

AUTOSTRADA (A11) : FIRENZE-PISA NORD

AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA DEL TRATTO FIRENZE - PISTOIA

PROGETTO DEFINITIVO

IDROLOGIA E IDRAULICA

SISTEMA DI DRENAGGIO CORPO STRADALE

RELAZIONE IDROLOGICO - IDRAULICA

DEL SISTEMA DI DRENAGGIO

IL RESPONSABILE PROGETTAZIONE SPECIALISTICA Ing. Maurizio Torresi Ord. Ingg. Milano N. 16492 RESPONSABILE UFFICIO IDR	IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Ing. Andrea Tanzi Ord. Ingg. Parma N. 1154 RESPONSABILE AREA DI PROGETTO FIRENZE	IL DIRETTORE TECNICO Ing. Maurizio Torresi Ord. Ingg. Milano N. 16492 RESPONSABILE FUNZIONE STP
--	---	--

WBS	RIFERIMENTO ELABORATO				DATA: NOVEMBRE 2007	REVISIONE	
	DIRETTORIO		FILE			n.	data
ID	codice	commessa	N.Prog.	unita'	n. progressivo	1	GENNAIO 2008
1	11	110702		IDR2001	4	2	DICEMBRE 2008
						3	FEBBRAIO 2009
						4	NOVEMBRE 2010

 ingegneria europea	COORDINATORE OPERATIVO DI PROGETTO Ing. Luca Scarafia	ELABORAZIONE GRAFICA A CURA DI :	-
		ELABORAZIONE PROGETTUALE A CURA DI :	-
CONSULENZA A CURA DI :	-	IL RESPONSABILE UFFICIO/UNITA'	-

VISTO DEL COORDINATORE GENERALE SPEA DIREZIONE OPERATIVA PROGETTAZIONE ED ESECUZIONE LAVORI ASPI Ing. Alberto Selleri	VISTO DEL COMMITTENTE 	VISTO DEL CONCEDENTE 
---	---	--

SPEA Ingegneria Europea

.....

.....

.....

RELAZIONE IDROLOGICO - IDRAULICA

.....

INDICE

1. PREMESSA	5
2. RIFERIMENTI NORMATIVI	6
2.1 INQUADRAMENTO PIANO DI BACINO	6
3. IDROLOGIA	10
4. SISTEMI DI DRENAGGIO DEL CORPO STRADALE	14
4.1 REQUISITI PRESTAZIONALI	14
4.2 SCHEMA DI DRENAGGIO	14
4.3 METODOLOGIA PROGETTUALE	15
4.3.1 Dimensionamento degli elementi di raccolta	15
4.3.2 Dimensionamento degli elementi di convogliamento	16
4.4 ELEMENTI DI RACCOLTA	16
4.4.1 Sistema di drenaggio aperto in rilevato - Embrici	16
4.4.2 Caditoie grigliate	17
4.4.3 Caditoie a "bocca di lupo"	17
4.4.4 Cunette triangolari	17
4.4.5 Drenaggio dei viadotti	18
4.5 ELEMENTI DI CONVOGLIAMENTO	18
4.5.1 Collettori circolari in PEAD	18
4.5.2 Collettori circolari in acciaio	20
4.5.3 Prolungamento tombini esistenti e nuova realizzazione	21
4.5.4 Fossi di guardia	21
4.6 PRESIDIDRAULICI	23
5. IMPIANTI DI SOLLEVAMENTO	27
6. VERIFICHE IDRAULICHE	32
6.1 COLLETTORI CIRCOLARI	32
6.1.1 Sistema di raccolta Vasca 1	32
6.1.2 Sistema di raccolta Vasca 2	33
6.1.3 Sistema di raccolta tratti non laminati	35
6.1.4 Sistema di raccolta impianto di sollevamento asse M	37
6.1.5 Sistema di raccolta impianto di sollevamento asse O	38
6.2 INTERASSI POZZETTI	39
6.2.1 Sistema di raccolta Vasca 1	39
6.2.2 Sistema di raccolta Vasca 2	40
6.2.3 Sistema di raccolta tratti non laminati	41

6.2.4	di raccolta impianto di sollevamento	42
6.3	DRENAGGIO ESTERNO	43
6.3.1	Fossi di guardia	43
6.3.2	Attraversamenti con collettori	44
7.	VERIFICHE STATICHE	45
7.1	VERIFICA STATICA TUBI IN PEAD	45
7.1.1	Metodologia	45
7.2	TABELLE DI CALCOLO	50
7.2.1	Verifica secondo Marston-Sprangler DN 800 Altezza di copertura H=0,50 m	52
7.2.2	Verifica secondo Marston-Sprangler DN 630 Altezza di copertura H=0,50 m	53
7.2.3	Verifica secondo Marston-Sprangler DN 500 Altezza di copertura H=0,50 m	54
7.2.4	Verifica secondo Marston-Sprangler DN 400 Altezza di copertura H=0,50 m	55

1. PREMESSA

La presente relazione espone i risultati inerenti gli aspetti idraulici ed idrologici di supporto al progetto della nuova viabilità dello Svincolo di Peretola, di cui è parte integrante. L'opera da realizzare è situata in un'area situata fra l'aeroporto A.Vespucci, l'autostrada A11 e la Piana di Sesto Fiorentino (a Nord), ed il viadotto dell'Indiano e via Pratese (a Sud) [fig.1]. L'area di progetto è situata entro la piana di Firenze-Prato-Pistoia, in una zona a debole inclinazione verso l'antico bacino del fiume Arno, con quote pari a circa 38 m s.l.m. L'area non è direttamente interessata da corsi d'acqua, se non dal Fosso Macinante che scorre appena a sud dell'area di progetto. Presenta invece diverse aree agricole ed è al momento regimata da una rete di canali, fossatelli, scoline e traverse. Il sistema progettato è stato dimensionato e verificato affinché garantisca, con ampio margine di sicurezza, la possibilità di smaltire le acque meteoriche provenienti dalla nuova sede stradale. Per il dimensionamento di tutti gli elementi che costituiscono il sistema fognario di smaltimento, il calcolo delle portate massime di progetto è stato effettuato secondo i metodi illustrati nei paragrafi successivi, mentre le superfici attribuite sono state suddivise in base alla natura ed alla sua permeabilità: manto stradale e terreni limitrofi.

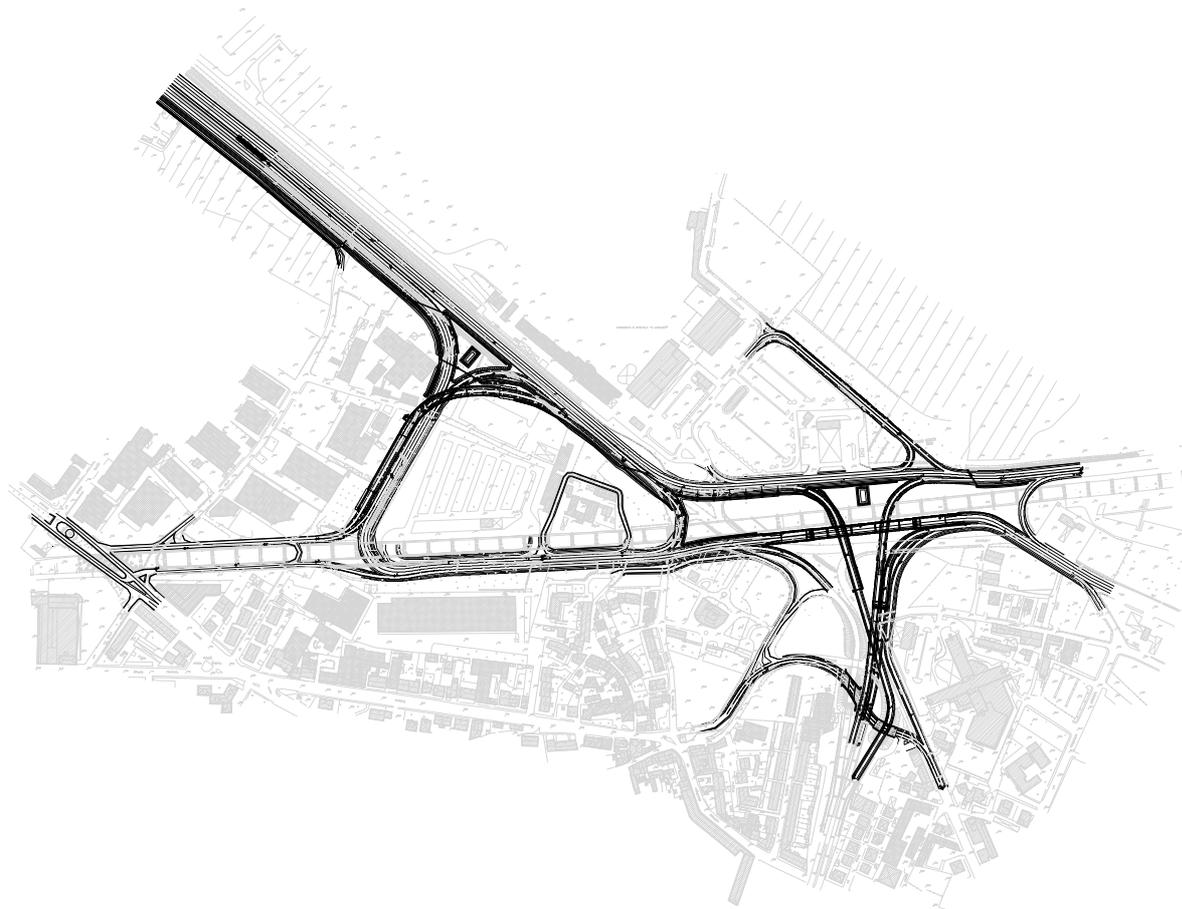


Figura 1.1– Planimetria

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

La normativa nazionale in materia di controllo dell'inquinamento prodotto dal dilavamento della piattaforma stradale e autostradale, si riferisce al **Decreto legislativo 11 maggio 1999 n°152**, come modificato e integrato ai sensi del Decreto Legislativo del 18 agosto 2000 n. 258.

In linea generale le acque meteoriche e di dilavamento non sono considerate "scarico" ai sensi dell'art. 1 lettera bb) del DLgs 152/99.

L'articolo 39 del succitato decreto legislativo stabilisce, inoltre, che "...le regioni disciplinano:....b) i casi in cui può essere richiesto che le immissioni delle acque di dilavamento ...siano sottoposte a particolari prescrizioni...", art.39 comma 1, e che "... i casi in cui può essere richiesto ... siano convogliate e opportunamente trattate...", art. 39 comma 3.

A livello regionale, la normativa di riferimento è la **legge n. 20 del 31 maggio 2006** ed il successivo **Regolamento di Attuazione n. 46/R dell'8 settembre 2008**.

Nel comma 2 dell'art. 8 della legge si disciplina che "Lo scarico delle AMPP (acque meteoriche di prima pioggia) derivanti dalle aree pubbliche fuori dalla pubblica fognatura è ammesso e non necessita di autorizzazione allo scarico. Devono essere previsti idonei trattamenti delle AMPP, over necessari al raggiungimento e/o al mantenimento degli obiettivi di qualità, per le autostrade e le strade extraurbane principali di nuova realizzazione e nel caso di loro adeguamenti straordinari."

Nella stessa legge si precisa che le AMPP sono le "...acque corrispondenti, per ogni evento meteorico, ad una precipitazione di cinque millimetri uniformemente distribuita sull'intera superficie scolante servita dalla rete di drenaggio..."

Nel comma 4 dell'art. 39 (acque meteoriche contaminate) del Regolamento di Attuazione si dice che "Fatte salve le disposizioni di cui ai commi 5, 6 e 7 le AMPP, derivanti da attività non incluse nell'elenco di cui all'allegato 5 tabella 5, sono acque meteoriche dilavanti non contaminate (AMDNC) e non sono soggette alle disposizioni di cui all'articolo 43 del presente regolamento."

Da tale comma risulta quindi che le acque di prima pioggia ricadenti sulla piattaforma di progetto sono assimilabili ad acque meteoriche dilavanti non contaminate.

Nel progetto si è tenuto inoltre conto del DLgs 152/06 che per quanto concerne le acque meteoriche riprende quanto riportato nel DLgs 152/99.

2.1 INQUADRAMENTO PIANO DI BACINO

La zona interessata dagli interventi del nuovo svincolo di Peretola ricade all'interno delle zone interessate dalla pianificazione dell'autorità di Bacino del Fiume Arno.

Il PAI (Piano di Assetto Idrogeologico) rappresenta la sintesi e la condivisione fra tutti i soggetti chiamati al governo ed alla gestione del territorio delle problematiche e delle conoscenze inerenti la pericolosità del territorio e degli interventi necessari e sufficienti a mettere in sicurezza il bacino idrografico dell'Arno.

Il Piano di bacino del fiume Arno, stralcio "Assetto Idrogeologico", è redatto, adottato e approvato, ai sensi dell'art. 17, comma 6 ter, della legge 18 maggio 1989, n. 183, quale piano stralcio del Piano di bacino.

Esso ha valore di piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo.

Il PAI, attraverso le proprie disposizioni persegue, nel rispetto del patrimonio ambientale, l'obiettivo generale di garantire livelli di sicurezza adeguati rispetto ai fenomeni di dissesto idraulico e geomorfologico in atto o potenziali.

In relazione alle condizioni idrauliche e idrogeologiche, alla tutela dell'ambiente ed alla prevenzione di presumibili effetti dannosi prodotti da interventi antropici, sono soggette alle norme dell'autorità di bacino le aree classificate in base alla pericolosità idraulica:

- pericolosità idraulica molto elevata (P.I.4) comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno $TR \leq 30$ anni e con battente $h \geq 30$ cm;
- pericolosità idraulica elevata (P.I.3) comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno $TR \leq 30$ anni con battente $h < 30$ cm e aree inondabili da un evento con tempo di ritorno $30 < TR \leq 100$ anni e con battente $h \geq 30$ cm;
- pericolosità idraulica media (P.I.2) comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno $30 < TR \leq 100$ anni e con battente $h < 30$ cm e aree inondabili da eventi con tempo di ritorno $100 < TR \leq 200$ anni ;
- pericolosità idraulica moderata (P.I.1) comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno $200 < TR \leq 500$ anni.

Di seguito viene riportato uno stralcio della cartografia con la perimetrazione delle aree a rischio inondazione secondo le definizioni precedenti.

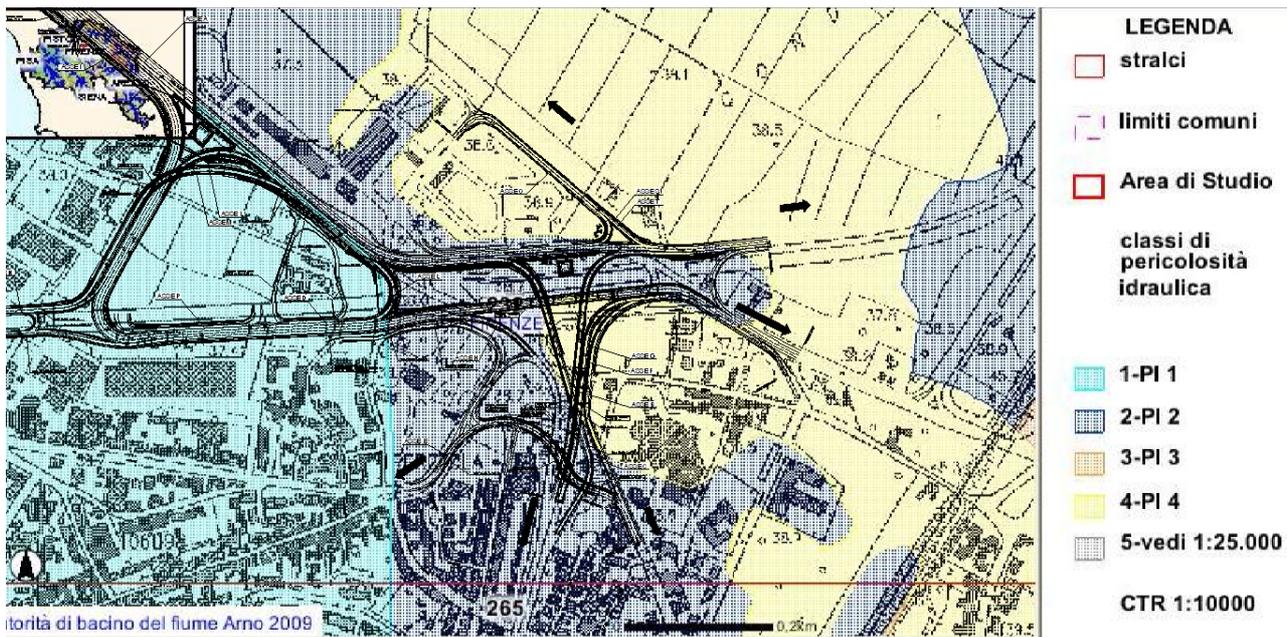


Figura 2.1– Stralcio planimetrico PAI

Dalla figura 2.1 si nota che le zone interessate dall'infrastruttura che ricadono all'interno delle aree a pericolosità idraulica molto elevata (P.I.4) sono:

- l'asse O con i rami di svincolo (asse S e asse T) che collegano Via Giovanni Luder con Via del Termine
- e per alcuni tratti gli assi B, C, F e G.

L'asse G ricalca per un certo tratto Via Gori per poi deviare verso Nord-Est. In questo tratto la strada è a raso rispetto all'andamento dell'attuale terreno.

Gli assi F e B vengono entrambi da un viadotto e sono contraddistinti dalla presenza dei muri andatori delle spalle nella zona classificata P.I.4.

L'asse C si trova a raso.

Nelle aree P.I.4, sono consentiti, per quanto di pertinenza con le opere in progetto:

- interventi di sistemazione idraulica approvati dall'autorità idraulica competente, previo parere favorevole dell'Autorità di Bacino sulla compatibilità degli interventi stessi con il PAI;
- interventi di adeguamento e ristrutturazione della viabilità e della rete dei servizi pubblici e privati esistenti, purché siano realizzati in condizioni di sicurezza idraulica in relazione alla natura dell'intervento e al contesto territoriale;
- interventi necessari per la manutenzione di opere pubbliche o di interesse pubblico;
- interventi di ampliamento e di ristrutturazione delle opere pubbliche o di interesse pubblico, riferite a servizi essenziali, nonché la realizzazione di nuove infrastrutture parimenti essenziali e non

delocalizzabili, purché siano realizzati in condizioni di sicurezza idraulica in relazione alla natura dell'intervento e al contesto territoriale, non concorrano ad incrementare il carico urbanistico, non precludano la possibilità di attenuare o eliminare le cause che determinano le condizioni di rischio e risultino coerenti con gli interventi di protezione civile. Per tali interventi è necessario acquisire il preventivo parere favorevole dell'Autorità di Bacino.

