione degli interventi

L'intervento di progetto è stato studiato al fine di risolvere le criticità in tema di sicurezza che coinvolgono l'attuale intersezione a raso.

Tali criticità riguardano il considerevole numero di incidenti verificatesi lungo tutta l'intersezione, che hanno costretto l'ente gestore dell'infrastruttura a porre delle limitazioni alle manovre, in particolare il divieto delle manovre in sinistra (in direzione sud) con la chiusura della rampa diretta di collegamento tra il ramo nord e il ramo sud della S.S. n.33.

Questa limitazione all'intersezione esistente ha quindi eliminato un punto di conflitto per i due flussi di traffico transitanti in rotatoria, con conseguente incremento della sicurezza, ma ha anche prodotto un sovraccarico alla già limitata capacità della vicina rotatoria ubicata all'incrocio con via Roma (in direzione Legnano).

La nuova soluzione progettuale, prevede quindi la realizzazione di una intersezione di tipo “rotatoria a raso” che sostituisce l'attuale schema ormai obsoleto, con la funzione di incrementare il grado di sicurezza e nello stesso tempo di gestire in modo più razionale e omogeneo i flussi di traffico gravitanti sull'intero snodo viabilistico.

Tale soluzione sovrapponendosi ad una intersezione esistente, di cui ne mantiene inalterato lo schema di svincolo e ne rispetta i limiti di occupazione, si può considerare a tutti gli effetti un adeguamento in sede della stessa intersezione, pertanto si è potuto procedere nello studio della presente progettazione apportando un incremento alle dimensioni della nuova rotatoria in funzione dei numerosi vincoli geometrici/territoriali esistenti.

S.S.n.33 "del Sempione"
**Lavori di costruzione di una rotatoria in corrispondenza dell'incrocio con la
S.P. n.299 nei comuni di Rho, Lainate e Pogliano Milanese**
- Progetto Esecutivo -

Lo schema di svincolo prevede quindi una nuova rotatoria di diametro esterno pari a 32 m posizionata in modo da potere innestare adeguatamente i cinque bracci di cui è composta.

I bracci posizionati a est permettono gli innesti e il conseguente collegamento con la viabilità minore (via Caracciolo a nord e corso Europa a sud est) e con la S.S. n.33 in direzione Milano; i bracci posizionati a Ovest consentono la continuità del percorso della S.S. n.33 in direzione Legnano e il collegamento con la S.P.n.229 in direzione Vanzago.

È stata introdotta una rampa diretta per i veicoli provenienti da Legnano (S.S.n.33) in direzione Vanzago (S.P.n.229) di larghezza pari a 6.50m di pavimentato con la funzione di separare questi flussi da quelli gravanti sulla rotatoria. Per i flussi di veicoli provenienti da Corso Europa in direzione Milano viene mantenuta l'attuale rampa diretta di larghezza pari a circa 6.00m.

È previsto il mantenimento degli accessi carrabili esistenti presenti sul margine destro della rampa nord della S.S. n.33, attraverso l'introduzione di una controstrada laterale a senso unico di larghezza pari a 4.50m protetta con opportuna isola di separazione dal piano viabile del braccio di uscita della rotatoria.

Fanno parte integrante della presente progettazione le opere complementari descritte nei capitoli successivi, che comprendono l'impianto di illuminazione, il sistema di smaltimento delle acque di piattaforma, la segnaletica orizzontale e verticale e le barriere di sicurezza.

Si evidenzia in Figura 6 l'intervento previsto in progetto:



Figura 6 - Estratto Planimetria di progetto

6 Calcolo delle precipitazioni di progetto

In diversi campi dell'idrologia la previsione quantitativa delle piogge intense, che vengono a rovesciarsi su una data località durante un nubifragio, riveste una importanza fondamentale. Nel settore delle infrastrutture territoriali, la progettazione di reti di drenaggio, sia in ambiente urbano che rurale, richiede una valutazione accurata delle piogge da smaltire, poiché stime approssimative o, peggio, errate delle piogge di progetto compromettono la funzionalità delle opere progettate. Le sollecitazioni dovute alle precipitazioni meteoriche più intense sono un dato essenziale anche per studiare gli interventi di difesa e conservazione del suolo, per progettare le opere idrauliche e, più in generale, tutti i manufatti soggetti, in modo diretto o indiretto, all'azione meteorica. Poiché i nubifragi forniscono la principale sollecitazione idrometeorologica sul territorio, la loro previsione è un requisito essenziale per valutare il rischio idrologico e geologico, sia dal punto di vista strettamente alluvionale, sia per quanto riguarda la stabilità dei versanti e l'erosione superficiale.

Le previsioni dei nubifragi vengono condotte valutando la sollecitazione meteorica temibile con assegnata frequenza F utilizzando una impostazione probabilistica o, meglio, stocastica. Tale frequenza F viene utilizzata nella definizione del tempo di ritorno T (1) come tempo medio intercorrente tra il verificarsi di due eventi successivi di entità uguale o superiore ad un valore di assegnata intensità.

$$T = \frac{1}{1 - F} \quad (1)$$

Assegnato un tempo di ritorno T la relazione tra la durata dell'evento d e l'altezza di pioggia h descrive la crescita dell'altezza di pioggia temibile al crescere della durata. Essa prende il nome di curva di possibilità pluviometrica (CPP) ed è rappresentata con un andamento di tipo esponenziale (2).

$$h = a \cdot d^n \quad (2)$$

Per valutare i parametri a e n occorre procedere con l'applicazione di specifici modelli probabilistici che, a loro volta, portano ad una definizione della curva sulla base di uno, due o più parametri.

Nel caso in esame ARPA Lombardia ci fornisce i parametri della curva di possibilità pluviometrica calcolati con il modello probabilistico GEV (Generalised Extreme Value) che esprime la curva nella seguente forma (3);

$$h = a_1 \cdot w_T \cdot d^n \quad (3)$$

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[\ln \left(\frac{T}{1 - T} \right) \right]^k \right\} \cdot d^n \quad (4)$$

Il parametro a viene quindi ad essere definito dal prodotto di due coefficienti: a_1 è il coefficiente pluviometrico orario mentre w_T è il coefficiente probabilistico legato al tempo di ritorno T . α, k e ε sono i parametri del modello probabilistico. In Tabella 4 vengono

S.S.n.33 "del Sempione"
Lavori di costruzione di una rotatoria in corrispondenza dell'incrocio con la
S.P. n.299 nei comuni di Rho, Lainate e Pogliano Milanese
 - Progetto Esecutivo -

riportati i parametri per il comune di Rho in quanto il comune avente più superficie interessata dall'intervento. Il tempo di ritorno è stato scelto pari a $T = 50$ anni.

α_1 - Coefficiente pluviometrico orario	31.049999
n - Coefficiente di scala	0.31580001
GEV - parametro α	0.29440001
GEV - parametro k	0.017999999
GEV - parametro ϵ	0.82429999

Tabella 4 - Parametri Curva di possibilità pluviometrica area intervento (ARPA Lombardia)

In Tabella 5 sono indicate le altezze di pioggia previste relative a prefissati tempi di ritorno

Tempo di Ritorno T_R	2	5	10	20	50	100	200
Durata [h]	Altezza di Pioggia [mm]	Altezza di Pioggia [mm]	Altezza di Pioggia [mm]	Altezza di Pioggia [mm]	Altezza di Pioggia [mm]	Altezza di Pioggia [mm]	Altezza di Pioggia [mm]
1	28.96	39.49	46.59	53.48	62.55	69.44	76.39
2	36.04	49.16	57.99	66.57	77.85	86.43	95.08
3	40.96	55.87	65.91	75.67	88.48	98.23	108.07
4	44.86	61.18	72.18	82.86	96.90	107.57	118.34
5	48.14	65.65	77.45	88.91	103.97	115.43	126.98
6	50.99	69.54	82.04	94.18	110.14	122.27	134.51
7	53.53	73.01	86.13	98.88	115.63	128.37	141.22
8	55.84	76.16	89.84	103.14	120.61	133.90	147.30
9	57.95	79.04	93.24	107.05	125.18	138.97	152.89
10	59.92	81.72	96.40	110.67	129.42	143.67	158.06
11	61.75	84.21	99.34	114.05	133.37	148.06	162.89
12	63.47	86.56	102.11	117.23	137.09	152.19	167.43
13	65.09	88.78	104.73	120.23	140.60	156.09	171.71
14	66.63	90.88	107.21	123.08	143.93	159.78	175.78
15	68.10	92.88	109.57	125.79	147.10	163.30	179.65
16	69.50	94.79	111.82	128.38	150.13	166.66	183.35
17	70.85	96.62	113.98	130.86	153.03	169.88	186.89
18	72.14	98.38	116.06	133.24	155.81	172.98	190.30
19	73.38	100.08	118.06	135.54	158.50	175.96	193.57
20	74.58	101.71	119.99	137.75	161.09	178.83	196.74
21	75.73	103.29	121.85	139.89	163.59	181.61	199.79
22	76.86	104.82	123.65	141.96	166.01	184.30	202.75
23	77.94	106.30	125.40	143.97	168.36	186.90	205.61
24	79.00	107.74	127.10	145.91	170.63	189.43	208.40

S.S.n.33 "del Sempione"
**Lavori di costruzione di una rotatoria in corrispondenza dell'incrocio con la
 S.P. n.299 nei comuni di Rho, Lainate e Pogliano Milanese**
 – Progetto Esecutivo –

Tabella 5 - Altezze di pioggia relative a prefissati T_r (Dati ARPA Lombardia)

In Tabella 6 sono indicati i valori dei parametri a e n relativi a prefissati tempi di ritorno per durate di pioggia superiori all'ora. In Figura 7 è mostrato l'andamento delle curve di possibilità pluviometrica.

$t > 1h$		a	n
TR	2	28.9559	0.3158
	5	39.4924	0.3158
	10	46.5877	0.3158
	20	53.4843	0.3158
	50	62.545	0.3158
	100	69.435	0.3158
	200	76.3866	0.3158

Tabella 6 - Valori di a e n per prefissati tempi di ritorno con durate superiori all'ora

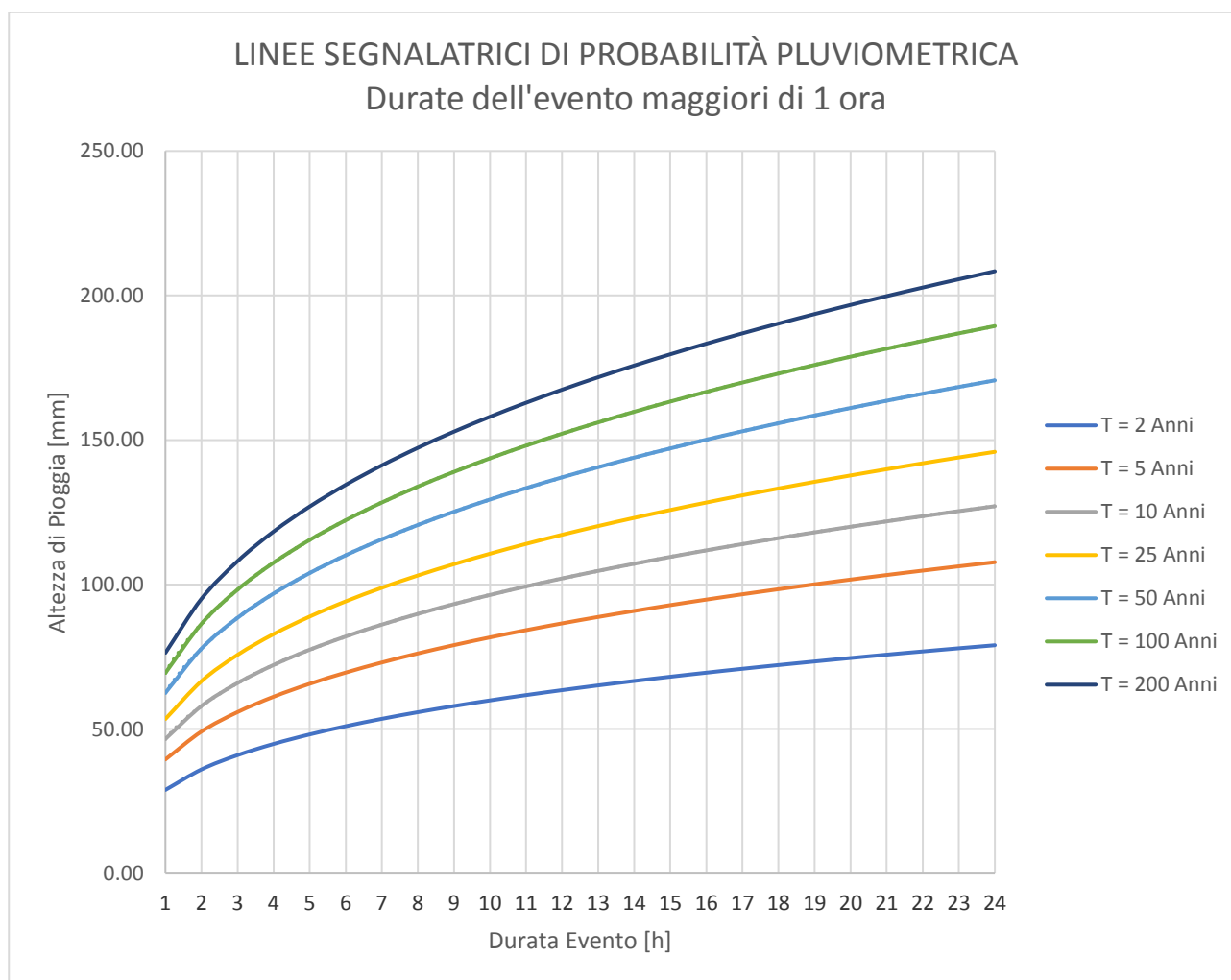


Figura 7 - Andamento CPP relativa a prefissati tempi di ritorno con durata superiore all'ora

S.S.n.33 "del Sempione"
**Lavori di costruzione di una rotatoria in corrispondenza dell'incrocio con la
 S.P. n.299 nei comuni di Rho, Lainate e Pogliano Milanese**
 - Progetto Esecutivo -

Per quanto riguarda gli eventi di precipitazione inferiori all'ora non è possibile utilizzare gli stessi parametri delle durate superiori all'ora. In assenza di altre informazioni la normativa impone infatti di considerare il parametro di scala n coincidente con 0,5.

