

**STUDIO DI GEOLOGIA APPLICATA
BORGHI DOTT. MARCO**

RELAZIONE TECNICA INVARIANZA IDRAULICA

R.R. 7/2017 – R.R. 8/2019

PIANO ATTUATIVO Tsm

**DI INIZIATIVA PRIVATA PER LO SVILUPPO DI NUOVI IMPIANTI PER LA
DISTRIBUZIONE DEL CARBURANTE E RELATIVI SERVIZI
VIA SCARLATTI - CESATE (MI)**

AREE IN CESSIONE

Committente: ORCHIDEA S.r.l.

Relazione a cura di: Dott. Geologo Marco Borghi



Dicembre 2024

INDICE

- 1. *PREMESSA***
- 2. *LOCALIZZAZIONE INTERVENTO***
- 3. *VERIFICA SUPERFICIE IMPERMEABILE***
- 4. *CALCOLI IDROGEOLOGICI E DELLE PRECIPITAZIONI DI PROGETTO (METODO DELLE SOLE PIOGGE)***
- 5. *SOLUZIONE PROGETTUALE***
- 6. *PIANO MANUTENZIONE ORDINARIA E STRAORDINARIA***

in appendice:

- ***tabelle calcoli***
- ***Allegato E: Asseverazione del professionista in merito alla conformità del progetto ai contenuti del regolamento regionale n 7/2017***

in allegato:

- ***Tavole di progetto***

1 PREMESSA

Il presente progetto di invarianza idraulica, inerente la realizzazione di opere di urbanizzazione relative alle aree in cessione del piano attuativo Tsm - via Scarlatti - CESATE (MI), viene redatto ai sensi del Regolamento Regionale n° 7/2017 e n° 8/2019.

L'area di indagine è collocata nell'ambito della pianura lombarda ad una quota di circa 200 m s.l.m. La geologia di questo settore della pianura è caratterizzata dalla presenza di depositi fluvioglaciali del Diluvium medio di natura sabbioso-ghiaiosa ammantati da una coltre di alterazione pedologica dello spessore di circa 1-2 metri.



Fig. 1: Estratto immagine satellitare

2 LOCALIZZAZIONE INTERVENTO

Ai sensi del R.R. n°7/2017 e s.m.i., l'intervento concerne una "nuova costruzione" – art. 3 comma 2) lett. b).

Ai sensi dell'art. 7 comma 3), il territorio Lombardo è stato suddiviso in tre ambiti in cui sono inseriti i comuni, in base alla criticità idraulica dei bacini dei corsi d'acqua ricettori. Ad ogni comune è associata una criticità (Allegato B e C).

A – alta criticità

B – media criticità

C – bassa criticità

Il Comune di Cesate ricade nell'ambito definito ad alta criticità idraulica (A)

