



AGENZIA DEL DEMANIO

Direzione Generale

**AFFIDAMENTO CONGIUNTO DELLA PROGETTAZIONE ESECUTIVA, DEL
COORDINAMENTO PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE E LA
REALIZZAZIONE DEI LAVORI FINALIZZATI ALLA "REALIZZAZIONE DI AREE EVENTI A TOR
VERGATA PRESSO LE VELE DELLA CITTÀ DELLO SPORT, PRIMA PARZIALE
FUNZIONALIZZAZIONE DEL PALASPORT PER DESTINARLO AD ARENA SCOPERTA"
CIG A00C16E05F- CUP G84J23000370001**

Direttore Servizi al Patrimonio
Ing. Massimo Barbudi

Responsabile Interventi Strategici e Complessi
Arch. Isabella Di Marsico

Responsabile Unico del Procedimento
Arch. Isabella Di Marsico

Direttore dell'Esecuzione del Contratto
Arch. Giorgio Sisto



RT Imprese



Progettisti Indicati



RESPONSABILE
dell'elaborato
Ing. Francesca De Biasi
Ingegneri RM n. A25644

RESPONSABILE
integrazione prestazioni
specialistiche

Ing. Giorgio Lupoi
Ingegneri RM n. A24138

BENE **RMB1901**

IMMOBILE **RM2746001**

FASE **ESECUTIVO**

DISCIPLINA **IDRAULICA**

ELABORATO **RELAZIONE TECNICA**

DATA 10/05/2024	CODICE DOCUMENTO RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	REV 01	redatto GC verificato FDB approvato AL
--------------------	---	------------------	--



codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag i
--------	--------------------------------------	---------	-------

Sommario

1	PREMESSA.....	3
2	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	4
3	INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	6
4	PRINCIPIO DI INVARIANZA IDRAULICA.....	8
4.1	Compatibilità idraulica.....	8
4.2	Classificazione dell'Intervento.....	8
4.3	Metodologia di calcolo dei volumi di compensazione.....	10
4.4	Criterio speditivo per il calcolo del volume specifico d'invaso	10
4.5	Metodologia delle sole piogge.....	12
5	VASCHE DI LAMINAZIONE	14
5.1	Caratterizzazione delle superfici d'intervento.....	14
5.2	Determinazione del volume minimo d'invaso	15
5.3	Determinazione del volume d'invaso con il metodo delle piogge	16
5.4	Dimensione delle luci di scarico e del tirante idrico in vasca.....	20
5.5	Tempo di svuotamento delle vasche.....	23
5.6	Volume di progetto delle vasche volano	23
6	FOGNATURA PLUVIALE	24
6.1	Dimensionamento delle condotte.....	24
6.2	Risultato dei calcoli di dimensionamento	25
7	VASCHE DI SOLLEVAMENTO	27
7.1	Dimensionamento delle vasche di sollevamento	27
8	VERIFICA STATICA DEI COLLETTORI	28
8.1	Verifica statica di una tubazione interrata	28
8.2	Modalità di posa.....	28
8.3	Calcolo dei carichi dovuti al rinterro	29



RELAZIONE IDRAULICA

codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag ii
8.4	Caratteristiche dei terreni	30	
8.5	Azione dei sovraccarichi	31	
8.5.1	<i>Sovraccarichi dinamici veicolari</i>	31	
8.5.2	<i>Sovraccarichi distribuiti</i>	32	
8.6	Azione del peso fluido	33	
8.7	Carico idrostatico dovuto alla falda	33	
8.8	Verifica alla deformazione	34	
8.8.1	<i>Moduli di elasticità del terreno di rinfilanco</i>	35	
8.8.2	<i>Coefficiente di sottofondo</i>	36	
8.9	Verifica dell'instabilità all'equilibrio elastico	36	
8.10	Verifica delle sollecitazioni	38	
8.11	Calcolo della reazione laterale del terreno	39	
8.11.1	<i>Fattore di compattazione del terreno</i>	40	
8.12	Schema della trincea adottata nella verifica di calcolo	40	
8.13	Risultati delle verifiche statiche sui collettori di progetto	41	



RELAZIONE IDRAULICA

codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 3
--------	--------------------------------------	---------	-------

1 PREMESSA

La presente Relazione Idraulica, facente parte della *“Progettazione esecutiva, coordinamento per la sicurezza in fase di progettazione ed esecuzione dei lavori per la realizzazione aree eventi a Tor Vergata presso le Vele della città dello Sport prima parziale funzionalizzazione del Palasport per destinarlo ad Arena scoperta – RMB1901”* è redatta al fine di indicare i principi di progettazione idraulica con cui sono dimensionate le reti di drenaggio in variante ed i sistemi di laminazione atti a garantire i principi di invarianza idraulica.

L'area di progetto in esame, in particolare la *“prima parziale funzionalizzazione del Palasport”*, facente parte di un intervento ben più esteso e complesso (comprensivo di aree a verde e zone di parcheggio), è caratterizzata dal completamento e messa in esercizio dell'edificio “incompiuto”, costituito dall'Arena denominata “Palasport”.

Si precisa che, seppure la struttura in questione sia già esistente ma non ancora in funzione, questa è sprovvista di allaccio fognario al sistema di drenaggio consortile, progettato e realizzato nel 2007 (costruzione incompiuta per la quale era prevista l'ultimazione in occasione delle Olimpiadi di Nuoto di Roma del 2010). Pertanto, le acque meteoriche insistenti sull'area in esame, così come le acque nere, non verranno allacciate direttamente alla rete pubblica, quanto piuttosto collegate ai sistemi di drenaggio già realizzati e diramati all'interno del “comprensorio”. Cionondimeno, si precisa che il ricettore dei sistemi di laminazione in progetto, quindi della rete consortile esistente, è la fognatura pluviale comunale. L'esito finale della rete è pertanto rappresentato dal Fosso del Lombardo, un colatore naturale del reticolo secondario.

Il rapporto è così costituito e si compone dei seguenti capitoli:

- Riferimenti normativi (2)
- Inquadramento Territoriale (3)
- Principio di Invarianza Idraulica (4)
- Vasche di Laminazione (5)
- Fognatura Pluviale (6)
- Vasche di Sollevamento (7)
- Verifica Statica dei Collettori (8)



RELAZIONE IDRAULICA

codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 4
--------	--------------------------------------	---------	-------

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

La **Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE** nasce come testo unico europeo di riferimento per la disciplina dell'ampia tematica della gestione idrica. La direttiva abroga e sostituisce numerosi atti normativi già esistenti, disciplinanti singoli ambiti, configurando una politica integrata delle acque e assumendo la forma di direttiva quadro per il settore (Water Framework Directive - WFD).

Gli elementi chiave della Direttiva quadro sulle acque sono riportati di seguito:

- Gestione delle acque a livello di bacino idrografico con individuazione dei distretti idrografici
- Piani di gestione dei bacini idrografici
- Approccio combinato
- Recupero dei costi e prezzo equo dell'acqua
- Partecipazione del pubblico

Il Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n.152 nel recepire, tra l'altro, la Direttiva Quadro sulle Acque (2000/60/CE), introduce, nell'ordinamento nazionale, il concetto di distretto idrografico (art. 3, comma 1 della Direttiva) quale nuova realtà fisica territoriale oggetto della pianificazione di gestione della risorsa idrica e della pianificazione dell'assetto idrogeologico disciplinate, rispettivamente, dagli artt. 65 e ss. della Sezione I e dall'art. 117 della Sezione II della Parte III del decreto.

Il successivo Decreto Lgs. 23 febbraio 2010, n. 49 recante "Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni" ha disciplinato, sempre a livello distrettuale, la pianificazione di gestione del rischio di alluvione, prevedendo misure di coordinamento con la disciplina di cui alle Sezioni I e II della Parte III del d. lgs. 152/06.

Con Delibera di Giunta n. 117 del 24/03/2020 sono state approvate, sempre in attuazione del D.Lgs 49/2010, le "Linee Guida sulla invarianza idraulica nelle trasformazioni territoriali", con pubblicazione sul BURL n. 37 del 02/04/2020.

Sempre analizzando l'area di interesse, la normativa di riferimento in materia idraulica/idrogeologica che scaturisce dalle norme nazionali è costituita dai seguenti piani:

- Piano di bacino del fiume Tevere, relativo al Piano stralcio per il tratto metropolitano del Tevere da Castel Giubileo alla foce - PS5; opera essenzialmente nel campo della difesa del suolo, con particolare riferimento alla difesa delle popolazioni e degli insediamenti residenziali e produttivi a rischio. Indubbiamente esso è fortemente interrelato con tutti gli altri aspetti della pianificazione e della tutela delle acque, nonché della programmazione degli interventi prioritari.
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale (PGRAAC); riguarda tutti gli aspetti legati alla gestione del rischio di alluvioni ed ovvero la



RELAZIONE IDRAULICA

codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 5
--------	--------------------------------------	---------	-------

prevenzione, la protezione e la preparazione, comprendendo al suo interno anche la fase di previsione delle alluvioni e i sistemi di allertamento, oltre alla gestione in fase di evento.

- Piano di Tutela delle Acque – PTA; costituisce uno specifico piano di settore del Piano di Bacino ai sensi dell'art. 121 del Dlgs 152/2006 e contiene, oltre agli interventi volti a garantire il raggiungimento e il mantenimento degli obiettivi del citato decreto, le misure necessarie alla tutela qualitativa e quantitativa del sistema idrico.
- L.R. 11 Dicembre 1998, n. 53 Organizzazione regionale della difesa del suolo in applicazione della legge 18 maggio 1989, n. 183.
- Le norme di area vasta prevedono delle misure di mitigazione dell'impatto sul regime idrologico-idraulico differenziate in funzione della classificazione dimensionale attribuita agli interventi di trasformazione delle superfici ed al corridoio ambientale di appartenenza. Nel caso in esame la superficie complessiva oggetto di intervento copre un'area di superficie pari a circa 3 ettari. Pertanto, ai sensi dell'art. 3 delle NTA del PAI PS5, l'intervento è classificabile come intervento di Tipo C- "intervento di dimensione significativa" ricadente nel sottobacino Tor Sapienza (TOR), in classe CL2-media risposta idraulica (art. 5, comma 3).
- Le norme, per la particolare classificazione dell'intervento in esame (art. 7, comma 1- interventi di dimensione significativa in bacini a media risposta idraulica CL2 e art. 6, comma 3), prevedono quanto segue:

"Intervento di tipo c). Nel caso di intervento di dimensione definita significativa gli interventi previsti a fini compensativi dovranno comunque sempre assicurare il non superamento della portata di picco come calcolata per la superficie S totale dell'intervento in condizione ante operam con un tempo di ritorno $T_r=50$ anni; a tal fine è necessaria la redazione di uno specifico studio in cui anche i tiranti idrici e le luci di scarico dei volumi a carattere compensativo dovranno essere specificamente dimensionati".
- Nel presente elaborato, pertanto, si provvederà a dimensionare i suddetti volumi di laminazione (volumi, tiranti idrici e luci di scarico) nel rispetto della portata ante operam con T_r 50 anni.
- Gli interventi devono essere corredati da uno studio idraulico di dettaglio, redatto secondo i contenuti delle linee guida allegate alle NTA del PS.5, da sottoporre al parere dell'Autorità Idraulica Competente (art. 3, comma 6).
- Nel caso in esame il ricettore dei sistemi di laminazione in progetto è la fognatura pluviale comunale, il cui esito finale è rappresentato dal Fosso del Lombardo, un colatore naturale del reticolo secondario. Ai sensi della DGRL 5079/1979 le funzioni di Autorità Idraulica Competente sul reticolo secondario sono svolte da Città Metropolitana di Roma Capitale, alla quale sarà chiesto il parere sullo studio di invarianza idraulica.



codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 6
--------	--------------------------------------	---------	-------

3 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area di intervento è ubicata nel Comune di Roma in località Tor Vergata, Municipio Roma VI (ex Municipio VIII), esternamente al Grande Raccordo Anulare sul lato Sud della Via Casilina.

Di seguito è riportato l'inquadramento in cui si ubica l'intervento di progetto.