In Tabella 7 sono indicati i valori dei parametri mentre in Figura 8 è possibile visualizzare l'andamento delle CCP.

$t < 1h$		a	n
TR	2	28.9559	0.5
	5	39.4924	0.5
	10	46.5877	0.5
	20	53.4843	0.5
	50	62.545	0.5
	100	69.435	0.5
	200	76.3866	0.5

Tabella 7 - Valori di a e n per prefissati tempi di ritorno con durate inferiori all'ora

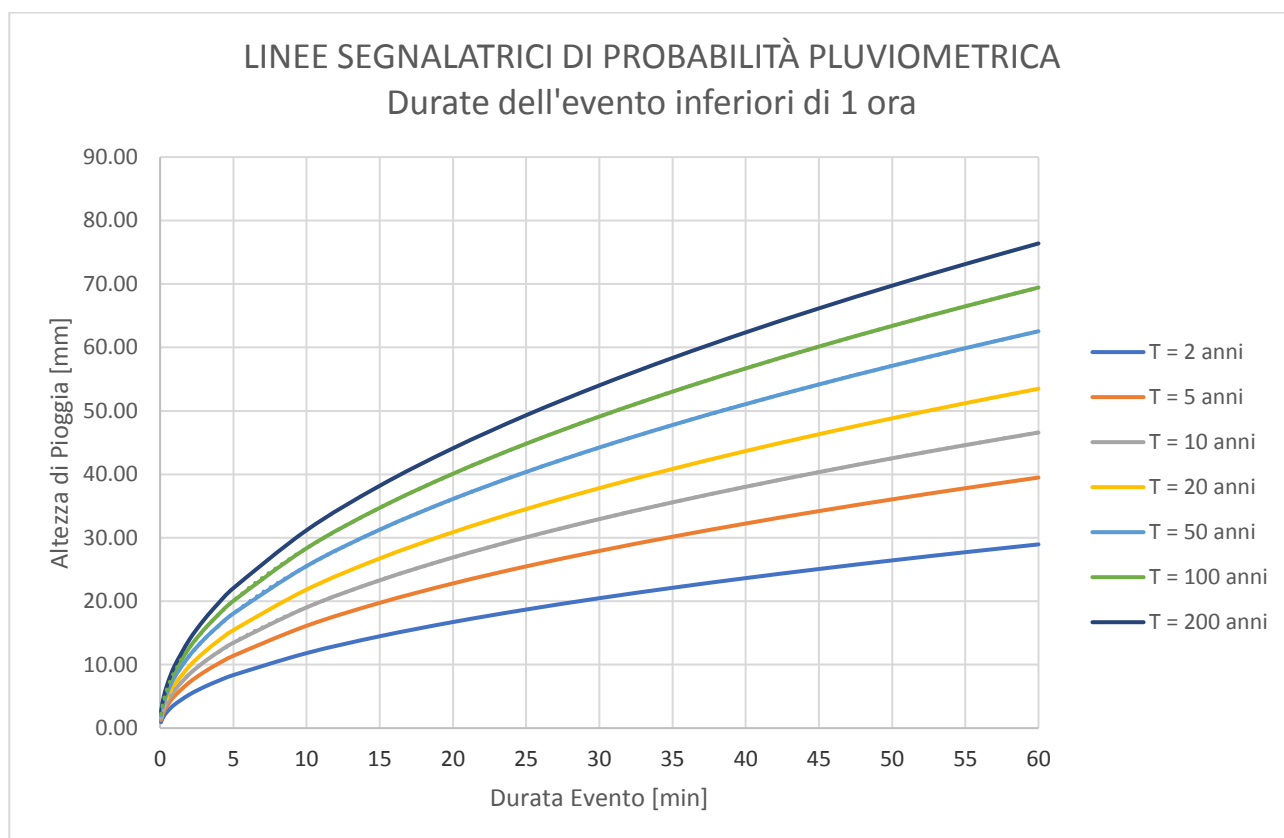


Figura 8 - Andamento CPP relativa a prefissati tempi di ritorno con durata inferiore all'ora

7 Portate di progetto

Le portate di progetto sono state calcolate adottando il “metodo delle sole piogge” e si basa sulle seguenti assunzioni:

- L'onda entrante dovuta alla precipitazione piovosa $Q_e(t)$ nell'invaso di laminazione è un'onda rettangolare avente durata D e portata costante Q_e pari al prodotto dell'intensità media di pioggia, dedotta dalla curva di possibilità pluviometrica in funzione della durata di pioggia, per la superficie scolante impermeabile dell'intervento afferente all'invaso; con questa assunzione si ammette che, data la limitata estensione del bacino scolante, sia trascurabile l'effetto della trasformazione afflussi-deflussi operata dal bacino e dalla rete drenante afferente all'invaso. Conseguentemente l'onda entrante nell'invaso coincide con la precipitazione piovosa sulla superficie scolante impermeabile dell'intervento. La portata costante entrante Q_e è quindi pari a (5)

$$Q_e = S \cdot \varphi \cdot a \cdot D^{n-1} \quad (5)$$

ed il volume di pioggia W_e complessivamente entrante è pari a (6)

$$W_e = S \cdot \varphi \cdot a \cdot D^n \quad (6)$$

in cui S è la superficie scolante del bacino complessivamente afferente all'invaso, φ è il coefficiente di deflusso medio, D è la durata di pioggia, a e n sono i parametri della curva di possibilità pluviometrica.

- L'onda uscente $Q_u(t)$ è anch'essa un'onda rettangolare caratterizzata da una portata costante $Q_{u,lim}(t)$ (laminazione ottimale). La portata costante uscente è quindi pari a (7)

$$Q_{u,lim} = S \cdot u_{lim} \quad (7)$$

ed il volume complessivamente uscito nel corso della durata D dell'evento è pari a (8)

$$W_u = S \cdot u_{lim} \cdot D \quad (8)$$

In cui u_{lim} è la portata specifica limite ammissibile allo scarico.

Nel caso in cui sia presente anche una portata infiltrata nel sottosuolo (considerata costante per tutta la durata dell'evento) la portata uscente Q_u sarà la seguente (9)

$$Q_u = S \cdot u_{lim} + Q_f \quad (9)$$

Ed il conseguente volume W_u in uscita:

$$\begin{aligned} W_u & \\ &= S \cdot u_{lim} \cdot D + Q_f \\ &\cdot D \end{aligned} \quad (10)$$

Ove Q_f è la portata infiltrata ricavata dai calcoli specifici (11) di ogni elemento i atto ai meccanismi dell’infiltrazione.

$$Q_f = \sum_i Q_{f,i} \quad (11)$$

Sulla base di tali ipotesi semplificative il volume di laminazione è dato, per ogni durata di pioggia considerata, dalla differenza tra i volumi dell’onda entrante e dell’onda uscente calcolati al termine della durata di pioggia. Conseguentemente, il volume di dimensionamento del complesso degli invasi è pari al volume critico di laminazione, cioè quello calcolato per l’evento di durata critica che rende massimo il volume di laminazione.

Quindi, il volume massimo ΔW che deve essere trattenuto nell’invaso di laminazione al termine dell’evento

di durata generica D (invaso di laminazione) è pari a:

$$\Delta W = W_e - W_u = S \cdot \varphi \cdot a \cdot D^n - S \cdot u_{lim} + Q_f \cdot D \quad (12)$$

Nel capitolo 9 è possibile visualizzare graficamente la curva $W_e(D)$ (rosso), concava verso l’asse delle ascisse, in aderenza alla curva di possibilità pluviometrica, e la retta $W_u(D)$ (viola) e indica come la distanza verticale ΔW tra tali due curve ammetta una condizione di massimo che individua così l’evento di durata critica per la laminazione.

8 Sistema di smaltimento acque

Il sistema di smaltimento in progetto è stato concepito adottando i criteri della teoria del drenaggio urbano sostenibile, metodologia che spinge verso uno studio attento all’impatto ambientale delle opere preferendo una progettazione di opere verdi per la raccolta e smaltimento delle acque meteoriche. È stato infatti adottato uno di smaltimento di tipo superficiale con la raccolta delle acque di piattaforma in fossi di guardia disperdenti inerbiti ed in invasi verdi che assolvono la funzione di laminazione delle portate entranti e dispersione delle acque per infiltrazione negli strati superficiali del terreno.

Fondamentale nella scelta del sistema di drenaggio di progetto è stata la presenza di numerosi sottoservizi esistenti come i cavidotti ad alta tensione di proprietà Terna S.p.A. ed i gasdotti di proprietà Snam S.p.A. La conformazione del sistema infatti è stata progettata in base alle indicazioni preliminari date dai vari enti per quanto riguarda fasce di rispetto e limitazioni specifiche. Le interferenze con le reti sopracitate sono state limitate al minimo.

È stata inoltre garantita la continuità idraulica degli elementi di raccolta ed invaso presenti nel progetto in modo da assicurare un efficace equilibrio tra i volumi idrici invasati. Tale continuità è svolta dagli stessi fossi di guardia, dove possibile, o da sifoni composti da una coppia di pozzetti prefabbricati connessi da una tubazione.

Il sistema di raccolta puntuale mediante il sistema di caditoie/bocche di lupo e collettori è stato limitato alla sola zona est dell’intervento ed una parte a nord (si rimanda all’elaborato grafico C.02.2)

L’intervento di progetto, per come concepito, è stato classificato come *ammodernamento*, definito ai sensi dell’art 2 del r.r. 7/2006, e pur non sottostando ai principi di invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell’art 3 comma 3 lettera b) del r.r. 7/2017 aggiornato dal r.r.8/2019, presenta ugualmente una capacità volumetrica d’invaso conforme con le indicazioni del r.r. 7/2017.

8.1 Descrizione sistema di smaltimento esistente

L’intersezione in progetto allo stato attuale non presenta alcun sistema di smaltimento e, da informazioni di tipo storico, si riscontrano anche problematiche legate all’allagamento di porzioni di carreggiata a seguito di eventi meteorici anche di media intensità.

I rilievi e sopralluoghi effettuati nel mese di giugno 2019 rilevano la presenza di un sistema fognario composto da caditoie e collettori limitato nella zona nord-ovest, come illustrato in Figura 9, e un sistema analogo appartenente all’edificio commerciale a sud-ovest. Nella zona interclusa dalla circolazione di tipo rotatorio esistente è presente un manufatto interrato adibito alla raccolta locale delle acque ai fini di irrigazione.