Il resto dell'infrastruttura in progetto si trova nelle zone classificate come aree a pericolosità idraulica media (P.I.2) e aree a pericolosità idraulica moderata (P.I.1). Nelle aree P.I.2 e P.I.1 e nelle aree di ristagno sono consentiti gli interventi previsti dagli strumenti di governo del territorio.

3. IDROLOGIA

Le precipitazioni che si abbattano sulla sede stradale possono produrre un deflusso superficiale di non trascurabile entità. Ciò è tanto più vero quanto più le precipitazioni sono brevi ed intense. Per l'analisi idrologica delle piogge ed in particolare la determinazione delle portate di piena dei corsi d'acqua (fiumi, canali e fossi), che interferiscono con il tracciato autostradale di progetto, si è resa perciò necessaria la definizione del regime delle piogge di breve durata e notevole intensità, considerando durate inferiori all'ora e comprese tra 1 e 24 ore. I dati necessari per l'analisi delle precipitazioni sono stati estratti dagli annuali idrologici pubblicati dal Servizio Idrografico e Mareografico Italiano (SIMI) aggiornati con i dati non pubblicati relativi al periodo dal 1986 al 1993, reperiti presso gli uffici del medesimo Ente. L'acquisizione dei dati pluviometrici si limita perciò a considerare le stazioni dotate di pluviometro registratore che permettono di individuare le precipitazioni di massima intensità e breve durata (Annali Idrologici, Parte I, Tabelle III e V).

Si riportano nella tabella seguente le caratteristiche delle quattro stazioni pluviografiche relative al tratto in oggetto.

Tabella 3.1 – Stazioni pluviografiche

Riferimento: "Elenco delle stazioni termopluviometriche del Servizio Idrografico Italiano" - Pubbl. n.27

NUMERO STAZIONE	STAZIONE	COMUNE	LAT.	LONG.	QUOTA (m s.l.m.)	BACINO
2764	FIRENZE (IDROGRAFICO)	Firenze	43°47'	1°12'	51	Arno
2766	FIRENZE (XIMENIANO)	Firenze	43°47'	1°12'	51	Arno
2779	PRATO	Prato	43°53'	1°21'	74	Bisenzio
2782	CALENZANO	Calenzano	43°52'	1°17'	67	Bisenzio

Si è considerata una serie storica di 44 anni, dal 1951 al 1993 (la mancanza di registrazioni relative a durate inferiori all'ora, per gli anni precedenti al 1951, non ha reso possibile una ulteriore estensione della serie). La pubblicazione dei dati su analisi è attualmente ferma al 1987. I dati dal 1988 sono stati elaborati e memorizzati dal Servizio ma solo fino al 1992 o al 1993 a seconda delle stazioni. Sono stati pertanto acquisiti tutti i dati attualmente disponibili.

Per il calcolo dell'intensità di pioggia si utilizza la formula

$$i = a \cdot t^{(n-1)}$$

In cui l'altezza di pioggia oraria è funzione del tempo di ritorno dell'evento considerato ed esprimibile con la

$$h(t) = a \cdot t^n$$

in cui h è l'altezza di pioggia (in mm), che è legata alla durata (in ore) tramite i parametri a ed n , ricavati dalla serie di dati mediante elaborazione statistica.

Si assume quindi per le altezze di pioggia una distribuzione di probabilità asintotica di Gumbel, il cui uso è molto diffuso per la regolarizzazione di serie empiriche di valori estremi. La distribuzione di Gumbel è

$$P(h) = e^{-e^{-\alpha(h-u)}}$$

I parametri α ed μ sono determinati in base al campione analizzato, essendo legati ai momenti del I e II ordine dalle seguenti relazioni:

$$\begin{cases} u = \mu(x) - 0.450 \cdot \sigma(x) \\ \alpha = \frac{1.283}{\sigma(x)} \end{cases}$$

con $\mu(x)$ e $\sigma(x)$ rispettivamente media e deviazione standard.

La probabilità $P(h)$ è legata al tempo di ritorno Tr dalla relazione

$$P(h) = 1 - \frac{1}{Tr}$$

Per ogni durata si calcolano quindi i parametri α e μ , e, per ogni tempo di ritorno, invertendo la relazione di Gumbel, le rispettive altezze di pioggia:

$$h = u - \frac{1}{\alpha} \ln \left(\ln \left(\frac{Tr}{Tr-1} \right) \right)$$

Dalle coppie "altezza-durata" così ottenute è possibile ricavare la curva di possibilità mediante l'operazione di regressione matematica. Tale operazione è stata svolta separatamente per durate inferiori all'ora e durate superiori, ottenendo così due equazioni per ogni curva. In corrispondenza della durata $t = 1$ ora le due curve presentano una discontinuità proprio perchè calcolate separatamente su due campioni numerici distinti. Per poter eliminare tale discontinuità si è proceduto empiricamente traslando, nel piano grafico bilogaritmico rappresentativo, la curva avente minore significatività statistica fino a raccorderla con l'altra. Le due curve così ottenute sono state assunte come curva di progetto.

Per la scelta della curva con minore significatività statistica si è fatto riferimento al valore dell'indice di correlazione R^2 ottenuto dalla regressione con il metodo dei minimi quadrati. Un basso valore dell'indice R^2 può significare infatti: o una scarsa adattabilità del tipo di funzione scelta ai dati statistici, oppure, com'è nel caso presente, che la serie numerica ha pochi dati ed è quindi poco rappresentativa. Fra i due campioni di

pioggia elaborati è risultato che il campione delle piogge registrato per durate minori di un'ora presenta numerose lacune e che per quanto detto ha una minor valenza statistica. Questa elaborazione è stata applicata a tutte le stazioni analizzate, con riferimento ai tempi di ritorno di 10, 25, 50, 100 e 500 anni.

Nella seguente tabella, per ogni stazione, si riportano i parametri delle curve di possibilità calcolati.

Tabella 3.2 – Curve di possibilità climatica di progetto

Stazione	Tr = 10 anni	Tr = 25 anni	Tr = 50 anni	Tr = 100 anni	Tr = 500 anni
Firenze Ximeniano	$h = 43.69 \cdot t^{0.48}$	$h = 52.20 \cdot t^{0.51}$	$h = 58.51 \cdot t^{0.52}$	$h = 64.78 \cdot t^{0.53}$	$h = 79.26 \cdot t^{0.55}$
	$h = 43.69 \cdot t^{0.23}$	$h = 52.20 \cdot t^{0.23}$	$h = 58.51 \cdot t^{0.23}$	$h = 64.78 \cdot t^{0.23}$	$h = 79.26 \cdot t^{0.23}$
Prato	$h = 39.72 \cdot t^{0.46}$	$h = 47.58 \cdot t^{0.46}$	$h = 53.41 \cdot t^{0.46}$	$h = 59.19 \cdot t^{0.46}$	$h = 72.55 \cdot t^{0.46}$
	$h = 39.72 \cdot t^{0.27}$	$h = 47.58 \cdot t^{0.26}$	$h = 53.41 \cdot t^{0.25}$	$h = 59.19 \cdot t^{0.25}$	$h = 72.55 \cdot t^{0.24}$
Firenze (Idrografico)	$h = 30.55 \cdot t^{0.39}$	$h = 34.90 \cdot t^{0.42}$	$h = 38.14 \cdot t^{0.44}$	$h = 41.36 \cdot t^{0.46}$	$h = 48.82 \cdot t^{0.49}$
	$h = 30.55 \cdot t^{0.33}$	$h = 34.90 \cdot t^{0.35}$	$h = 38.14 \cdot t^{0.36}$	$h = 41.36 \cdot t^{0.37}$	$h = 48.82 \cdot t^{0.38}$
Calenzano	$h = 32.78 \cdot t^{0.40}$	$h = 38.25 \cdot t^{0.40}$	$h = 42.30 \cdot t^{0.40}$	$h = 46.33 \cdot t^{0.40}$	$h = 55.62 \cdot t^{0.40}$
	$h = 32.78 \cdot t^{0.35}$	$h = 38.25 \cdot t^{0.36}$	$h = 42.30 \cdot t^{0.36}$	$h = 46.33 \cdot t^{0.37}$	$h = 55.62 \cdot t^{0.37}$

Il ragguaglio all'intera superficie scolante, dei dati di pioggia elaborati per le singole stazioni, è stato svolto secondo la metodologia di seguito esposta. Data la variabilità morfologica dei bacini in esame, si è ritenuto opportuno integrare la procedura esclusivamente di tipo geometrico dei topoi (di Thiessen) facendo riferimento ai tipi climatici così come identificati nella Carta dei tipi climatici della Regione Toscana. Per le verifiche idrauliche è stato così possibile suddividere l'intera superficie in tre zone, per ciascuna delle quali è stata associata una unica curva di possibilità climatica, scegliendo, a vantaggio di sicurezza, la più onerosa tra quelle calcolate. Il territorio risulta rappresentato, in base alla schematizzazione di Thiessen, dalle stazioni di Prato, Calenzano e Firenze Ximeniano. Fra queste la più gravosa in termini di piovosità risulta Firenze Ximeniano. Si è considerata quindi quest'ultima rappresentativa di tutta la fascia di pianura (tipo climatico B1), in base al criterio di sicurezza esposto, nonostante la localizzazione della stazione sia marginale rispetto alla fascia climatica stessa.

Tabella 3.3 – Curve di possibilità climatica

Stazione	Tr = 10 anni	Tr = 25 anni	Tr = 50 anni	Tr = 100 anni	Tr = 500 anni
Firenze Ximeniano	$h = 43.69 \cdot t^{0.48}$	$h = 52.20 \cdot t^{0.51}$	$h = 58.51 \cdot t^{0.52}$	$h = 64.78 \cdot t^{0.53}$	$h = 79.26 \cdot t^{0.55}$
t < 1 h	$h = 43.69 \cdot t^{0.23}$	$h = 52.20 \cdot t^{0.23}$	$h = 58.51 \cdot t^{0.23}$	$h = 64.78 \cdot t^{0.23}$	$h = 79.26 \cdot t^{0.23}$
t > 1 h					

4. SISTEMI DI DRENAGGIO DEL CORPO STRADALE

4.1 REQUISITI PRESTAZIONALI

Le soluzioni per lo smaltimento delle acque meteoriche ricadenti sulla pavimentazione stradale dipendono dalle diverse situazioni ed esigenze che si incontrano nello studio della rete drenante e devono soddisfare due requisiti fondamentali:

- garantire, ai fini della sicurezza degli utenti in caso di forti precipitazioni, un immediato smaltimento delle acque meteoriche evitando il formarsi di ristagni sulla pavimentazione stradale; questo si ottiene assegnando alla pavimentazione un'adeguata pendenza trasversale e predisponendo un adeguato sistema di raccolta integrato negli elementi marginali e centrali rispetto alle carreggiate;
- convogliare, ove necessario, tutte le acque raccolte dalla piattaforma ai punti di recapito.

4.2 SCHEMA DI DRENAGGIO

Il sistema di drenaggio deve consentire la raccolta delle acque meteoriche cadute sulla superficie stradale e sulle superfici ad esso afferenti ed il trasferimento dei deflussi fino al recapito; quest'ultimo è costituito da rami di qualsivoglia ordine della rete idrografica naturale o artificiale, purché compatibili quantitativamente e qualitativamente. Prima dello smaltimento nei recapiti naturali può essere necessario convogliare l'acqua nei punti di laminazione: per il controllo quantitativo, viste le prescrizioni del Consorzio di Bonifica dell'Area Fiorentina, sono state infatti predisposte due vasche di accumulo e rilancio della portata influente, in modo tale da autocontenere le portate di restituzione con un tasso di 6 l/s per ettaro di superficie impermeabile per le 72 ore di intermittenza di scolo del sistema di bonifica. Tali prescrizioni sono state confermate dall'ente gestore della rete fognaria del comune di Firenze. Gli elementi utilizzati per il sistema di drenaggio possono essere suddivisi in base alla loro funzione; in particolare si ha:

Tabella 4.1 – Elementi di drenaggio

Funzione	Componente	Tipologia	T _R progetto
Raccolta	elementi idraulici marginali	embrici caditoie cunette triangolari	25 anni
Convogliamento	canalizzazioni	fossi di guardia collettori	50 anni

Gli scarichi delle acque meteoriche avvengono nella fognatura esistente e non interessano i recapiti naturali. Solo in piccoli tratti dell'intervento si scarica in ricettori naturali, ma l'incremento di aree drenate da tali recapiti è quasi nulla e può considerarsi trascurabile.

4.3 METODOLOGIA PROGETTUALE

La metodologia di dimensionamento idraulico si differenzia se stiamo considerando gli elementi di raccolta o quelli di convogliamento.

4.3.1 Dimensionamento degli elementi di raccolta

Una volta valutata la situazione locale (rilevato, trincea, viadotto...) si definisce l'elemento di raccolta idoneo. Il dimensionamento consiste nello stabilire l'interasse delle caditoie (pozzetti di scarico, embrici, caditoie su viadotti, ecc.). Il dimensionamento avviene in maniera diversa se si stanno considerando gli elementi di raccolta continui (longitudinali alla carreggiata) o quelli discontinui (elementi puntuali). Nel primo caso si dimensionano gli interassi dei pozzetti di scarico calcolando la portata massima smaltibile e la massima portata defluente dalla falda piana (superficie stradale scolante) per unità di lunghezza, data dalla

$$q_0 = \varphi b i = \varphi b a t^{n-1}$$

dove b (m) è la larghezza della falda, φ il coefficiente di deflusso, i (mm/h) l'intensità di pioggia.

Il coefficiente di deflusso è stato posto pari ad 1 per le superfici pavimentate, 0.7 per le trincee ed i rilevati.

In base alla teoria dell'onda cinematica si ha che la condizione più gravosa è quella per cui il tempo di pioggia è pari al tempo di corrivazione. Trascurando il tempo di percorrenza dell'elemento da dimensionare si ha che il tempo di corrivazione è pari al tempo di afflusso da una falda piana che è dato dalla

$$t_a = t_c = 3.26 (1.1 - \varphi) \frac{L_{eff}^{0.5}}{j^{1/3}}$$

dove $j = \sqrt{j_l^2 + j_t^2}$ pendenza della strada lungo la linea di corrente (j_l pendenza longitudinale; j_t pendenza

trasversale); $L_{eff} = b \left[1 + \left(\frac{j_l}{j_t} \right)^2 \right]^{1/2}$ lunghezza del percorso dell'acqua prima di raggiungere le canalizzazioni a

lato della carreggiata.

Il dimensionamento dell'interasse degli elementi puntuali si ottiene facendo il rapporto tra la portata massima transitante in un'ipotetica canaletta triangolare delimitata dal manto stradale e dal cordolo, e la massima portata defluente dalla falda piana per unità di larghezza (q_0).

4.3.2 Dimensionamento degli elementi di convogliamento

Il dimensionamento degli elementi di convogliamento è fatto facendo il confronto tra la portata transitante e quella massima ammissibile dall'elemento in questione. Anche in questo caso la condizione più gravosa è quella per cui il tempo di pioggia è pari al tempo di corrivazione. In questo caso è pari alla somma del tempo di afflusso (dato dalla formula vista nel paragrafo precedente) e del tempo di traslazione (t_r) lungo i rami costituenti il percorso idraulicamente più lungo ("asta principale"). Il tempo di traslazione si ottiene quindi

$$t_r = \sum_{i=1}^N \frac{l_i}{v_i}$$

dove N è il numero dei tronchi della rete a monte della generica sezione, facenti parte dell'asta principale; l_i la lunghezza del tronco i -esimo; v_i la velocità nel tronco i -esimo.

Il moto all'interno della rete si descrive adottando uno schema di moto uniforme. In particolare si utilizza la formula di Chézy per ottenere le scale di deflusso:

$$Q = \chi A \sqrt{\Re} j = k \frac{A^{5/3}}{C^{2/3}} \sqrt{j}$$

dove Q è la portata di dimensionamento della canalizzazione (m^3/s); $k = 1/n$ è il coefficiente di scabrezza di Strickler ($m^{1/3}/s$); A l'area bagnata (m^2); C il contorno bagnato (m); j la pendenza media della condotta

(m/m); $\Re = \frac{A}{C}$ il raggio idraulico (m). Per ottenere la velocità di percorrenza del singolo tratto basta dividere

la portata Q per l'area bagnata A . Per il dimensionamento dei fossi di guardia aventi lunghezze ridotte si è adottato un tempo di corrivazione fisso pari a 5 minuti.

4.4 ELEMENTI DI RACCOLTA

4.4.1 Sistema di drenaggio aperto in rilevato - Embrici

Nei tratti in rilevato, dove il sistema di drenaggio lo consente, si utilizzano gli embrici. Il dimensionamento di questi elementi consiste nello stabilire l'interasse massimo in modo che l'acqua presente sulla strada transiti in un tratto limitato di banchina delimitata dall'arginello. Per il calcolo della portata massima transitante nella banchina si è utilizzata la formula di Chézy ponendo come parametro di Strickler il valore di $70 m^{1/3}/s$. Si ha:

$$A = \frac{B^2 j_t}{2} \quad \text{e} \quad C = B \left[j_t + \frac{1}{\cos(\arctg j_t)} \right]$$

Come ampiezza massima di impegno della banchina per la strada si è considerato $B=1.00 m$ per i tratti in rettilineo e per i tratti in curva. In ogni caso l'impiego della pavimentazione stradale ricade interamente

all'interno della corsia di emergenza. L'interasse massimo degli embrici è comunque stato posto pari a 20 m, non ritenendosi prudente superare tale valore.

4.4.2 Caditoie grigliate

Le caditoie grigliate sono costituite da pozzetti in sede stradale con copertura grigliata da cui è possibile scaricare direttamente nel collettore in PEAD sottostante; esse hanno un passo massimo pari a 20 m, non ritenendo prudente superare tale valore. Questa tipologia di caditoie è utilizzata quando la pendenza longitudinale assicura una velocità di deflusso tale da mantenere pulite le barre di geometria assegnata.

Le caditoie grigliate sono utilizzate per il drenaggio dell'intera rete, fatta eccezione per il sottovia in asse M, dove è stata scelta la tipologia a "bocca di lupo".

Il dimensionamento del passo delle caditoie è analogo a quello utilizzato per gli embrici.