Figura 1: Inquadramento area di progetto

Nel dettaglio, la superficie di intervento in carico viene di seguito riportata con la campitura in verde.



codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 7
--------	--------------------------------------	---------	-------

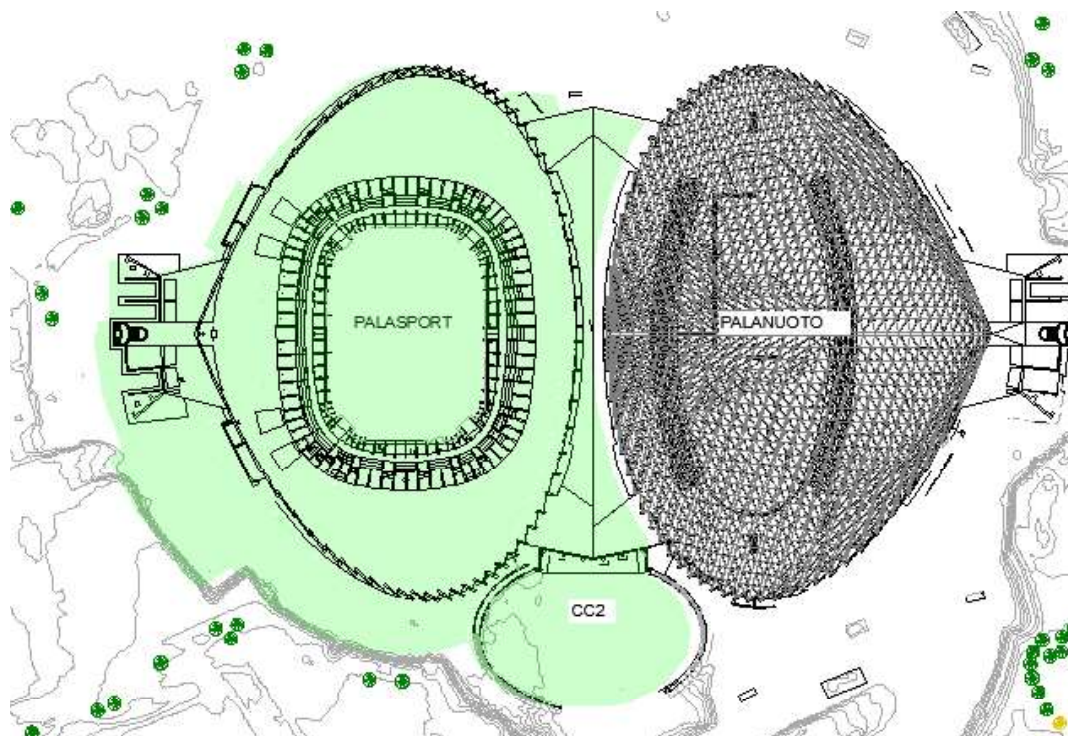


Figura 2: Inquadramento dell'area d'intervento



RELAZIONE IDRAULICA

codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 8
--------	--------------------------------------	---------	-------

4 PRINCIPIO DI INVARIANZA IDRAULICA

Attualmente, quasi venti anni dopo la progettazione originale, alcuni cambiamenti normativi rendono necessario integrare il sistema esistente, al fine di non gravare sui corpi idrici ricettori di valle.

In particolare, il sistema esistente è sviluppato in modo tale da collettare le acque chiarie verso il Fosso del Lombardo. Relativamente a questa tematica, in sede di Conferenza dei Servizi, l'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale Settore sub-distrettuale Ovest e Roma Capitale con nota 6093/2023 del 30-05-2023 (di risposta alla documentazione protocollata da DMN nota n. 0000512 del 06/04/2023), prescriveva quanto segue:

Ove si riscontrasse un incremento delle superfici impermeabilizzate, dovranno essere considerate apposite azioni mitigatorie, così come previste nel PS5 - Norme di attuazione: invarianza idraulica, impermeabilizzazione, consumo di suolo e successivamente anche recepite dalla Regione Lazio con la Deliberazione 24 marzo 2020, n. 117 – Approvazione delle "Linee Guida sulla invarianza idraulica nelle trasformazioni territoriali" - D.lgs 49/2010 "Attuazione della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni".

Per tale ragione, all'interno di tale studio verranno illustrate le prescrizioni e le modalità con cui si sviluppano le "apposite azioni mitigatorie".

4.1 Compatibilità idraulica

La normativa vigente per la Valutazione di Compatibilità Idraulica è rappresentata dal Piano di Bacino del Fiume Tevere - Piano Stralcio per il tratto metropolitano del Tevere da Castel Giubileo alla foce (PS5) – e dalle relative Norme Tecniche di Attuazione (NTA) pubblicati sulla G.U. serie generale n. 83 del 10/04/2015.

4.2 Classificazione dell'Intervento

Il bacino a cui appartiene l'area di intervento è quello di "Tor-Sapienza". Secondo la caratterizzazione riportata all'interno delle NTA del PS5, il bacino è di categoria 2 e la classe finale di risposta idraulica del bacino ha valore pari a 2.

Come riportato all'interno delle NTA del PS5:

La classificazione finale del bacino in classe 2 e 3 determinerà l'applicazione di norme più stringenti dal punto di vista della percentuale ammessa per il deflusso delle acque meteoriche prodotte dalla trasformazione in atto. In particolare, nei Bacini che presentano una Classe di Risposta Idraulica più elevata degli altri, le trasformazioni del territorio dovranno determinare oltre all'invarianza idraulica propria dell'intervento anche un recupero di volume idrico finalizzato alla riduzione della portata massima defluente a beneficio dell'intero bacino.



RELAZIONE IDRAULICA

codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 9
--------	--------------------------------------	---------	-------

Sempre all'interno di questo documento, viene fatta una distinzione per la classe di trasformazione. Le soglie di classificazione della classe d'intervento sono di seguito riassunte:

Classe di trasformazione	Soglie Dimensionali
a) Marginale	Intervento su superfici di estensione <u>inferiore a 0,1 ha</u> (1.000 m ²)
b) Modesta	Intervento su superfici di estensione <u>maggiore di 0,1 ha</u> (1.000 m ²) ed <u>inferiore ad 1 ha</u> (10.000 m ²)
c) Significativa	Intervento su superfici di estensione <u>maggiore di 1 ha</u> (10.000 m ²) ed <u>inferiore a 10 ha</u> (100.000 m ²)
d) Marcata	Interventi su superfici di estensione <u>superiore a 10 ha</u> (100.000 m ²)

Tabella 1: Classificazione dei singoli interventi di trasformazione delle superfici

In particolare, la progettazione esecutiva per la prima parziale funzionalizzazione del Palasport ricade nella **classe di trasformazione c) Significativa**, essendo un intervento su superfici di estensione maggiore di 1 ha ed inferiore a 10 ha.

La tipologia delle norme da applicare in funzione della Classe di Risposta Idraulica al Grado di Impermeabilizzazione e della Classe di Trasformazione del Territorio è di seguito tabellata:

Classe di trasformazione	Classe di Risposta Idraulica		
	1	2	3
a	BP	BP	BP
b	VC0	VC0	VC0
c	VC50	VC50	VC50
d	VC50	RID75	RID50

Tabella 2: Classe di Risposta Idraulica al Grado di Impermeabilizzazione e della Classe di Trasformazione del Territorio (NTA-2019)

L'opera d'intervento, pertanto, avendo una classe di risposta idraulica 2 ed avendo una classe di trasformazione c, deve attenersi alla norma **VC50**. Il Significato di questo acronimo è riportato di seguito assieme agli altri richiamati in tabella.



RELAZIONE IDRAULICA

codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 10
--------	--------------------------------------	---------	--------

- BP) Tecniche di buona pratica costruttiva;
- VC0) Sono ammesse varie tipologie di intervento, nell'eventuale dimensionamento dei volumi compensativi è possibile tenere conto dell'effetto di laminazione operato dalla rete, dai canali e dai pluviali. Inoltre le luci dell'organo di scarico non dovranno eccedere le dimensioni di un tubo di diametro 200 mm e i tiranti ammessi nell'invaso non dovranno eccedere il metro.
- VC50) E' necessario individuare il volume compensativo atto a garantire l'invarianza idraulica, a tal fine andranno dimensionati i tiranti e le luci di scarico in modo da garantire la conservazione della portata massima defluente dall'intera area in trasformazione ai valori precedenti l'intervento (ante operam) per un evento pluviometrico con Tempo di Ritorno pari a 50 anni.
- RID75) E necessario individuare il volume compensativo atto a garantire l'invarianza idraulica, a tal fine andranno dimensionati i tiranti e le luci di scarico in modo da garantire la conservazione della portata massima defluente dall'intera area in trasformazione ai valori precedenti l'intervento (ante operam) per la quota parte dell'area non sottoposta a trasformazione, mentre per la parte soggetta a trasformazione urbanistica la portata defluente dovrà essere pari al 75% di quella in condizioni originarie (in conseguenza di ciò l'intervento determinerà una riduzione della portata massima defluente rispetto alle condizioni originarie del 25% per la parte soggetta a trasformazione). L'evento pluviometrico di progetto avrà Tempo di Ritorno pari a 50 anni.
- RID50) E necessario individuare il volume compensativo atto a garantire l'invarianza idraulica, a tal fine andranno dimensionati i tiranti e le luci di scarico in modo da garantire la conservazione della portata massima defluente dall'intera area in trasformazione ai valori precedenti l'intervento (ante operam) per la quota parte dell'area non sottoposta a trasformazione, mentre per la parte soggetta a trasformazione urbanistica la portata defluente dovrà essere pari al 50% di quella in condizioni originarie (in conseguenza di ciò l'intervento determinerà una riduzione della portata massima defluente rispetto alle condizioni originarie del 50% per la parte soggetta a trasformazione). L'evento pluviometrico di progetto avrà Tempo di Ritorno pari a 50 anni

4.3 Metodologia di calcolo dei volumi di compensazione

Per la determinazione dei volumi di compensazione atti a garantire il principio di invarianza idraulica, vengono impiegate due metodologie di calcolo:

1. La formula speditiva del metodo dell'invaso, al fine di stabilire i minimi volumi da garantire;
2. Metodo delle sole piogge.

4.4 Criterio speditivo per il calcolo del volume specifico d'invaso

Per mitigare gli effetti dell'urbanizzazione dell'area in esame, è pertanto necessario realizzare delle vasche di laminazione (vasche volano), che garantiscano i principi di invarianza idraulica.

Quindi, per la determinazione speditiva del volume d'invaso, è possibile fare riferimento alle NTA del PS.5. Tuttavia, all'interno della suddetta nota tecnica, vi sono alcuni parametri (coefficienti di deflusso ed esponente della curva pluviometrica) per i quali non sono forniti in forma esplicita i



RELAZIONE IDRAULICA

codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 11
--------	--------------------------------------	---------	--------

valori di riferimento. Al fine di impiegare un riferimento altrettanto autorevole, si attinge alla formulazione riportata nel DGR n.117/2020. All'interno di quest'ultimo documento viene così definito il volume minimo d'invaso:

[...] il volume minimo d'invaso atto a garantire l'invarianza idraulica, in termini di portate di deflusso meteorico, provenienti dalle aree oggetto di trasformazioni dell'uso del suolo (urbanistiche o di singolo intervento) e recapitate nei corpi idrici ricettori di valle, è stabilito dalla seguente espressione, ricavata dal "metodo dell'invaso":

$$w = w^{\circ} \cdot \left(\frac{\varphi}{\varphi^{\circ}} \right)^{\frac{1}{1-n}} - (15 \cdot I) - (w^{\circ} \cdot P) \quad [1]$$

Nella quale:

$w^{\circ} = 100 \div 150 \text{ mc/ha}$ volume di riferimento da assumersi nei territori di "bonifica";

$w^{\circ} = 50 \text{ mc/ha}$ volume di riferimento da assumersi nei territori "non impermeabilizzati in ambito urbano";

$w^{\circ} = 15 \text{ mc/ha}$ volume di riferimento da assumersi nei territori "impermeabilizzati in ambito urbano";

φ coefficiente di deflusso post trasformazione

φ° coefficiente di deflusso ante trasformazione

$n = 0.48$ esponente delle curve di probabilità pluviometrica [$h = a \cdot t^n$] di durata inferiore all'ora, assunto nell'ipotesi che le percentuali di pioggia oraria, precipitata nei 5, 15 e 30 minuti, siano rispettivamente il 30%, il 60% e il 75%;

I quota (%) dell'area oggetto d'intervento, interessata dalla trasformazione (*).

(*) Tale quota è comprensiva anche delle aree che seppur non pavimentate (impermeabilizzate), a seguito della trasformazione, vengono, eventualmente, sistemate e/o regolarizzate

P quota (%) dell'area oggetto d'intervento, non interessata dalla trasformazione (*), tale che [$I + P = 100\%$].

(*) Tale quota è rappresentata solo da quelle aree che non vengono sistemate e/o regolarizzate né sottoposte a qualsivoglia altro tipo di intervento, anche non impermeabilizzate



RELAZIONE IDRAULICA

codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 12
--------	--------------------------------------	---------	--------

Con l'impiego dell' equazione sopra descritta [1], il volume [w] misurato in [mc/ha] dovrà essere moltiplicato per l'area totale d'intervento [St] (*superficie territoriale*); questo a prescindere dalla quota [P] dell'area oggetto dell'intervento stesso, non interessata dalla trasformazione.