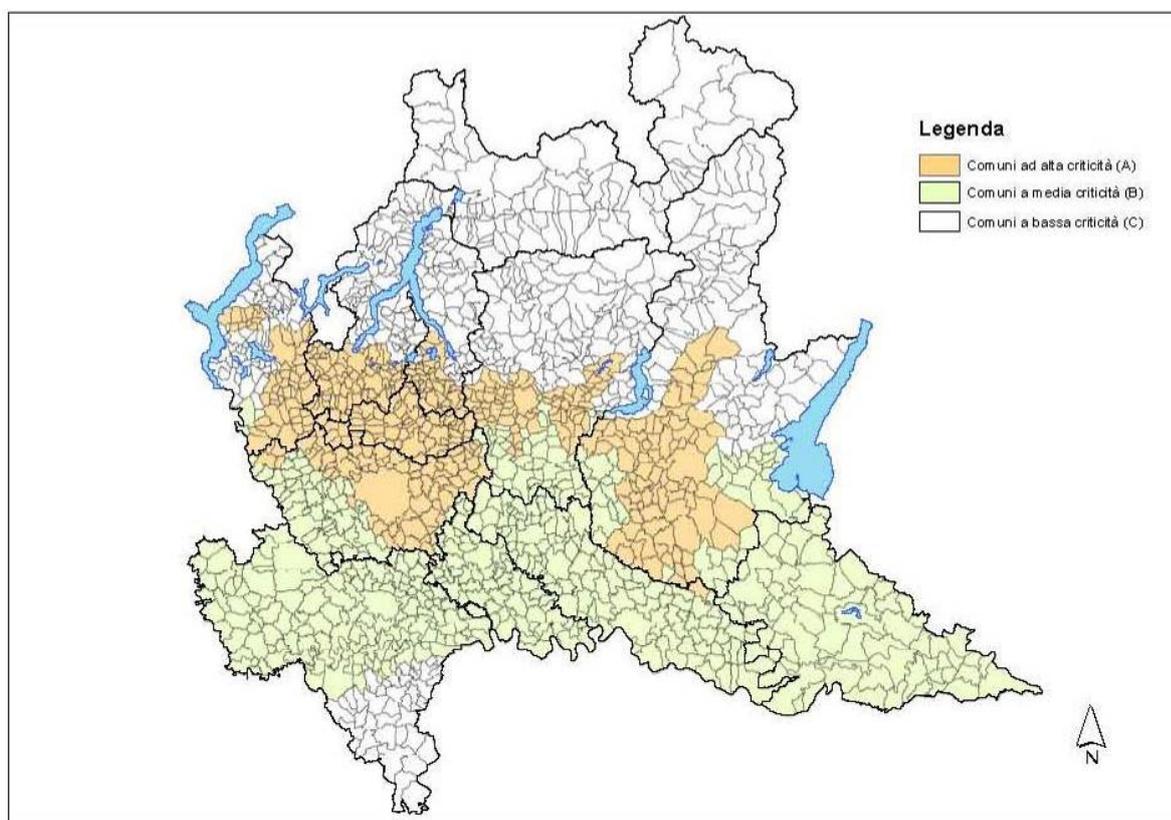


Fig. 2: Distribuzione aree di criticità Idraulica e idrologica Regione Lombardia

CERVESINA	PV	B	
CERVIGNANO D`ADDA	LO	B	
CESANA BRIANZA	LC	C	
CESANO BOSCONI	MI	B	
CESANO MADERNO	MB	A	1
CESATE	MI	A	1
CETO	BS	C	
CEVO	BS	C	
CHIARI	BS	B	
CHIAVENNA	SO	C	
CHIESA IN VALMALENCO	SO	C	

Fig. 3: Allegato C Regolamento Regionale n°7/2017

3 VERIFICA SUPERFICIE IMPERMEABILE

Come si può rilevare dalle tavole del progetto architettonico, l'intervento in progetto prevede le seguenti trasformazioni del suolo:

comune:	Cesate (MI)		
luogo:	piano attuativo Tsm – aree in cessione		
area totale lotto di intervento:	4442,24	mq	
area totale lotto soggetta a invarianza idraulica:	4442,24	mq	
	0,444224	ha	
			coefficiente deflusso:
aree impermeabili:	2199,85	mq	1
aree semipermeabili (tetti verdi - giardini pensili - aree verdi sovrapposti a solette comunque costituite - pavimentazioni discontinue drenanti o semipermeabili di strade, vialetti, parcheggi):	0,00	mq	0,7
aree verdi munite di sistema di raccolta e collettamento:	0,00	mq	0,3
aree verdi drenanti:	2242,39	mq	0
coefficiente deflusso medio ponderale:			0,495

Ai sensi dell'art. 9 del R.R. n°7/2017 e s.m.i. le verifiche idrauliche ed idrologiche devono essere condotte attraverso diversi approcci progettuali a seconda dell'ambito in cui ricadono e della superficie dell'intervento, come indicato sulla fig. 4.

Il caso in esame rientra nella classe d'intervento di "impermeabilizzazione potenziale media" con superficie interessata dall'intervento compresa tra 1.000 mq e 10.000 mq e coefficiente di deflusso medio ponderale pari a 0,495.

Pertanto, in base alla fig. 4, per interventi classificati ad "impermeabilizzazione potenziale media" si applica quanto previsto dall'art. 12 comma 2), ovvero: "modalità di calcolo col metodo delle sole piogge"; fermo restando il rispetto dei seguenti requisiti minimi:

- a) per le aree A ad alta criticità idraulica di cui all'articolo 7: 800 mc per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento;
- b) per le aree B a media criticità idraulica di cui all'articolo 7: 600 mc per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento;
- c) per le aree C a bassa criticità idraulica di cui all'articolo 7: 400 mc per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento."

Conseguentemente a quanto sopra specificato, dovrà essere osservato anche quanto previsto alla lettera a).