4.4.3 Caditoie a "bocca di lupo"

Le caditoie a bocca di lupo sono costituite da pozzetti laterali alla sede stradale (in marciapiede) con copertura non grigliata. E' possibile scaricare direttamente al collettore in PEAD sottostante grazie a delle aperture laterali poste in prossimità del ciglio ad un passo massimo di 20 m. Questa tipologia di caditoia ha la caratteristica di essere meno soggetta ad intasamento e per questo motivo viene preferita nei tratti a maggior rischio (come appunto i sottovia).

Il dimensionamento del passo delle caditoie è analogo a quello utilizzato per gli embrici.

4.4.4 Cunette triangolari

La cunetta triangolare viene utilizzata nei tratti in trincea per raccogliere l'acqua di piattaforma e quella che scende dalla scarpata. Quando la sua capacità di trasporto si esaurisce sotto di essa viene posto un collettore. Le dimensioni della cunetta triangolare sono riportate nella figura seguente.

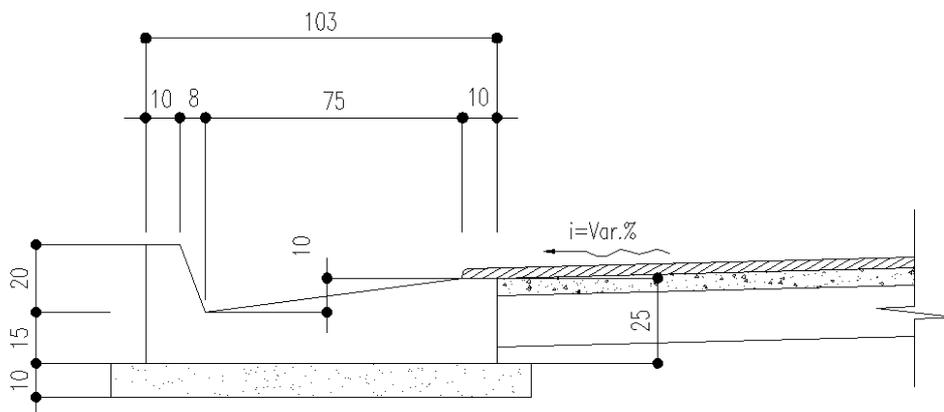


Figura 4.1– Dimensioni della cunetta triangolare

La portata massima transitante è stata calcolata con la formula di Chézy avendo posto come parametro di Strickler il valore di $60 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

Si è adottato come interasse massimo tra i pozzetti di caduta il valore di 20 m, ritenuto cautelativo ai fini della corretta funzionalità del sistema, anche in caso di ostruzione di una griglia.

4.4.5 Drenaggio dei viadotti

Per il drenaggio dell'acqua di piattaforma nel tratto in viadotto, ci si serve di caditoie grigliate che sversano in pozzetti rettangolari, collegati al collettore sottostante in acciaio tramite tubazioni di raccordo. Il collettore in acciaio, ancorato tramite ganci metallici all'impalcato del viadotto, andrà a raccordarsi a quello in PEAD di medesimo diametro presente nel tratto stradale a fine tratta sopraelevata.

Il dimensionamento del passo delle caditoie è stato fatto in modo analogo a quanto già detto per il dimensionamento delle caditoie a bocca di lupo con la differenza che la portata è confrontata con la portata smaltibile da una bocca d'efflusso sotto battente.

Si è adottato come interasse massimo tra i pozzetti di caduta il valore di 20 m, ritenuto cautelativo ai fini della corretta funzionalità del sistema, anche in caso di ostruzione di una caditoia.

4.5 ELEMENTI DI CONVOGLIAMENTO

4.5.1 Collettori circolari in PEAD

Gli elementi di raccolta sopra descritti scaricano nei collettori sottostanti. Sono stati utilizzati dei collettori in PEAD (Polietilene ad alta densità) SN 8 kN/m^2 conformi alla norma UNI 10968 (Pr EN 13476-1) per tutti i tubi della rete, fatta eccezione per il tratto in viadotto (in cui sono state utilizzate tubazioni in Acciaio). Per il dimensionamento si è considerato il diametro interno riportato in tabella ed un coefficiente di scabrezza di Strickler pari a $80 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

Tabella 4.2 – Diametri interni dei collettori in PEAD SN 8 kN/m^2

DN	Spessore	Raggio interno
(mm)	(mm)	(mm)
315	21,5	136
400	26.5	173.5
500	33.5	216.5
630	47.5	267.5
800	61	339

Nel dimensionamento dei collettori si è utilizzata, dove possibile, la pendenza longitudinale stradale. Per i tratti molto pianeggianti e nel caso in cui il collettore è in contropendenza rispetto alla livelletta stradale si è posta una pendenza minima dello 0,20% e una velocità minima di 0,5 m/s per consentire una velocità minima dell'acqua che sia in grado di portare via eventuali sedimenti accumulatisi nel tempo. Per evitare che i collettori vadano in pressione, si è considerato un riempimento massimo dell'80% con la portata di progetto avente tempo di ritorno di 50 anni. Nelle figure sono riportate le portate massime smaltibili dai collettori in PEAD considerando il riempimento massimo.

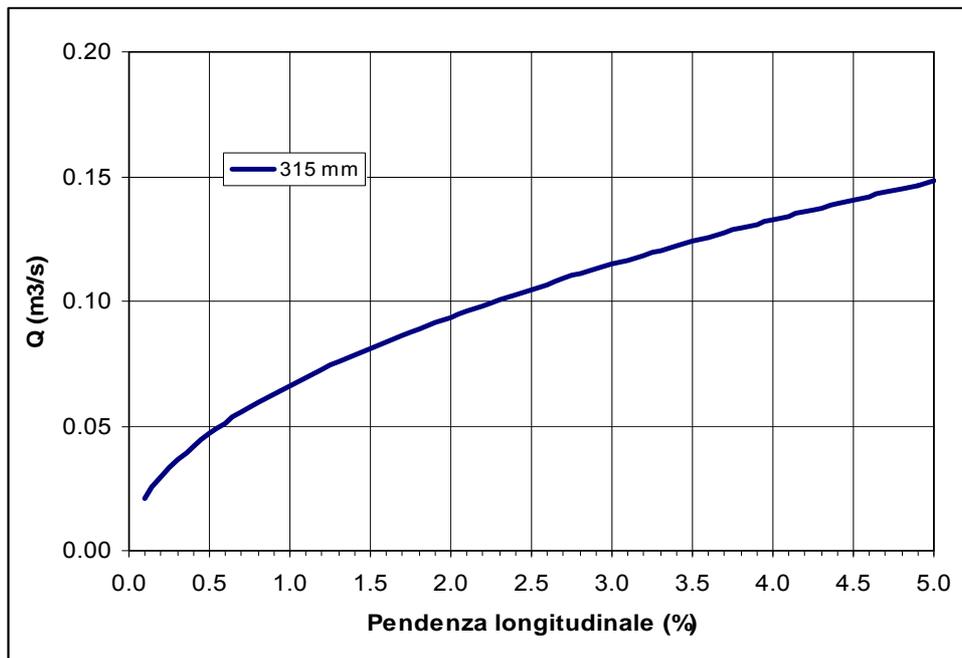


Figura 4.2– Portata massima transitante per collettori circolari in PEAD di diametro 315 mm

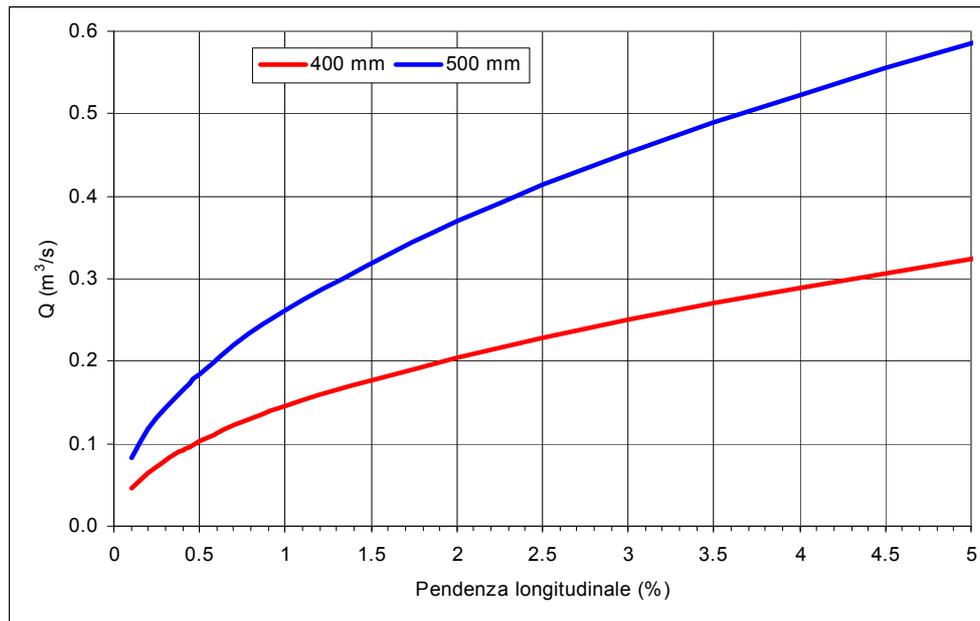


Figura 4.3– Portata massima transitante per collettori circolari in PEAD di diametro 400 e 500 mm

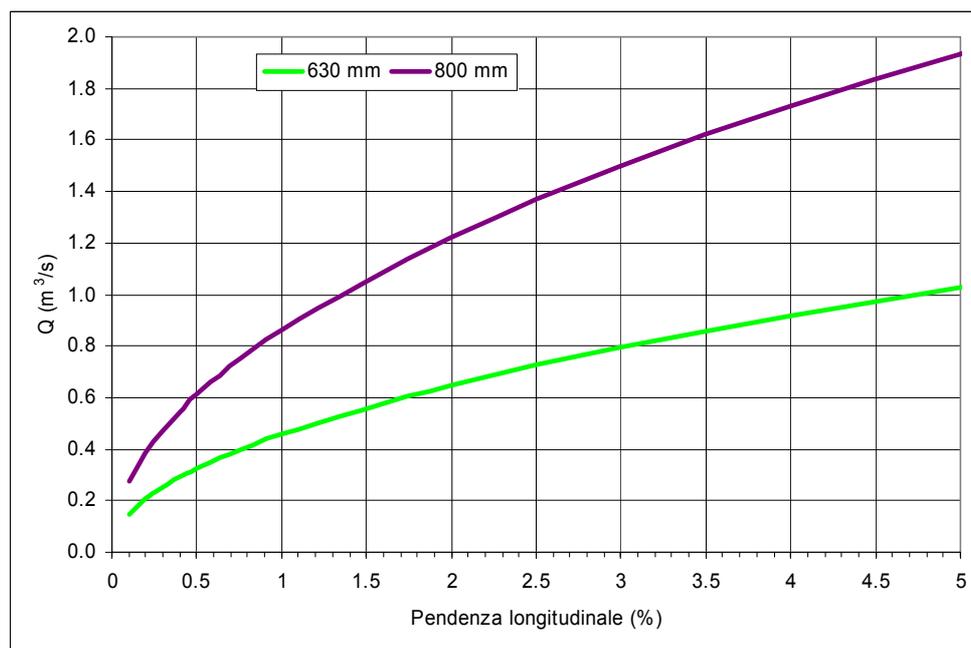


Figura 4.4– Portata massima transitante per collettori circolari in PEAD di diametro 630 e 800 mm

4.5.2 Collettori circolari in acciaio

Per il tratto in viadotto sono state utilizzate tubazioni in acciaio ancorate al di sotto dell'impalcato. Per il dimensionamento si sono considerati i diametri riportati in tabella ed un coefficiente di scabrezza di Strickler pari a $80 m^{1/3}/s$.

Tabella 4.3 – Diametri interni dei collettori in acciaio

DN	Spessore	Diametro esterno
<i>(mm)</i>	<i>(mm)</i>	<i>(mm)</i>
200	5.0	219.1
250	5.6	273.0
300	5.9	323.9
350	6.3	355.6
400	6.3	406.4

Nel dimensionamento dei collettori si è utilizzata la pendenza longitudinale stradale. Per i tratti molto pianeggianti si è posta una pendenza minima dello 0,20% e una velocità minima di 0,5 m/s per consentire una velocità minima dell'acqua che sia in grado di portare via eventuali sedimenti accumulatisi nel tempo. Per evitare che i collettori vadano in pressione, si è considerato un riempimento massimo dell'80% con la portata di progetto avente tempo di ritorno di 50 anni.

4.5.3 Prolungamento tombini esistenti e nuova realizzazione

I prolungamenti dei tombini circolari ed i nuovi tombini verranno realizzati in CLS. Si utilizzeranno conci prefabbricati in CLS armato per i tombini di grande diametro (DN600, DN800 e DN1000). Per garantire la continuità idraulica dei fossi di guardia sono previsti nuovi tombini circolari di vario diametro in CLS.

4.5.4 Fossi di guardia

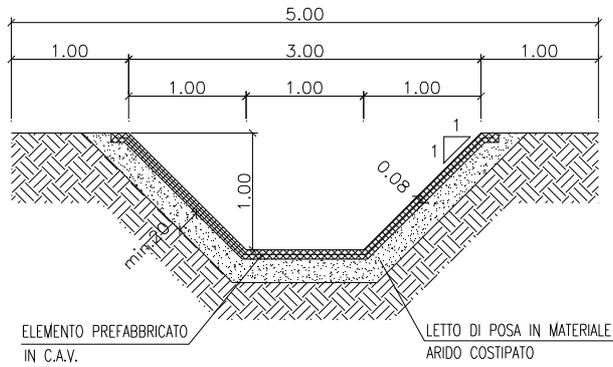
I fossi di guardia sono tutti di forma trapezoidale e vengono utilizzati sia quando la sezione stradale è in rilevato sia quando è in trincea. Nel primo caso il fosso è posto al piede del rilevato e serve a raccogliere le acque che interessano il rilevato stesso e le aree limitrofe, la cui superficie pende verso la sede stradale, e a convogliarle verso il recapito finale più vicino. In caso di trincea il fosso verrà posizionato in testa all'arginello. Il tempo di ritorno di progetto è pari a 50 anni. Questi fossi sono rivestiti in CLS per evitare l'erosione, e sono stati classificati in base alla sezione:

Tabella 4.4 – Dimensioni fossi di guardia

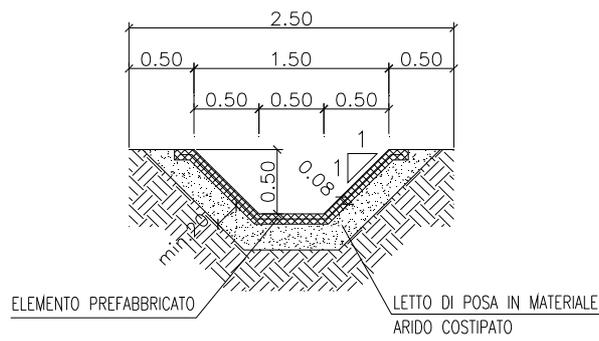
TIPO	Base	Altezza	Zona di riposo	Pendenza sponda
	<i>(cm)</i>	<i>(cm)</i>	<i>(cm)</i>	<i>base/altezza (cm/cm)</i>
A1	100	100	100	1/1
A2	50	50	50	1/1
A3	30	30	50	1/1
B1	150	50	100	1/2
B2	100	50	100	1/2

Nelle figure sono riportate le sezioni di progetto per le diverse sezioni dei fossi di guardia:

TIPO A1

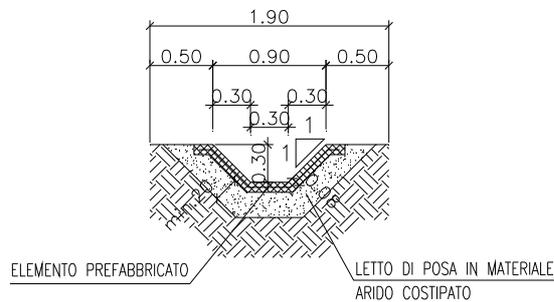


TIPO A2



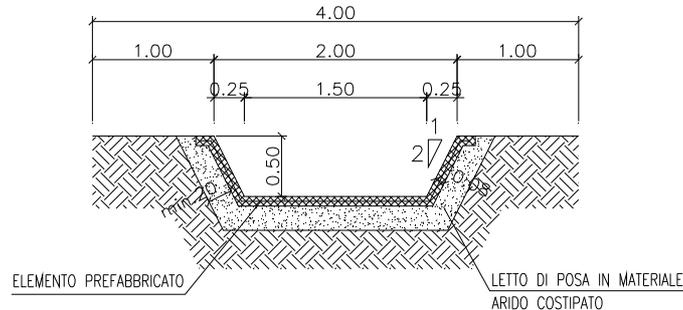
TIPO A3

SCALA 1:50



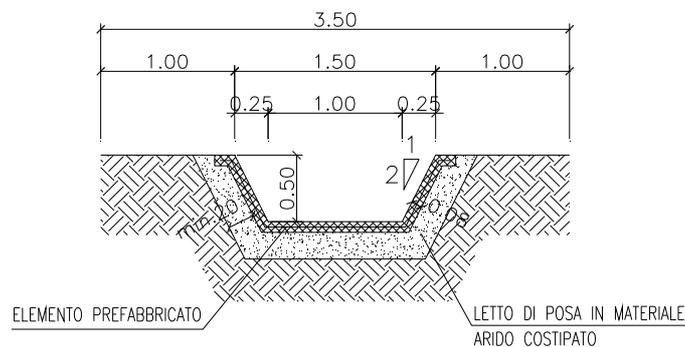
TIPO B1

SCALA 1:50



TIPO B2

SCALA 1:50



4.6 PRESIDI IDRAULICI

Prima dello smaltimento nei recapiti naturali è necessario, per alcuni settori, convogliare l'acqua nei punti di laminazione. Le prescrizioni del Consorzio di Bonifica dell'Area Fiorentina impongono uno sversamento massimo di 6 l/s per ettaro di superficie di pavimentazione sottesa. Per ottemperare alla prescrizione sono state predisposte due vasche di accumulo e rilascio della portata, in modo tale da garantire i 6 l/s per ettaro di superficie impermeabile. Le vasche di laminazione in progetto hanno infatti lo scopo di regolare la portata d'acqua proveniente dalla piattaforma stradale, prima che essa venga riversata interamente in fognatura o in canale. Il bacino di controllo ne permette la laminazione distribuendo la portata d'ingresso in un dato intervallo di tempo in una portata d'uscita nettamente minore e distribuita lungo un arco temporale maggiore:

ciò è possibile inserendo a fondo vasca, in uno dei lati, un manufatto di sbocco che contiene un regolatore di portata dal quale parte la condotta in uscita dalla vasca. Dal punto di vista costruttivo il bacino è realizzato in scavo, con profondità rispetto al piano campagna non superiore ai 1.60 m. L'impatto sull'ambiente delle opere di laminazione è basso grazie all'uso di materassi reno rinverditi con idrosemina.