Si precisa che, a favore di sicurezza, per la valutazione del volume minimo di invaso, si impiega l' esponente delle curve di probabilità pluviometrica n sopra riportato, come indicato nella DGR n.117/2020. Per il metodo delle sole piogge, invece, si procede con l'impiego dei valori desunti mediante l'analisi idrologica del sito.

Per determinare i coefficienti φ° e φ che compaiono all'interno dell'espressione [1], si deve far riferimento alle seguenti relazioni:

$$\varphi^\circ = 0.9 \cdot Imp^\circ + 0.2 \cdot Per^\circ$$

$$\varphi = 0.9 \cdot Imp + 0.2 \cdot Per$$

Nelle quali:

Imp°	quota parte dell'area totale da ritenersi impermeabile, prima della trasformazione;
Per°	quota parte dell'area totale da ritenersi permeabile, prima della trasformazione;
Imp	quota parte dell'area totale da ritenersi impermeabile, dopo la trasformazione;
Per	quota parte dell'area totale da ritenersi permeabile, dopo la trasformazione;

4.5 Metodologia delle sole piogge

Il metodo delle sole piogge è un metodo semplificato che si basa sul semplice confronto tra la curva cumulata delle portate entranti e quella delle portate uscenti, ipotizzando che sia trascurabile l'effetto di trasferimento dell'onda di piena e il potenziale d'invaso del bacino, considerando costante la portata uscente.

In particolare, l'onda entrante nell'invaso coincide con la precipitazione piovosa sulla superficie scolante impermeabile dell'intervento.

La portata entrante è quindi pari a:

$$Q_e = S * \varphi * a * D^{n-1} \quad [2]$$

Per cui il volume di pioggia complessivamente entrante è pari a:



RELAZIONE IDRAULICA

codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 13
--------	--------------------------------------	---------	--------

$$W_e = S * \varphi * a * D^n \quad [3]$$

Nelle quali:

S	è la superficie scolante del bacino complessivamente afferente all'invaso;
φ	è il coefficiente di deflusso;
D	D è la durata di pioggia;
a	Prodotto dei fattori a_1 , wT e n sono i parametri della curva di possibilità pluviometrica

l'onda uscente $Q_u(t)$ è un'onda rettangolare caratterizzata da una portata costante $Q_{u,lim}$. La portata costante uscente è quindi pari a:

$$Q_u = S * u_{lim} \quad [4]$$

e il volume complessivamente uscito nel corso della durata D dell'evento è pari a:

$$W_u = S * u_{lim} * D \quad [5]$$

in cui :

u_{lim}	è la portata specifica limite ammissibile allo scarico
-----------	--

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

Esprimendo matematicamente la condizione di massimo, ossia derivando rispetto alla durata D la differenza $\Delta W = W_e - W_u$, si ricava la durata critica D_w per l'invaso di laminazione e di conseguenza il volume di laminazione W_0 :

$$D_w = \left(\frac{Q_{u,lim}}{S * \varphi * a * n} \right)^{\frac{1}{n-1}} \quad [6]$$

$$W_0 = S * \varphi * a * D_w^n - 3.6 * Q_{u,lim} * D_w \quad [7]$$



RELAZIONE IDRAULICA

codice

RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007

rev: 01

pag 14

5 VASCHE DI LAMINAZIONE

Per la valutazione del volume di laminazione, atto a garantire i principi di invarianza idraulica sopra enunciati, è necessario analizzare le aree di intervento, caratterizzandone estensione e tipo di destinazione d'uso.

5.1 Caratterizzazione delle superfici d'intervento

L'area d'intervento, che in totale possiede un'estensione di circa 3 ha, comprende tutta la superficie edile del palasport (coperture, gradonate e arena), un piazzale tecnico situato nella zona sud e in ultimo un'area di sistemazione a verde localizzata nell'area sud ovest del palasport.

Di seguito si riporta una tabella indicante le estensioni areali delle suddette superfici:

Superficie	Estensione in ha
Palasport (coperture, gradonate e arena)	2.2
Piazzale tecnico	0.4
Sistemazione a Verde	0.3

Tabella 3: Aree di progetto

Per la regimentazione delle acque ricadenti sulle suddette superfici, è previsto l'impiego di due vasche di laminazione. La prima vasca, definita vasca "1", verrà alloggiata nella zona a nord-ovest del palasport. La seconda vasca, definita come vasca "2", verrà alloggiata nella zona a sud-ovest del palasport, al di sotto dell'area di sistemazione a verde.

Di seguito si riporta un inquadramento in cui si vedono le superfici servite dalla Vasca 1 (in azzurro) e quelle servite dalla Vasca 2 (in giallo).



codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 15
--------	--------------------------------------	---------	--------

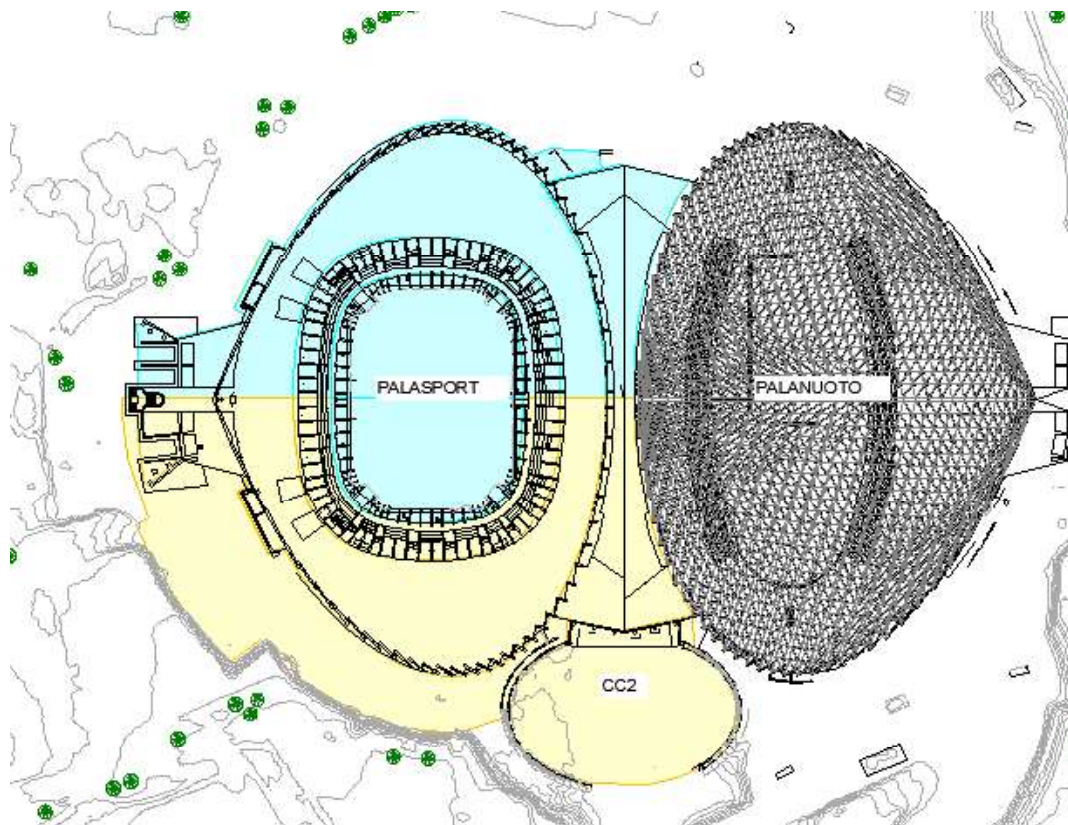


Figura 3: Suddivisione delle superfici a servizio delle due vasche 1(Nord) e 2(Sud)

In questo modo, le acque ruscellanti sulle aree sopra individuate, verranno distribuite nelle due vasche nella seguente maniera:

Vasca	Estensione in ha
Vasca 1(Nord)	1.34
Vasca 2(Sud)	1.58

Tabella 4: Superfici in carico alle due vasche di laminazione

5.2 Determinazione del volume minimo d'invaso

Le superfici di progetto sopra illustrate, facendo sola eccezione la zona di sistemazione a verde, vengono considerate come impermeabilizzate. Di seguito si riportano le informazioni salienti con le quali viene calcolato il volume minimo d'invaso, così come descritto nel capitolo precedente:



RELAZIONE IDRAULICA

codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 16
--------	--------------------------------------	---------	--------

Parametri	Unità	Vasca 1(Nord)	Vasca 2(Sud)
Area	ha	1.58	1.34
w°	m³/ha	50.0	50.0
Imp°	%	0.0	0.0
Per°	%	1.0	1.0
ϕ° - Coeff. Deflusso Ante	-	0.2	0.2
Imp	%	0.74	1.0
Per	%	0.26	0.0
ϕ - Coeff. Deflusso Post	-	0.7	0.9
n	-	0.48	0.48
I	%	1	1.0
P	%	0	0.0
w	m³/ha	669.3	886.9

Tabella 5: Parametri per la determinazione del volume minimo d'invaso

Avendo determinato il valore minimo di invaso per unità di superficie w secondo l'equazione sopra descritta [1], è possibile stabilire le dimensioni dei manufatti di laminazione moltiplicando per l'area servita da ciascuna vasca.

In particolare, di seguito si riportano le caratteristiche delle due vasche 1(Nord) e 2(Sud) e la valutazione dei relativi volumi minimi di invaso:

Vasca	Superficie drenata	Volume per unità di superficie	Volume utile vasca
	(ha)	(m³/ha)	(m³)
Vasca 1(Nord)	1.34	663.3	1'186
Vasca 2(Sud)	1.58	886.9	1'058
Totale	2.92	769.0	2'244

Tabella 6: Volumi minimi d'invaso

5.3 Determinazione del volume d'invaso con il metodo delle piogge

Come descritto nel capitolo precedente, oltre alla valutazione minima d'invaso appena descritta, viene sviluppato il metodo delle piogge.

In particolare, per la valutazione della portata entrante nella vasca di laminazione sono impiegati i parametri a ed n delle curve di probabilità pluviometrica descritti nella relazione idrologica successivamente richiamati, nonché il coefficiente di deflusso dell'area servita.



RELAZIONE IDRAULICA

codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 17
--------	--------------------------------------	---------	--------

Per la valutazione della portata limite uscente (coefficiente udometrico ante-opera), questa dovrà essere determinata secondo le prescrizioni **VC50** ossia, *“in modo da garantire la conservazione della portata massima defluente dall'intera area in trasformazione ai valori precedenti l'intervento (ante operam) per un evento pluviometrico con Tempo di Ritorno pari a 50 anni”*.

Di seguito si riassumono i parametri impiegati per il metodo delle piogge:

Parametro	Unità	Valore
Tr	anni	50
Coefficiente di crescita KT	-	2.45
Coefficiente di pioggia a(KT(Tr))	mm/h	26.52
Coefficiente di pioggia n	-	0.234

Tabella 7: Parametri idrologici per di input per il metodo delle piogge

Il coefficiente udometrico u_{lim} è stato valutato con un processo iterativo, imponendo come tempo critico per la durata della pioggia ante-operam, la durata di pioggia che massimizzasse il volume regolato dalla vasca di laminazione con tempo di ritorno 50 anni. Inoltre, non essendo riportato un valore di riferimento esplicitamente espresso all'interno delle norme sopra menzionate, a favore di sicurezza, il coefficiente udometrico è stato ridotto e portato ad un valore cautelativo di 10 l/s/ha (questo stesso valore è per esempio riportato anche nel Regolamento Regionale 23 novembre 2017, n. 7 della Regione Lombardia)

Di seguito si riportano i valori determinati con il calcolo sopra descritto ed il valore di progetto, impiegato per l'analisi del metodo delle piogge.

Vasca	Unità	Vasca 1(Nord)	Vasca 2(Sud)
Ulim calcolo	l/s/ha	10.8	11.5
Ulim progetto	l/s/ha	10	10

Tabella 8: Coefficiente udometrico di progetto e portata

Dalla determinazione del coefficiente udometrico, è quindi possibile effettuare una prima stima del tempo critico per il quale sia massimo il valore di regolazione delle vasche. Di seguito si riportano i grafici che rappresentano il volume invasato nelle due vasche (We-Wu) in funzione di diverse durate di pioggia e assegnato tempo di ritorno.