S.S.n.33 “del Sempione”
**Lavori di costruzione di una rotatoria in corrispondenza dell’incrocio con la
S.P. n.299 nei comuni di Rho, Lainate e Pogliano Milanese**
– Progetto Esecutivo –

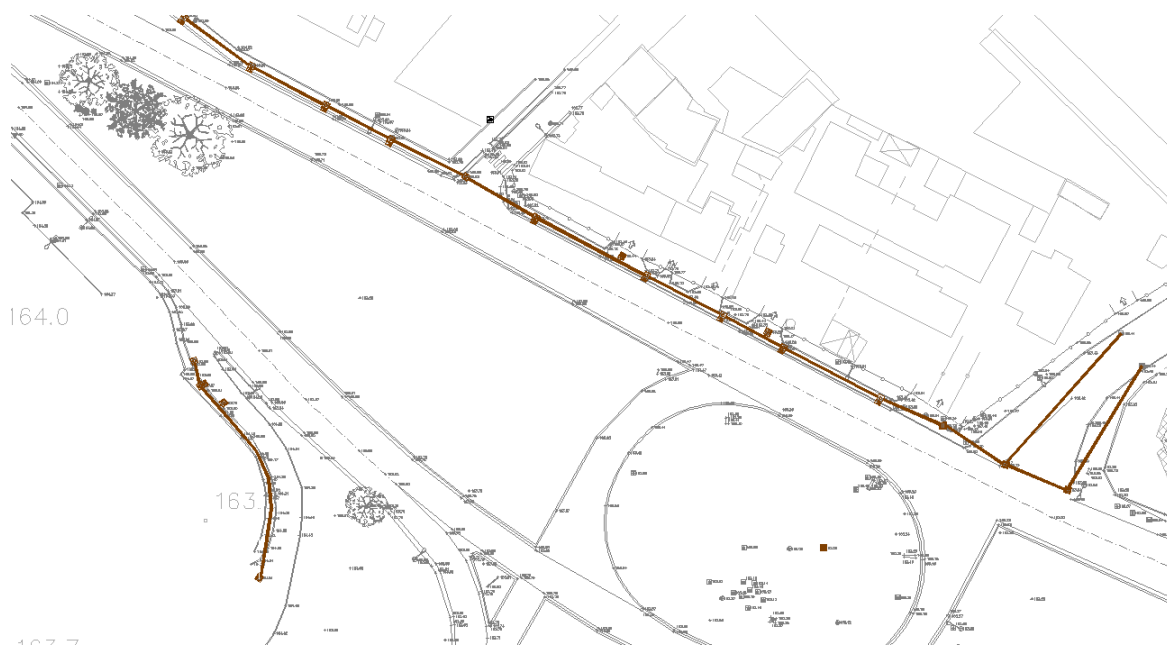


Figura 9 - Estratto planimetrico sistema fognario esistente

8.2 Descrizione generale del sistema smaltimento acque

Il sistema di smaltimento acque prevede la realizzazione di una rete di fossi di guardia ed invasi verdi atti all'accumulo e la dispersione delle acque meteoriche di dilavamento attraverso i fenomeni di infiltrazione nei terreni. I fossi sono di tipo inerbito con la pendenza delle scarpate pari al 66% (3/2), larghezza del fondo di 50 cm ed altezza 50 cm. Per quanto riguarda gli invasi, anch'essi saranno inerbiti con una pendenza delle scarpate del 50% (2/1) ed un'altezza pari a 2,0 m o 1,5 m a seconda degli invasi.

La maggior parte della raccolta delle acque di piattaforma avverrà per mezzo di inviti e canalette ad embrice prefabbricate che recapiteranno nei fossi di guardia o direttamente nei bacini disperdenti.

Nella zona est invece la raccolta avverrà con una rete di caditoie e collettori che recapiteranno nel bacino disperdente più prossimo. Le caditoie saranno composte da pozzetti prefabbricati sifonati 45x45 cm che, per mezzo di tubazioni in PVC DN125, si immetteranno in un collettore in PEAD corrugato esternamente di diametro variabile (DN250 - DN315 - DN400).

Nella zona nord invece verrà adottato, per un limitato tratto, un sistema di raccolta con bocche di lupo, pozzetti e collettori drenanti. Le bocche di lupo saranno connesse con tubazioni in PVC 125 che si immetteranno in pozzetti sifonati 45x45 cm che, a loro volta, recapiteranno in una tubazione forata che terminerà nel fosso di guardia più a est. La soluzione adottata per questo tratto nasce dall'esigenza di poter cambiare in futuro la destinazione d'uso dell'area per esempio in area pedonale.

In Figura 10 è rappresentato il sistema di drenaggio di progetto.

**S.S.n.33 “del Sempione”
Lavori di costruzione di una rotatoria in corrispondenza dell’incrocio con la
S.P. n.299 nei comuni di Rho, Lainate e Pogliano Milanese
– Progetto Esecutivo –**



Figura 10 - Estratto Tav C.02.2 Planimetria smaltimento acque

8.3 Elementi di drenaggio

Nei paragrafi successivi verranno approfonditi i vari elementi idraulici utilizzati nel progetto.

8.3.1 Fossi di guardia

I fossi di guardia rappresentano un’importante opera a difesa del corpo stradale; essi servono per convogliare negli impluvi naturali le acque superficiali che, per la naturale conformazione del terreno, verrebbero altrimenti a raccogliersi ai piedi del rilevato od a invadere le trincee provocando, così, cedimenti dei rilevati o delle scarpate delle trincee.

In generale, la sezione di un fosso di guardia ha forma trapezia e, in taluni casi, triangolare.

La prima presenta, di norma, una base minore avente lunghezza maggiore a 30 cm al fine di permettere ai mezzi meccanici di rimuovere i materiali depositati dalla corrente o franati dalle sponde; l’inclinazione di queste ultime viene stabilita in funzione della natura del terreno (ove occorre inserire il canale) e del materiale con cui realizzare il rivestimento.

Di norma per i canali, in terra la scarpa è compresa fra 1/1 e 2/1: il primo di tali valori è ammissibile solo per terreni prevalentemente argillosi, compatti, con sponde rivestite in zolle, il secondo è adoperato, invece, nel caso di terreni sciolti.

I fossi di guardia possono essere anche utilizzati come veri e propri invasi per la raccolta delle acque provenienti dalle piattaforme stradali intercettate e, se inerbiti possono procedere allo smaltimento naturale di essi tramite dispersione negli strati più superficiali

del terreno. Possono essere provvisti di strati drenanti composti da elementi a granulometria grossolana al fine di aumentare la capacità di laminazione e dispersione del fosso.

Le portate idriche possono essere convogliate in fossi di guardia solitamente con scarichi ad embrice posti lungo le scarpate in rilavato ma è possibile osservare anche dei convogliamenti con altre tipologie di elementi.

Il fosso di guardia tipo adottato in progetto è raffigurato in Figura 11 , con base minore pari a 50 cm, altezza 50 cm e pendenza scarpate pari al 66% (3/2). Il fosso di progetto successivamente viene rivestito con uno strato di 100 cm di cls in corrispondenza dei sifoni per un tratto di sviluppo longitudinale pari a 2,5 m.

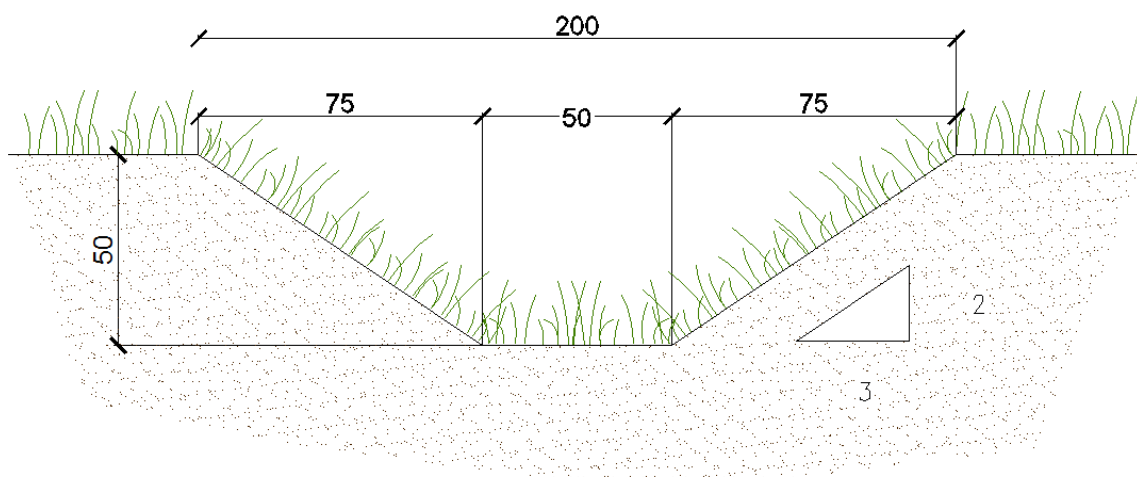


Figura 11 - Sezione fosso di guardia di progetto

Per quanto riguarda i processi di infiltrazione nel caso di canale disperdente simmetrico all'asse y in cui lo specchio liquido sia largo b e profondo H , come in Figura 12, la portata proveniente dal canale è data in forma adimensionale¹ (13):

$$\frac{Q}{KH} = \frac{b}{H} + 2 \quad (13)$$

Essa è alimentata nello schema proposto dal perimetro che limita una sezione di forma dipendente dal parametro b/H , la cui equazione è (14)

$$\pm \frac{x}{H} = -\sqrt{1 - \left(\frac{y}{H}\right)^2} + \frac{1}{\pi} \left(\frac{b}{H} + 2\right) \arccos \frac{y}{H} \quad (14)$$

¹ L. Da Deppo, C. Datei – Le opere idrauliche nelle costruzioni stradali - BIOS

S.S.n.33 "del Sempione"
**Lavori di costruzione di una rotatoria in corrispondenza dell'incrocio con la
 S.P. n.299 nei comuni di Rho, Lainate e Pogliano Milanese**
 - Progetto Esecutivo -

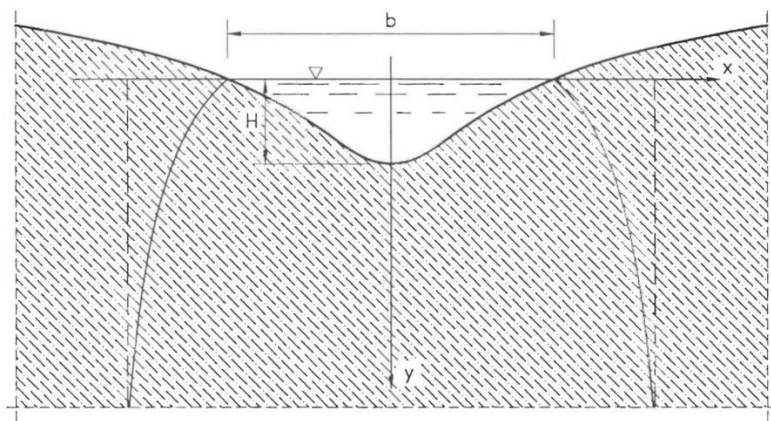


Figura 12 - Schema di campo di moto

Trattasi di sezioni assai prossime alla forma triangolare per rapporti $b/H = 2 \div 3$

Alla profondità $y \cong b$ la distribuzione delle velocità è pressoché uniforme, con $v \cong Ki \cong K$ per essere $i \cong 1$ e larghezza $L \cong b + 2H$.

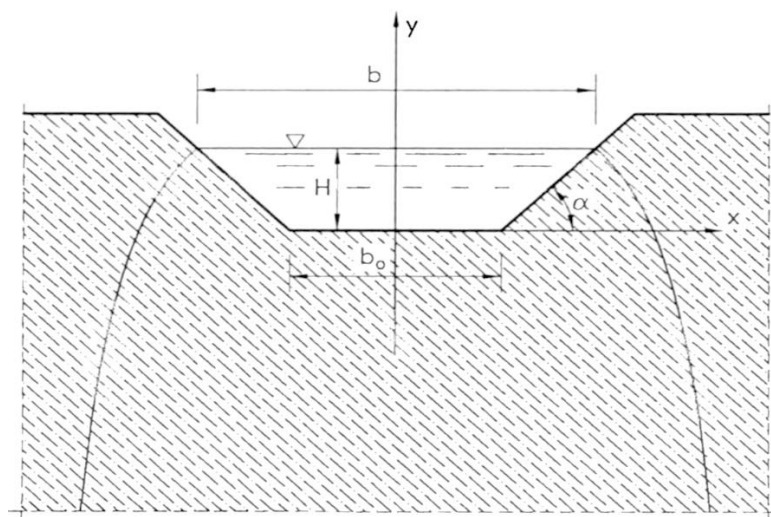


Figura 13 - Sezione trapezia; schema di campo di moto

Nel caso di sezione trapezia (Figura 13) la portata Q (espressa per unità di lunghezza) viene ancora rappresentata da una relazione analoga alla (13), ponendo però un coefficiente C in luogo del numero 2: coefficiente funzione della scarpa $n = \cot \alpha$ delle sponde e del rapporto b/H . Si ha così (15):

$$\frac{Q}{KH} = \frac{b}{H} + C \quad (15)$$

Il coefficiente C misura dunque il contributo alla formazione della portata dovuta all'infiltrazione sulle sponde. La distribuzione dei valori di C , al variare di n , si presta ad essere interpolata da una relazione monomia del tipo² (16):

² V.V. Vedernikow, 1934

$$C = a \left(\frac{b}{H} \right)^m \quad (16)$$

Con un coefficiente di correlazione di poco inferiore a 1. La Tabella 8 dà i valori di a e m al variare di n . L'ultima colonna indica il valore limite inferiore di b/H .