Il volume che affluisce nella vasca in funzione del tempo è dato da:

$$V_{\text{affl}} = h A$$

con h altezza di pioggia ed A area ridotta drenata.

L'altezza di pioggia [m/h], è data da: $h = \frac{a}{1000} t^n$

Considerando costante la portata in uscita (q), che è pari a 6 l/(s ha), cioè 21.6 m³/(h ha), si ha che il volume defluito risulta essere: $V_{\text{defl}} = q t$

Il volume all'interno della vasca in funzione del tempo è quindi dato dalla differenza tra il volume affluito e

quello defluito: $V_{\text{affl}} - V_{\text{defl}} = h A - q t = A \frac{a}{1000} t^n - q t = V$

Per determinare la durata dell'evento meteorico che massimizza il volume da invasare, basta porre a 0 la derivata, fatta in funzione del tempo, della funzione precedente. Si ottiene quindi:

$$A \frac{a n}{1000} t^{n-1} - q = 0$$

Esplicitando la precedente in funzione del tempo si ha:

$$t^* = \left(\frac{1000 q}{A a n} \right)^{\frac{1}{n-1}} \quad [\text{ore}]$$

Il massimo del volume da invasare è dato quindi da: $V_{\text{max}} = A \frac{a}{1000} (t^*)^n - q t^*$

Vasca	Area ridotta [m ²]	t* [ore]	V _{max} [m ³]
V1	10802	8.14	461.1
V2	7950	5.47	359.5

Per determinare il potere moderatore dei bacini, si è ipotizzata un'onda di piena triangolare ponendo il picco in corrispondenza del tempo di durata dell'evento precedentemente ricavato.

Il calcolo della laminazione è avvenuto seguendo i passi sotto elencati:

- si è fissato uno step temporale di calcolo pari a dieci minuti discretizzando l'onda in ingresso interpolando linearmente il valore 0 col valore di picco per il tratto crescente e il picco col valore 0 per il tratto discendente dell'onda;
- si è calcolata la portata media ($Q_{a\text{ medio}}$) dello step (media tra la portata all'inizio ed alla fine dello step) da cui si è ricavato il volume affluito nel bacino nel singolo minuto (V_a);
- si è calcolato il volume totale di prima approssimazione (V'_{tot}) come somma tra il volume totale alla fine dello step precedente e il volume affluito;
- dal volume di prima approssimazione si è calcolata l'altezza dell'acqua all'interno del bacino; essendo questo molto esteso si è fatta l'ipotesi (a favore di sicurezza) di considerare la vasca con pareti verticali.
- per il calcolo della portata in uscita si è utilizzata la curva caratteristica del regolatore di portata.
- dalla portata effluita si ricava il volume uscito (V_e) nello step temporale; questo viene sottratto dal volume totale di prima approssimazione e si ricava il volume totale alla fine dello step temporale (V_{tot});
- sempre per lo stesso step temporale si ricalcola (V'_{tot}) come media tra il precedente valore e (V_{tot}) e si riprende dal quarto punto di questo elenco. Questo procedimento avviene iterativamente fino a quando la differenza tra (V'_{tot}) e (V_{tot}) diventi nulla. Fatto ciò si passa allo step successivo.

Si riporta una tabella con le principali caratteristiche delle vasche di laminazione presenti.

Tabella 4.5 – Vasche di laminazione

	$Q_{in(TR10)}$	$Q_{e\text{ max}}$	Sup afferente	Area presidio	Altezza massima piena
	mc/s	mc/s	mq	mq	m
V1	0,026	0,0066	10802	420	1,1
V2	0,026	0,0048	7950	278	1,3

Nelle seguenti figure è riportato l'andamento delle portate in ingresso ed in uscita dalle vasche in progetto.

Si può notare come il picco di piena viene laminato distribuendo la portata invasata in un intervallo di tempo maggiore.

Il tempo di ritorno scelto per il dimensionamento (10 anni) è stato concordato con gli enti specialisti del comune di Firenze e dell'ente gestore della rete fognaria ed è compatibile con il tempo di ritorno normalmente utilizzato nel dimensionamento di una fognatura urbana.

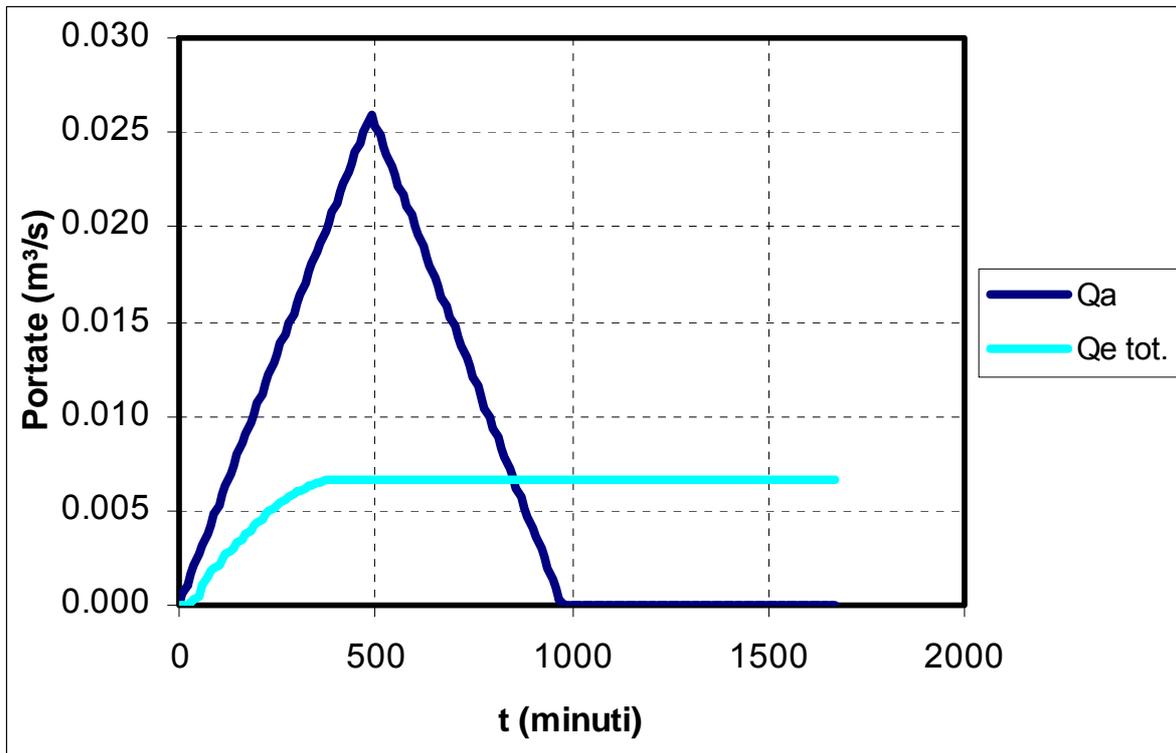


Figura 4.5– Idrogramma vasca di laminazione V1

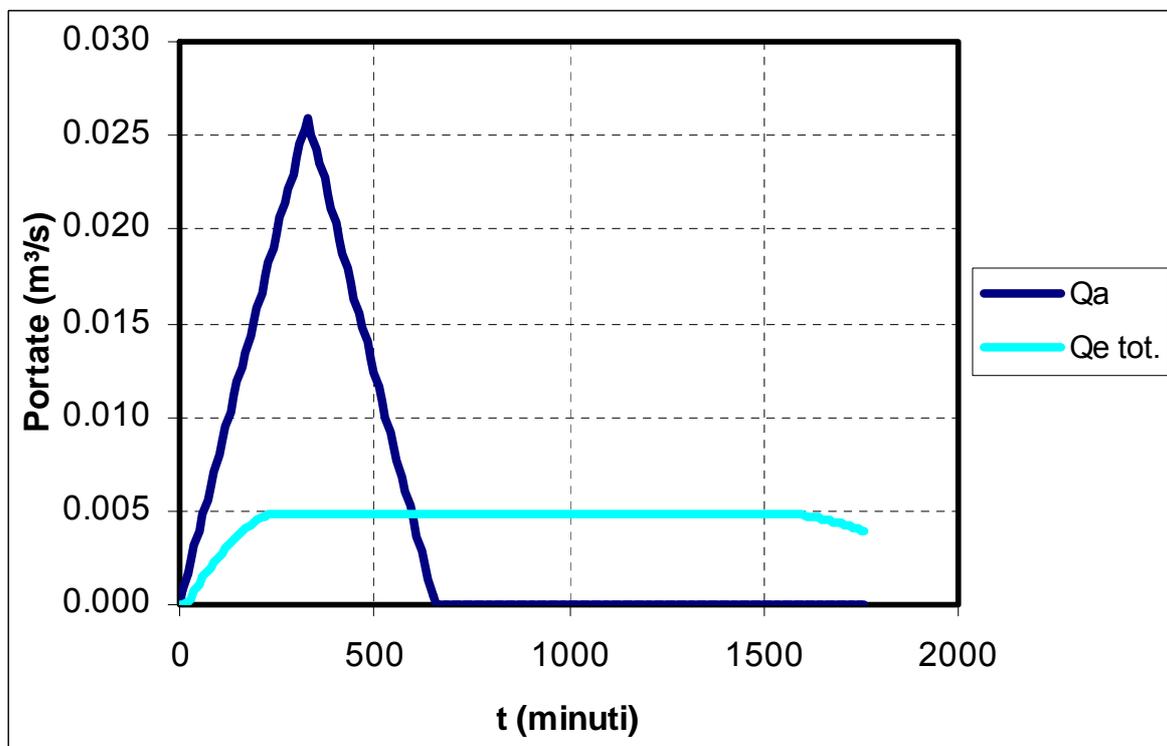


Figura 4.6– Idrogramma vasca di laminazione V2

5. IMPIANTI DI SOLLEVAMENTO

Sono presenti due impianti di sollevamento, uno in corrispondenza del sottovia asse M e l'altro in adiacenza all'asse O.

Il profilo del sottovia presenta un andamento a cordamolle con un punto di minimo in corrispondenza del km 0+300. Per l'allontanamento delle acque di piattaforma delle zone afferenti nel sottovia è necessario l'uso di un impianto di sollevamento meccanico delle acque.

L'impianto è situato in corrispondenza del punto di minimo in una camera ricavata in una nicchia accanto al sottovia. L'ispezionabilità è assicurata dall'alto tramite una scala di servizio.

Per quanto riguarda l'asse O, questi non ha possibilità di scarico delle acque meteoriche per gravità a causa della presenza della nuova tramvia che corre parallela alla nuova strada, l'impianto è posizionato intorno alla progressiva 0+055 in corrispondenza di un fosso di guardia esistente.

La portata delle pompe è tale da consentire la gestione dei picchi di portata in afflusso per ridurre al minimo il rischio di allagamento. Il volume utile del pozzo, ovvero il volume tra il livello di avvio e di arresto di una pompa, dipende dalla durata minima possibile del ciclo, T (secondi), dalla portata della pompa, Q (m³/sec) e dalla portata del flusso in ingresso, q (m³/sec). Per una qualsiasi portata in ingresso il ciclo più breve si verifica quando $q = Q/2$, cioè la portata in afflusso q risulta esattamente la metà della portata della pompa.

Il numero di avviamenti orari (ovvero il tempo minimo di un ciclo) che sono accettabili per il motore ed il suo sistema di raffreddamento è determinabile tramite la:

$$z = \frac{Q}{V_{\text{utile}} * 4}$$

per i motori commerciali, anche se z dipende dalla potenza dell'impianto, gli avviamenti orari massimi variano tra gli 8 e i 15 avviamenti/ora consentiti, un minor numero di avviamenti orari rispetto al numero massimo fa sì che i circuiti elettrici delle pompe siano meno sottoposti allo stress dovuto alla corrente di spunto, si ipotizza, a favore di sicurezza un valore di 5 avviamenti/ora per l'impianto del sottovia e 7 avviamenti/ora per l'impianto dell'asse O.

Nelle stazioni di pompaggio sono previste pompe uguali. L'avvio di ogni singola pompa avviene per livelli idrici differenti mentre il livello di arresto è il medesimo per tutte le pompe.

Sono sufficienti n-1 pompe (n pari al numero delle pompe per il singolo impianto) per garantire lo smaltimento delle portate in ingresso, sono comunque previste n pompe negli impianti per garantire la riserva in caso di malfunzionamento di una unità. La rotazione ciclica delle pompe, inoltre, garantisce il funzionamento di tutte le unità.

Negli impianti sono previste pompe collegate ad un piede di accoppiamento fissato sul fondo del pozzo, sono adatte a lavorare completamente o parzialmente sommerse nel liquido da pompare.

L'elettropompa è facilmente estraibile dal pozzo per operazioni di manutenzione, senza dover smontare alcun bullone o altre parti fisse, sono previsti dei tubi guida assicurati alla soletta superiore del pozzo.

Il piede di accoppiamento per il collegamento con la tubazione di mandata è dotato di una flangia corrispondente a quella del corpo pompa ed è anche dotato di portaguide inferiore per il fissaggio del sistema di guida.

SOTTOVIA ASSE M:

L'area sottesa dall'impianto è pari a 1.4 ha, considerando un tempo di corrivazione pari a 30 minuti si ha che la portata con tempo di ritorno di 50 anni è 0.32 m³/s e la portata con tempo di ritorno di 100 anni è pari a 0.36 m³/s. Il funzionamento prevede che le pompe normalmente in uso siano tre più una per eventuali emergenze o avarie. Tre pompe sono sufficienti a smaltire la portata corrispondente al Tr 50 anni; si può notare che le pompe possono inoltre funzionare tutte e quattro contemporaneamente, in questo caso la portata smaltibile, pari a 0.44 m³/s, è molto maggiore della portata centennale.

L'impianto è comunque dotato di un galleggiante posizionato ad una quota di attenzione che attiva dei sistemi di allarme e il blocco del traffico in ingresso al sottovia.

ASSE O:

L'area sottesa dall'impianto è pari a 0.31 ha, considerando un tempo di corrivazione pari a 15 minuti si ha che la portata con tempo di ritorno di 50 anni è 0.10 m³/s e la portata con tempo di ritorno di 100 anni è pari a 0.11 m³/s. Il funzionamento prevede che le pompe normalmente in uso siano due più una per eventuali emergenze o avarie. Due pompe sono sufficienti a smaltire la portata corrispondente al Tr 50 anni; si può notare che le pompe possono inoltre funzionare tutte e tre contemporaneamente, in questo caso la portata smaltibile, pari a 0.24 m³/s, è molto maggiore della portata centennale.

L'impianto è comunque dotato di un galleggiante posizionato ad una quota di attenzione che attiva dei sistemi di allarme.

Per il corretto dimensionamento degli impianti è necessaria la conoscenza della prevalenza della pompa che rappresenta l'energia specifica, ovvero l'energia meccanica per unità di peso del liquido in movimento, fornita dalla pompa al liquido stesso. Il peso del liquido in movimento che attraversa la pompa nell'unità di tempo è dato dalla portata per il suo peso specifico.

L'energia fornita al liquido nell'unità di tempo, ossia la potenza erogata, è quindi uguale a $H Q \gamma$.

Se ν è il rendimento complessivo della pompa e del motore elettrico, la potenza assorbita o potenza nominale risulta:

$$P_n = \frac{H Q \gamma}{\nu}$$

La prevalenza della pompa H alla portata di esercizio dovrà essere tale da:

- vincere il dislivello tra la quota dell'acqua nella sezione di partenza e quella nella sezione di arrivo;

- compensare le perdite di carico nella condotta di aspirazione e nella condotta premente;
- assicurare all'impianto la pressione richiesta.

Pertanto la prevalenza della pompa deve essere:

$$H_T = H_g + H_a + H_p + H_e$$

dove:

H_g - altezza geodetica o dislivello;

H_a - perdita di carico nella condotta di aspirazione;

H_p - perdita di carico nella condotta premente;

H_e - altezza piezometrica di esercizio.

Nella seguente tabella sono riassunte le principali caratteristiche dell'impianto.

Le perdite di carico distribuite si calcolano con la formula:

$$\Delta H_{distr} = \gamma_D Q^2 L = \frac{n^2}{16\pi^2 R^{16/3}} Q^2 L$$

essendo n il parametro di scabrezza di manning, L la lunghezza della condotta, Q la portata relativa alla singola pompa ed R il raggio idraulico della condotta di mandata.

Le perdite nelle curve si ricavano con la formula:

$$\Delta H_{curve} = k_{curve} \frac{v^2}{2g}$$

Essendo v la velocità. Il k_{curve} si ottiene da valori tabellati.

Le perdite allo sbocco si calcolano con la formula:

$$\Delta H_{sbocco} = \frac{v^2}{2g}$$

L'area minima della vasca per l'impianto di sollevamento, utilizzando una rotazione ciclica delle pompe, deve essere:

$$A = \frac{Q \tau}{4 n [H - (n-1)\Delta h]}$$

essendo n il numero delle pompe e H la massima oscillazione del livello idrico nella vasca di aspirazione. Considerando pompe con un numero massimo di 5 e 7 avviamenti l'ora (durata del singolo ciclo $\tau = 720$ e 514 secondi rispettivamente), si ha che l'area minima della vasca per l'asse M deve essere pari a 5.50 m² mentre quella per l'asse O deve essere pari a 4.28 m².

Facendo riferimento al libro Sistemi di fognatura – Manuale di progettazione (prof. S. Artina e altri 1997, ed. HOEPLI), in cui sono riportate le dimensioni minime della vasca di aspirazione in funzione della portata delle pompe, si ottiene per l'asse M una vasca larga 3.0 m circa (lato su cui sono posizionate le pompe) e lunga 3.2 m circa. Per esigenze costruttive le dimensioni interne dell'impianto sono rispettivamente pari a 4.70 e 3.50 m il che porta l'area a 16.45 m², tale grandezza garantisce inoltre l'ispezionabilità dell'impianto; mentre per l'asse O le dimensioni interne sono 3.00 m per 3.00 m per un'area pari a 9.00 m².