RELAZIONE IDRAULICA

codice RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007

rev: 01

pag 18

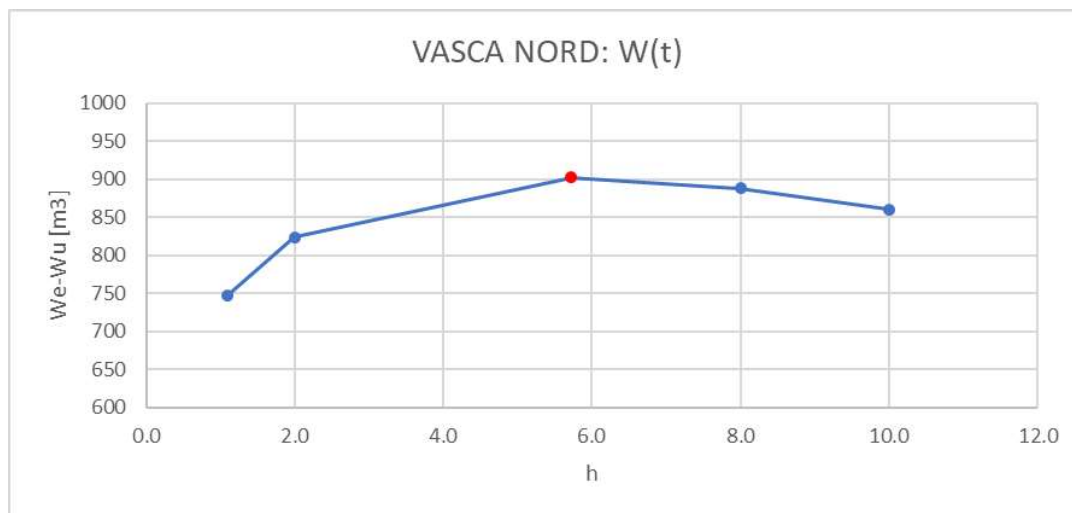


Figura 4: Volume invasato nella Vasca 1(Nord)per diverse durate di pioggia e assegnato tempo di ritorno

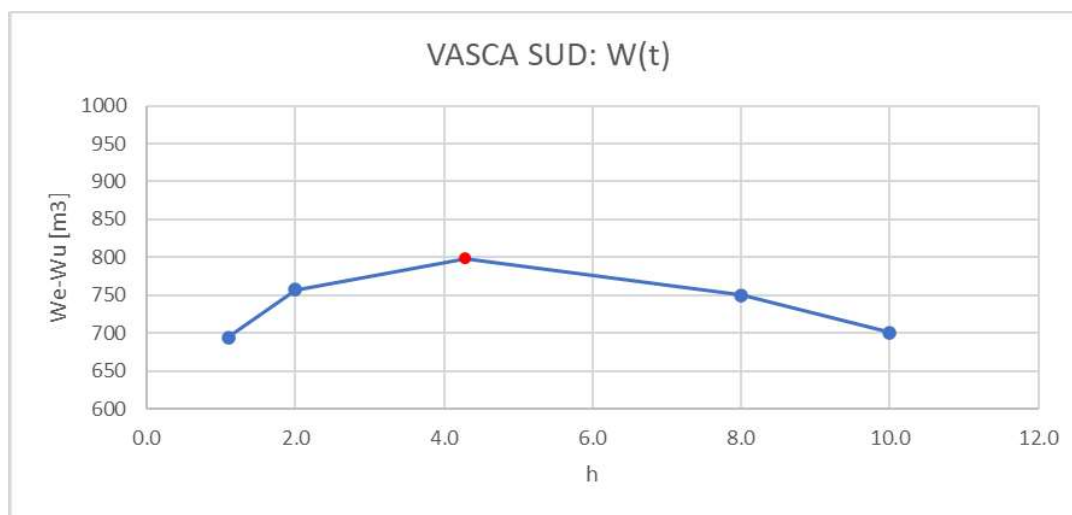


Figura 5: Volume invasato nella Vasca 2(Sud)per diverse durate di pioggia e assegnato tempo di ritorno

Sviluppando il metodo delle piogge, è quindi possibile valutare il funzionamento temporale di regolazione delle vasche, impiegando come portata uscente, la portata associata al coefficiente uditometrico di progetto.

Di seguito si riportano i rispettivi grafici della vasca Nord e di quella Sud.



RELAZIONE IDRAULICA

codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 19
--------	--------------------------------------	---------	--------

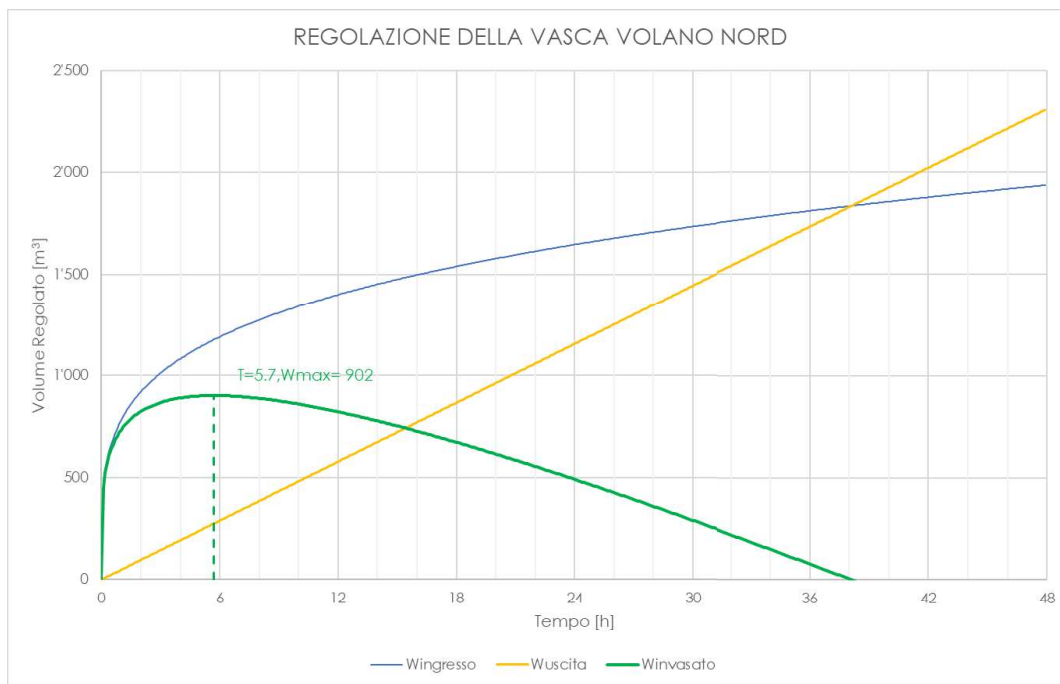


Figura 6: Regolazione della Vasca 1(Nord)con il metodo delle piogge

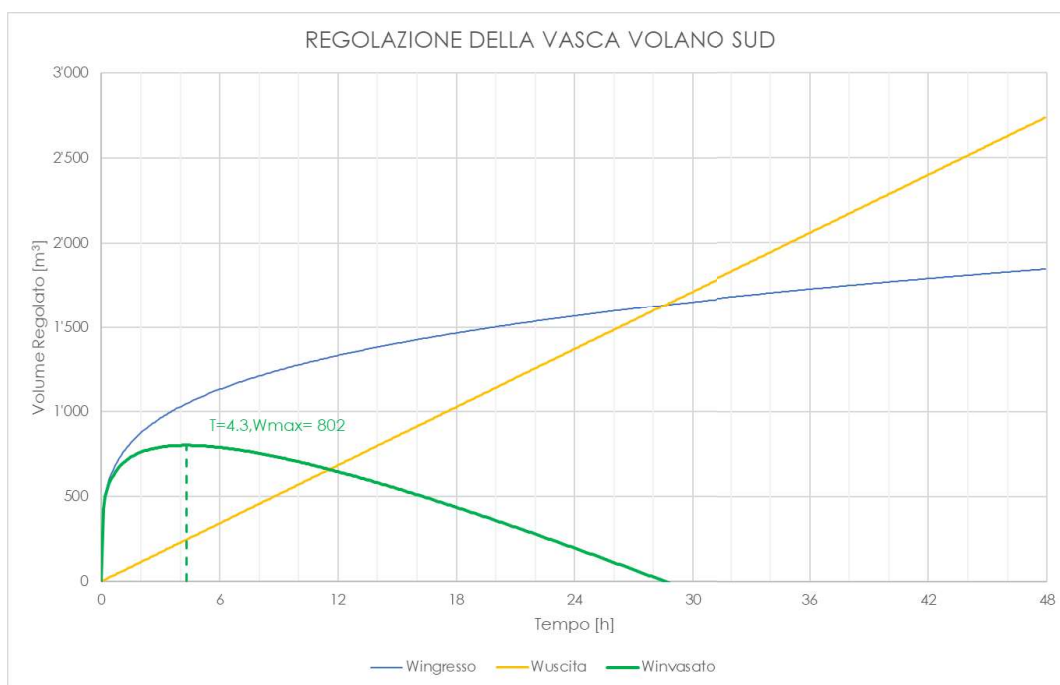


Figura 7: Regolazione della Vasca 2(Sud)con il metodo delle piogge

Di seguito si riassumono i risultati salienti del metodo sopra graficato.



RELAZIONE IDRAULICA

codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 20
--------	--------------------------------------	---------	--------

Risultati	Unità	Vasca 1(Nord)	Vasca 2(Sud)
Volume massimo invaso	m ³	902	798
Tempo di massimo invaso	h	5.7	4.3
Portata rilasciata teorica (coeff. udometrico progetto)	l/s	13.4	15.8

Tabella 9: Risultati del metodo delle piogge

5.4 Dimensione delle luci di scarico e del tirante idrico in vasca

Come riportato nella NTA del PS5, [...] dal punto di vista idraulico costruttivo, l'efficacia della laminazione operata attraverso dispositivi di invaso è condizionata da due parametri fondamentali:

- la dimensione delle luci di scarico dell'invaso (condotti o stramazzi);
- il tirante idrico massimo di cui si consente la formazione all'interno dell'invaso.

Per la determinazione del diametro massimo impiegabile per la luce degli scarichi delle vasche, è impiegata la ben nota relazione della foronomia per luci con tubo esterno, come da sketch di seguito riportato:

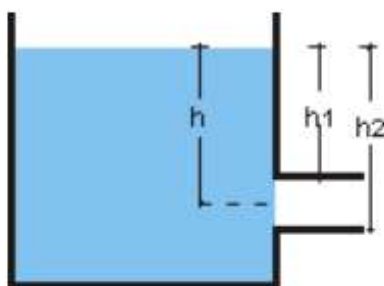


Figura 8: Schema della foronomia della luce di scarico

L'equazione per la determinazione della foronomia è così espressa:

$$Q = \mu S \sqrt{2gh} \quad [8]$$

Dove:

μ rappresenta il coefficiente di contrazione, per il caso in analisi è posto pari a 0.82

S rappresenta l'area bagnata della condotta di scarico di cui si vuole determinare il diametro



RELAZIONE IDRAULICA

codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 21
--------	--------------------------------------	---------	--------

h rappresenta il carico d'acqua misurato tra la superficie libera della vasca ed il baricentro dello scarico

Da questa relazione, è possibile determinare il diametro massimo della luce di scarico che garantisca una portata di efflusso tale da essere inferiore a quello limite (stabilita attraverso il coefficiente udometrico di progetto).

In particolar modo, a partire dalla precedente stima dei volumi invasati nelle vasche, conoscendo la superficie di progetto delle stesse, è possibile determinare il tirante idraulico massimo all'interno delle vasche. Queste, saranno realizzate con elementi prefabbricati modulari cellulari. L'altezza utile massima delle vasche che saranno impiegate nel progetto è circa pari ad 1.80 m.

Inoltre, determinato il diametro teorico del tubo di scarico, è possibile determinare il diametro inferiore commerciale. Di seguito si riportano i valori degli elementi sopra menzionati:

	Unità	Vasca 1(Nord)	Vasca 2(Sud)
Volume massimo invasato da calcolo preliminare	m ³	902	798
Superficie della vasca	m ²	652	598
Tirante idraulico di pre-dimensionamento	m	1.41	1.33
Diametro teorico luce di scarico	mm	63.1	69.4
Diametro commerciale luce di scarico	mm	63.0	63.0
Portata massima scaricabile dallo scarico di progetto	l/s	13.32	13.08
Coefficiente udometrico equivalente	l/s/ha	9.96	8.24

Tabella 10: Dimensionamento luci di scarico delle vasche

Determinato il diametro massimo commerciale con il quale scaricare le vasche volano, è stato rieffettuato il routing dei serbatoi, usando l'equazione della foronomia per determinare la portata rilasciata dalle vasche in funzione del tirante idrico.

Così facendo è possibile determinare un funzionamento delle vasche più realistico, che tenga in conto anche uno svuotamento progressivo delle vasche e non costante.