Scarpa n	a	m	b/H
1/1	1,584	0,375	2
3/2	1,332	0,380	3
2/1	1,009	0,448	4

Tabella 8 - Valori di a e m per il calcolo del coefficiente C

8.3.2 Invaso di accumulo e dispersione

Gli invasi di accumulo e dispersione sono delle opere a basso impatto ambientale appartenenti all'ingegneria naturalistica. Essi sono delle depressioni ricavate nel terreno atte ad accumulare volumi idrici per smaltirli successivamente attraverso i processi di infiltrazione.

Presentano delle scarpate di norma poco pendenti e, in ambito urbano, possono venire integrate con vegetazione arbustiva e/o floreale a fini estetici.

Tali invasi di accumulo, ai fini di migliorare la capacità di invaso e filtrazione, possono presentare dei filtri come ad esempio degli strati di materiale drenante al di sotto della superficie inerbata oppure possono essere integrati a pozzi perdenti.

Per quanto riguarda i processi di infiltrazione se si considera l'equazione generale di Darcy (17), se si pone pari all'unità il gradiente idraulico, si ottiene la formula della portata: (18)

$$v = K \frac{\partial h}{\partial z} \quad (17)$$

$$Q = S \cdot K \quad (18)$$

Dove per S si considera l'impronta del bacino.

In questo caso si è preferito non aggiungere alla dispersione che avviene lungo l'impronta del bacino anche il contributo di filtrazione dovuto all'altezza delle scarpate in modo da mantenersi in favore di sicurezza.

Nel caso di progetto gli invasi di accumulo e dispersione avranno dimensioni variabili a seconda della loro localizzazione con un'altezza di 2 m per i due invasi maggiori e 1,5 m per i restanti 2 invasi. Saranno inerbati e sarà possibile una piantumazione di specie arbustive/floreali. (Figura 14)

S.S.n.33 “del Sempione”
**Lavori di costruzione di una rotatoria in corrispondenza dell’incrocio con la
 S.P. n.299 nei comuni di Rho, Lainate e Pogliano Milanese**
 – Progetto Esecutivo -

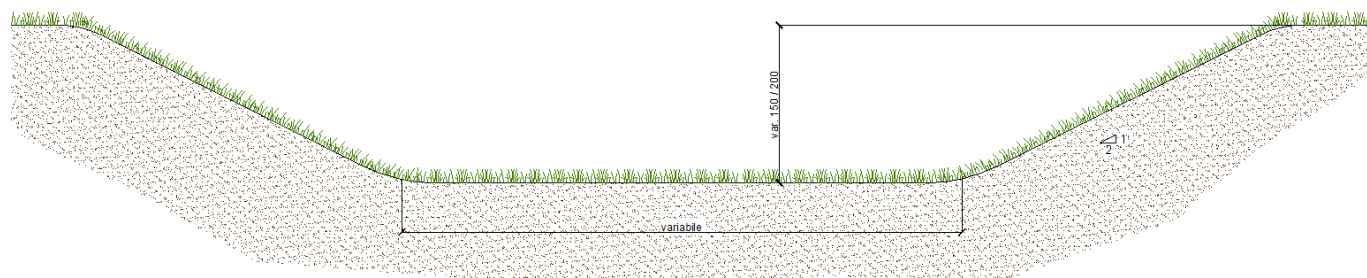


Figura 14 - Sezione tipo vaso di accumulo e dispersione

8.3.3 Collettori

I collettori sono gli elementi che convogliano le portate raccolte verso la rete di smaltimento o accumulo. Sono formati da diversi materiali e possiedono sezioni differenti a seconda dei requisiti idraulici richiesti.

8.3.3.1 Collettori in materiale polimerico

Sono stati utilizzati dei collettori in PVC (Policloruro di vinile non plastificato), avente rigidità anulare minima SN 8 kN/mq, conformi alla norma UNI EN 1401-1 e tubazioni in PEAD (polietilene ad alta densità) con parete interna liscia e parete esterna corrugata, aventi rigidità anulare minima SN 8 kN/mq, conformi alla norma UNI EN 13476. In Tabella 9 sono riportati i diametri interni delle tubazioni più comuni. Le tubazioni in oggetto avranno diametri di 125, 160 e 200 mm.

Per il dimensionamento si è considerato il diametro interno (riportato in Tabella 9) ed un coefficiente di scabrezza di Strickler pari a $85 \text{ m}^{(1/3)}/\text{s}$.

	PEAD	PVC
DN	Di	
Diametro nominale	Diametro interno [mm]	
110		103,6
125		117,6
160		150,6
200		188,2
250	218	235,4
315	272	296,6
400	347	376,6
500	433	470,8
630	535	
800	678	
1000	852	
1200	1030	

Tabella 9 - Diametri tubazioni polimeriche

8.3.4 Pozzetti

I pozzetti sono manufatti che vengono inseriti nella rete di raccolta per rendere possibile l'accesso ad essa per ispezione e manutenzione.

Possono essere gettati in opera oppure prefabbricati. In progetto sono previsti solo pozzetti di tipo prefabbricato in cls vibrato.

8.3.4.1 Pozzetti prefabbricati

I pozzetti utilizzati per le caditoie saranno di tipo Milano composti da elementi prefabbricati in calcestruzzo armato vibrato di dimensioni interne 45x45 cm. (Figura 15)

Verranno posati sopra un letto di posa gettato in opera dello spessore di 5 cm in calcestruzzo magro classe C12/15. Le griglie in ghisa sferoidale che andranno a chiudere il pozzetto prefabbricato avranno classe di carico a seconda della posizione nei confronti della sede stradale, saranno D400 per carichi veicolari o B125 per le caditoie che assolvono alla funzione di sifone, posizionate all'interno del fosso di guardia. Esse non potranno essere posate direttamente sopra all'ultimo elemento del pozzetto ma dovrà essere predisposto uno spessore in cls o mattoni non forati. I pozzetti dovranno avere fondo impermeabile ed essere sifonati in maniera tale da offrire un discreto grado di sicurezza dei confronti di depositi solidi e liquidi di tipo oleoso.

I pozzetti d'ispezione della rete saranno di tipo Milano composti da elementi prefabbricati in calcestruzzo armato vibrato di dimensioni interne 60x60 cm. Verranno posati sopra un letto di posa gettato in opera dello spessore di 5 cm in calcestruzzo magro classe C12/15. I chiusini in ghisa sferoidale che andranno a chiudere il pozzetto prefabbricato avranno classe di carico D400. Esse non potranno essere posate direttamente sopra all'ultimo elemento del pozzetto ma dovrà essere predisposto uno spessore in cls o mattoni non forati. (Figura 16)

S.S.n.33 "del Sempione"
**Lavori di costruzione di una rotatoria in corrispondenza dell'incrocio con la
 S.P. n.299 nei comuni di Rho, Lainate e Pogliano Milanese**
 - Progetto Esecutivo -

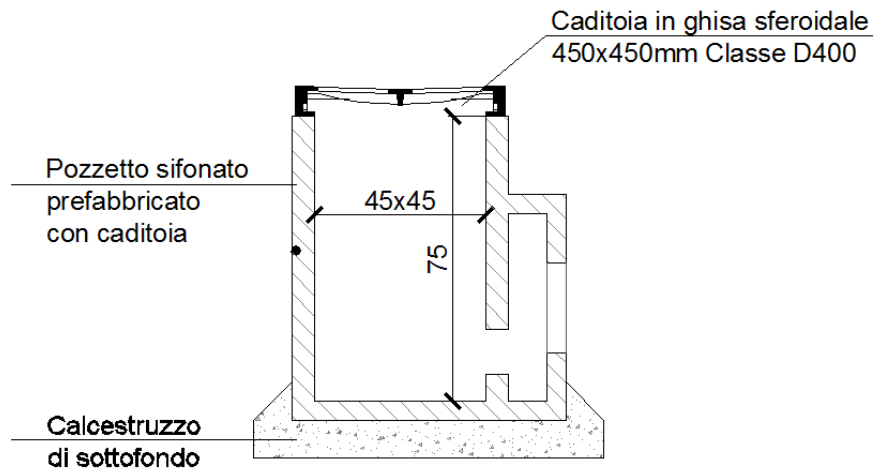


Figura 15 - Particolare idraulico - Pozzetto sifonato 50x50

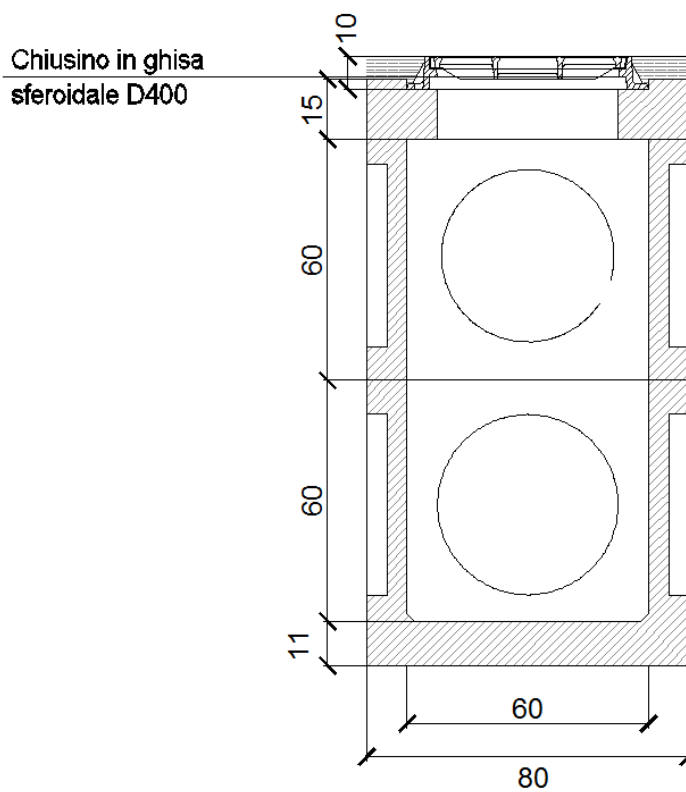


Figura 16 - Particolare idraulico - Pozzetto di bypass 60x60

9 Dimensionamento sistema di smaltimento

9.1 Collettori e pozzetti

Per quanto riguarda la rete di caditoie e collettori sono state effettuate due tipi di verifiche: sui collettori e sui pozzetti sifonati.

Il calcolo delle portate al colmo è stato effettuato considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno 20 anni e la superficie scolante calcolata planimetricamente. (Tabella 10)

Per le caditoie composte da pozzetti sifonati 45x45 è stata effettuata una verifica sia sulla portata smaltibile dalla griglia di chiusura in ghisa sferoidale sia sulla portata in uscita dalla tubazione in PVC DN125.

Le caratteristiche della caditoia sono state dedotte da una caditoia tipo in ghisa sferoidale 45x45 sulla quale si è ipotizzato un carico idrico 25mm.