Tabella 1

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

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

Fig. 4: Tabella 1 Regolamento Regionale n°8/2019

4- CALCOLI IDROGEOLOGICI E DELLE PRECIPITAZIONI DI PROGETTO (METODO DELLE SOLE PIOGGE)

Per la misura della permeabilità naturale del terreno è stata eseguita in data 10/03/2022 nel lotto adiacente, dove ora sorge la COOP, una prova di permeabilità a carico variabile in pozzetto di lato $a*b = 0,70*1,40$ m, profondità 2,5 metri. Durante lo scavo si è osservata la seguente stratigrafia:

da metri	a metri	stratigrafia
p.c.	0,4	Suolo agrario
0,4	2,0	Limo argilloso e sabbioso, color bruno
2,0	> 2,5	ghiaia sabbiosa e limosa, color marrone

Dalla prova eseguita si ottiene una permeabilità media pari a **1,46E-05 m/sec** (tab.2), valore discreto e che riflette la stratigrafia incontrata: sabbie e ghiaie nelle quali è però presente una certa frazione limosa. La frazione limosa diminuisce man mano che si scende in profondità e quindi è da aspettarsi, a profondità maggiori da quelle investigate, un aumento del valore di permeabilità.



esecuzione prova
di permeabilità



Esecuzione prova di permeabilità

Con tale valore si ricava, ai sensi del R.R. 7/2017 e s.m.i., un volume di laminazione occorrente di 195,38 mc (tab.3b - *tr 100 anni*), valore superiore a quello che si ottiene rispettando i requisiti minimi di cui all'Art. 12 del R.R. 7/2017 e s.m.i. e pari a 175,99 mc.

Il calcolo dei volumi da gestire per il rispetto dei principi di invarianza idraulica ed idrologica, così come i calcoli per ricavare la permeabilità compaiono, per comodità di impaginazione, nelle tabelle riportate in appendice.

5 SOLUZIONE PROGETTUALE

Per rispettare quanto previsto al punto precedente il progetto prevede quindi la realizzazione di n° 7 pozzi perdenti disposti in batteria e distanziati fra i loro bordi di un paio di metri, ciascuno di loro con diametro interno di 2,00 metri e altezza interna di 4,00 metri, con volume di laminazione totale della batteria di pozzi pari a 182,5 mc (comprensivo dei vuoti contenuti nel dreno all'intorno dei pozzi), oltre a quanto laminato in circa 150 ml di tubazione DN 500 e pari a 29,44 mc, per un totale quindi di 211,94 mc > 195,38 mc (volume di laminazione occorrente con $Tr = 100$ anni) > 175,99 mc (volume

di laminazione minimo Art. 12 del R.R. 7/2017), per cui la verifica può dirsi soddisfatta - tab 3b. La medesima verifica viene ovviamente soddisfatta anche in caso di $Tr = 50$ anni (tab. 3a).

quindi, un pozzo perdente con le seguenti caratteristiche:

a: diametro interno pozzo:	2,00	m
b: spessore anello prefabbricato	0,08	m
c: altezza utile pozzo perdente:	4,00	m
c1: n° anelli h 0,50 m:	8,00	n°
c2: ingombro coperchio perdente + pozzetto + chiusino:	0,80	m
c3: profondità perdente da piano campagna::	4,80	m
d: franco. Da intradosso coperchio perdente (al fine del calcolo del volume di immagazzinamento):	0,00	m
e: spessore dreno esterno e inferiore:	0,50	m
f: indice dei vuoti dreno esterno:	30%	
n: profondità da piano campagna del primo strato poco permeabile e quindi non considerato nel drenaggio laterale:	1,50	m
g: profondità da intradosso coperchio perdente del primo strato poco permeabile e quindi non considerato nel drenaggio laterale:	1,00	m
k: permeabilità media terreno:	1,46E-05	m/sec

in 1 ora drena:

lateralmente = $((a/2)+b+e)^2 * 3,14 * (c-g) * k * 3600 \text{sec} =$	1,83 mc	pari a:	0,51 lt/sec
verticalmente = $((a/2)+b+e)^2 * 3,14 * k * 3600 \text{sec} =$	0,41 mc	pari a:	0,11 lt/sec
volumi drenati sommano:	2,24 mc	pari a:	0,62 lt/sec

e immagazzina:

al suo interno = $((a/2)^2) * 3,14 * (c-d) =$	12,56 mc
fra i vuoti del dreno esterno e sottostante = (volume pozzo compreso dreno - volume pozzo) * indice dei vuoti f =	6,19 mc
volumi immagazzinati singolo pozzo sommano:	18,75 mc

volumi immagazzinati in 7 pozzi distanziati fra loro di 2 metri: **182,50 mc**

6 PIANO MANUTENZIONE ORDINARIA E STRAORDINARIA

La manutenzione è fondamentale per garantire il mantenimento in efficienza delle strutture e degli elementi realizzati per le funzioni di drenaggio delle acque meteoriche; serve ad assicurare alle strutture stesse un periodo di vita più lungo, permettendo di intervenire periodicamente nell'individuazione di eventuali malfunzionamenti che, se trascurati, ne potrebbero pregiudicare irrimediabilmente le funzioni.