Di seguito si riportano i grafici di funzionamento delle due vasche:



RELAZIONE IDRAULICA

codice RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007

rev: 01

pag 22

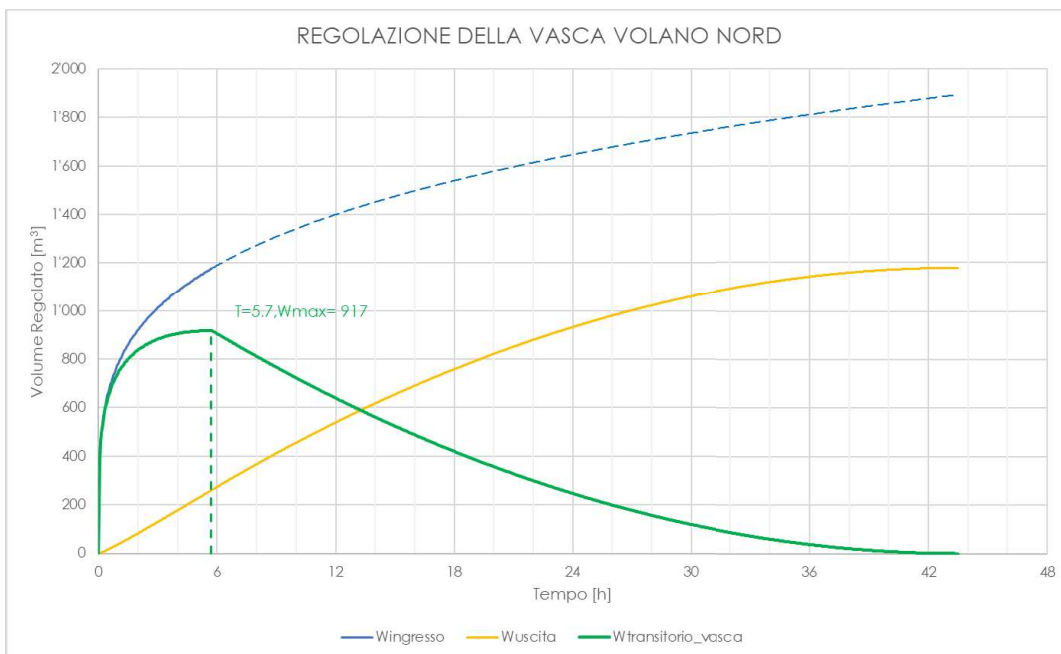


Figura 9: Routing della vasca Vasca 1(Nord)

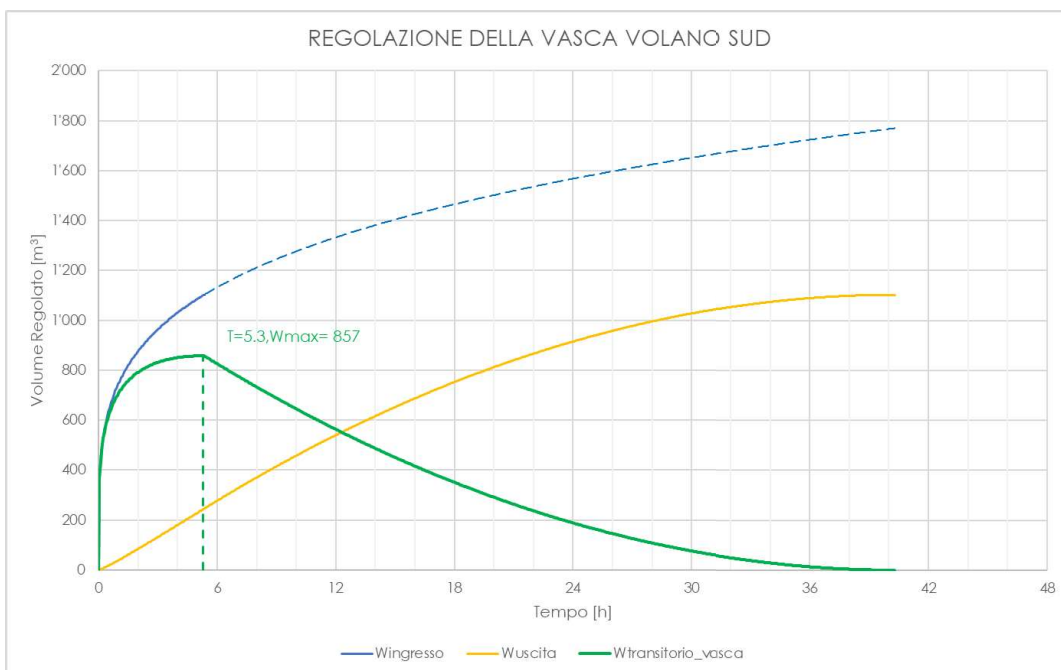


Figura 10: Routing della Vasca 2(Sud)

Di seguito si riportano i valori dei tiranti massimi raggiunti all'interno delle vasche di laminazione, determinate a partire dal routing dei serbatoi.



RELAZIONE IDRAULICA

codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 23
--------	--------------------------------------	---------	--------

	Unità	Vasca 1(Nord)	Vasca 2(Sud)
Tirante idraulico massimo nelle vasche	m	1.41	1.43

Tabella 11: Tirante massimo all'interno delle vasche

5.5 Tempo di svuotamento delle vasche

Per tenere conto di possibili eventi meteorici ravvicinati, il tempo di svuotamento delle vasche non dovrebbe superare le 48 ore, in modo da ripristinare la capacità d'invaso quanto prima possibile.

Mediante lo sviluppo dei routing serbatoi, come è possibile osservare dai grafici precedentemente riportati, il tempo di svuotamento di entrambe le vasche avviene in tempi inferiori alle 48 ore. Di seguito si riportano in forma tabellare:

	Unità	Vasca 1(Nord)	Vasca 2(Sud)
Tempo di svuotamento	h	43.5	40.3

Tabella 12: Dimensionamento luci di scarico delle vasche

5.6 Volume di progetto delle vasche volano

Dall'analisi condotta, si può evincere che il risultato di volume minimo di invaso risulta essere quello stimato con la formulazione speditiva.

Di vengono riassunti i risultati ottenuti con le due metodologie e si riporta in ultimo il valore del volume utile delle vasche di progetto.

Volume	Unità	Vasca 1(Nord)	Vasca 2(Sud)
Metodo speditivo	m ³	1'186	1'085
Metodo delle piogge	m ³	917	857
Di progetto	m³	1'200	1'100

Tabella 13: Confronto tra i volumi minimi e quello di progetto



6 FOGNATURA PLUVIALE

Per quanto concerne il dimensionamento della fognatura pluviale in progetto, il cui compito è di collettare le acque scolanti sull'area di intervento e regimentarle verso le due vasche di invarianza idraulica, è stato adottato un tempo di ritorno di $T_r=10$ anni.

Per il dimensionamento delle reti fognarie, oltre alla forzante idrologica è opportuno valutare l'estensione areale che vengono servite dalle fogne stesse. Di seguito si riportano i calcoli sviluppati per il dimensionamento delle condotte.

Inoltre, per quanto riguarda le pendenze fognarie, nelle condotte si garantisce una pendenza minima dello 0.2%, in grado di assicurare un deflusso in corrente lenta.

Il grado di riempimento Gr nelle condotte è imposto:

- $Gr_{max} \leq 60\%$, per condotte con diametro interno $DN \leq 500$ mm;
- $Gr_{max} \leq 80\%$, per condotte con diametro maggiore

6.1 Dimensionamento delle condotte

Il calcolo delle portate pluviali viene effettuato ricorrendo al metodo cinematico-lineare o del *tempo di corrivazione*. La portata nel generico tronco fognario è data dall'espressione:

L'equazione per la determinazione della foronomia è così espressa:

$$Q = \frac{\varphi \cdot i(T_{10}, \tau c) S}{1000 \cdot 3600} \quad [9]$$

Dove:

Q	Portata in m^3/s
φ	Coefficiente medio di deflusso
i	Intensità di pioggia in mm/h, funzione del tempo di ritorno T_r e del tempo di corrivazione τc del bacino scolante
S	Superficie delle aree scolanti in m^2
τc	Tempo di corrivazione in secondi

Riguardo al coefficiente di deflusso medio φ , in via cautelativa è stato assunto un valore pari ad 1, ossia di totale impermeabilizzazione delle superfici.



RELAZIONE IDRAULICA

codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 25
--------	--------------------------------------	---------	--------

Per quanto concerne il dimensionamento delle sezioni idrauliche, viene impiegata la ben nota formula di Chezy:

L'equazione per la determinazione della foronomia è così espressa:

$$Q = Q_s \cdot \sqrt{J} = \Omega \cdot \chi \cdot \sqrt{R \cdot J} \quad [10]$$

Dove:

Q_s	Portata specifica in m ³ /s
J	Pendenza del canale
Ω	Area della sezione bagnata in m ²
R	Raggio idraulico in m
χ	Coefficiente di Chezy espresso dalla formula di Manning $\chi = \frac{R^{\frac{1}{6}}}{n}$
n	Con n indice di scabrezza di Manning, che per le condotte in PVC è stato posto pari a: $n = 0.010^{(m^{\frac{1}{3}}s)}$

6.2 Risultato dei calcoli di dimensionamento

Nella tabella di seguito riportata, sono riassunti i calcoli del dimensionamento della fognatura pluviale.

	DN	J	S	Q	V	hidr	Gr	Fr
	mm	m/m	ha	m ³ /s	m/s	m	%	-
Rete Nord 500	500	0.003	0.183	0.051	1.06	0.15	31%	0.87
Rete Nord 630	630	0.003	1.154	0.321	1.69	0.38	61%	0.88
Rete Sud 500	500	0.003	0.2952	0.082	1.20	0.19	40%	0.87
Rete Sud 630	630	0.003	1.292	0.359	1.73	0.41	66%	0.87
G2_Set. E	500	0.002	0.457	0.127	0.91	0.20	40%	0.65
G2_Set. G	500	0.003	0.314	0.087	1.01	0.14	28%	0.87

Tabella 14: Risultati dei calcoli del dimensionamento della fognatura pluviale in progetto



RELAZIONE IDRAULICA

codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 26
--------	--------------------------------------	---------	--------

Si precisa che, al fine di agire a favore di sicurezza, il dimensionamento della rete è stato effettuato mantenendo un elevato franco di sicurezza, così da garantire anche un'ulteriore riserva di accumulo fuori calcolo.



codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 27
--------	--------------------------------------	---------	--------

7 VASCHE DI SOLLEVAMENTO

In quelle aree di progetto in cui le quote non siano tali da consentire un deflusso a gravità presso le vasche di invarianza idraulica, si rende necessario prevedere delle stazioni di sollevamento.

Queste, come viene illustrato nel seguito, sono tali da drenare le acque che vengono convogliate verso l'arena del palasport e (G2_settore E) e nel piazzale in cui verranno alloggiate le macchine impiantistiche (G2_settore G).

7.1 Dimensionamento delle vasche di sollevamento

Per la determinazione del volume utile delle vasche di sollevamento, si correla la portata di picco in ingresso nella vasca stessa ed il numero di accensioni che possono garantire le pompe di sollevamento.

In particolare, riprendendo i risultati dell'analisi riportata nel capitolo **Error! Reference source not found.**, a partire dalla portata di ingresso alle vasche, è possibile determinare il volume d'acqua laminato nel tempo che intercorre tra un'accensione e l'altra delle pompe elettromeccaniche di sollevamento.

Di seguito si riportano i dati salienti impiegati per la determinazione del volume utile delle vasche di sollevamento.

	Unità	Palasport (G2, Sett. E)	Piazzale (G2, Sett. G)
Portata di punta	m ³ /s	0.127	0.087
	l/s	127	87
Numero di accensioni orarie	#/h	10	10
Tempo tra due accensioni	min	6	6
	s	360	360
Volume utile	m³	45.7	31.4

Tabella 15: Volume utile delle vasche di sollevamento



codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 28
--------	--------------------------------------	---------	--------

8 VERIFICA STATICA DEI COLLETTORI

In questo paragrafo si riportano i calcoli di stabilità delle tubazioni, utilizzate per il nuovo sistema di drenaggio. Come riportato negli elaborati grafici e come descritto nelle verifiche nella sezione del dimensionamento della fognatura, è previsto l'impiego di collettori in PVC.

In particolare, questi saranno della classe di SN 8 e prodotti secondo la norma UNI EN 1401-1. Il colore dei tubi è rosso mattone RAL 8023 con marcatura stampata sul componente.

8.1 Verifica statica di una tubazione interrata

La verifica statica di una tubazione interrata viene effettuata calcolando:

- i carichi permanenti che gravano sulla tubazione;
- i carichi accidentali che gravano sulla tubazione;
- il carico idraulico indotto dalla presenza della falda;
- le reazioni laterali del terreno.

I carichi permanenti cui è sottoposta una tubazione interrata dipendono per lo più dall'azione del rinterro mentre i carichi accidentali sono per lo più da attribuirsi alla presenza di traffico.