Le diverse portate per le due condizioni sono state calcolate con le seguenti formule (19)(20)

$$\text{Funzionamento a soglia} \quad Q = C_{q_1} h A \sqrt{2gh} \quad (19)$$

$$\text{Funzionamento sottobattente} \quad Q = C_{q_2} A \sqrt{2gh} \quad (20)$$

Con C_{q_1} pari a 0.35 e C_{q_2} pari a 0.60

ID Caditoia	Caratteristiche evento meteorico				Caratteristiche caditoia			
	Area Scolante impermeabile	Tempo di accesso alla rete	Intensità di precipitazione	Portata al colmo	Area di scarico griglia	Carico idraulico su caditoia	Portata massima vena a stramazzo	Portata massima vena sottobattente
	[mq]	[min]	[mm/h]	[l/s]	[mq]	[cm]	[l/s]	[l/s]
C01	150	3	239.2	10.0	0.0564	2.5	12.3	23.7
C02	148	3	239.2	9.8	0.0564	2.5	12.3	23.7
C03	132	3	239.2	8.8	0.0564	2.5	12.3	23.7
C04	142	3	239.2	9.4	0.0564	2.5	12.3	23.7
C05	116	3	239.2	7.7	0.0564	2.5	12.3	23.7
C06	63	3	239.2	4.2	0.0564	2.5	12.3	23.7
C07	68	3	239.2	4.5	0.0564	2.5	12.3	23.7
C08	98	3	239.2	6.5	0.0564	2.5	12.3	23.7
C09	99	3	239.2	6.6	0.0564	2.5	12.3	23.7
C10	123	3	239.2	8.2	0.0564	2.5	12.3	23.7

Tabella 10 - Verifica caditoie

Per quanto riguarda i collettori in uscita (Tabella 11) le verifiche sono state svolte sulla tubazione uscente dal pozzetto sifonato. È stato considerato il caso peggiore, quello in cui la tubazione interessata funzioni in pressione con un carico rispetto alla mezzeria del tubo di 20 cm

S.S.n.33 "del Sempione"
**Lavori di costruzione di una rotatoria in corrispondenza dell'incrocio con la
 S.P. n.299 nei comuni di Rho, Lainate e Pogliano Milanese**
 - Progetto Esecutivo -

La portata del tubo sifonato è data dalla formula (21)

$$Q = \mu h A \sqrt{2gh} \quad (21)$$

Funzionamento di luce con tubo addizionale

Dove μ è posto pari a 0.61

Sono state inoltre calcolate le perdite di carico lungo la condotta sempre nel caso in cui essa debba funzionare in pressione.

ID Caditoia	Caratteristiche tubazione						
	Diametro interno Tubazione in uscita	Carico su mezzeria del tubo	Portata sifone	Scabrezza tubazione ks	cadente piezometrica j	lunghezza condotta	Perdite di carico su tubazione
	[mm]	[m]	[l/s]	[m ^{1/3} /s]	[-]	[m]	[cm]
C01	117	0.2	13.0	85	0.022256597	3.5	15.2
C02	117	0.2	13.0	85	0.022256597	12.8	35.9
C03	117	0.2	13.0	85	0.022256597	2.5	13.0
C04	117	0.2	13.0	85	0.022256597	1	9.7
C05	117	0.2	13.0	85	0.022256597	1	9.7
C06	117	0.2	13.0	85	0.022256597	1	9.7
C07	117	0.2	13.0	85	0.022256597	1	9.7
C08	117	0.2	13.0	85	0.022256597	2	11.9
C09	117	0.2	13.0	85	0.022256597	1.5	10.8
C10	117	0.2	13.0	85	0.022256597	9.3	28.1

Tabella 11 - Verifica tubazioni

Le verifiche effettuate in questo paragrafo mostrano come le portate di colmo relative agli eventi atmosferici siano smaltibili dalle caditoie in progetto anche con carichi idraulici modesti.

Per i collettori invece è stata effettuata una verifica sulla portata smaltibile dai collettori utilizzando la formula di Chezy (22) assumendo come valore di resistenza di riferimento χ la formula di Gauckler-Strickler (23) con un riempimento massimo pari al 80% della sezione del collettore

$$Q = \chi \sqrt{\mathfrak{R} i} \quad (22)$$

$$\chi = k_s \mathfrak{R}^{\frac{1}{6}} \quad (23)$$

Con

\mathfrak{R} raggio idraulico della sezione

k_s coefficiente di Gauckler-Strickler posto pari a 85 m^{1/3}/s

Nelle tabelle seguenti vengono mostrate le verifiche idrauliche dei collettori presenti sulla linea PR e P.

Nella verifica dei collettori vengono utilizzate le seguenti grandezze:

S.S.n.33 "del Sempione"
**Lavori di costruzione di una rotatoria in corrispondenza dell'incrocio con la
S.P. n.299 nei comuni di Rho, Lainate e Pogliano Milanese**
– Progetto Esecutivo –

- Area Ridotta: la sommatoria di tutte le aree interessate dal bacino scolante moltiplicate per il proprio coefficiente medio di deflusso (1 per le aree impermeabili);
- T_A : tempo di corrivazione del sottobacino;
- i : intensità di precipitazione calcolata con tempo di ritorno pari a 20 anni;
- Q : portata al colmo;
- i_l : pendenza longitudinale del collettore;
- Φ : diametro nominale del collettore;
- R_i : raggio interno del collettore;
- v la velocità del collettore;
- Il grado di riempimento è riferito alla sezione bagnata del collettore;

Pozzetto Monte-Valle	Lunghezza	Progressiva	Materiale	Area Ridotta	T_a	i	Q	i_l	Φ (EST)	R_i	v	Grado di riempimento
	[m]	[m]		[m ²]	[min]	[mm/h]	[l/s]	[%]	[mm]	[m]	[m/s]	[%]
PR/01 - PR/02	15	15	PEAD	94	3.0	239.19	6	0.10%	250	0.109	0.38	47%
PR/02 - PR/03	15	30	PEAD	170	3.4	223.56	11	0.10%	250	0.109	0.42	65%
PR/03 - Fosso	17	47	PEAD	236	3.9	209.55	14	0.10%	250	0.109	0.44	80%

Tabella 12 - Verifica collettori PR/01-Fosso

Pozzetto Monte-Valle	Lunghezza	Progressiva	Materiale	Area Ridotta	T_a	i	Q	i_l	Φ (EST)	R_i	v	Grado di riempimento
	[m]	[m]		[m ²]	[min]	[mm/h]	[l/s]	[%]	[mm]	[m]	[m/s]	[%]
P/01 - P/02	15	15	PEAD	331	5.0	185.28	17	0.16%	250	0.109	0.56	78%
P/02 - P/03	50	65	PEAD	739	6.1	167.24	34	0.19%	315	0.136	0.70	80%
P/01 - P/04	35	100	PEAD	906	6.8	159.26	40	0.10%	400	0.1735	0.59	70%
P/04 - Invaso	17	117	PEAD	1005	7.1	155.20	43	0.10%	400	0.1735	0.60	74%

Tabella 13 - Verifica collettori P/01 - Invaso

9.2 Invasi di accumulo e dispersione - fossi di guardia

Il dimensionamento del sistema di smaltimento composto da bacini e fossi di guardia è stato effettuato attraverso il metodo delle sole piogge (illustrato in precedenza) considerando come tempo di ritorno di progetto T_R pari a 50 anni.

Nel calcolo, inoltre, si è proceduto con le seguenti assunzioni:

- È stata considerata una superficie scolante impermeabile pari a 7000 mq.
- Il coefficiente di permeabilità è stato considerato costante su tutta la superficie infiltrante e pari a 1E-06.
- È stata considerata la continuità idraulica complessiva di tutto l'intervento

Effettuate tali premesse si illustra in Figura 17 l'andamento dei volumi d'invaso entranti (colore rosso) uscenti (colore blu) e di laminazione (colore viola).

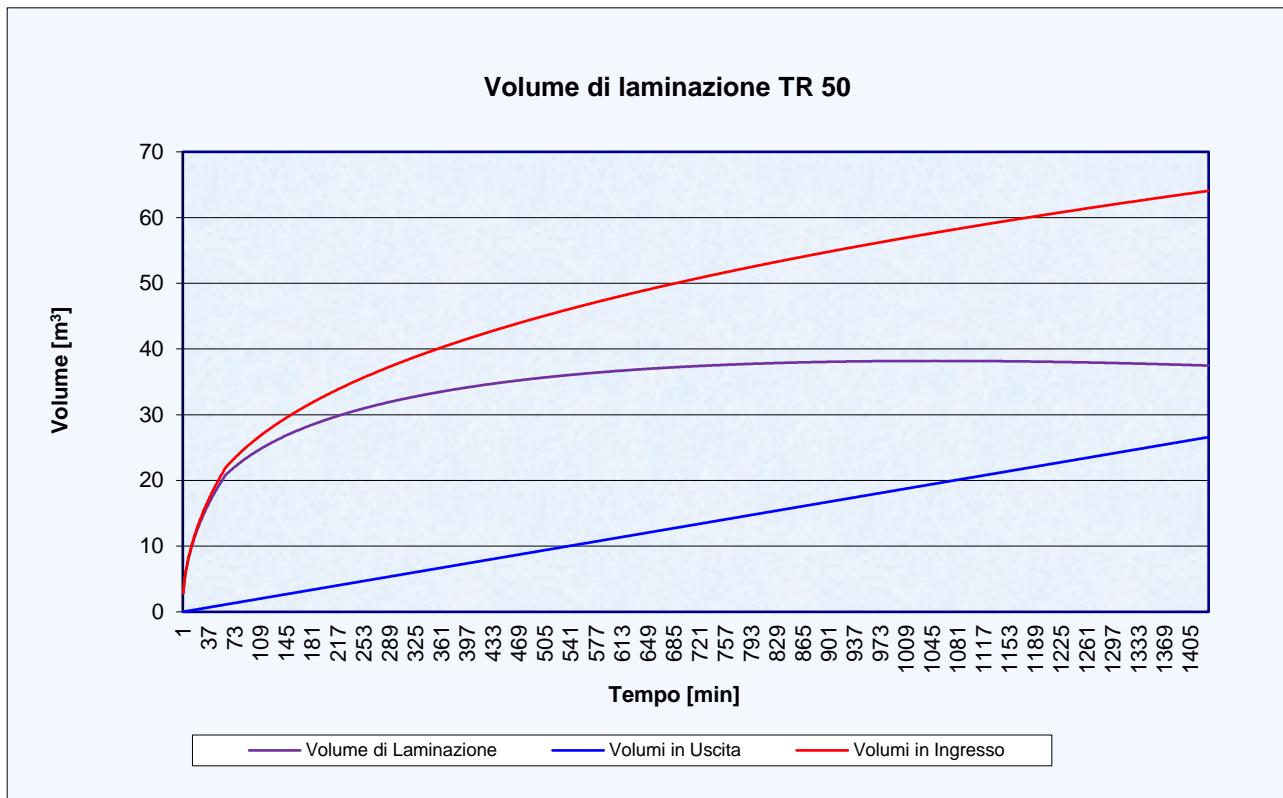


Figura 17 - Andamento volumi di ingresso, uscita e laminazione per il sistema di smaltimento - TR 50 anni

Il metodo delle sole piogge mostra come l'andamento dei volumi di laminazione aumenti fino ad un massimo (valore di laminazione massimo posto pari alla minima capacità d'invaso) per poi discendere lentamente. Il valore di laminazione massimo è pari a 877 mc.

Per quanto riguarda i fossi di guardia è stato utilizzato un franco di sicurezza pari a 10 cm mentre per gli invasi di accumulo e dispersione è stato adottato un franco pari a 25 cm. Tale valore viene verificato anche con un tempo di ritorno pari a 200 anni (Figura 18).