Tabella 5.1 – Principali caratteristiche dell'impianto asse M

Dati impianto			
Dislivello geodetico	$\Delta z =$	10.3	<i>m</i>
Portata massima in ingresso	$Q =$	0.32	<i>m³/s</i>
Diametro condotta premente	$D =$	0.2	<i>m</i>
Lunghezza condotta premente	$L =$	12	<i>m</i>
Portata singola pompa	$Q_p =$	0.11	<i>m³/s</i>
Numero pompe	$n =$	4	
Volume utile singola pompa	$V =$	18.9	<i>m³</i>
Dati cinematici			
Velocità	$v =$	3.50	<i>m/s</i>
Perdite di carico			
Distribuite	$\Delta h =$	0.48	<i>m</i>
Concentrate	$h =$	1.31	
Prevalenza	$H =$	12.09	<i>m</i>
Caratteristiche meccaniche			
Potenza teorica	$P =$	13.04	<i>kW</i>
Numero di avviamenti orari		5	

Caratteristiche elettropompa			
Potenza effettiva	$P =$	18.50	<i>kW</i>
Prevalenza nominale	$H_n =$	12.20	<i>m</i>
Giri al minuto	$RPM =$	1450	<i>Giri/1'</i>
Tensione	$V =$	400	<i>V</i>
Descrizione: n. 4 elettropompe sommergibili con attacchi e campi di impiego normalizzati secondo DIN 24255			

Tabella 5.2 – Principali caratteristiche dell'impianto asse O

Dati impianto			
Dislivello geodetico	$\Delta z =$	4	<i>m</i>
Portata massima in ingresso	$Q =$	0.1	<i>m³/s</i>
Diametro condotta premente	$D =$	0.15	<i>m</i>
Lunghezza condotta premente	$L =$	5	<i>m</i>
Portata singola pompa	$Q_p =$	0.08	<i>m³/s</i>
Numero pompe	$n =$	3	
Volume utile singola pompa	$V =$	10.8	<i>m³</i>
Dati cinematici			
Velocità	$v =$	4.53	<i>m/s</i>
Perdite di carico			
Distribuite	$\Delta h =$	0.45	<i>m</i>
Concentrate	$h =$	2.19	
Prevalenza	$H =$	6.64	<i>m</i>
Caratteristiche meccaniche			
Potenza teorica	$P =$	5.21	<i>kW</i>
Numero di avviamenti orari		7	

Caratteristiche elettropompa			
Potenza effettiva	$P =$	8.80	<i>kW</i>
Prevalenza nominale	$H_n =$	11.22	<i>m</i>
Giri al minuto	$RPM =$	950	<i>Giri/1'</i>
Tensione	$V =$	220/380	<i>V</i>
Descrizione: n. 3 elettropompe sommergibili con attacchi e campi di impiego normalizzati secondo DIN 24255			

6. VERIFICHE IDRAULICHE

6.1 COLLETTORI CIRCOLARI

6.1.1 Sistema di raccolta Vasca 1

Asse stradale	Progressiva		PORTATA SU SUPERFICIE SCOLANTE								CARATTERISTICHE DEL COLLETTORE									
	inizio	fine	L _{TOT} (m)	A _{ridotta} (m ²)	i	L _{eff} (m)	t _a (h)	t _c (h)	v (m/s)	Q _{max} (m ³ /s)	D (Φ)	Materiale	D _{int} (mm)	i _{cond}	h (m)	A	C	Ri	Ks	Riemp %
VASCA 1																				
asse A destra	285,00	635,00	404,10	6061,5	0,025	15,00	0,07	0,16	1,31	0,237	630	PE	535	0,004	0,40	0,181	1,120	0,161	70	
asse A destra (in vasca)	635,00	805,00	166,90	8565,0	0,025	15,00	0,23	0,27	1,05	0,259	800	PE	678	0,002	0,44	0,247	1,266	0,195	70	
asse I destra (in vasca)	250,00	355,00	114,50	1717,5	0,025	15,00	0,07	0,09	1,39	0,067	315	PE	272	0,011	0,21	0,048	0,579	0,082	70	
asse L sinistra (in vasca)	420,00	535,00	128,00	832,0	0,025	6,50	0,05	0,07	1,32	0,033	315	PE	272	0,014	0,12	0,025	0,401	0,064	70	
asse A destra (da vasca)	810,00	845,00							0,42	0,007	315	PE	272	0,002	0,09	0,016	0,324	0,048	70	

6.1.2 Sistema di raccolta Vasca 2

Parte 1/2

Asse stradale	Progressiva		PORTATA SU SUPERFICIE SCOLANTE								CARATTERISTICHE DEL COLLETTORE									
	inizio	fine	L _{TOT} (m)	A _{ridotta} (m ²)	i	L _{eff} (m)	t _a (h)	t _c (h)	V (m/s)	Q _{max} (m ³ /s)	D (Φ)	Materiale	D _{int} (mm)	i _{cond}	h (m)	A	C	Ri	Ks	Riemp %
asse C destra	0,00	60,00	60,00	390,0	0,030	7,72	0,05	0,06	1,17	0,015	315	PE	272	0,018	0,08	0,013	0,305	0,044	70	28
asse C sinistra	60,00	160,00	100,00	1040,0	0,030	7,72	0,11	0,13	1,52	0,041	315	PE	272	0,018	0,13	0,027	0,410	0,065	70	47
asse C destra	160,00	290,00	130,00	1885,0	0,030	7,72	0,18	0,20	1,71	0,066	315	PE	272	0,018	0,17	0,039	0,501	0,078	70	63
asse C destra	290,00	340,00	50,00	2385,0	0,030	7,72	0,25	0,26	1,74	0,074	315	PE	272	0,018	0,19	0,043	0,531	0,080	70	69
asse C destra	340,00	350,00	10,00	2420,0	0,030	0,00	0,26	0,26	1,75	0,075	315	PE	272	0,018	0,19	0,043	0,538	0,081	70	70
asse C sinistra	290,00	340,00	50,00	175,0	0,030	0,00	0,00	0,01	0,93	0,007	315	PE	272	0,018	0,05	0,008	0,244	0,031	70	19
asse C sinistra	340,00	350,00	10,00	275,0	0,030	7,72	0,06	0,07	1,05	0,011	315	PE	272	0,018	0,06	0,010	0,274	0,038	70	23
asse C sinistra	400,00	370,00	30,00	195,0	0,025	6,55	0,05	0,06	0,51	0,008	315	PE	272	0,003	0,09	0,016	0,324	0,048	70	31
asse C sinistra	370,00	350,00	20,00	395,0	0,025	6,55	0,11	0,12	0,61	0,015	315	PE	272	0,003	0,12	0,025	0,400	0,063	70	45
asse C destra	370,00	350,00	20,00	70,0	0,025	0,00	0,00	0,01	0,41	0,003	315	PE	272	0,003	0,06	0,009	0,260	0,034	70	21
asse C	360,00	360,00	0,00	670,0	0,025	0,00	0,06	0,06	1,31	0,026	400	PE	347	0,017	0,09	0,021	0,379	0,054	70	27
asse C (in vasca)	360,00	360,00	0,00	3160,0	0,025	0,00	0,26	0,26	1,86	0,098	400	PE	347	0,017	0,19	0,053	0,578	0,092	70	55

Parte 2/2

Asse stradale	Progressiva		PORTATA SU SUPERFICIE SCOLANTE								CARATTERISTICHE DEL COLLETTORE									
	inizio	fine	L _{TOT} (m)	A _{ridotta} (m ²)	i	L _{eff} (m)	t _a (h)	t _c (h)	V (m/s)	Q _{max} (m ³ /s)	D (Φ)	Materiale	D _{int} (mm)	i _{cond}	h (m)	A	C	Ri	Ks	Riemp %
asse B destra	600,00	524,00	76,00	494,0	0,025	6,50	0,05	0,09	0,55	0,019	300	Acc	300	0,002	0,15	0,035	0,467	0,074	70	49
asse B destra	524,00	439,00	85,00	1046,5	0,025	6,50	0,13	0,16	0,76	0,041	300	Acc	300	0,003	0,21	0,053	0,595	0,089	70	70
asse B destra	439,00	379,00	60,00	1436,5	0,059	15,24	0,22	0,23	2,35	0,048	300	Acc	300	0,053	0,10	0,021	0,369	0,056	70	33
asse B destra	379,00	320,00	59,00	1820,0	0,078	20,31	0,28	0,29	2,63	0,054	315	PE	272	0,065	0,10	0,021	0,363	0,056	70	38
asse B destra	320,00	300,00	20,00	1950,0	0,032	8,32	0,34	0,34	1,69	0,053	315	PE	272	0,020	0,14	0,031	0,444	0,071	70	53
asse B destra	300,00	270,00	30,00	2250,0	0,032	8,32	0,39	0,40	1,72	0,057	315	PE	272	0,020	0,15	0,033	0,458	0,072	70	56
asse B destra	270,00	260,00	10,00	2285,0	0,032	0,00	0,40	0,40	1,73	0,058	315	PE	272	0,020	0,15	0,034	0,463	0,073	70	57
asse B sinistra	300,00	270,00	30,00	105,0	0,032	0,00	0,00	0,01	0,84	0,004	315	PE	272	0,020	0,04	0,005	0,214	0,025	70	15
asse B sinistra	270,00	260,00	10,00	205,0	0,032	8,32	0,06	0,06	1,01	0,008	315	PE	272	0,020	0,05	0,008	0,250	0,032	70	20
asse B sinistra	175,00	260,00	85,00	909,5	0,025	7,25	0,05	0,08	0,73	0,036	315	PE	272	0,003	0,21	0,048	0,584	0,082	70	77
asse B destra	220,00	260,00	40,00	140,0	0,025	0,00	0,00	0,02	0,46	0,005	315	PE	272	0,003	0,07	0,012	0,294	0,042	70	26
asse F destra	-46,00	31,00	77,00	500,5	0,025	6,50	0,05	0,09	0,56	0,020	300	Acc	300	0,002	0,15	0,035	0,470	0,075	70	50
asse F destra	31,00	135,00	104,00	1176,5	0,025	6,50	0,13	0,16	1,16	0,046	300	Acc	300	0,008	0,17	0,040	0,501	0,079	70	55
asse F destra	135,00	176,00	41,00	1443,0	0,060	15,47	0,21	0,22	2,37	0,049	300	Acc	300	0,054	0,10	0,021	0,369	0,056	70	33
asse F destra	176,00	270,00	94,00	2054,0	0,069	17,86	0,27	0,28	2,52	0,061	315	PE	272	0,053	0,12	0,024	0,392	0,062	70	44
asse F	270,00	270,00	0,00	2054,0	0,025	0,00	0,28	0,28	1,71	0,061	315	PE	272	0,019	0,16	0,036	0,475	0,075	70	59
asse B	260,00	255,00	0,00	3168,5	0,025	0,00	0,28	0,28	1,16	0,094	630	PE	535	0,005	0,21	0,082	0,724	0,113	70	39
asse B (in vasca)	260,00	255,00	0,00	5593,5	0,025	0,00	0,28	0,28	1,34	0,166	630	PE	535	0,005	0,29	0,124	0,885	0,140	70	54
asse A d (da vasca)	275,00	495,00							1,14	0,005	315	PE	272	0,044	0,03	0,004	0,199	0,022	70	13

6.1.3 Sistema di raccolta tratti non laminati

Parte 1/2

Asse stradale	Progressiva		PORTATA SU SUPERFICIE SCOLANTE								CARATTERISTICHE DEL COLLETTORE									
	inizio	fine	L _{TOT} (m)	A _{ridotta} (m ²)	i	L _{eff} (m)	t _a (h)	t _c (h)	V (m/s)	Q _{max} (m ³ /s)	D (⊕)	Materiale	D _{int} (mm)	i _{cond}	h (m)	A	C	Ri	Ks	Riemp. (%)
asse N d (scarico)	125.00	420.00	278.00	1112.0	0.025	4.00	0.04	0.15	0.67	0.044	400	PE	347	0.002	0.22	0.064	0.646	0.100	70	64
asse N s (scarico)	140.00	410.00	278.00	1112.0	0.025	4.00	0.04	0.15	0.67	0.044	400	PE	347	0.002	0.23	0.065	0.650	0.100	70	65
asse Q s (scarico)	295.00	190.00	107.40	751.8	0.025	7.00	0.05	0.10	0.59	0.029	315	PE	272	0.002	0.21	0.049	0.588	0.083	70	78
asse L s (scarico)	280.00	170.00	68.00	408.0	0.026	6.17	0.05	0.06	1.08	0.016	315	PE	272	0.014	0.08	0.015	0.318	0.047	70	30
asse L s (scarico)	105.00	170.00	63.60	381.6	0.026	6.17	0.05	0.08	0.52	0.015	315	PE	272	0.002	0.14	0.029	0.426	0.068	70	50
asse D d (scarico)	250.00	155.00	94.50	472.5	0.025	5.00	0.04	0.08	0.77	0.019	315	PE	272	0.005	0.12	0.024	0.391	0.062	70	43
asse D d (scarico)	105.00	155.00	62.50	312.5	0.025	5.00	0.04	0.06	0.85	0.012	315	PE	272	0.009	0.08	0.014	0.314	0.046	70	30
asse H-D d (scarico)	179.00	160.00	206.80	1344.2	0.025	6.50	0.05	0.10	1.11	0.053	315	PE	272	0.007	0.20	0.047	0.570	0.082	70	75

Parte 2/2

Asse stradale	Progressiva		PORTATA SU SUPERFICIE SCOLANTE								CARATTERISTICHE DEL COLLETTORE									
	inizio	fine	L _{TOT} (m)	A _{ridotta} (m ²)	i	L _{eff} (m)	t _a (h)	t _c (h)	V (m/s)	Q _{max} (m ³ /s)	D (Φ)	Materiale	D _{int} (mm)	i _{cond}	h (m)	A	C	Ri	Ks	Riemp. (%)
asse F destra	270.00	300.00	27.50	178.8	0.025	6.58	0.05	0.06	0.92	0.007	315	PE	272	0.020	0.05	0.007	0.232	0.028	70	17
asse F destra	120.00	300.00	161.80	1051.7	0.025	6.50	0.05	0.11	0.67	0.041	400	PE	347	0.002	0.22	0.062	0.631	0.098	70	62
asse F destra	300.00	340.00	41.60	1500.9	0.025	6.50	0.16	0.18	0.70	0.056	400	PE	347	0.002	0.27	0.080	0.755	0.105	70	78
asse D destra	410.00	470.00	60.80	638.4	0.025	10.50	0.06	0.08	1.12	0.025	315	PE	272	0.011	0.11	0.023	0.380	0.060	70	41
asse D destra	470.00	525.00	60.80	1276.8	0.025	10.50	0.06	0.07	1.33	0.050	315	PE	272	0.011	0.17	0.038	0.493	0.077	70	62
asse D destra (scarico)	525.00	605.00	60.80	3416.1	0.025	10.50	0.24	0.26	0.97	0.107	500	PE	433	0.003	0.30	0.110	0.856	0.128	70	70
asse D destra	410.00	335.00	44.40	466.2	0.025	10.50	0.06	0.08	0.55	0.018	315	PE	272	0.002	0.15	0.034	0.461	0.073	70	56
asse D d (scarico)	335.00	290.00	44.40	932.4	0.025	10.50	0.06	0.07	0.98	0.037	315	PE	272	0.006	0.17	0.037	0.490	0.076	70	61
asse E (scarico)	260.00	65.00	209.00	1672.0	0.025	8.00	0.05	0.10	1.13	0.065	400	PE	347	0.006	0.21	0.058	0.609	0.096	70	59

6.1.4 Sistema di raccolta impianto di sollevamento asse M

Asse stradale	inizio	fine	L _{TOT} (m)	A _{ridotta} (m ²)	i	L _{eff} (m)	t _a (h)	t _c (h)	V (m/s)	Q _{max} (m ³ /s)	D (Φ)	Materiale	D _{int} (mm)	i _{cond}	h (m)	A	C	Ri	Ks	R _{imp.} (%)
asse M sinistra	105.00	160.00	55.30	359.5	0.047	12.26	0.05	0.06	1.51	0.014	315	PE	272	0.040	0.06	0.009	0.265	0.035	70	22
asse M sinistra	160.00	200.00	39.30	614.9	0.066	17.14	0.12	0.12	2.04	0.024	315	PE	272	0.061	0.07	0.012	0.288	0.041	70	26
asse M sinistra	200.00	240.00	20.10	745.6	0.061	15.95	0.18	0.18	2.08	0.027	315	PE	272	0.056	0.08	0.014	0.306	0.044	70	28
asse M sinistra	240.00	280.00	0.00	745.6	0.034	8.83	0.23	0.23	1.45	0.024	315	PE	272	0.023	0.09	0.017	0.334	0.051	70	33
asse M sinistra	280.00	300.00	0.00	745.6	0.025	6.58	0.28	0.28	0.75	0.022	315	PE	272	0.004	0.14	0.030	0.434	0.069	70	51
asse M	300.00	300.00	0.00	745.6	0.025	6.50	0.33	0.33	1.03	0.021	315	PE	272	0.010	0.10	0.020	0.362	0.056	70	38
asse P destra	425.00	75.00	293.70	5286.6	0.025	18.13	0.08	0.14	1.28	0.207	630	PE	535	0.004	0.36	0.161	1.029	0.156	70	67
asse P sinistra	200.00	120.00	60.00	1155.0	0.025	19.25	0.08	0.11	0.68	0.045	400	PE	347	0.002	0.23	0.067	0.661	0.101	70	66
asse P sinistra (CT)	120.00	75.00	45.00	2077.5	0.025	17.00	0.18	0.20	0.77	0.073	500	PE	433	0.002	0.27	0.095	0.782	0.122	70	62
asse P sinistra (CT)	0.00	75.00	75.00	262.5	0.025	0.00	0.00	0.04	0.47	0.010	400	PE	347	0.002	0.10	0.023	0.394	0.057	70	29
asse P	75.00	75.00	0.00	2340.0	0.025	0.00	0.20	0.20	1.45	0.083	500	PE	433	0.010	0.18	0.057	0.603	0.095	70	41
asse P	75.00	75.00	0.00	7626.6	0.025	0.00	0.20	0.20	1.95	0.269	630	PE	535	0.010	0.32	0.138	0.936	0.147	70	59
asse N sinistra	130.00	90.00	43.80	219.0	0.025	5.00	0.04	0.05	0.98	0.009	315	PE	272	0.019	0.05	0.008	0.250	0.032	70	20
asse I destra	360.00	440.00	70.00	980.0	0.025	14.00	0.07	0.09	0.84	0.038	315	PE	272	0.004	0.20	0.047	0.570	0.082	70	75
asse L sinistra	535.00	620.00	69.30	450.5	0.025	6.50	0.05	0.07	1.02	0.018	315	PE	272	0.011	0.09	0.018	0.339	0.052	70	34
asse P destra	-80.00	75.00	155.00	4143.0	0.025	17.50	0.17	0.20	1.27	0.144	500	PE	433	0.005	0.31	0.114	0.877	0.129	70	72
asse P	75.00	75.00	0.00	11988.6	0.025	0.00	0.20	0.20	2.28	0.417	630	PE	535	0.012	0.41	0.183	1.132	0.162	70	76
asse N destra	125.00	85.00	33.00	148.5	0.026	4.72	0.04	0.05	0.68	0.006	315	PE	272	0.009	0.05	0.008	0.251	0.033	70	20
asse P destra	80.00	35.00	43.90	12422.4	0.046	12.04	0.26	0.26	3.46	0.385	630	PE	535	0.036	0.27	0.111	0.836	0.133	70	50
asse I destra	550.00	510.00	40.30	12684.4	0.050	12.93	0.31	0.32	3.63	0.358	630	PE	535	0.043	0.24	0.099	0.789	0.125	70	45
asse I destra	510.00	470.00	40.10	12945.0	0.033	8.66	0.37	0.37	2.79	0.339	630	PE	535	0.022	0.28	0.122	0.875	0.139	70	53
asse I destra	470.00	440.00	5.40	12980.1	0.025	6.50	0.42	0.42	3.44	0.321	630	PE	535	0.040	0.23	0.094	0.769	0.122	70	43
asse M (in vasca di calma)	300.00	300.00	0.00	13725.7	0.025	0.00	0.42	0.42	2.04	0.339	630	PE	535	0.010	0.37	0.165	1.049	0.158	70	69