8.2 Modalità di posa

Le modalità di posa di una condotta fognaria implementati nel presente codice di calcolo sono in conformità a quanto proposto dalla normativa UNI 7517:

- posa in trincea stretta;
- posa in trincea larga.

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

1. $B \leq 2D$ con $H \geq 1.5B$
2. $2D \leq B \leq 3D$ con $H \geq 3.5B$

Mentre, considera che la posa sia in condizioni di trincea larga quando non sussiste né la condizione uno, né la due.

Nella figura successiva se ne mostra una rappresentazione schematica tratta dal documento IIP, Istituto Italiano dei Plastici, Installazione delle fognature in PVC, pubblicazione n.°3, novembre 1984).



RELAZIONE IDRAULICA

codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 29
--------	--------------------------------------	---------	--------

In cui B e H indicano la larghezza e l'altezza dall'estradosso della tubazione come riportato di seguito.

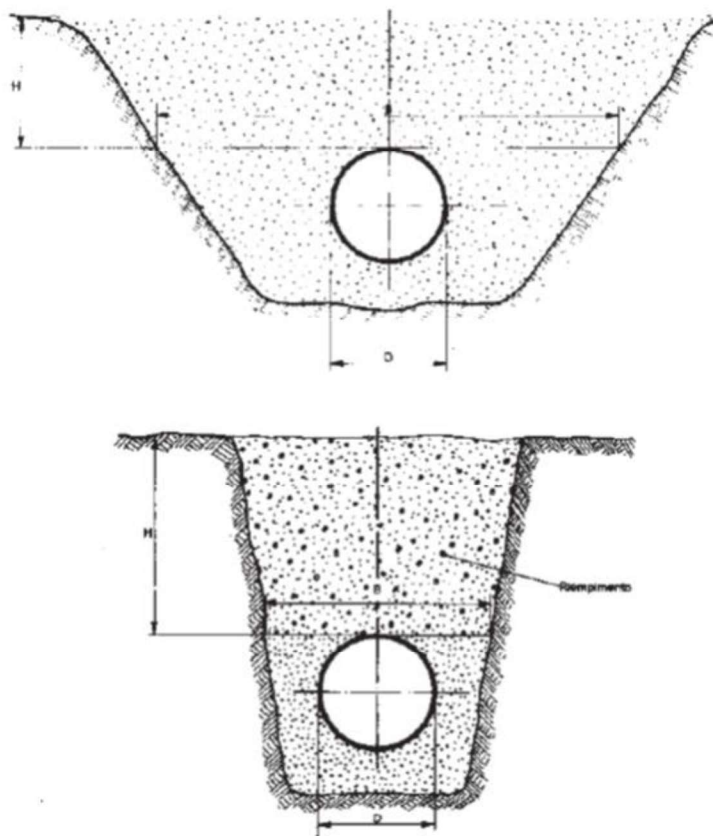


Figura 11: Modalità di posa tubazioni in: Trincea Larga e Trincea Stretta

Nell fattispecie, la condizione di posa delle condotte di nuova realizzazione, ricade nella casistica di “Trincea Larga”, essendo $B \approx 2D$ e $H \leq B$.

8.3 Calcolo dei carichi dovuti al rinterro

Nella determinazione del carico permanente che sollecita una condotta interrata un ruolo importante è dato dall'azione del rinterro. Tra le diverse metodologie utilizzate nella comune prassi ingegneristica si utilizza il metodo di Marston Spangler – Iowa State College Engineering Experiment Station [Da Deppo, 2009 Fognature]

In particolare, trovandosi nella casistica di “Trincea Larga”, il carico Q_{st} generato dal peso del terreno sovrastante l'estradosso della tubazione è pari a:

$$Q_{st} = \gamma_t D N H \quad [11]$$

Dove:



RELAZIONE IDRAULICA

codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 30
--------	--------------------------------------	---------	--------

B	indica la larghezza della trincea in m
DN	il diametro esterno della tubazione fognaria in m
γ_t	indica il peso specifico del terreno di rinterro in kN/m^3

al carico Q_{st} corrisponde una pressione verticale q_{st} valutabile mediante la relazione:

$$q_{st} = \frac{Q_{st}}{0.85DN} \quad [12]$$

Dove:

q_{st}	indica la pressione verticale agente sulla parte superiore del tubo per una lunghezza pari alla corda compresa in un angolo al centro pari a circa 130°
Q_{st}	indica il sovraccarico indotto dal rinterro in kN/m

8.4 Caratteristiche dei terreni

Nella successiva tabella sono elencate le caratteristiche geotecniche dei terreni presenti nel codice di calcolo da assumersi per la definizione del carico indotto dal rinterro.

Tipo di terreno	Peso specifico γ_t [kN/m^3]	Peso immerso γ' [kN/m^3]	Angolo di attrito interno ϕ [$^\circ$]
Argilla fangosa	20	16.9	20
Argilla sabbiosa	18	15.9	14
Argilla umida comune	20	16.4	12
Fango con polvere di roccia	18	16.9	25
Loess	21	15.9	18
Marna	21	16.9	22
Misto di cava di ghiaia e ciottoli	20	16.8	37
Misto di cava di sabbia e ghiaia	20	16.5	33
Sabbia argillosa	18	15.9	15
Sabbia secca	15	15.9	31



RELAZIONE IDRAULICA

codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 31
--------	--------------------------------------	---------	--------

Tipo di terreno	Peso specifico γ_t [kN/m ³]	Peso immerso γ' [kN/m ³]	Angolo di attrito interno ϕ [°]
Sabbia umida	17	16.4	34
Terra secca	17	15.5	14
Terra umida	20	16	25
Terreno misto compatto	20	16.4	33
Terreno misto sciolto	18	15.9	15
Terreno paludoso	17	9.9	12
Terreno sabbioso	19	15.8	30

Tabella 16: Caratteristiche dei terreni di posa

8.5 Azione dei sovraccarichi

Sul terreno sovrastante la tubazione interrata oltre al rinterro possono agire altri carichi. Questi si suddividono in dinamici relativi al traffico stradale e/o ferroviario e statici associati a corpi posti sul terreno che grava sul tubo.

8.5.1 Sovraccarichi dinamici veicolari

Per il calcolo del carico veicolare si fa riferimento a quanto espresso dalla normativa DIN 1072 secondo cui il traffico veicolare può essere suddiviso nelle seguenti classi di carico:

- HT autocarro pesante;
- LT autocarro leggero

I valori di carico per ruota dei veicoli per classe DIN sono riassunti nella successiva tabella in cui si è introdotta anche la classe Ferroviario a cui è stato associato un carico massimo per ruota di 200 kN.

Classe	Carico per ruota P (kN)	Tipologia
HT60	100	Traffico pesante
HT45	75	
HT38	62.5	
HT30	50	
HT26	35	
LT12	20	Traffico leggero
LT6	10	
LT3	5	



RELAZIONE IDRAULICA

codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 32
--------	--------------------------------------	---------	--------

Classe	Carico per ruota P (kN)	Tipologia
FERROVIARIO	200	

Tabella 17: Valori di carico per ruota dei veicoli per classe DIN 1072

La pressione dinamica σ_z esercitata dal traffico sul tubo viene valutata adottando le seguenti relazioni:

$$\sigma_z = 0.5281 \frac{P}{H^{1.0461}} \varphi \quad [13]$$

$$\sigma_z = 0.8743 \frac{P}{H^{1.5194}} \varphi \quad [14]$$

Dove, la [13] è valida per traffico stradale pesante (convoglio classe HT) e di tipo ferroviario, la [14] è valida per il traffico leggero (convoglio LT).

Dove:

σ_z indica la pressione dinamica in kN/m²

P indica il carico per ruota in kN

H rappresenta l'altezza di ricopertura del tubo (altezza del terreno valutata dall'estradosso del tubo)

$\varphi = 1 + \frac{a}{H}$ indica un coefficiente di incremento

a dove $a = 0.3$ per carico stradale e autostradale. $a = 0.6$ per carico ferroviario,

Nota la pressione dinamica è possibile calcolare il carico dinamico che grava su una condotta di diametro esterno DN applicando la relazione

$$Q_{din} = \sigma_z DN \quad [15]$$

8.5.2 Sovraccarichi distribuiti

Nel caso in cui sul tubo sia gravante un carico P_n distribuito su una superficie di estensione A rettangolare di larghezza u_1 e lunghezza u_2 la pressione q_s che agisce sul tubo si calcola mediante la relazione:

$$q_s = \frac{P}{(u_1+2H)(u_2+2H)} \quad [16]$$

Dove:

q_s indica la pressione che agisce sul tubo in kN/m²

u_1 indica la larghezza della superficie su cui agisce il carico



RELAZIONE IDRAULICA

codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 33
--------	--------------------------------------	---------	--------

P_n espressa in m

u_2

indica la lunghezza della superficie su cui agisce il carico

P_n espressa in m

Nota la pressione, il carico P si calcola con l'equazione:

$$P = q_s \beta DN \quad [17]$$

Dove:

P

indica il carico che agisce sul tubo in kN/m

β

è un coefficiente pari a 0.71 per posa in trincea stretta ed a 0.88 per trincea in posa larga

8.6 Azione del peso fluido

Si considera come carico aggiuntivo sul tubo anche il peso dell'acqua contenuta al suo interno. Il carico, nell'ipotesi di tubo pieno, si calcola con la relazione:

$$Q_a = 7.70 D_i^2 \quad [18]$$

Dove:

D_i

indica il diametro interno della tubazione in m

8.7 Carico idrostatico dovuto alla falda

Si considera come carico aggiuntivo sul tubo anche il peso dell'acqua contenuta al suo interno. Il carico, nell'ipotesi di tubo pieno, si calcola con la relazione

$$Q_{idr} = \gamma_w \left(h + \frac{DN}{2} \right) DN \quad [19]$$

in cui:

Q_{idr}

indica il carico indotto dalla falda in kN/m

γ_w

indica il peso specifico dell'acqua in kN/m³

h

indica l'altezza della falda valutata rispetto all'estradosso della tubazione in m

Dalla precedente relazione [19], è possibile ottenere la pressione esercitata dalla falda attraverso tale espressione:

$$q_{idr} = \gamma_w \left(h + \frac{DN}{2} \right) = \frac{Q_{idr}}{DN} \quad [20]$$

in cui:

q_{idr}

indica la pressione associata al carico idrostatico indotto dalla falda kN/m²



RELAZIONE IDRAULICA

codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 34
--------	--------------------------------------	---------	--------

Si precisa che nel caso di presenza di falda, il carico del rinterro, per la quota parte interessata dalla falda, deve essere calcolato adottando il relativo peso specifico immerso γ'' tabulato nella precedente tabella.

8.8 Verifica alla deformazione

La deformazione viene calcolata adottando lo schema statico proposto da Spangler secondo cui lo stato di sollecitazione che si produce in una tubazione sottoposta ai carichi indicati nella figura successiva è caratterizzato da una distribuzione parabolica della spinta passiva simmetrica rispetto al diametro orizzontale e applicata a partire dall'angolo a pari a 40° per un'ampiezza di 100 mentre la reazione sul fondo della trincea interessa varie ampiezze [Da Deppo – Fognature 2009].

La deformazione del diametro orizzontale secondo Spangler è data dalla relazione:

$$\Delta d = \frac{QKF}{8SN+0.061E_t} \quad [21]$$

in cui:

Δd	indica la deformazione assoluta diametrale del tubo in senso orizzontale in mm
Q	rappresenta il carico totale gravante sul tubo dato dalla somma del carico dovuto al rinterro, al carico indotto dalla falda, dal carico dell'acqua contenuta nella tubazione e dai carichi veicolari e statici in kN/m
K	indica il coefficiente di sottofondo, parametro che dipende dalla tipologia di appoggio del tubo sul fondo della trincea; si rimanda a quanto contenuto nella successiva tabella;
F	indica il coefficiente di deformazione differita. Esso tiene conto dell'incremento di deformazione che la condotta subisce nel tempo. Ponendo il coefficiente F pari a 1 si conduce una verifica a breve termine mentre per condurre verifiche a lungo termine (2 – 5 anni dalla posa) si adotta un coefficiente F pari a 2
SN	indica la rigidezza anulare della tubazione kN/m ²
E_t	indica il modulo di elasticità del terreno di rinfiacco secondo Winkler in kN/m ²

Nota la deformazione assoluta, si calcola la deformazione relativa δ come rapporto tra Δd ed il diametro esterno DN. La verifica è superata se:

$$\delta > \delta_{LIM} \quad [22]$$

Dove δ_{LIM} indica la deformazione diametrale limite.



RELAZIONE IDRAULICA

codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 35
--------	--------------------------------------	---------	--------

La verifica deve essere condotta sia nelle condizioni di breve che di lungo termine ricordando che per la verifica a lungo termine il coefficiente di deformazione differita deve essere posto cautelativamente pari a 2.