S.S.n.33 "del Sempione"
**Lavori di costruzione di una rotatoria in corrispondenza dell'incrocio con la
S.P. n.299 nei comuni di Rho, Lainate e Pogliano Milanese**
- Progetto Esecutivo -

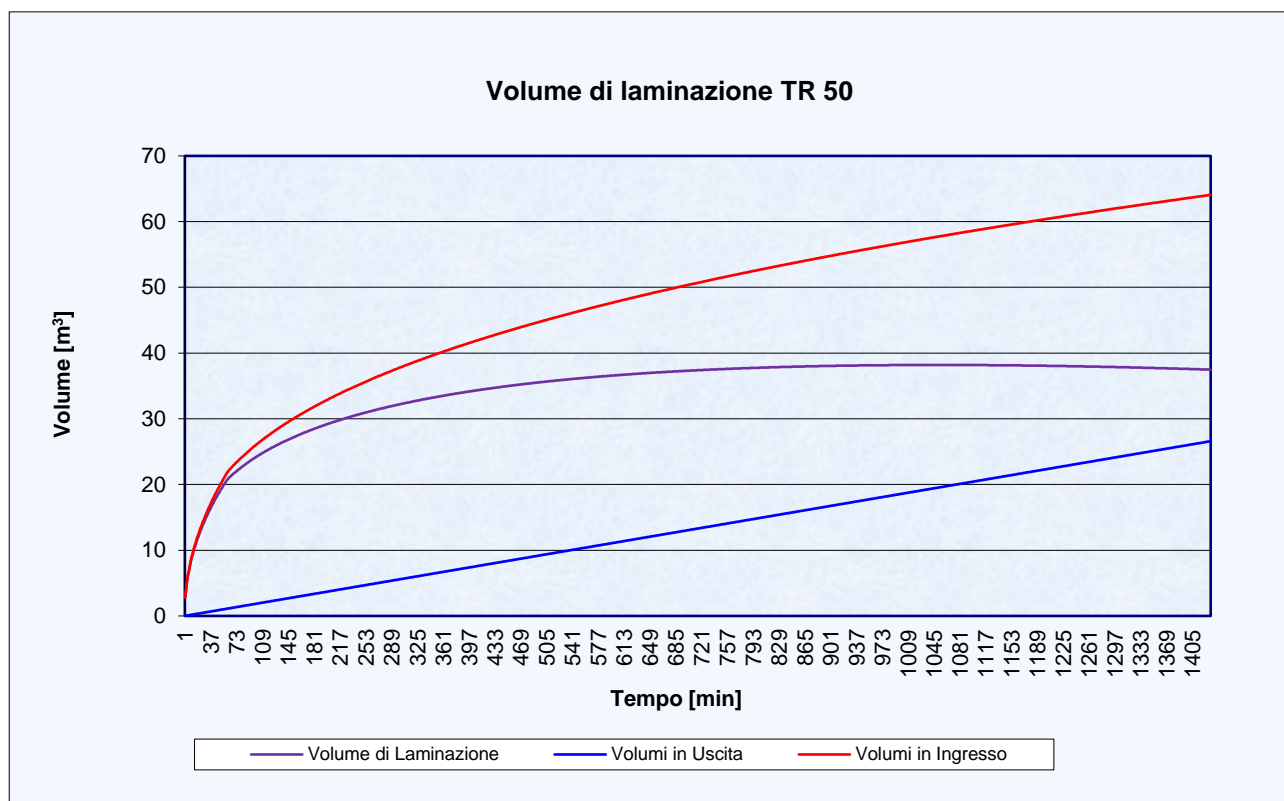


Figura 18 - Andamento volumi di ingresso, uscita e laminazione per il sistema di smaltimento - TR 200 anni

Nel seguito vengono mostrate le caratteristiche degli elementi del sistema di smaltimento in progetto.

Invaso 1				
Bacino a pelo libero	Area sommità	S_B	[mq]	641.00
	Area base	S_b	[mq]	243.00
	Altezza	h	[m]	1.75
	Pendenza Scarpate	z	[m/m]	2.00
Terreno	Coefficiente di filtrazione	k	[m/s]	1.0E-06
Risultati	Volume di laminazione massimo	V_{MAX}	[mc]	745.89
	Volume materiale drenante filtro	V_{Dren-F}	[mc]	0.00
	Volume bacino a pelo libero	V_{Bacino}	[mc]	745.89
	Portata infiltrata totale	Q_F	[l/s]	0.64

Invaso 2				
Bacino a pelo libero	Area sommità	S_B	[mq]	302.00
	Area base	S_b	[mq]	120.00
	Altezza	h	[m]	1.25
	Pendenza Scarpate	z	[m/m]	2.00

S.S.n.33 "del Sempione"
**Lavori di costruzione di una rotatoria in corrispondenza dell'incrocio con la
S.P. n.299 nei comuni di Rho, Lainate e Pogliano Milanese**
– Progetto Esecutivo –

Terreno	Coefficiente di filtrazione	k	[m/s]	1.0E-06
Risultati	Volume di laminazione massimo	V_{MAX}	[mc]	255.15
	Volume materiale drenante filtro	V _{Dren-F}	[mc]	0.00
	Volume bacino a pelo libero	V _{Bacino}	[mc]	255.15
	Portata infiltrata totale	Q_F	[l/s]	0.30

Invaso 3				
Bacino a pelo libero	Area sommità	S _B	[mq]	719.00
	Area base	S _b	[mq]	355.00
	Altezza	h	[m]	1.75
	Pendenza Scarpate	z	[m/m]	2.00
Terreno	Coefficiente di filtrazione	k	[m/s]	1.0E-06
Risultati	Volume di laminazione massimo	V_{MAX}	[mc]	921.21
	Volume materiale drenante filtro	V _{Dren-F}	[mc]	0.00
	Volume bacino a pelo libero	V _{Bacino}	[mc]	921.21
	Portata infiltrata totale	Q_F	[l/s]	0.72

Invaso 4				
Bacino a pelo libero	Area sommità	S _B	[mq]	87.00
	Area base	S _b	[mq]	19.00
	Altezza	h	[m]	1.25
	Pendenza Scarpate	z	[m/m]	2.00
Terreno	Coefficiente di filtrazione	k	[m/s]	1.0E-06
Risultati	Volume di laminazione massimo	V_{MAX}	[mc]	61.11
	Volume materiale drenante filtro	V _{Dren-F}	[mc]	0.00
	Volume bacino a pelo libero	V _{Bacino}	[mc]	61.11
	Portata infiltrata totale	Q_F	[l/s]	0.09

S.S.n.33 "del Sempione"
**Lavori di costruzione di una rotatoria in corrispondenza dell'incrocio con la
S.P. n.299 nei comuni di Rho, Lainate e Pogliano Milanese**
– Progetto Esecutivo –

Fosso di guardia 1				
Elemento	Sviluppo longitudinale	L	[m]	19.00
Sezione	Altezza	h	[m]	0.40
	Base Minore	b	[m]	0.50
	Pendenza Scarpate	z	[m/m]	1.50
Terreno	Coefficiente di filtrazione	k	[m/s]	1.0E-06
Risultati	Volume di laminazione massimo	V_{MAX}	[mc]	8.36
	Portata infiltrata totale	Q_F	[l/s]	0.05

Fosso di guardia 2				
Elemento	Sviluppo longitudinale	L	[m]	87.00
Sezione	Altezza	h	[m]	0.40
	Base Minore	b	[m]	0.50
	Pendenza Scarpate	z	[m/m]	1.50
Terreno	Coefficiente di filtrazione	k	[m/s]	1.0E-06
Risultati	Volume di laminazione massimo	V_{MAX}	[mc]	38.28
	Portata infiltrata totale	Q_F	[l/s]	0.23

Fosso di guardia 3				
Elemento	Sviluppo longitudinale	L	[m]	64.00
Sezione	Altezza	h	[m]	0.40
	Base Minore	b	[m]	0.50
	Pendenza Scarpate	z	[m/m]	1.50
Terreno	Coefficiente di filtrazione	k	[m/s]	1.0E-06
Risultati	Volume di laminazione massimo	V_{MAX}	[mc]	28.16
	Portata infiltrata totale	Q_F	[l/s]	0.17

Fosso di guardia 4				
Elemento	Sviluppo longitudinale	L	[m]	60.00
Sezione	Altezza	h	[m]	0.40
	Base Minore	b	[m]	0.50
	Pendenza Scarpate	z	[m/m]	1.50
Terreno	Coefficiente di filtrazione	k	[m/s]	1.0E-06
Risultati	Volume di laminazione massimo	V_{MAX}	[mc]	26.40
	Portata infiltrata totale	Q_F	[l/s]	0.16

S.S.n.33 "del Sempione"
**Lavori di costruzione di una rotatoria in corrispondenza dell'incrocio con la
S.P. n.299 nei comuni di Rho, Lainate e Pogliano Milanese**
– Progetto Esecutivo –

Fosso di guardia 5				
Elemento	Sviluppo longitudinale	L	[m]	117.00
Sezione	Altezza	h	[m]	0.40
	Base Minore	b	[m]	0.50
	Pendenza Scarpate	z	[m/m]	1.50
Terreno	Coefficiente di filtrazione	k	[m/s]	1.0E-06
Risultati	Volume di laminazione massimo	V_{MAX}	[mc]	51.48
	Portata infiltrata totale	Q_F	[l/s]	0.31

Fosso di guardia 6				
Elemento	Sviluppo longitudinale	L	[m]	21.00
Sezione	Altezza	h	[m]	0.40
	Base Minore	b	[m]	0.50
	Pendenza Scarpate	z	[m/m]	1.50
Terreno	Coefficiente di filtrazione	k	[m/s]	1.0E-06
Risultati	Volume di laminazione massimo	V_{MAX}	[mc]	9.24
	Portata infiltrata totale	Q_F	[l/s]	0.06

Fosso di guardia 7				
Elemento	Sviluppo longitudinale	L	[m]	230.00
Sezione	Altezza	h	[m]	0.40
	Base Minore	b	[m]	0.50
	Pendenza Scarpate	z	[m/m]	1.50
Terreno	Coefficiente di filtrazione	k	[m/s]	1.0E-06
Risultati	Volume di laminazione massimo	V_{MAX}	[mc]	101.20
	Portata infiltrata totale	Q_F	[l/s]	0.60

Fosso di guardia 7bis				
Elemento	Sviluppo longitudinale	L	[m]	8.00
Sezione	Altezza	h	[m]	0.40
	Base Minore	b	[m]	0.50
	Pendenza Scarpate	z	[m/m]	1.50
Terreno	Coefficiente di filtrazione	k	[m/s]	1.0E-06
Risultati	Volume di laminazione massimo	V_{MAX}	[mc]	3.52
	Portata infiltrata totale	Q_F	[l/s]	0.02

Fosso di guardia 8				
Elemento	Sviluppo longitudinale	L	[m]	126.00

S.S.n.33 "del Sempione"
**Lavori di costruzione di una rotatoria in corrispondenza dell'incrocio con la
S.P. n.299 nei comuni di Rho, Lainate e Pogliano Milanese**
– Progetto Esecutivo –

Sezione	Altezza	h	[m]	0.40
	Base Minore	b	[m]	0.50
	Pendenza Scarpate	z	[m/m]	1.50
Terreno	Coefficiente di filtrazione	k	[m/s]	1.0E-06
Risultati	Volume di laminazione massimo	V_{MAX}	[mc]	55.44
	Portata infiltrata totale	Q_F	[l/s]	0.33

Tabella 14 - Dimensionamento invasi di accumulo e dispersione e fossi di guardia disperdenti

I risultati di progetto sono riassunti nella seguente Tabella 15.

ID	Tipologia	Capacità massima	Portata infiltrata
		[mc]	[l/s]
B1	INVASO	745.89	0.64
B2	INVASO	255.15	0.30
B3	INVASO	921.21	0.72
B4	INVASO	61.11	0.09
F1	FOSSO	8.36	0.05
F2	FOSSO	38.28	0.23
F3	FOSSO	28.16	0.17
F4	FOSSO	26.40	0.16
F5	FOSSO	51.48	0.31
F6	FOSSO	9.24	0.06
F7	FOSSO	101.20	0.60
F7bis	FOSSO	3.52	0.02
F9	FOSSO	55.44	0.33
TOTALE	INVASO	1983.36	1.75
TOTALE	FOSSI	322.08	1.92

Tabella 15 - Riassunto dati di capacità e infiltrazione degli elementi di progetto

Si noti come i volumi di progetto siano superiori ai minimi richiesti dalla verifica con il metodo delle sole piogge e dei requisiti volumetrici minimi secondo il rr 7/17 e ss.mm.ii (800 mc/ha). In tale dimensionamento si è voluto considerare un ampio margine per quanto riguarda i fenomeni di infiltrazione la cui evoluzione dell'efficienza dei processi

S.S.n.33 “del Sempione”
**Lavori di costruzione di una rotatoria in corrispondenza dell’incrocio con la
S.P. n.299 nei comuni di Rho, Lainate e Pogliano Milanese**
– Progetto Esecutivo -

che regolano la dispersione è monotona decrescente nel tempo. Si è voluto altresì considerare la possibilità di utilizzo del sistema in progetto di accumulo e smaltimento, anche da parte di altri sistemi di raccolta delle acque meteoriche di dilavamento in modo da estendere il raggio d’influenza del sistema. In un’ottica di drenaggio urbano sostenibile, infatti, le superfici urbane atte ad assolvere tali funzioni sono sempre meno, è per questa motivazione infatti che il sistema in oggetto è stato dimensionato per una futuro ampliamento.

10 Verifica statica delle condotte

Le tubazioni fognarie, diversamente da quelle acquedottistiche funzionano a gravità con gradi di riempimento inferiori al 70% ÷ 80%; per tale ragione viene a mancare una pressione interna che possa contrastare la pressione esterna generata dal terreno, dai sovraccarichi, stradali e, in generale, da altre forze esterne che possono provocarne lo schiacciamento.