6.1.5 Sistema di raccolta impianto di sollevamento asse O

Asse stradale	Progressiva		PORTATA SU SUPERFICIE SCOLANTE								CARATTERISTICHE DEL COLLETTORE									
	inizio	fine	L _{TOT} (m)	A _{ridotta} (m ²)	i	L _{eff} (m)	t _a (h)	t _c (h)	V (m/s)	Q _{max} (m ³ /s)	D (Φ)	Materiale	D _{int} (mm)	i _{cond}	h (m)	A	C	Ri	Ks	Riemp. (%)
asse S -O destra	56.60	225.00	98.50	640.3	0.027	7.00	0.05	0.09	0.63	0.025	315	PE	272	0.002	0.18	0.040	0.512	0.079	70	65.39
asse O destra	225.00	55.00	170.00	1490.3	0.025	5.02	0.13	0.20	0.69	0.052	400	PE	347	0.002	0.26	0.075	0.716	0.104	70	73.71
asse O destra	0.00	55.00	55.00	357.5	0.025	6.51	0.05	0.06	1.07	0.014	315	PE	272	0.015	0.08	0.013	0.303	0.044	70	27.92
asse T-O	51.00	210.00	96.00	624.0	0.025	6.58	0.05	0.09	0.58	0.024	315	PE	272	0.002	0.18	0.042	0.527	0.080	70	67.96
asse O sinistra	210.00	55.00	155.00	1399.0	0.025	5.02	0.14	0.20	0.69	0.050	400	PE	347	0.002	0.25	0.072	0.694	0.103	70	70.87

6.2 INTERASSI POZZETTI
6.2.1 Sistema di raccolta Vasca 1

carreggiata ciglio	Progressiva		PORTATA SUP. SCOLANTE					Portata canaletta ideale formata dal pavimentato					
	inizio	fine	b_{pav} (m)	i	L_{eff} (m)	t_a (min)	q_{max} ($m^3/(s*m)$)	i_l (m/m)	A (m^2)	C (m)	R (m)	Q_{max} (m^3/s)	INTERASSE DI PROG. (m)
asse A destro	285,00	380,00	17,50	0,025	17,527	4,67	0,00093	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,005	5
asse A destro	380,00	530,00	14,50	0,025	14,512	4,25	0,00080	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,004	5
asse A destro	530,00	635,00	28,00	0,025	28,022	5,90	0,00134	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,004	5
asse A destro	635,00	740,00	10,00	0,025	10,008	3,53	0,00060	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,004	5
asse A destro	740,00	805,00	15,00	0,025	15,012	4,32	0,00082	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,004	5
asse I destro	250,00	355,00	14,50	0,025	14,512	4,25	0,00080	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,004	5
asse L sinistro	420,00	460,00	9,50	0,025	9,508	3,44	0,00058	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,004	5
asse L sinistro	460,00	535,00	6,50	0,025	6,505	2,84	0,00043	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,004	10

6.2.2 Sistema di raccolta Vasca 2

carreggiata ciglio	Progressiva		PORTATA SUP. SCOLANTE					Portata canaletta ideale formata dal pavimentato					
	inizio	fine	b_{pav} (m)	i	L_{eff} (m)	t_a (min)	q_{max} ($m^3/(s*m)$)	i_l (m/m)	A (m^2)	C (m)	R (m)	Q_{max} (m^3/s)	INTERASSE DI PROG. (m)
asse C sinistro	0,00	360,00	6,50	0,027	7,001	2,88	0,00043	0,010	0,02813	1,53800	0,018	0,014	20
asse C sinistro	400,00	360,00	6,50	0,025	6,505	2,84	0,00043	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,004	10
asse B destra	600,00	524,00	6,50	0,025	6,505	2,84	0,00043	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,004	10
asse B destra	524,00	439,00	6,50	0,025	6,505	2,84	0,00043	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,004	10
asse B destra	439,00	379,00	6,50	0,059	15,236	3,28	0,00040	0,053	0,02813	1,53800	0,018	0,011	20
asse B destra	379,00	300,00	6,50	0,064	16,660	3,33	0,00040	0,059	0,02813	1,53800	0,018	0,033	20
asse B destra	300,00	260,00	6,50	0,065	16,900	3,33	0,00040	0,060	0,02813	1,53800	0,018	0,033	20
asse B sinistra	280,00	260,00	6,50	0,065	16,900	3,33	0,00040	0,060	0,02813	1,53800	0,018	0,033	20
asse B sinistra	175,00	260,00	16,00	0,025	16,115	4,46	0,00087	0,003	0,02813	1,53800	0,018	0,007	8
asse F destra	-46,00	31,00	6,50	0,025	6,505	2,84	0,00043	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,004	10
asse F destra	31,00	135,00	6,50	0,025	6,505	2,84	0,00043	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,004	10
asse F destra	135,00	176,00	6,50	0,060	15,472	3,28	0,00040	0,054	0,02813	1,53800	0,018	0,011	20
asse F destra	176,00	270,00	6,50	0,069	17,864	3,36	0,00040	0,064	0,02813	1,53800	0,018	0,035	20

6.2.3 Sistema di raccolta tratti non laminati

carreggiata ciglio	Progressiva		PORTATA SUP. SCOLANTE					Portata canaletta ideale formata dal pavimentato					
	inizio	fine	b _{pav} (m)	i	L _{eff} (m)	t _a (min)	q _{max} (m ³ /(s*m))	i _i (m/m)	A (m ²)	C (m)	R (m)	Q _{max} (m ³ /s)	INTERASSE DI PROG. (m)
asse N destra (in fognatura)	125,00	420,00	4,00	0,025	4,003	2,23	0,00029	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,004	10
asse N sinistra (in fognatura)	140,00	410,00	4,00	0,025	4,003	2,23	0,00029	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,004	10
asse Q sinistra (in fognatura)	295,00	190,00	7,00	0,025	7,006	2,95	0,00045	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,004	8
asse L sinistra (in fognatura)	280,00	170,00	6,50	0,026	6,685	2,86	0,00043	0,006	0,02813	1,53800	0,018	0,011	20
asse L sinistra (in fognatura)	105,00	170,00	6,50	0,026	6,685	2,86	0,00043	0,006	0,02813	1,53800	0,018	0,011	20
asse D destra (in fognatura)	250,00	155,00	5,00	0,025	5,004	2,49	0,00035	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,004	10
asse D destra (in fognatura)	105,00	155,00	5,00	0,025	5,004	2,49	0,00035	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,004	10
asse H destra	179,00	60,00	6,50	0,025	6,505	2,84	0,00043	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,004	10
asse D destra (in fognatura)	260,00	160,00	6,50	0,025	6,505	2,84	0,00043	0,001	0,02813	1,58530	0,018	0,004	8
asse F destra	270,00	300,00	6,50	0,025	6,583	2,85	0,00043	0,004	0,02813	1,53800	0,018	0,009	20
asse F destra	120,00	300,00	6,50	0,025	6,505	2,84	0,00043	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,004	10
asse F destra	300,00	340,00	7,80	0,025	7,806	3,11	0,00049	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,004	8
asse D destra	410,00	470,00	10,50	0,079	33,204	4,38	0,00057	0,075	0,02813	1,53800	0,018	0,011	15
asse D destra	470,00	525,00	10,50	0,025	10,508	3,61	0,00062	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,004	5
asse D destra (in fognatura)	525,00	605,00	18,00	0,025	18,028	4,73	0,00095	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,005	10
asse D destra	410,00	335,00	10,50	0,033	13,987	3,79	0,00061	0,022	0,02813	1,53800	0,018	0,011	15
asse D destra (in fognatura)	335,00	290,00	10,50	0,025	10,508	3,61	0,00062	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,004	5
asse E (in fognatura)	260,00	65,00	8,00	0,025	8,006	3,15	0,00050	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,004	8
assi S destra	95,00	60,00	14,00	0,025	14,011	4,17	0,00078	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,004	5
assi S destra	60,00	25,00	6,50	0,025	6,505	2,84	0,00043	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,004	10
assi S-O destra	25,00	230,00	8,00	0,025	8,006	3,15	0,00050	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,004	8
asse O destra	45,00	230,00	4,00	0,025	4,003	2,23	0,00029	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,004	10
asse O sinistra (in fognatura)	80,00	230,00	4,00	0,025	4,003	2,23	0,00029	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,004	10

6.2.4 di raccolta impianto di sollevamento

carreggiata ciglio	Progressiva		PORTATA SUP. SCOLANTE					Portata canaletta ideale formata dal pavimentato					
	inizio	fine	b_{pav} (m)	i	L_{eff} (m)	t_a (min)	q_{max} ($m^3/(s*m)$)	i_l (m/m)	A (m^2)	C (m)	R (m)	Q_{max} (m^3/s)	INTERASSE DI PROG. (m)
asse M sinistra	105,00	160,00	6,50	0,047	12,264	3,16	0,00041	0,040	0,02813	1,53800	0,018	0,027	20
asse M sinistra	160,00	200,00	6,50	0,066	17,140	3,34	0,00040	0,061	0,02813	1,53800	0,018	0,034	20
asse M sinistra	200,00	240,00	6,50	0,061	15,945	3,30	0,00040	0,056	0,02813	1,53800	0,018	0,032	20
asse M sinistra	240,00	280,00	6,50	0,034	8,832	2,99	0,00042	0,023	0,02813	1,53800	0,018	0,021	20
asse M sinistra	280,00	300,00	6,50	0,025	6,583	2,85	0,00043	0,004	0,02813	1,53800	0,018	0,009	20
asse P destra	425,00	200,00	21,00	0,025	21,151	5,12	0,00107	0,003	0,02813	1,53800	0,018	0,007	5
asse P sinistra	200,00	140,00	21,00	0,025	21,151	5,12	0,00107	0,003	0,02813	1,53800	0,018	0,007	5
asse P sinistra	140,00	75,00	17,00	0,025	17,027	4,60	0,00091	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,005	5
asse N sinistra	130,00	90,00	4,00	0,025	4,003	2,23	0,00029	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,004	10
asse I destra	360,00	440,00	14,00	0,025	14,011	4,17	0,00078	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,004	10
asse I destra	440,00	580,00	17,50	0,025	17,514	4,66	0,00093	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,004	10
asse L sinistra	535,00	620,00	6,50	0,025	6,505	2,84	0,00043	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,004	10
asse N destra	125,00	85,00	6,50	0,026	6,825	2,87	0,00043	0,008	0,02813	1,53800	0,018	0,012	20
asse P/M destra	80,00	35,00	6,50	0,046	12,044	3,15	0,00041	0,039	0,02813	1,53800	0,018	0,027	20
asse I destra	550,00	510,00	6,50	0,050	12,932	3,19	0,00041	0,043	0,02813	1,53800	0,018	0,028	20
asse I destra	510,00	470,00	6,50	0,033	8,658	2,98	0,00042	0,022	0,02813	1,53800	0,018	0,020	20
asse I destra	470,00	440,00	6,50	0,025	6,505	2,84	0,00043	0,001	0,02813	1,53800	0,018	0,004	10

6.3 DRENAGGIO ESTERNO

6.3.1 Fossi di guardia

Asse stradale	Progressiva		PORTATA SU SUPERFICIE SCOLANTE						CARATTERISTICHE DEL FOSSO									
	inizio	fine	L _{TOT} (m)	A _{ridotta} (m ²)	t _c (h)	V (m/s)	I (mm/h)	Q _{max} (m ³ /s)	Tipo	i	b (m)	d (m)	α °	Ks	A (m ²)	C (m)	R (m)	Riemp %
asse A sinistra (in tombino)	65,00	130,00	63,40	2038,0	0,10	0,82	192,86	0,109	A3	0,002	0,34	0,30	45	70	0,13	1,00	0,13	78%
asse C destra (in tombino)	350,00	255,00	97,90	1804,0	0,10	1,29	192,86	0,097	A3	0,008	0,33	0,30	45	70	0,08	0,77	0,10	51%
asse C destra	350,00	385,00	39,10	744,0	0,09	1,71	192,86	0,040	A3	0,035	0,33	0,30	45	70	0,02	0,50	0,05	20%
asse A sinistra	230,00	330,00	98,40	1465,0	0,11	1,05	192,86	0,078	A3	0,005	0,33	0,30	45	70	0,07	0,77	0,10	51%
asse A sinistra	330,00	335,00	6,40	2271,0	0,19	1,06	128,96	0,081	A3	0,005	0,33	0,30	45	70	0,08	0,77	0,10	52%
asse C sinistra	340,00	420,00	71,60	957,0	0,11	0,67	192,86	0,051	A3	0,002	0,33	0,30	45	70	0,08	0,77	0,10	52%
asse A sinistra	360,00	505,00	145,90	6974,0	0,32	0,89	108,21	0,210	B2	0,002	1,10	0,50	63	70	0,23	1,54	0,15	39%
asse D-L	270,00	225,00	162,40	2656,0	0,12	1,23	192,86	0,142	A3	0,005	0,33	0,30	45	70	0,12	0,93	0,12	70%
asse A sinistra	505,00	510,00	5,60	9708,0	0,41	0,94	90,14	0,243	B2	0,002	1,10	0,50	63	70	0,26	1,58	0,16	43%
asse L sinistra	210,00	290,00	81,20	3044,0	0,10	1,27	192,86	0,163	A3	0,005	0,34	0,30	45	70	0,13	0,98	0,13	76%
asse A sinistra	575,00	670,00	94,40	17117,0	0,52	1,00	82,29	0,391	B1	0,002	1,66	0,50	63	70	0,39	2,15	0,18	44%
asse M sinistra	160,00	90,00	65,80	2575,0	0,10	1,38	192,86	0,138	A3	0,007	0,33	0,30	45	70	0,10	0,87	0,11	63%
asse L sinistra	440,00	520,00	73,80	20689,0	0,62	1,03	74,71	0,429	B1	0,002	1,66	0,50	63	70	0,42	2,19	0,19	47%
asse L destra	530,00	535,00	14,80	21005,0	0,71	1,01	69,24	0,404	B1	0,002	1,67	0,50	63	70	0,40	2,17	0,18	45%
asse I destra	400,00	365,00	32,70	1708,0	0,09	1,10	192,86	0,392	B2	0,002	1,02	0,50	63	70	0,36	1,70	0,21	61%
asse I destra	340,00	245,00	83,80	25967,0	0,81	1,27	65,46	0,772	B1	0,002	1,60	0,50	63	70	0,61	2,37	0,26	69%
asse I sinistra	340,00	295,00	46,40	656,0	0,10	0,60	192,86	0,035	A3	0,002	0,33	0,30	45	70	0,06	0,69	0,08	42%
asse A sinistra	770,00	855,00	90,60	1166,0	0,12	0,71	192,86	0,062	A3	0,002	0,33	0,30	45	70	0,09	0,83	0,11	58%
asse A sinistra	855,00	870,00	7,40	2016,0	0,21	0,73	125,99	0,071	A3	0,002	0,33	0,30	45	70	0,10	0,86	0,11	62%
asse A sinistra	915,00	1025,00	101,40	32006,0	1,12	1,28	55,93	0,797	B1	0,002	1,60	0,50	63	70	0,62	2,39	0,26	70%
asse A sinistra	1005,00	1160,00	156,40	4170,0	0,13	0,97	192,86	0,223	A2	0,002	0,56	0,50	45	70	0,23	1,34	0,17	55%
asse A sinistra	1025,00	1160,00	156,40	34283,0	1,24	1,19	53,53	0,810	A1	0,002	1,09	1,00	45	70	0,68	2,34	0,29	44%

6.3.2 Attraversamenti con collettori

Asse stradale	Progressiva		SUP. SCOLANTE					CARATTERISTICHE DEL COLLETTORE								
	inizio	fine	L _{TOT} (m)	V (m/s)	A _{ridotta} (m ²)	t _c (h)	Q _{max} (m ³ /s)	Materiale	D _{int} (mm)	i _{cond}	r (m)	A	C	Ri	Ks	Riemp %
asse A sinistra (in fosso esistente)	130.00	145.00	21.00	0.96	2038.00	0.11	0.100	CLS	600	0.004	0.30	0.104	0.816	0.127	60	40
asse C (in tombino esistente)	255.00	255.00	8.90	1.34	1804.00	0.10	0.088	CLS	600	0.011	0.30	0.066	0.676	0.098	60	29
asse A sinistra	335.00	360.00	25.50	0.96	744.00	0.09	0.074	CLS	600	0.005	0.30	0.077	0.718	0.107	60	32
asse A sinistra	510.00	575.00	58.00	0.91	1465.00	0.11	0.219	CLS	800	0.002	0.40	0.242	1.232	0.196	60	48
asse A sinistra	665.00	710.00	53.36	1.10	2271.00	0.19	0.477	CLS	1000	0.002	0.50	0.434	1.653	0.262	60	54
asse L	520.00	530.00	19.55	1.04	957.00	0.11	0.385	CLS	1000	0.002	0.50	0.369	1.524	0.242	60	48
asse I	360.00	350.00	22.85	1.03	6974.00	0.32	0.361	CLS	1000	0.002	0.50	0.352	1.490	0.236	60	46
asse I destra	360.00	350.00	10.18	1.03	2656.00	0.12	0.384	CLS	800	0.002	0.40	0.373	1.578	0.237	60	70
asse I destra	350.00	340.00	5.23	1.20	9708.00	0.41	0.745	CLS	1000	0.002	0.50	0.619	2.061	0.300	60	74
asse A	870.00	915.00	50.06	1.30	3044.00	0.10	0.064	CLS	600	0.013	0.30	0.050	0.603	0.083	60	23
asse A	1025.00	1020.00	5.60	0.86	17117.00	0.52	0.204	CLS	600	0.002	0.30	0.236	1.297	0.182	60	78

7. VERIFICHE STATICHE

7.1 VERIFICA STATICA TUBI IN PEAD

7.1.1 Metodologia

Il dimensionamento statico della tubazione in PEAD è eseguito considerando un comportamento di tipo “flessibile”.