A seconda delle tipologie di elementi di drenaggio si presentano ovviamente livelli differenti di complessità nella manutenzione.

La prima e più semplice distinzione riguarda sicuramente gli **interventi ordinari**, da svolgersi periodicamente seguendo un calendario prestabilito, dagli **interventi straordinari**, necessari al ripristino delle funzioni in caso di malfunzionamento, guasto o successivamente ad eventi meteorici o di altra natura (per esempio sversamenti abusivi, incidenti rilevanti) che interessino direttamente o indirettamente le strutture.

Gli interventi di **manutenzione ordinaria** a seguito anche di un semplice controllo visivo dello stato di efficienza degli elementi drenanti a eseguito di ogni evento meteorico che li vede coinvolti dovranno essere:

- pulizia rifiuti;
- rimozione detriti;
- eliminazione di problemi di scorrimento e/o intasamento;
- ispezione e controllo dell'efficienza e manutenzione di eventuali componenti meccaniche (impianti di sollevamento, captazione, rilascio, ecc.).

Gli interventi di **manutenzione straordinaria** da svolgersi successivamente al riscontro di malfunzionamenti e sempre successivamente al verificarsi di eventi straordinari che abbiano danneggiato in tutto o in parte gli impianti in progetto e comunque con cadenza almeno semestrale dovranno essere:

- pulizia rifiuti;
- rimozione detriti;
- ripristino dei substrati filtranti danneggiati dal trasporto solido o da altre cause;
- risoluzione di problemi di intasamento;
- ispezione, controllo dell'efficienza e manutenzione di eventuali componenti meccanici (impianti di sollevamento, captazione, rilascio, ecc.);

Rispetto a quanto descritto, risulta evidente che a seconda del livello e complessità degli interventi di manutenzione gli stessi potranno essere svolti da operai generici (rimozione detriti), da tecnici esperti (ripristino di impianti di sollevamento) o comunque formati a svolgere mansioni specifiche.

Solaro, li 17 Dicembre 2024

Dr. Geol. Marco Borghi



TABELLE CALCOLI

Calcolo della linea segnatrice 1-24 ore

Località: *Cesate*
 Coordinate: *via Trebbia*

Linea segnatrice

Tempo di ritorno (anni)

Parametri ricavati da: <http://idro.arpalombardia.it>

A1 - Coefficiente pluviometrico orario 31,48
 N - Coefficiente di scala 0,3177
 GEV - parametro alpha 0,29210001
 GEV - parametro kappa -0,0124
 GEV - parametro epsilon 0,82740003

Evento pluviometrico

Durata dell'evento [ore]
 Precipitazione cumulata [mm]