È quindi necessario procedere ad una verifica statica delle tubazioni al fine di garantire un adeguato coefficiente di sicurezza contro lo schiacciamento ed il collasso dei tubi. In letteratura sono presenti alcuni metodi di calcolo delle tensioni e delle deformazioni subite da un tubo per effetto dei vari carichi agenti. Il più comunemente utilizzato, e adottato per la presente relazione, è quello sviluppato all’Università dello Iowa da A.Marston e successivamente da M.G. Spangler, ripreso anche dalla normativa UNI 11149.

10.1 Rigidità tubazione

Il tipo di analisi ed i metodi di calcolo sono differenti nel caso si tratti di tubazione con comportamento rigido e flessibile. La tubazione infatti si comporterà in maniera differente nel raggiungimento del collasso. Tale classificazione tuttavia non dipende solo ed esclusivamente dal materiale con cui è composta la tubazione ma anche dall’interazione con il terreno di rinfiamento in termini di spinta laterale. La norma UNI 7517 attraverso il termine n , definito come segue (24), stabilisce la distinzione di comportamento delle tubazioni nei confronti della deformazione.

$$n = \frac{E_{\text{terreno}}}{E_{\text{tubo}}} \cdot \left(\frac{r}{s}\right)^3 \quad (24)$$

Dove:

- $E_{\text{terreno}} / E_{\text{tubo}}$ sono i moduli di elasticità rispettivamente del terreno e del tubo [MPa]
- r è il raggio medio del tubo [m]
- s è lo spessore della parete del tubo [m]

Nel caso in cui n sia inferiore all’unità le deformazioni della tubazione si considerano trascurabili e la verifica deve essere effettuata allo stato limite di rottura. Nella condizione in cui n sia abbondantemente al di sopra dell’unità si dovrà procedere alla verifica valutando lo stato limite di deformazione.

10.2 Carichi agenti sulla tubazione

Il metodo di Marston - Spangler prevede la determinazione dei carichi dovuti al rinterro, ai sovraccarichi verticali e all’azione dell’acqua.

10.2.1 Carichi dovuti al rinterro

L’analisi del comportamento del terreno, rimosso e riportato, porta a diverse condizioni di carico stimate in rapporto ai cedimenti del terreno e alla forma stessa delle trincee. È per questa motivazione che si deve procedere a valutare la trincea come stretta, larga o infinita (terrapieno). La norma UNI 11149 permette di stabilire la natura della trincea nel caso siano soddisfatte le seguenti condizioni (25):

$$\begin{array}{ll} B \leq 3D_e & B < \frac{H}{2} \text{ trincea stretta} \\ 3D_e < B < 10D_e & B < \frac{H}{2} \text{ trincea larga} \\ B \geq 10D_e & B \geq \frac{H}{2} \text{ trincea infinita} \end{array} \quad (25)$$

Dove:

- H profondità della generatrice superiore del tubo [m]
- B larghezza della trincea alla profondità H [m]
- D_e è il diametro esterno del tubo [m]

10.2.1.1 Carichi dovuti al rinterro - trincea stretta

Il carico statico dovuto al rinterro è dato dalla seguente formula (26)

$$Q_t = C_s \gamma_t B D_e \quad (26)$$

Dove:

- γ_t è il peso per unità di volume del terreno di riempimento della trincea [kN/mc]
- C_s è il coefficiente di carico statico del terreno

Nel caso di trincea stretta il peso del rinterro Q gravante sul cielo della tubazione risulta essere diminuito per l’azione di attrito tra terreno indisturbato e rinterro; tale contributo viene riassunto nel coefficiente di carico statico o coefficiente di Marston C_s definito come segue (27):

$$C_s = \frac{\left(1 - e^{\left(-2K_a \left(\frac{H}{B}\right)\mu\right)}\right)}{2K_a \mu} \quad (27)$$

Dove:

S.S.n.33 “del Sempione”
**Lavori di costruzione di una rotatoria in corrispondenza dell’incrocio con la
 S.P. n.299 nei comuni di Rho, Lainate e Pogliano Milanese**
 – Progetto Esecutivo -

- μ è il coefficiente di attrito tra il materiale di riempimento ed il terreno esistente assunto pari a $\mu = \tan \varphi$ ove per φ si intende l'angolo di attrito del terreno di rinfianco.
- K_a è il coefficiente di spinta attiva del terreno posto pari a $K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$

10.2.1.2 Carichi dovuti al rinterro - trincea larga e trincea infinita

Nel caso di trincea definita larga o infinita nel calcolo del carico gravante sulla condotta viene a mancare l'azione attritiva delle pareti. La formula utilizzata è quindi la seguente (28):

$$Q_t = \gamma_t B D_e \quad (28)$$

10.2.2 Azioni dei sovraccarichi verticali

Per la determinazione dei sovraccarichi verticali si procede secondo la formula di Boussinesque, che permette di ricavare la tensione verticale σ_z (29) in un punto del terreno, inteso come semispazio continuo, omogeneo e isotropo, provocato da un carico statico verticale applicato in superficie.

$$\sigma_z = \frac{3}{2\pi} \cdot \frac{P}{z^2} \left[1 + \left(\frac{r^2}{z^2} \right) \right]^{-\frac{5}{2}} \quad (29)$$

Dove

- P è il carico verticale puntuale applicato in superficie
- r è la distanza orizzontale dal punto di carico
- z è la distanza verticale sotto il punto di applicazione del carico

Il carico dovuto al traffico è stabilito secondo lo schema della norma DIN1072 (Tabella 16)

che suddivide in due gruppi le classi di carico dei veicoli: convoglio di tipo HT e convoglio di tipo LT

TIPOLOGIA	CLASSE	CARICO TOTALE [kN]	CARICO PER RUOTA [kN]	
CONVOGLIO HT	HT60	600	100	
	HT45	450	75	
	HT38	380	62.5	
	HT30	300	50	
	HT26	260	45	
CONVOGLIO LT	CLASSE	CARICO TOTALE [kN]	CARICO PER RUOTA [kN]	
			ANTERIORE	POSTERIORE
	LT12	120	20	40
	LT6	60	10	20
	LT3	30	5	10

Tabella 16 - Carichi stradali secondo la DIN 1072

Secondo la norma UNI 11149 adottando per il calcolo della tensione indotta dai carichi mobili l'ipotesi più sfavorevole con trincea infinita o terrapieno, la formula da utilizzare è la seguente (30):

$$\sigma_z = \frac{3}{2\pi} \cdot \left(\frac{P}{H + \frac{D_e}{2}} \right) \quad (30)$$

Una più agevole formulazione è stata ottenuta attraverso alcune interpolazioni che forniscono le seguenti formule differenziate a seconda della tipologia di carico agente sulla superficie: pesante (31) o leggero (32).

$$\sigma_z = 0.5281 \frac{P}{H^{1.0461}} \text{ per traffico pesante} \quad (31)$$

$$\sigma_z = 0.8743 \frac{P}{H^{1.5194}} \text{ per traffico leggero} \quad (32)$$

I valori così calcolati, derivando dalla formula di Boussinesque (29), costituiscono tensioni provocate da un carico statico pertanto è necessario introdurre un coefficiente dinamico ω (33) (34) da moltiplicare al carico ottenuto in modo tale da considerare la natura dinamica dell'applicazione del carico delle ruote dei mezzi pesanti in movimento.

$$\omega = 1 + 0.3H \text{ per strade e autostrade} \quad (33)$$

$$\omega = 1 + 0.6H \text{ per ferrovie} \quad (34)$$

La tensione si considera ugualmente distribuita su una larghezza pari al diametro orizzontale del tubo e di lunghezza unitaria, perciò il carico dinamico Q_d (35) generato dai mezzi pesanti sull'unità di lunghezza del tubo è la seguente:

$$Q_d = \omega \sigma_z D_e \quad (35)$$

10.2.3 Azioni dell'acqua

Se il tubo è posto in un terreno interessato da una falda freatica superficiale, occorre considerare anche la spinta provocata dall'acqua sulle pareti del tubo. Il carico Q_w (36) provocato dall'acqua alla sommità del tubo è dato dalla seguente formula:

$$Q_w = \gamma_w \left(H - H_1 + \frac{D_e}{2} \right) D_e \quad (36)$$

10.3 Verifica statica con il metodo di Marston - Splangler

Dopo aver calcolato i carichi che agiscono sulla tubazione, la verifica statica viene eseguita con il metodo di Marston - Spangler.

10.3.1 Tubazione rigida

Nel caso di tubo a comportamento rigido, quindi con modulo elastico decisamente maggiore di quello del terreno circostante si vanno a confrontare le tensioni agenti sul tubo con la sua resistenza assicurandosi, tramite opportuno fattore di sicurezza FS , che non si giunga allo stato limite di esercizio.

L’equazione di verifica è la seguente: (37)

$$FS = \frac{Q_n E_z}{Q_{tot}} \quad (37)$$

Dove:

- Q_{tot} è il carico totale agente sul tubo per unità di lunghezza [kN/m]
- Q_n è il carico resistente del tubo per unità di lunghezza [kN/m]
- E_z è il coefficiente di posa, ricavato dalla seguente tabella (Tabella 17) seguente in funzione dell’angolo di appoggio α

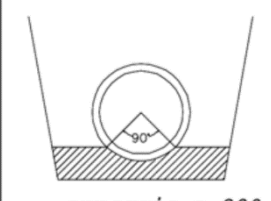
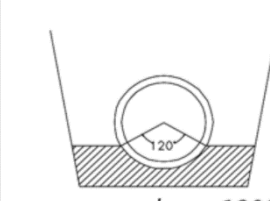
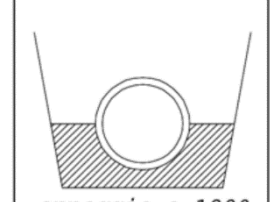
$E_z = 1.55$	$E_z = 1.9$	$E_z = 2.2$
		
appoggio a 90°	appoggio a 120°	appoggio a 180°

Tabella 17 - Coefficiente di Posa E_z per tre tipologie di posa delle condotte

10.3.2 Tubazioni deformabili

Nel caso di tubazioni a comportamento deformabile va eseguita la verifica a deformazione.

Spangler ha ottenuto la seguente equazione che fornisce la deformazione assoluta ΔD (38)

$$\Delta D = \frac{(Q_{tot} K) F}{(8 S N + 0.061 E_t)} \quad (38)$$

Dove:

- ΔD è la deformazione diametrale del tubo in senso orizzontale che, per l’ineestensibilità pratica delle fibre del materiale costituente il tubo, è uguale a quella in senso verticale [m]
- Q_{tot} è il carico totale sulla sommità del tubo per unità di lunghezza [kN/m]
- F è il coefficiente di deformazione differita che tiene conto della deformazione differita nel tempo per tubi di materiale elasto-platico-viscoso. Deve essere valutato dai produttori di tubi in funzione del materiale utilizzato. Ponendo F pari all’unità ci si pone nel caso di tempo iniziale della vita dell’opera, per calcolare la deformazione dopo 2-5 anni si possono utilizzare valori di F compresi tra 1.50 ÷ 2.00

S.S.n.33 "del Sempione"
**Lavori di costruzione di una rotatoria in corrispondenza dell'incrocio con la
S.P. n.299 nei comuni di Rho, Lainate e Pogliano Milanese**
- Progetto Esecutivo -

- K è il coefficiente di sottofondo che tiene conto della condizione di appoggio del tubo sul fondo della trincea si ricava dalla seguente tabella in funzione dell'angolo di appoggio α del tubo

2α	0°	60°	90°	120°	180°
K	0.121	0.103	0.096	0.090	0.083

Tabella 18 - Valori del coefficiente di supporto K

- SN è la rigidezza circonferenziale della tubazione [kN/mq]
- E_t è il modulo elastico del terreno nello scavo e dipende dal tipo di terreno e dal grado di compattazione, si utilizzano le seguenti tabelle ASTM 2487 [kN/mq]

Tipo di terreno	Angolo di attrito interno j (gradi)	Peso specifico g_s (kN/m ³)	Peso di volume del terreno immerso g'_s (kN/m ³)
Argilla fangosa	20	20	16.9
Argilla sabbiosa	14	18	15.9
Argilla umida comune	12	20	16.4
Fango con polvere di roccia	25	18	16.9
Loess	18	21	15.9
Marna	22	21	16.9
Misto di cava di ghiaia e ciottoli	37	20	16.8
Misto di cava di sabbia e ghiaia	33	20	16.5
Sabbia argillosa	15	18	15.9
Sabbia secca	31	15	15.9
Sabbia umida	34	17	16.4
Terra secca	14	17	15.5
Terra umida	25	20	16.0
Terreno misto compatto	33	20	16.4
Terreno misto sciolto	15	18	15.9
Terreno paludoso	12	17	9.9
Terreno sabbioso	30	19	15.8

Tabella 19 - Tipologie di terreno

Tipo di terreno	Compattazione			
	Rinfusa	Leggera	Moderata	Alta
	Indice Proctor	<85%	85-94%	>95%
	Densità relativa	<40%	40-70%	>70%
Terreno coesivo Argilla e limo ad alta plasticità	0	0	0	350
Terreno coesiva Argilla e limo a media e bassa plasticità con meno del 25% di particelle di fango	350	1400	2800	7000
Terreno granulare coesivo Ghiaia con particelle fini con bassa o media plasticità Sabbia con particelle fini con bassa o media plasticità	700	2800	7000	14000
Terreno senza coesione Ghiaia con curva granulometrica ben assortita o non ben assortita	700	7000	14000	21000
Rocce macinate	7000	21000	21000	21000

Tabella 20 - Moduli di elasticità moduli di rinfianco

S.S.n.33 "del Sempione"
Lavori di costruzione di una rotatoria in corrispondenza dell'incrocio con la
S.P. n.299 nei comuni di Rho, Lainate e Pogliano Milanese
 - Progetto Esecutivo -

La deformazione relativa δ (39) è accettabile se

$$\delta = \frac{\Delta D}{D_e} \leq \delta_{lim} \quad (39)$$

Per la deformazione limite si assume in genere il valore δ_{lim} pari l 5%.