Nel caso di tubazione a comportamento “flessibile” si ammette che la rottura sopraggiunga quando le deformazioni hanno raggiunto livelli inaccettabili, rendendo vane le ipotesi idrauliche e creando discontinuità sui giunti; le deformazioni vengono valutate con l’equazione di Marston-Spangler:

$$\Delta x = \frac{Q \times K \times F}{\frac{EI}{r^3} + 0.061 \times E_t}$$

dove Δx è la deformazione diametrale nel senso orizzontale (che per l’ineestensibilità delle fibre del materiale costituente il tubo è anche quella verticale), E è il modulo elastico del materiale mentre E_t è il modulo elastico del terreno; I ed r sono rispettivamente momento d’inerzia della parete del tubo per unità di lunghezza e raggio medio del tubo, mentre K è un coefficiente che dipende dal tipo di appoggio della tubazione (sella di CIs, sabbia costipata ecc.) ed F è un coefficiente che considera la deformazione differita nel tempo. La deformazione così calcolata dovrà essere minore della massima ammissibile assunta pari al 5% del diametro medio.

METODO DI VERIFICA SECONDO MARSTON-SPANGLER

Tale metodologia esegue la verifica statica di una tubazione interrata determinando i carichi permanenti e accidentali che gravano su di essa, il carico idraulico e le reazioni del terreno, valutando conseguentemente le tensioni gravanti sulla generatrice superiore della stessa e verificando che non venga raggiunto, con un opportuno coefficiente di sicurezza, lo stato limite di deformazione.

DETERMINAZIONE DEI CARICHI DOVUTI AL RINTERRO

Nella determinazione del carico permanente che sollecita una condotta interrata un ruolo importante è riservato all’azione del rinterro. L’analisi dello stato del terreno, rimosso e riportato, nel rapporto con le possibili forme della trincea e con i cedimenti legati al terreno stesso e a quelli che la condotta può subire come corpo rigido, porta a diverse configurazioni di carico, che sono state valutate partendo dalla Norma UNI 7517.

Posa in trincea stretta

La norma UNI considera una condotta posata in trincea stretta quando sia soddisfatta una delle seguenti condizioni:

- 1) $B < 2DN$ con $H > 1.5B$
- 2) $2DN < B < 3DN$ con $H > 3.5B$

In questo caso il peso del rinterro Q gravante sul cielo della tubazione è diminuito, rispetto a quello corrispondente al suo volume, per l'azione che l'attrito svolge nel contatto tra il terreno indisturbato e il rinterro: tale azione viene riassunta nel coefficiente χ :

$$\chi = \frac{1 - e^{(-2 \times K_a \times \frac{H}{B} \times \tan \delta)}}{2 \times K_a \times \tan \delta}$$

dove H è l'altezza del terreno sulla generatrice superiore della tubazione; B è la larghezza della trincea; K_a è il coefficiente di spinta attiva e δ è l'angolo di attrito tra le pareti della trincea e il terreno di ricoprimento.

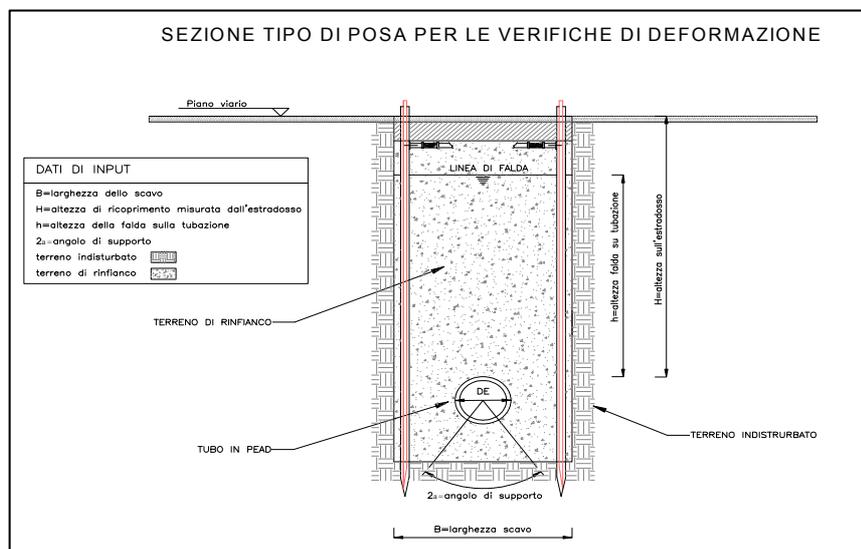


Figura 6.1 – Sezione tipo di posa

Posa in trincea larga

Una trincea si considera larga, quando non è soddisfatta nessuna delle condizioni indicate nel paragrafo precedente. In essa viene meno la collaborazione attrittiva delle pareti della trincea, che ora sono notevolmente distanti dal prisma di terreno direttamente gravante sul cielo della tubazione.

Per semplicità, in virtù di tale osservazione si considera in tal caso come carico da rinterro la quantità derivante dalla seguente:

$$Q_{st} = \gamma_t \times De \times H$$

AZIONE DEI SOVRACCARICHI VERTICALI

Le modalità di diffusione del carico superficiale, principalmente per la necessità di determinare quale sia l'estensione di condotta esposta alla sua azione, sono legate oltre che alla profondità, al tipo di carico, alla

distribuzione dei carichi concentrati, all'interasse delle ruote, per un carico mobile, e all'estensione del carico se distribuito.

Il processo di diffusione di un carico statico verticale in un mezzo continuo isotropo fu trattato da J.Boussinesq, e ripreso successivamente da altri autori per riproporre i risultati in forma di tabella in funzione delle grandezze geometriche che individuano la trincea (d_e, B, H, l, L) ove l è la lunghezza della condotta interessata dal carico esterno, mentre L è quella dell'orma del carico esterno, assumendo come parametri fondamentali $d_e/2H$ o $B/2H$ e $L/2H$ oppure $l/2H$.

Carichi concentrati secondo il convoglio tipo (DIN 1072)

I convogli tipo considerati sono quelli indicati dalla norma DIN 1072 e sono i tipi di autocarro: pesante HT e leggero LT.

Classe	Carico per ruota P (KN)	Classe	Carico per ruota (KN)	
			Anteriore Pa	Posteriore Pp
HT60	100	LT12	20	40
HT45	75	LT6	10	20
HT38	62.5	LT3	5	10
HT30	50			
HT26	35			

Tabella 6.1 – Carichi dinamici (DIN 1072)

Il carico dinamico Q_d [kN/m] sulla generatrice superiore del tubo è dato da:

$$Q_d = \sigma_z \times De \times \omega$$

dove:

σ_z è la pressione verticale al livello della generatrice superiore del tubo, dovuto ai sovraccarichi mobili concentrati di convogli tipo ed è ricavabile da grafici forniti dalla normativa;

De è il diametro esterno della tubazione;

ω è il fattore dinamico.

Ponendo $a=1.00$ m e $b=1.50$ m con il significato indicato in figura, i convogli tipo sono rappresentate dalle formule di interpolazione:

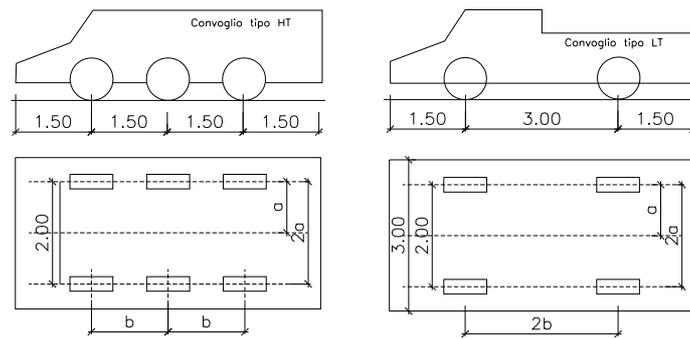


Figura 6.2 – Convogli tipo

$$\text{Convoglio HT: } \sigma_z = 0.5281 \times \frac{P}{H^{1.0461}}$$

$$\text{Convoglio LT: } \sigma_z = 0.8743 \times \frac{P}{H^{1.5194}}$$

I valori così calcolati vanno incrementati del coefficiente dinamico ω che tiene conto della natura dinamica dell'applicazione del carico:

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

$$\omega = 1 + 0.6/H \quad \text{per ferrovie.}$$

Sovraccarichi distribuiti

I sovraccarichi distribuiti dovuti al traffico veicolare si considerano essenzialmente in presenza di cingolati e simili che si assume non interessino l'autostrada in esame. Risultando quindi più gravosa la presenza del carico dinamico concentrato si omette la verifica in presenza di sovraccarichi distribuiti.

AZIONE DELL'ACQUA

Se la condotta è posta in un terreno interessato da una falda freatica è da porre in conto la pressione (idrostatica) che la falda esercita sulla condotta:

$$Q_{idr} = \gamma_w \times h \times De$$

dove:

γ_w è il peso specifico dell'acqua;

h è la distanza tra il livello di falda e la generatrice superiore del tubo;

De è il diametro esterno della tubazione.

VERIFICA ALLA DEFORMAZIONE

L'impostazione derivata dallo schema statico di Spangler, che indaga lo stato di sollecitazione che si produce in una condotta sottoposta ai carichi analizzati sinora, assumendo una distribuzione parabolica della spinta passiva simmetrica rispetto al diametro orizzontale e applicata per un'ampiezza laterale di 100°, porta

all'utilizzo della seguente relazione nella quale, indicato con E_t il modulo di elasticità del terreno secondo Winkler e con SN la rigidezza circonferenziale della condotta calcolata secondo la EN-ISO 9969, la deformazione Δ_d del diametro orizzontale ottenuta da Spangler è data dalla relazione:

$$\Delta d = \frac{Q \times K \times F}{8 \times SN + 0.061 \times E_t}$$

Il coefficiente K è un parametro dipendente dall'angolo di supporto 2α . F è un termine che tiene in conto l'incremento di deformazione che la condotta potrà subire nel tempo: una deformazione differita, dunque, con F da assumersi tra 1.25 e 1.50 in fase di progettazione secondo il suggerimento di Spangler. La deformazione così ottenuta, rapportata al diametro della tubazione oggetto di verifica, non deve superare il valore limite, suggerito dallo stesso Spangler, del 5%.

Si riporta il quadro riassuntivo delle simbologie usate con le relative unità di misura e le tabelle con il calcolo effettuato con il metodo di Spangler per le tubazioni in PEAD per i diametri utilizzati e con la minima altezza di ricoprimento per ogni diametro, assunta pari rispettivamente a 0,5 m.

7.2 TABELLE DI CALCOLO
Termini usati e relative unità di misura

Sigla	Norma tecnica	Note
CEN	Comitato Europeo Normalizzazione	Indica norme in preparazione
EN	Normativa Europea	
ISO	Normativa Internazionale	
UNI	Normativa Italiana	
DIN	Normativa Tedesca	
ASTM	Normativa Americana	
ATV	Norme Tecniche Tedesche per fognature	

Grandezza	Simbolo	Unità di misura	Note
Altezza della falda sulla tubazione	h	m	
Altezza di ricopertura	H	m	
Angolo di attrito efficace	δ	°	
Angolo di attrito interno	φ	°	
Angolo di supporto	2α	°	
Carico ausiliario esterno	F_e	kN	
Carico ausiliario interno	F_a	kN	
Carico dinamico	Q_d	kN/m	
Carico dinamico generico	Q_{vc}	m	
Carico idrostatico	Q_{idr}	kN/m	
Carico per ruota (DIN 1072)	P	kN/ruota	
Carico ripartito in superficie	q	kN/m ²	
Carico statico (Spangler)	Q_{st}	kN/m	
Carico statico generico	Q_{vd}	kN/m	
Carico totale	Q	kN/m	
Coefficiente di deformazione differita	F		
Coefficiente d'attrito per il carico ripartito	χ_0		
Coefficiente d'attrito trincea/rinterro	χ		
Coefficiente di deformazione del diametro	C_{v^*}		
Coefficiente di deformazione diametrale	C_{v1}		
Coefficiente di deformazione diametrale	C_{v2}		
Coefficiente di deformazione diametrale	C_{h1}		
Coefficiente di deformazione diametrale	C_{h2}		
Coefficiente di diffusione dinamica	C_d		
Coefficiente di impatto	ϕ		
Coefficiente di penetrazione	α_d		
Coefficiente di pressione della reazione	K^*		
Coefficiente di proiezione relativa	i'		
Coefficiente di sicurezza	y		
Coefficiente di sottofondo	K		
Coefficiente di spinta attiva (Spangler)	K_a		
Coefficiente di spinta del rinfiacco	K_2		
Coefficiente di spinta orizzontale rinterro	K_1		Valore fisso 0,5
Coefficiente di subsidenza	f		
Coefficiente d'impatto generico	m		
Coefficiente dinamico	ω		
Coefficiente di carico statico	C_t		
Deformazione assoluta	Δd	mm	

Deformazione relativa %	δ	kN/m^2	
Diametro esterno	d_e	m	
Diametro medio	d_m	m	
Diametro nominale	DN	mm	
Distanza del carico dinamico dalla tubazione	a	m	
Fattore di concentrazione del sistema	λ_{pg}		
Fattore di concentrazione massima	λ_{max}		
Fattore di concentrazione suolo	λ_b		
Fattore di concentrazione tubo	λ_p		
Fattore di correzione	a_f		
Fattore di correzione di rigidezza	ζ		
Grado di compattazione Proctor	D_{pr}	%	
Interasse tra le ruote per convogli tipo (DIN 1072)	b	m	
Larghezza trincea	B	m	
Lunghezza della condotta sotto carico esterno	l	m	
Lunghezza dell'orma del carico esterno	L	m	
Modulo di elasticità del PEAD	E_m	kN/m^2	
Modulo di elasticità del terreno (ASTM 2487)	E_t	kN/m^2	
Modulo di elasticità terreno di rinfiacco	E_2	kN/m^2	
Modulo di elasticità terreno di rinterro	E_1	kN/m^2	
Modulo di elasticità trincea (fondo)	E_4	kN/m^2	
Modulo di elasticità trincea (parete)	E_3	kN/m^2	
Modulo di resilienza	Δf		
Peso specifico del terreno	γ_t	kN/m^3	
Peso specifico del terreno secco	γ_s	kN/m^3	
Peso specifico dell'acqua	γ_w	kN/m^3	
Peso specifico sommerso del riempimento	γ'	kN/m^3	
Porosità	n	%	
Proiezione relativa	i		
Raggio ausiliario esterno	r_e	m	
Raggio ausiliario interno	r_a	m	
Raggio medio	r_m	m	
Rapporto di rigidezza	V_s		
Rigidezza circonferenziale (EN ISO 9969)	SN	kN/m^2	
Rigidezza del sistema	V_{rb}		
Rigidezza del tubo	S_p	kN/m^2	
Rigidezza orizzontale del rinfiacco	S_{bh}	kN/m^2	
Rigidezza verticale del rinfiacco	S_{bv}	kN/m^2	
Spessore minimo della tubazione	s	mm	
Tensione critica	Q_{vc}	kN/m^2	
Tensione critica di buckling	Q_{bc}	kN/m^2	
Tensione dinamica (ATV)	p_f	kN/m^2	
Tensione dinamica (Boussinesq)	σ_z	kN/m^2	
Tensione dinamica totale	P_{din}	kN/m^2	
Tensione idrostatico	P_{idr}	kN/m^2	
Tensione laterale	Q_h	kN/m^2	
Tensione laterale di supporto	Q^*_h	kN/m^2	
Tensione statica di rinterro	P_g	kN/m^2	
Tensione statica per carichi distribuiti	P_s	kN/m^2	
Tensione statica totale	P_{st}	kN/m^2	
Tensione verticale	Q_v	kN/m^2	

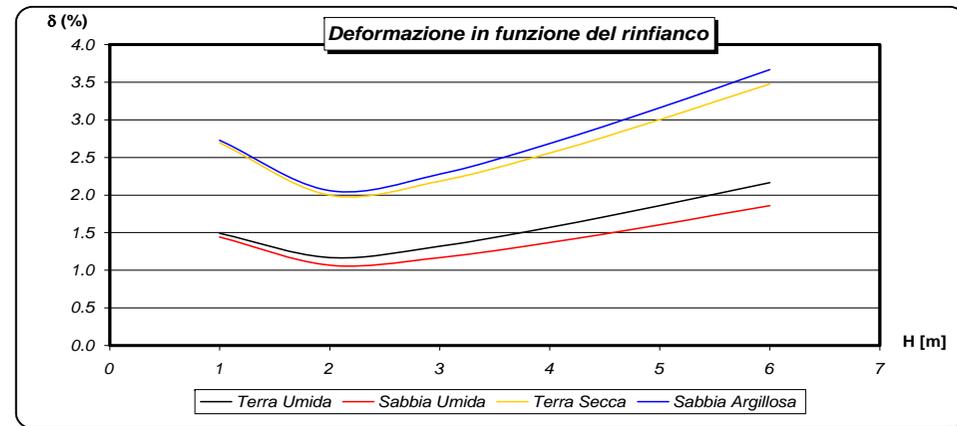
7.2.1 Verifica secondo Marston-Sprangler DN 800 Altezza di copertura H=0,50 m