Secondo Spangler, il parametro δ deve essere sempre inferiore al 5 %.

Nella tabella di seguito riportata, si mostrano i valori di δ_{LIM} per tubazioni in PVC.

UNI	Deformazione diametrale δ_{LIM}	
	Dopo 1 mese	Dopo 2 anni
303/1	5% - 8%	10%
303/2	5%	8%

Tabella 18: Valori di deformazione percentuale per condotte in PVC

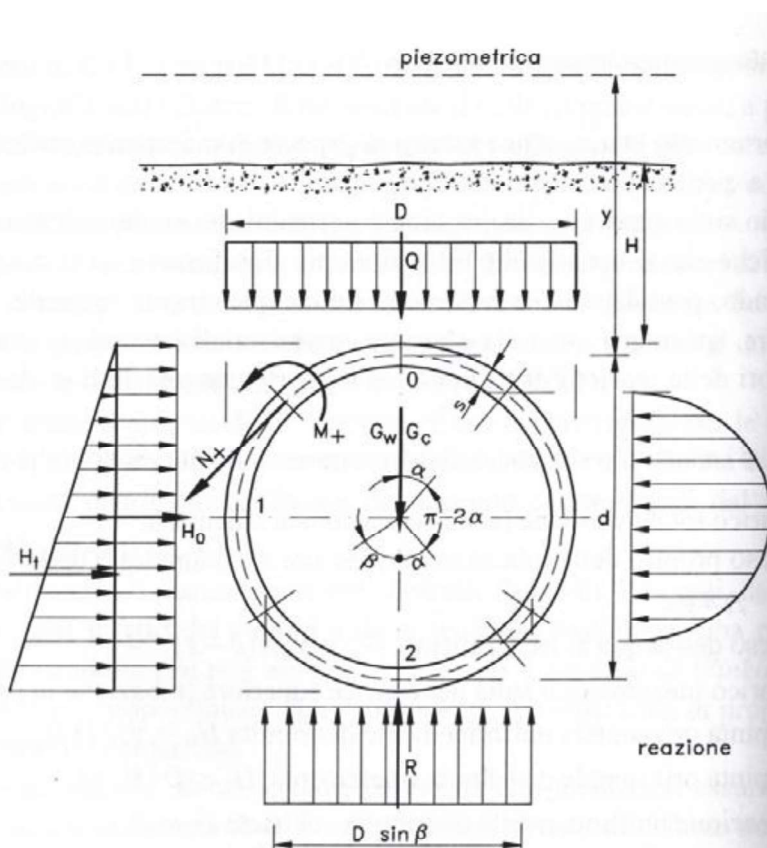


Figura 12: Schema statico per una tubazione interrata [Da Deppo – Fognature 2009]

8.8.1 Moduli di elasticità del terreno di rinfiando

Nella tabella seguente si riportano alcuni moduli di elasticità E_t per alcuni tipi di terreno (rinfiando) in funzione di vari gradi di compattazione (dove con LL si indica il limite di liquidità).

Tipo di terreno	Materiale alla rinfusa	Compattazione		
		Leggera	Moderata	Alta



RELAZIONE IDRAULICA

codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 36
--------	--------------------------------------	---------	--------

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

Tabella 19: Moduli di elasticità del terreno di rinfiaccio (ASTM 2487)

8.8.2 Coefficiente di sottofondo

Nella seguente tabella si riportano i valori del coefficiente di sottofondo K in funzione di diversi angoli di appoggio della tubazione sul fondo della trincea.

Angolo di appoggio 2α [°]	Coefficiente di sottofondo [-]
0°	0.121
60°	0.103
90°	0.096
120°	0.09
180°	0.083

Tabella 20: Coefficienti di sottofondo (Spangler)

8.9 Verifica dell'instabilità all'equilibrio elastico

Una tubazione sollecitata da forze radiali uniformemente distribuite e dirette verso il centro di curvatura, dapprima rimane circolare, poi, all'aumentare delle forze si inflette ovalizzandosi (deformata a due lobi) e progressivamente si ha deformazione a tre lobi ecc. [Papiri, 2008]. Il carico critico q_a può essere quindi valutato secondo la nota formula di Eulero:

$$q_a = \frac{E}{(1-\nu^2)} \left(\frac{s}{DN-s} \right)^3 \quad [23]$$

in cui:

q_a

il carico critico di imbozzamento in kN/m²



RELAZIONE IDRAULICA

codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 37
--------	--------------------------------------	---------	--------

E	indica il modulo elastico del materiale in kN/m^2
ν	il coefficiente di Poisson del materiale costituente il tubo
s	rappresenta lo spessore del tubo in m

In una tubazione interrata, la pressione di buckling dipende però non solamente dall'indice di rigidezza della tubazione, ma anche dal modulo elastico del suolo che circonda la tubazione in quanto il sistema tubo-suolo si comporta come un'unica entità [Papiri, 2008].

La Norma ANSI-AWWA C950/88 fornisce la seguente espressione per la stima della pressione ammissibile di buckling, q_a :

$$q_a = \frac{1}{F_s} \left(32 R_w B' E_t \frac{E_m I}{DN^3} \right)^{\frac{1}{2}} \quad [23]$$

Dove:

q_a	è la pressione ammissibile di buckling in kN/m^2
F_s	indica il fattore di progettazione posto pari a 2.5
R_w	indica il fattore di spinta idrostatica della falda pari a $R_w = 1 - 0.33 \frac{H_w}{H}$ con H l'altezza del rinterro in cm ed H_w è l'altezza della superficie libera della falda sulla sommità della tubazione in cm;
B'	è il coefficiente empirico di supporto elastico (adimensionale)
E_t	indica il modulo elastico del terreno di rinterro
E_m	indica il modulo elastico del materiale che costituisce il tubo
I	indica il momento d'inerzia del tubo

L'espressione precedente mostra chiaramente come la pressione ammissibile di buckling sia condizionata in egual misura dall'indice di rigidezza della tubazione e dal modulo elastico del materiale di sottofondo e rinfianco della tubazione. La verifica all'instabilità elastica si esegue confrontando la pressione ammissibile di buckling con la risultante della pressione dovuta ai carichi esterni applicati valutata mediante la relazione:

$$\gamma_w h + \frac{R_w Q_{st}}{DN} + \frac{P + Q_{din}}{DN} \quad [24]$$

In particolare, la verifica risulta soddisfatta se sussiste la seguente relazione:

$$\gamma_w h + \frac{R_w Q_{st}}{DN} + \frac{P + Q_{din}}{DN} < q_a \quad [25]$$



RELAZIONE IDRAULICA

codice RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007

rev: 01

pag 38

8.10 Verifica delle sollecitazioni

Al fine di verificare che le tensioni nelle sezioni maggiormente sollecitate della tubazioni siano minori delle tensioni massime ammissibili del materiale occorre calcolare le tensioni specifiche che si manifestano nelle tre sezioni più significative: al vertice (chiave), sul fianco e al fondo. La metodologia ipotizza che il comportamento statico della condotta sia riconducibile a quello di un anello elastico sottile e che la sezione sia completamente reagente.

Il calcolo dei momenti M e degli sforzi normali N è condotto nell'ipotesi che l'azione sui fianchi della condotta fosse distribuita secondo il classico trapezio di spinta.

I valori dei paramenti M (momento) ed N (sforzo normale) sono calcolati per le sezioni in chiave, sul fianco e sul fondo in funzione di varie aperture angolari dell'appoggio o sella d'appoggio ($2\alpha = 180^\circ, 120^\circ$ e 90°) mediante le relazioni riportate in tabella [Da Deppo – Fognature 2009]

CARICHI	Angolo appoggio [°]	Sforzo Normale N			Momento Flettente M		
		Sezione chiave	Sezione sul fianco	Sezione sul fondo	Sezione chiave	Sezione sul fianco	Sezione sul fondo
Peso proprio G_c	180°	-0.027 G_c	+0.250 G_c	+0.027 G_c	+0.028 $G_c d$	-0.031 $G_c d$	+0.035 $G_c d$
	120°	-0.040 G_c	+0.250 G_c	+0.040 G_c	+0.030 $G_c d$	-0.035 $G_c d$	+0.042 $G_c d$
	90°	-0.053 G_c	+0.250 G_c	+0.053 G_c	+0.033 $G_c d$	-0.039 $G_c d$	-0.051 $G_c d$
Peso dell'acqua Q_a	180°	-0.186 Q_a	-0.068 Q_a	-0.451 Q_a	+0.028 $Q_a d$	-0.031 $Q_a d$	+0.035 $Q_a d$
	120°	-0.199 Q_a	-0.068 Q_a	-0.438 Q_a	+0.030 $Q_a d$	-0.035 $Q_a d$	+0.042 $Q_a d$
	90°	-0.212 Q_a	-0.068 Q_a	-0.424 Q_a	+0.033 $Q_a d$	-0.039 $Q_a d$	+0.051 $Q_a d$
Carico verticale uniforme Q	180°	0	+0.50 Q	0	+0.063 $Q d$	-0.063 $Q d$	+0.063 $Q d$
	120°	-0.013 Q	+0.50 Q	+0.013 Q	+0.066 $Q d$	-0.066 $Q d$	+0.069 $Q d$
	90°	-0.027 Q	+0.50 Q	+0.027 Q	+0.069 $Q d$	-0.070 $Q d$	+0.078 $Q d$
Spinta H_o	-	+0.5 H_o	0	+0.5 H_o	-0.063 $H_o d$	+0.063 $H_o d$	-0.063 $H_o d$
Spinta H_i	-	+0.313 H_i	0	+0.687 H_i	-0.052 $H_i d$	+0.063 $H_i d$	-0.073 $H_i d$

Figura 13: Parametri di sollecitazione dper unità di lunghezza in una tubazione interrata per diverse ampiezze d'appoggio (Da Deppo – Fognature 2009)

Dove:

G_c

indica il peso proprio del tubo calcolato secondo la relazione $G_c = \gamma_c \pi s D_m$ in cui s indica lo spessore della tubazione, D_m il diametro della fibra media e γ_c il peso specifico del materiale che costituisce il tubo;

Q_a

indica il peso dell'acqua contenuto all'interno del tubo nell'ipotesi di completo riempimento espresso in kN/m

Q

indica il carico totale verticale dato dalla somma del carico associato al rinterro e dei carichi accidentali (veicoli + carichi statici distribuiti + carico idrostatico), così come descritto nei paragrafi precedenti ed espresso in kN/m



RELAZIONE IDRAULICA

codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 39
--------	--------------------------------------	---------	--------

H_0 indica la reazione uniformemente distribuita data da $H_0 = \gamma H D N H K_a$ in cui K_a indica il coefficiente di spinta attiva, pari a $K_a = \tan^2(45 - \frac{\varphi}{2})$; e γ indica il peso specifico del terreno di rinterro

H_t indica la spinta orizzontale distribuita linearmente pari a $H_t = \gamma D N^2 H K_a / 2$

Noti i valori degli sforzi normali N e del momento flette M per le tre sezioni indicate in precedenza si procede al calcolo delle tensioni all'estradosso e all'intradosso della tubazione rispettivamente indicati con σ_e e σ_i mediante le relazioni:

- $\sigma_i = \frac{N}{s} - 6 \frac{M}{s^2}$, con s che indica lo spessore della tubazione
- $\sigma_e = \frac{N}{s} + 6 \frac{M}{s^2}$

Ai fini della verifica i valori così ottenuti sono da confrontare con quelli ammissibili per il materiale che costituisce la tubazione oggetto di verifica.

8.11 Calcolo della reazione laterale del terreno

L'ovalizzazione del tubo indotta dai carichi che gravano su di esso è contrastata dal contenimento laterale fornito dal terreno. La pressione laterale uniformemente distribuita su una corda avente angolo al centro pari a 90° è calcolabile mediante la seguente relazione:

$$r_t = \frac{(q_{st} + \sigma_z + q_s + q_{idr}) c_r D N^4}{c_r D N^4 + 18.3 E_m s^3} \quad [26]$$

Dove:

r_t indica la pressione laterale del terreno kN/m^2

q_{st} indica la pressione esercitata dal rinterro kN/m^2

σ_z indica la pressione associata al carico veicolare kN/m^2

q_s indica la pressione associata ai carichi statici distribuiti kN/m^2

q_{idr} indica la pressione idrostatica kN/m^2

c_r rappresenta il coefficiente di rigidità del terreno pari a $c_r = f_c H$ con H l'altezza del terreno valutata rispetto all'estradosso del tubo [m] mentre f_c esprime il fattore di compattazione del terreno i cui valori sono riportati nella tabella successiva in funzione di diversi gradi di compattazione;



RELAZIONE IDRAULICA

codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 40
--------	--------------------------------------	---------	--------

E_m indica il modulo di elasticità del materiale a lungo termine
kN/m²

La forza di reazione laterale R_t è data dalla relazione

$$R_t = \frac{\sqrt{2}}{2} r_t D N \quad [27]$$

Dove:

R_t indica la forza laterale del terreno kN/m

r_t indica la pressione laterale del terreno kN/m²

8.11.1 Fattore di compattazione del terreno

Nella tabella seguente si mostrano i valori del parametro f_c in funzione di diversi gradi di compattazione del terreno di rinfiando.