10.4 Risultati delle verifiche

Le verifiche delle tubazioni sono state effettuate mediante un foglio di calcolo che ripercorre i procedimenti di calcolo esposti nei paragrafi precedenti.

Verifica secondo Marston-Spangler			
Dati dimensionali del Tubo			
Diametro	DN =	125	mm
Rigidezza circonferenziale (EN ISO 9969)	SN =	8	kN/m ²
Modulo di elasticità	E_m =	3000	Mpa
Tipo di parete	liscio		
Dati dello scavo			
Larghezza	B =	0.500	m
Altezza sull'estradosso	H =	0.60	m
Tipologia del terreno indisturbato	Terreno misto compatto		
Tipologia del terreno di rinfiaccio	Misto di cava di sabbia e ghiaia		
Peso specifico rinterro	γ_r =	20	kN/m ³
Angolo di attrito interno	φ =	33	°
Coeff. di attrito rinterro/pareti	μ =	0.65	°
Angolo di supporto	2α =	0	
Tipo di compattazione	alta		
Modulo di elasticità terreno	E_t =	21000	kN/m ²
Altezza della falda sulla tubazione	h =	0	m
Peso specifico sommerso del riempimento	γ' =	16.5	
Verifica tipo di trincea (UNI 7517)		Trincea larga	
Determinazione carico statico			
Coeff. di spinta attiva	K_a =	0.295	
Coeff. di carico statico	χ =	0.962	
Carico idrostatico	Q_{idr} =	0.000	kN/m
Carico statico	Q_{st} =	1.500	kN/m
Determinazione carico dinamico		HT60	
Tipologia di traffico (DIN 1072)			
Carico per ruota	P =	100	kN/ruota
Coeff. dinamico	ω =	1.5	
Tensione dinamica	σ_z =	90.114	kN/m ²
Carico dinamico	Q_d =	16.896	kN/m
Carico totale	Q =	18.396	kN/m

S.S.n.33 "del Sempione"
**Lavori di costruzione di una rotatoria in corrispondenza dell'incrocio con la
S.P. n.299 nei comuni di Rho, Lainate e Pogliano Milanese**
- Progetto Esecutivo -

Coeff. di sottofondo	$K =$	0.121	
Coeff. di deformazione differita	$F =$	1.5	
Deformazione assoluta	$\Delta d =$	2.48	mm
Deformazione relativa %	$\delta =$	1.986	%
Tubazione verificata			

Tabella 21 - Verifica tubazione DN125

Verifica secondo Marston-Spangler			
Dati dimensionali del Tubo			
Diametro	DN =	250	mm
Rigidezza circonferenziale (EN ISO 9969)	SN =	8	kN/m²
Modulo di elasticità	E _m =	3000	Mpa
Tipo di parete	liscio		
Dati dello scavo			
Larghezza	B =	0.500	m
Altezza sull'estradosso	H =	0.25	m
Tipologia del terreno indisturbato	Terreno misto compatto		
Tipologia del terreno di rinfilanco	Misto di cava di sabbia e ghiaia		
Peso specifico rinterro	γ _r =	20	kN/m³
Angolo di attrito interno	φ =	33	°
Coeff. di attrito rinterro/pareti	μ =	0.65	°
Angolo di supporto	2α =	0	
Tipo di compattazione	alta		
Modulo di elasticità terreno	E _t =	21000	kN/m²
Altezza della falda sulla tubazione	h =	0	m
Peso specifico sommerso del riempimento	γ' =	16.5	
Verifica tipo di trincea (UNI 7517)		Trincea larga	
Determinazione carico statico			
Coeff. di spinta attiva	K _a =	0.295	
Coeff.di carico statico	χ =	0.455	
Carico idrostatico	Q _{idr} =	0.000	kN/m
Carico statico	Q _{st} =	1.250	kN/m
Determinazione carico dinamico			
Tipologia di traffico (DIN 1072)	HT26		
Carico per ruota	P =	35	kN/ruota
Coeff. dinamico	ω =	2.2	
Tensione dinamica	σ _z =	78.813	kN/m²
Carico dinamico	Q _d =	43.347	kN/m
Carico totale	Q =	44.597	kN/m
Coeff. di sottofondo	K =	0.121	
Coeff. di deformazione differita	F =	1.5	
Deformazione assoluta	Δd =	6.02	mm
Deformazione relativa %	δ =	2.407	%
		Tubazione verificata	

Tabella 22 - Verifica tubazione DN250 fessurato

Verifica secondo Marston-Spangler			
Dati dimensionali del Tubo			

**Lavori di costruzione di una rotatoria in corrispondenza dell'incrocio con la
S.P. n.299 nei comuni di Rho, Lainate e Pogliano Milanese**

- Progetto Esecutivo -

Diametro	DN =	250	mm
Rigidezza circonferenziale (EN ISO 9969)	SN =	8	kN/m ²
Modulo di elasticità	E_m =	3000	Mpa
Tipo di parete	liscio		
Dati dello scavo			
Larghezza	B =	0.500	m
Altezza sull'estradosso	H =	0.60	m
Tipologia del terreno indisturbato	Terreno misto compatto		
Tipologia del terreno di rinfiaccio	Misto di cava di sabbia e ghiaia		
Peso specifico rinterro	$\gamma_t =$	20	kN/m ³
Angolo di attrito interno	$\varphi =$	33	°
Coeff. di attrito rinterro/pareti	$\mu =$	0.65	°
Angolo di supporto	2α =	0	
Tipo di compattazione	alta		
Modulo di elasticità terreno	E_t =	21000	kN/m ²
Altezza della falda sulla tubazione	h =	0	m
Peso specifico sommerso del riempimento	$\gamma' =$	16.5	
Verifica tipo di trincea (UNI 7517)	Trincea stretta		
Determinazione carico statico			
Coeff. di spinta attiva	K_a =	0.295	
Coeff. di carico statico	$\chi =$	0.962	
Carico idrostatico	Q_{idr} =	0.000	kN/m
Carico statico	Q_{st} =	2.405	kN/m
Determinazione carico dinamico			
Tipologia di traffico (DIN 1072)	HT60		
Carico per ruota	P =	100	kN/ruota
Coeff. dinamico	$\omega =$	1.5	
Tensione dinamica	$\sigma_z =$	90.114	kN/m ²
Carico dinamico	Q_d =	33.793	kN/m
Carico totale	Q =	36.198	kN/m
Coeff. di sottofondo	K =	0.121	
Coeff. di deformazione differita	F =	1.5	
Deformazione assoluta	$\Delta d =$	4.88	mm
Deformazione relativa %	$\delta =$	1.954	%
Tubazione verificata			

Tabella 23 - Verifica tubazione DN250

Verifica secondo Marston-Spangler			
Dati dimensionali del Tubo			
Diametro	DN =	315	mm
Rigidezza circonferenziale (EN ISO 9969)	SN =	8	kN/m ²
Modulo di elasticità	E_m =	3000	Mpa
Tipo di parete	liscio		
Dati dello scavo			
Larghezza	B =	0.500	m
Altezza sull'estradosso	H =	0.60	m
Tipologia del terreno indisturbato	Terreno misto compatto		
Tipologia del terreno di rinfiaccio	Misto di cava di sabbia e ghiaia		
Peso specifico rinterro	$\gamma_t =$	20	kN/m ³
Angolo di attrito interno	$\varphi =$	33	°

**Lavori di costruzione di una rotatoria in corrispondenza dell'incrocio con la
S.P. n.299 nei comuni di Rho, Lainate e Pogliano Milanese**

- Progetto Esecutivo -

Coeff. di attrito rinterro/pareti	$\mu =$	0.65	
Angolo di supporto	$2\alpha =$	0	°
Tipo di compattazione	alta		
Modulo di elasticità terreno	$E_t =$	21000	kN/m ²
Altezza della falda sulla tubazione	$h =$	0	m
Peso specifico sommerso del riempimento	$\gamma' =$	16.5	
Verifica tipo di trincea (UNI 7517)	Trincea stretta		
Determinazione carico statico			
Coeff. di spinta attiva	$K_a =$	0.295	
Coeff. di carico statico	$\chi =$	0.962	
Carico idrostatico	$Q_{idr} =$	0.000	kN/m
Carico statico	$Q_{st} =$	3.031	kN/m
Determinazione carico dinamico			
Tipologia di traffico (DIN 1072)	HT60		
Carico per ruota	$P =$	100	kN/ruota
Coeff. dinamico	$\omega =$	1.5	
Tensione dinamica	$\sigma_z =$	90.114	kN/m ²
Carico dinamico	$Q_d =$	42.579	kN/m
Carico totale	$Q =$	45.609	kN/m
Coeff. di sottofondo	$K =$	0.121	
Coeff. di deformazione differita	$F =$	1.5	
Deformazione assoluta	$\Delta d =$	6.15	mm
Deformazione relativa %	$\delta =$	1.954	%
Tubazione verificata			

Tabella 24 - Verifica tubazione DN315

Verifica secondo Marston-Spangler			
Dati dimensionali del Tubo			
Diametro	DN =	400	mm
Rigidezza circonferenziale (EN ISO 9969)	SN =	8	kN/m ²
Modulo di elasticità	$E_m =$	3000	Mpa
Tipo di parete	liscio		
Dati dello scavo			
Larghezza	$B =$	0.500	m
Altezza sull'estradosso	$H =$	0.60	m
Tipologia del terreno indisturbato	Terreno misto compatto		
Tipologia del terreno di rinfilanco	Misto di cava di sabbia e ghiaia		
Peso specifico rinterro	$\gamma_t =$	20	kN/m ³
Angolo di attrito interno	$\varphi =$	33	°
Coeff. di attrito rinterro/pareti	$\mu =$	0.65	
Angolo di supporto	$2\alpha =$	0	°
Tipo di compattazione	alta		
Modulo di elasticità terreno	$E_t =$	21000	kN/m ²
Altezza della falda sulla tubazione	$h =$	0	m
Peso specifico sommerso del riempimento	$\gamma' =$	16.5	
Verifica tipo di trincea (UNI 7517)	Trincea stretta		
Determinazione carico statico			
Coeff. di spinta attiva	$K_a =$	0.295	
Coeff. di carico statico	$\chi =$	0.962	

S.S.n.33 "del Sempione"
Lavori di costruzione di una rotatoria in corrispondenza dell'incrocio con la
S.P. n.299 nei comuni di Rho, Lainate e Pogliano Milanese
 - Progetto Esecutivo -

Carico idrostatico	$Q_{idr} =$	0.000	kN/m
Carico statico	$Q_{st} =$	3.848	kN/m
Determinazione carico dinamico			
Tipologia di traffico (DIN 1072)	HT60		
Carico per ruota	$P =$	100	kN/ruota
Coeff. dinamico	$\omega =$	1.5	
Tensione dinamica	$\sigma_z =$	90.114	kN/m ²
Carico dinamico	$Q_d =$	54.068	kN/m
Carico totale	$Q =$	57.917	kN/m
Coeff. di sottofondo	$K =$	0.121	
Coeff. di deformazione differita	$F =$	1.5	
Deformazione assoluta	$\Delta d =$	7.82	mm
Deformazione relativa %	$\delta =$	1.954	%
Tubazione verificata			

Tabella 25 - Verifica tubazione DN400