Verifica secondo Marston-Sprangler			
Dati dimensionali del Tubo			
Diametro	DN =	800	mm
Rigidità circonferenziale (EN ISO 9969)	SN =	8	kN/m ²
Modulo di elasticità	E _m =	150000	kN/m ²
Tipo di parete	Corrugato		
Dati dello scavo			
Larghezza	B =	1.100	m
Altezza sull'estradosso	H =	0.50	m
Tipologia del terreno indisturbato	Argilla fangosa		
Tipologia del terreno di rinfianco	Terreno misto compatto		
Peso specifico rinterro	γ _r =	20	kN/m ³
Angolo di attrito interno	φ =	24	°
Coeff. di attrito rinterro/pareti	μ =	0.45	
Angolo di supporto	2α =	60	°
Tipo di compattazione	Alta		
Modulo di elasticità terreno	E _t =	14000	kN/m ²
Altezza della falda sulla tubazione	h =	0	m
Peso specifico sommerso del riempimento	γ' =	16.4	
Verifica tipo di trincea (UNI 7517)	Trincea larga		
Determinazione carico statico			
Coeff. di spinta attiva	K _a =	0.422	
Coeff. di carico statico	χ =	0.418	
Carico idrostatico	Q _{idr} =	0.000	kN/m
Carico statico	Q _{st} =	8.000	kN/m
Determinazione carico dinamico			
Tipologia di traffico (DIN 1072)	HT60		
Carico per ruota	P =	100	kN/ruota
Coeff. dinamico	ω =	1.6	
Tensione dinamica	σ _d =	109.049	kN/m ²
Carico dinamico	Q _d =	139.583	kN/m
Carico totale	Q =	147.583	kN/m
Coeff. di sottofondo	K =	0.103	
Coeff. di deformazione differita	F =	1.5	
Deformazione assoluta	Δd =	24.84	mm
Deformazione relativa %	δ =	3.105	%
Tubazione verificata			

Tabelle riassuntive													
Deformazione % in funzione della compattazione del rinfianco (Tabella 2)													
SN = 8													
DN	Rinfianco	H = 1 m				H = 2 m				H = 3 m			
		R	L	M	A	R	L	M	A	R	L	M	A
800	Sabbia umida	12.40	5.64	2.70	1.44	9.18	4.17	2.00	1.07	10.05	4.57	2.18	1.17
	Sabbia argillosa	15.69	8.96	5.70	2.73	11.84	6.76	4.30	2.06	13.11	7.49	4.76	2.28
	Terra secca	15.50	8.86	5.64	2.70	11.48	6.56	4.17	2.00	12.56	7.18	4.57	2.18
	Terra umida**	12.84	5.83	2.79	1.49	10.05	4.57	2.18	1.17	11.35	5.16	2.47	1.32
DN	Rinfianco	H = 4 m				H = 5 m				H = 6 m*			
		R	L	M	A	R	L	M	A	R	L	M	A
800	Sabbia umida	11.77	5.35	2.56	1.37	13.81	6.28	3.00	1.61	16.00	7.27	3.48	1.86
	Sabbia argillosa	15.44	8.82	5.61	2.68	18.17	10.38	6.61	3.16	21.09	12.05	7.67	3.67
	Terra secca	14.72	8.41	5.35	2.56	17.27	9.87	6.28	3.00	20.00	11.43	7.27	3.48
	Terra umida**	13.51	6.14	2.94	1.57	15.99	7.26	3.47	1.86	18.61	8.46	4.04	2.16

*Ci si è limitati ai 6 metri in quanto gli usuali escavatori operano fino a profondità nell'ordine dei 6 metri, con magisteri di sostegno via via più impegnativi e costosi a misura che aumenta con la profondità.

**Occorre sottolineare come la tipologia "Terra Umida", pur geotecnicamente adatta all'uso, può presentare pietre e materiali vari che possono mettere in crisi la tubazione.



Tipo di compattazione: **alta**

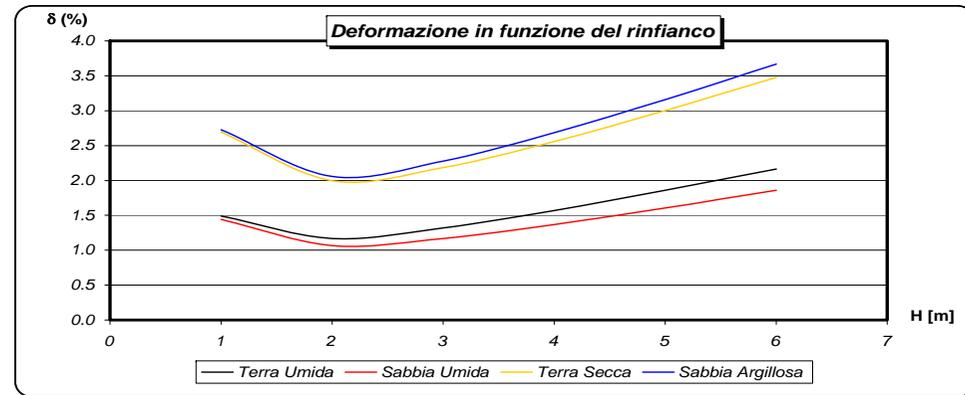
7.2.2 Verifica secondo Marston-Sprangler DN 630 Altezza di copertura H=0,50 m

Verifica secondo Marston-Sprangler			
Dati dimensionali del Tubo			
Diametro	DN =	630	mm
Rigidezza circonferenziale (EN ISO 9969)	SN =	8	kN/m ²
Modulo di elasticità	E_m =	150000	kN/m ²
Tipo di parete	Corrugato		
Dati dello scavo			
Larghezza	B =	1.000	m
Altezza sull'estradosso	H =	0.50	m
Tipologia del terreno indisturbato	Argilla fangosa		
Tipologia del terreno di rinfiacco	Terreno misto compatto		
Peso specifico rinterro	γ_t =	20	kN/m ³
Angolo di attrito interno	φ =	24	°
Coeff. di attrito rinterro/pareti	μ =	0.45	
Angolo di supporto	2α =	60	°
Tipo di compattazione	Alta		
Modulo di elasticità terreno	E_t =	14000	kN/m ²
Altezza della falda sulla tubazione	h =	0	m
Peso specifico sommerso del riempimento	γ' =	16.4	
Verifica tipo di trincea (UNI 7517)	Trincea larga		
Determinazione carico statico			
Coeff. di spinta attiva	K_a =	0.422	
Coeff. di carico statico	χ =	0.456	
Carico idrostatico	Q_{id} =	0.000	kN/m
Carico statico	Q_{st} =	6.300	kN/m
Determinazione carico dinamico			
Tipologia di traffico (DIN 1072)	HT60		
Carico per ruota	P =	100	kN/ruota
Coeff. dinamico	ω =	1.6	
Tensione dinamica	σ_z =	109.049	kN/m ²
Carico dinamico	Q_d =	109.922	kN/m
Carico totale	Q =	116.222	kN/m
Coeff. di sottofondo	K =	0.103	
Coeff. di deformazione differita	F =	1.5	
Deformazione assoluta	Δd =	19.56	mm
Deformazione relativa %	δ =	3.105	%
Tubazione verificata			

Tabelle riassuntive													
Deformazione % in funzione della compattazione del rinfiacco (Tabella 2)													
SN = 8													
DN	Rinfiacco	H = 1 m				H = 2 m				H = 3 m			
		R	L	M	A	R	L	M	A	R	L	M	A
630	Sabbia umida	12.40	5.64	2.70	1.44	9.18	4.17	2.00	1.07	10.05	4.57	2.18	1.17
	Sabbia argillosa	15.69	8.96	5.70	2.73	11.84	6.76	4.30	2.06	13.11	7.49	4.76	2.28
	Terra secca	15.50	8.86	5.64	2.70	11.48	6.56	4.17	2.00	12.56	7.18	4.57	2.18
	Terra umida**	12.84	5.83	2.79	1.49	10.05	4.57	2.18	1.17	11.35	5.16	2.47	1.32
DN	Rinfiacco	H = 4 m				H = 5 m				H = 6 m*			
		R	L	M	A	R	L	M	A	R	L	M	A
630	Sabbia umida	11.77	5.35	2.56	1.37	13.81	6.28	3.00	1.61	16.00	7.27	3.48	1.86
	Sabbia argillosa	15.44	8.82	5.61	2.68	18.17	10.38	6.61	3.16	21.09	12.05	7.67	3.67
	Terra secca	14.72	8.41	5.35	2.56	17.27	9.87	6.28	3.00	20.00	11.43	7.27	3.48
	Terra umida**	13.51	6.14	2.94	1.57	15.99	7.26	3.47	1.86	18.61	8.46	4.04	2.16

*Ci si è limitati ai 6 metri in quanto gli usuali escavatori operano fino a profondità nell'ordine dei 6 metri, con magisteri di sostegno via via più impegnativi e costosi a misura che aumenta con la profondità.

**Occorre sottolineare come la tipologia "Terra Umida", pur geotecnicamente adatta all'uso, può presentare pietre e materiali vari che possono mettere in crisi la tubazione.



Tipo di compattazione: **alta**

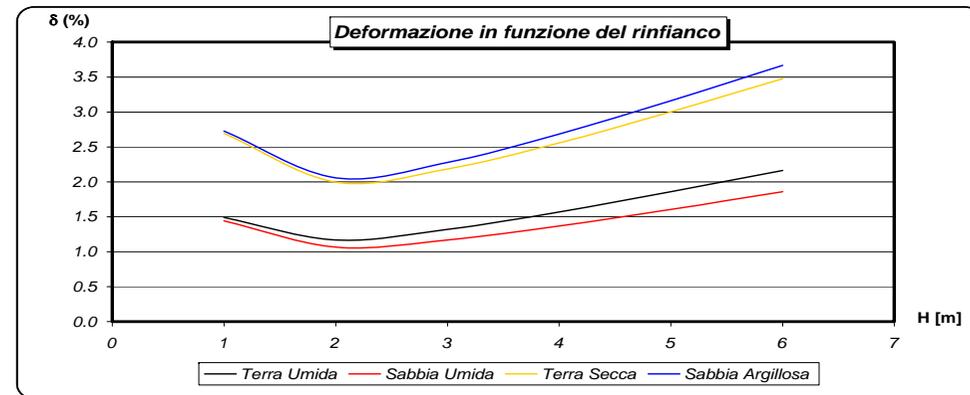
7.2.3 Verifica secondo Marston-Sprangler DN 500 Altezza di copertura H=0,50 m

Verifica secondo Marston-Sprangler			
Dati dimensionali del Tubo			
Diametro	DN =	500	mm
Rigidezza circonferenziale (EN ISO 9969)	SN =	8	kN/m ²
Modulo di elasticità	E_m =	150000	kN/m ²
Tipo di parete	Corrugato		
Dati dello scavo			
Larghezza	B =	0.800	m
Altezza sull'estradosso	H =	0.50	m
Tipologia del terreno indisturbato	Argilla fangosa		
Tipologia del terreno di rinfianco	Terreno misto compatto		
Peso specifico rinterro	γ_t =	20	kN/m ³
Angolo di attrito interno	φ =	24	°
Coeff. di attrito rinterro/pareti	μ =	0.45	°
Angolo di supporto	2α =	60	°
Tipo di compattazione	Alta		
Modulo di elasticità terreno	E_t =	14000	kN/m ²
Altezza della falda sulla tubazione	h =	0	m
Peso specifico sommerso del riempimento	γ' =	16.4	kN/m ³
Verifica tipo di trincea (UNI 7517)	Trincea larga		
Determinazione carico statico			
Coeff. di spinta attiva	K_a =	0.422	
Coeff. di carico statico	χ =	0.557	
Carico idrostatico	Q_{idr} =	0.000	kN/m
Carico statico	Q_{st} =	5.000	kN/m
Determinazione carico dinamico			
Tipologia di traffico (DIN 1072)	HT60		
Carico per ruota	P =	100	kN/ruota
Coeff. dinamico	ω =	1.6	
Tensione dinamica	σ_z =	109.049	kN/m ²
Carico dinamico	Q_d =	87.240	kN/m
Carico totale	Q =	92.240	kN/m
Coeff. di sottofondo	K =	0.103	
Coeff. di deformazione differita	F =	1.5	
Deformazione assoluta	Δ d =	15.52	mm
Deformazione relativa %	δ =	3.105	%
Tubazione verificata			

Tabella riassuntive													
Deformazione % in funzione della compattazione del rinfianco (Tabella 2)													
SN = 8													
DN	Rinfianco	H = 1 m				H = 2 m				H = 3 m			
		R	L	M	A	R	L	M	A	R	L	M	A
500	Sabbia umida	12.40	5.64	2.70	1.44	9.18	4.17	2.00	1.07	10.05	4.57	2.18	1.17
	Sabbia argillosa	15.69	8.96	5.70	2.73	11.84	6.76	4.30	2.06	13.11	7.49	4.76	2.28
	Terra secca	15.50	8.86	5.64	2.70	11.48	6.56	4.17	2.00	12.56	7.18	4.57	2.18
	Terra umida**	12.84	5.83	2.79	1.49	10.05	4.57	2.18	1.17	11.35	5.16	2.47	1.32
DN	Rinfianco	H = 4 m				H = 5 m				H = 6 m*			
		R	L	M	A	R	L	M	A	R	L	M	A
500	Sabbia umida	11.77	5.35	2.56	1.37	13.81	6.28	3.00	1.61	16.00	7.27	3.48	1.86
	Sabbia argillosa	15.44	8.82	5.61	2.68	18.17	10.38	6.61	3.16	21.09	12.05	7.67	3.67
	Terra secca	14.72	8.41	5.35	2.56	17.27	9.87	6.28	3.00	20.00	11.43	7.27	3.48
	Terra umida**	13.51	6.14	2.94	1.57	15.99	7.26	3.47	1.86	18.61	8.46	4.04	2.16

*Ci si è limitati ai 6 metri in quanto gli usuali escavatori operano fino a profondità nell'ordine dei 6 metri, con magisteri di sostegno via via più impegnativi e costosi a misura che aumenta con la profondità.

**Occorre sottolineare come la tipologia "Terra Umida", pur geotecnicamente adatta all'uso, può presentare pietre e materiali vari che possono mettere in crisi la tubazione.



Tipo di compattazione: **alta**

7.2.4 Verifica secondo Marston-Sprangler DN 400 Altezza di copertura H=0,50 m

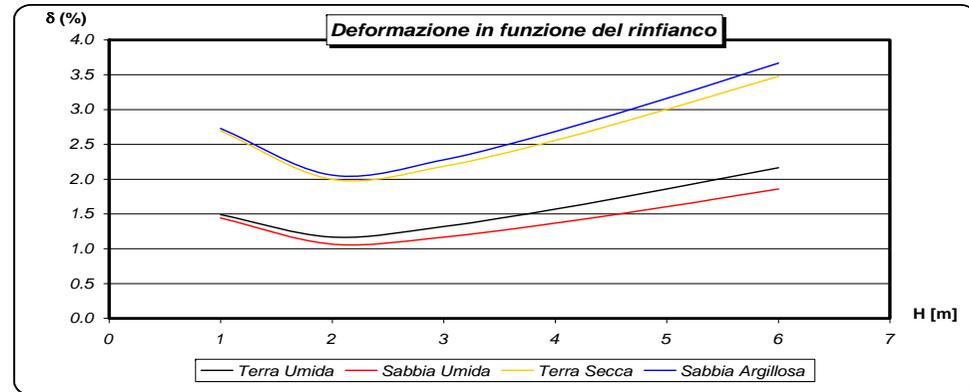
Verifica secondo Marston-Sprangler			
Dati dimensionali del Tubo			
Diametro	DN =	400	mm
Rigidezza circonferenziale (EN ISO 9969)	SN =	8	kN/m ²
Modulo di elasticità	E_m =	150000	kN/m ²
Tipo di parete	Corrugato		
Dati dello scavo			
Larghezza	B =	0.700	m
Altezza sull'estradosso	H =	0.50	m
Tipologia del terreno indisturbato	Argilla fangosa		
Tipologia del terreno di rinfianco	Terreno misto compatto		
Peso specifico rinterro	γ_r =	20	kN/m ³
Angolo di attrito interno	φ =	24	°
Coeff. di attrito rinterro/pareti	μ =	0.45	
Angolo di supporto	2α =	60	°
Tipo di compattazione	Alta		
Modulo di elasticità terreno	E_t =	14000	kN/m ²
Altezza della falda sulla tubazione	h =	0	m
Peso specifico sommerso del riempimento	γ' =	16.4	
Verifica tipo di trincea (UNI 7517)	Trincea larga		
Determinazione carico statico			
Coeff. di spinta attiva	K_a =	0.422	
Coeff. di carico statico	χ =	0.627	
Carico idrostatico	Q_{idr} =	0.000	kN/m
Carico statico	Q_{st} =	4.000	kN/m
Determinazione carico dinamico			
Tipologia di traffico (DIN 1072)	HT60		
Carico per ruota	P =	100	kN/ruota
Coeff. dinamico	ω =	1.6	
Tensione dinamica	σ_z =	109.049	kN/m ²
Carico dinamico	Q_d =	69.792	kN/m
Carico totale	Q =	73.792	kN/m
Coeff. di sottofondo	K =	0.103	
Coeff. di deformazione differita	F =	1.5	
Deformazione assoluta	Δd =	12.42	mm
Deformazione relativa %	δ =	3.105	%
Tubazione verificata			

Tabelle riassuntive													
Deformazione % in funzione della compattazione del rinfianco (Tabella 2)													
SN = 8													
DN	Rinfianco	H = 1 m				H = 2 m				H = 3 m			
		R	L	M	A	R	L	M	A	R	L	M	A
400	Sabbia umida	12.40	5.64	2.70	1.44	9.18	4.17	2.00	1.07	10.05	4.57	2.18	1.17
	Sabbia argillosa	15.69	8.96	5.70	2.73	11.84	6.76	4.30	2.06	13.11	7.49	4.76	2.28
	Terra secca	15.50	8.86	5.64	2.70	11.48	6.56	4.17	2.00	12.56	7.18	4.57	2.18
	Terra umida**	12.84	5.83	2.79	1.49	10.05	4.57	2.18	1.17	11.35	5.16	2.47	1.32

DN	Rinfianco	H = 4 m				H = 5 m				H = 6 m*			
		R	L	M	A	R	L	M	A	R	L	M	A
400	Sabbia umida	11.77	5.35	2.56	1.37	13.81	6.28	3.00	1.61	16.00	7.27	3.48	1.86
	Sabbia argillosa	15.44	8.82	5.61	2.68	18.17	10.38	6.61	3.16	21.09	12.05	7.67	3.67
	Terra secca	14.72	8.41	5.35	2.56	17.27	9.87	6.28	3.00	20.00	11.43	7.27	3.48
	Terra umida**	13.51	6.14	2.94	1.57	15.99	7.26	3.47	1.86	18.61	8.46	4.04	2.16

*Ci si è limitati ai 6 metri in quanto gli usuali escavatori operano fino a profondità nell'ordine dei 6 metri, con magisteri di sostegno via via più impegnativi e costosi a misura che aumenta con la profondità.

**Occorre sottolineare come la tipologia "Terra Umida", pur geotecnicamente adatta all'uso, può presentare pietre e materiali vari che possono mettere in crisi la tubazione.



Tipo di compattazione: **alta**