Grado di Compattazione	f_c
Assente	1-5
Scarso	6-10
Moderato	11-13
Buono	14-20

Tabella 21: Parametro f_c in funzione del grado di compattazione

8.12 Schema della trincea adottata nella verifica di calcolo

Nell'immagine che segue, si riporta un'illustrazione grafica della sezione tipologica impiegata per sviluppare le verifiche precedentemente illustrate.



RELAZIONE IDRAULICA

codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 41
--------	--------------------------------------	---------	--------

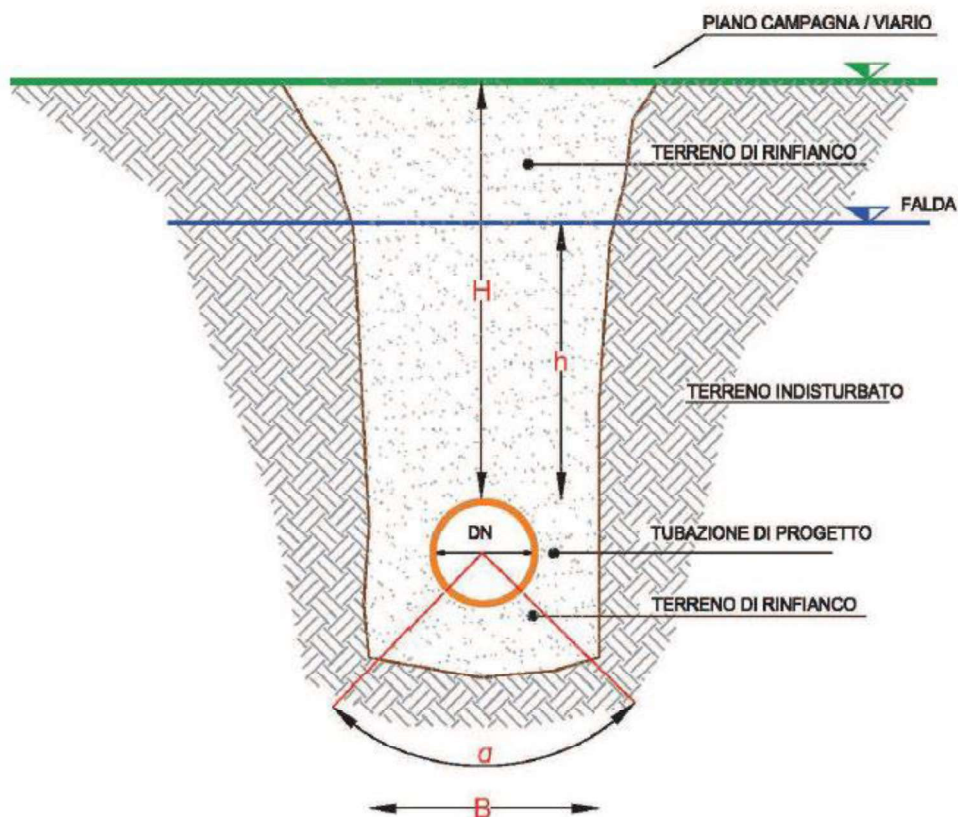


Figura 14: Schema qualitativo della trincea e della tubazione verificata

8.13 Risultati delle verifiche statiche sui collettori di progetto

Nel seguito si riassumono i principali risultati delle verifiche statiche sui collettori di progetto, secondo la metodologia sopra descritta.

Verifica delle condotte di progetto			DN400	DN500	DN630
Caratteristiche tubazione					
Materiale	-	-	PVC-UNI EN 1401	PVC-UNI EN 1401	PVC-UNI EN 1401
Diametro Esterno	DN/De	mm	400	500	630
Rigidezza Anulare	SN	kN/m ²	8	8	8
Spessore parete tubazione	s	mm	11.7	14.6	18.4
Modulo di elasticità breve termine	Embp	kN/m ²	3000000	3000000	3000000
Modulo di elasticità lungo termine	Embp	kN/m ²	1500000	1500000	1500000
Diametro interno tubazione (DN -	Di	mm	376.6	470.8	593.2



RELAZIONE IDRAULICA

codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 42
--------	--------------------------------------	---------	--------

Verifica delle condotte di progetto			DN400	DN500	DN630
2s)					
Diametro medio	Dm	mm	388.3	485.4	611.6
Rigidezza anulare (breve termine)	SNbt	kN/m ²	6.84	6.8	6.81
Rigidezza anulare (lungo termine)	SNlt	kN/m ²	3.42	3.4	3.4
Carico fluido trasportato					
Carico del fluido trasportato	Qa	kN/m	1.09	1.71	2.71
Caratteristica trincea e rinterro					
Larghezza trincea	B	m	0.8	1	1.26
Profondità trincea da estradosso del tubo	H	m	0.5	0.5	0.5
Tipo di terreno indisturbato			Terreno misto compatto	Terreno misto compatto	Terreno misto compatto
Peso specifico rinterro	γt	kN/m ³	20	20	20
Peso specifico sommerso del riempimento	γ't	kN/m ³	16.4	16.4	16.4
Angolo di attrito interno	Φ	°	33	33	33
Coeff. di attrito rinterro/pareti	μ	-	0.649	0.649	0.649
Tipologia del terreno di rinfiacco		-	Terreno granulare coesivo - Ghiaia con particelle fini con bassa o media plasticità	Terreno granulare coesivo - Ghiaia con particelle fini con bassa o media plasticità	Terreno granulare coesivo - Ghiaia con particelle fini con bassa o media plasticità
Tipo di compattazione		-	Moderata 85%-94%	Moderata 85%-94%	Moderata 85%-94%
Modulo di elasticità terreno	Et	kN/m ²	7000	7000	7000
Peso specifico acqua	γw	kN/m ³	9.806	9.806	9.806
Tipo di tubazione		-	Flessibile	Flessibile	Flessibile
Tipo di trincea (norma UNI7517)		-	Larga	Larga	Larga
Carico statico del rinterro					
Altezza della falda sulla tubazione	h	m	0	0	0
Coeff. di spinta attiva	ka	-	0.295	0.295	0.295
Coeff. di carico	Ct	-			



RELAZIONE IDRAULICA

codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 43
--------	--------------------------------------	---------	--------

Verifica delle condotte di progetto			DN400	DN500	DN630
statico (coeff di Marston)					
Carico statico rinterro	Qst	kN/m	4	5	6.3
Pressione verticale carico statico	qst	kN/m ²	11.76	11.76	11.76
Sovraccarico idrostatico					
Pressione esercitata dalla falda	qidr	kN/m ²	0	0	0
Carico idrostatico	Qidr	kN/m	0	0	0
Sovraccarico dinamico					
Tipologia di traffico (DIN 1072)	-	-	Traffico pesante	Traffico pesante	Traffico pesante
Classe convoglio	-	-	HT26	HT26	HT26
Carico per ruota	P	kN	35	35	35
Coeff. Incremento	ϕ	-	1.6	1.6	1.6
Pressione dinamica	σ_z	kN/m ²	61.08	61.08	61.08
Carico dinamico	Qdin	kN/m	24.432	30.54	38.481
Sovraccarico statico					
Carico P agente	Pn	kN	50	50	50
Larghezza superficie di distribuzione carico	u1	m	1	1	1
Lunghezza superficie di distribuzione carico	u2	m	1	1	1
Pressione statica	qs	kN/m ²	12.5	12.5	12.5
Coefficiente di diffusione	β	-	0.88	0.88	0.88
Sovraccarico statico	Ps	kN/m	4.4	5.5	6.93
Carico totale sulla tubazione					
Carico del fluido trasportato	Qa	kN/m	1.09	1.71	2.71
Carico statico rinterro	Qst	kN/m	4	5	6.3
Carico idrostatico	Qidr	kN/m	0	0	0
Carico dinamico stradale	Qdin	kN/m	24.432	30.54	38.481
Sovraccarico statico	Ps	kN/m	4.4	5.5	6.93



RELAZIONE IDRAULICA

codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 44
--------	--------------------------------------	---------	--------

Verifica delle condotte di progetto			DN400	DN500	DN630
Carico totale sulla tubazione	Q _{tot}	kN/m	33.922	42.75	54.421
Calcolo della deformazione a breve termine					
Angolo di appoggio	2α	°	90	90	90
Coefficiente di sottofondo	K	-	0.096	0.096	0.096
Coefficiente di deformazione differita	F	-	1	1	1
Deformazione diametrale del tubo	Δd	mm	6.76	8.52	10.85
Deformazione percentuale	δ	%	1.69	1.7	1.72
Deformazione massima ammissibile	δ _{lim}	%	2	2	2
Verifica			Verifica Soddisfatta	Verifica Soddisfatta	Verifica Soddisfatta
Calcolo della deformazione a lungo termine					
Coefficiente di deformazione differita	F	-	2	2	2
Deformazione assoluta	Δd	mm	14.34	18.07	23
Deformazione relativa	δ	%	3.58	3.61	3.65
Massima deformazione ammessa a breve termine	δ _{lim}	%	5	5	5
Verifica			Verifica Soddisfatta	Verifica Soddisfatta	Verifica Soddisfatta
Verifica instabilità all'equilibrio elastico					
Fattore di progettazione	F _s	-	2.5	2.5	2.5
Fattore di spinta idrostatica	R _w	-	1	1	1
Coefficiente empirico supporto elastico	B'	-	0.218	0.218	0.218
Pressione risultante dovuta ai carichi esterni	P _{est}	kN/m ²	82.08	82.08	82.08
Pressione ammissibile di	Q _{abt}	kN/m ²	220.88	220.31	220.39



RELAZIONE IDRAULICA

codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 45
--------	--------------------------------------	---------	--------

Verifica delle condotte di progetto			DN400	DN500	DN630
buckling (ANSI AWWA) - breve termine					
Verifica breve termine			Verifica Soddisfatta	Verifica Soddisfatta	Verifica Soddisfatta
Pressione ammissibile di buckling (ANSI AWWA) - lungo termine	Qalt	kN/m ²	273.082	155.79	155.84
Verifica lungo termine			Verifica Soddisfatta	Verifica Soddisfatta	Verifica Soddisfatta
Calcolo del massimo sforzo di trazione					
Peso specifico materiale tubazione	γ_c	kN/m ³	14.7	14.7	14.7
Tensione all'estradosso Sezione chiave	σ_{e_chiave}	Mpa	38.705	38.917	39.003
Tensione all'intradosso Sezione chiave	σ_{i_chiave}	Mpa	-38.772	-38.988	-39.079
Tensione all'estradosso Sezione sul fianco	σ_{e_fianco}	Mpa	-37.959	-38.185	-38.289
Tensione all'intradosso Sezione sul fianco	σ_{i_fianco}	Mpa	40.762	40.091	41.093
Tensione all'estradosso Sezione sul fondo	σ_{e_fondo}	Mpa	43.897	44.091	44.129
Tensione all'intradosso Sezione sul fondo	σ_{i_fondo}	Mpa	-43.666	-43.866	-43.911
Tensione max	σ_{max}	Mpa	43.897	44.091	44.129
Tensione min	σ_{min}	Mpa	-43.666	-43.866	-43.911
Tensione ammissibile (in funzione del materiale della tubazione)	σ_{amm}	Mpa	58	58	58
Verifica			Verifica Soddisfatta	Verifica Soddisfatta	Verifica Soddisfatta
Calcolo della reazione laterale del terreno					
Grado di compattazione		.	Moderato	Moderato	Moderato



RELAZIONE IDRAULICA

codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 46
--------	--------------------------------------	---------	--------

Verifica delle condotte di progetto			DN400	DN500	DN630
Fattore di compattazione del terreno	fc	-	11	11	11
Coefficiente rigidità del terreno	cr	N/cm ³	0.5	0.5	0.5
Pressione laterale del terreno a breve termine	rtbt	kN	10.845	13.196	15.976
Reazione laterale del terreno a breve termine	Rtbt	kN	3.067	4.666	7.117
Pressione laterale del terreno a lungo termine	rtlt	kN	19.245	22.858	26.914
Reazione laterale del terreno a lungo termine	Rtlt	kN	5.443	8.082	11.99

Tabella 22: Tabulati di calcolo delle verifiche delle tubazioni di progetto



codice	RMB1901-ADD-RELTECSTR-XX-RT-S-E00007	rev: 01	pag 47
--------	--------------------------------------	---------	--------