Formulazione analitica

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

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

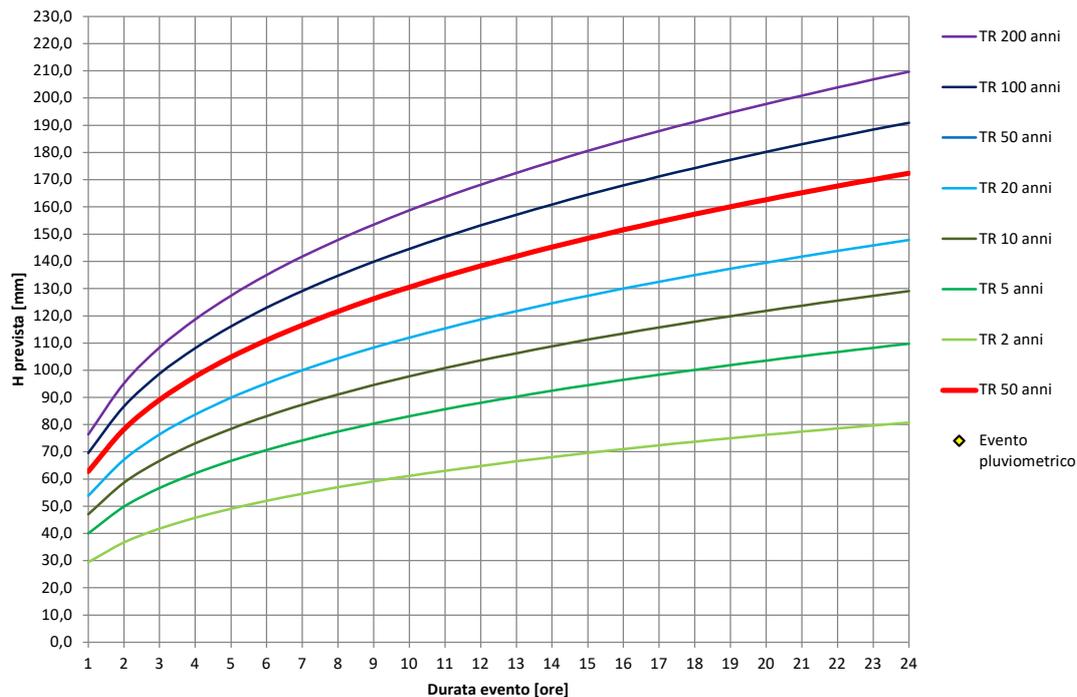
Bibliografia ARPA Lombardia:

<http://idro.arpalombardia.it/manual/lsp.pdf>
http://idro.arpalombardia.it/manual/STRADA_report.pdf

Tabella delle precipitazioni previste al variare delle durate e dei tempi di ritorno

Tr	2	5	10	20	50	100	200	50
wT	0,93470	1,26963	1,49399	1,71117	1,99518	2,21017	2,42623	1,99517949
Durata (ore)	TR 2 anni	TR 5 anni	TR 10 anni	TR 20 anni	TR 50 anni	TR 100 anni	TR 200 anni	TR 50 anni
1	29,4	40,0	47,0	53,9	62,8	69,6	76,4	62,8082503
2	36,7	49,8	58,6	67,1	78,3	86,7	95,2	78,2805601
3	41,7	56,7	66,7	76,4	89,0	98,6	108,3	89,0426584
4	45,7	62,1	73,1	83,7	97,6	108,1	118,6	97,5643497
5	49,1	66,6	78,4	89,8	104,7	116,0	127,4	104,732016
6	52,0	70,6	83,1	95,2	111,0	122,9	135,0	110,977605
7	54,6	74,2	87,3	100,0	116,5	129,1	141,7	116,54787
8	57,0	77,4	91,1	104,3	121,6	134,7	147,9	121,598547
9	59,1	80,3	94,5	108,3	126,2	139,8	153,5	126,234929
10	61,2	83,1	97,7	112,0	130,5	144,6	158,7	130,531911
11	63,0	85,6	100,7	115,4	134,5	149,0	163,6	134,544872
12	64,8	88,0	103,6	118,6	138,3	153,2	168,2	138,31605
13	66,5	90,3	106,2	121,7	141,9	157,2	172,5	141,87847
14	68,1	92,4	108,8	124,6	145,3	160,9	176,6	145,258506
15	69,6	94,5	111,2	127,3	148,5	164,5	180,6	148,477583
16	71,0	96,4	113,5	130,0	151,6	167,9	184,3	151,553375
17	72,4	98,3	115,7	132,5	154,5	171,1	187,9	154,500652
18	73,7	100,1	117,8	134,9	157,3	174,3	191,3	157,331894
19	75,0	101,9	119,9	137,3	160,1	177,3	194,6	160,057752
20	76,2	103,5	121,8	139,5	162,7	180,2	197,8	162,687402
21	77,4	105,1	123,7	141,7	165,2	183,0	200,9	165,228806
22	78,6	106,7	125,6	143,8	167,7	185,8	203,9	167,688925
23	79,7	108,2	127,4	145,9	170,1	188,4	206,8	170,073883
24	80,8	109,7	129,1	147,8	172,4	191,0	209,6	172,389102

Linee segnatrici di probabilità pluviometrica



CALCOLO SPEDITIVO DELLA PERMEABILITA' DI UN POZZETTO

BASE QUADRATA - LEFRANC

inizio prova: h 14 del 10-03-2022

località: Cesate - TM1

CARATTERISTICHE POZZETTO:

lato medio b = **1.05** m

profondità prova = 2,5 m

tempo secondi:	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14	t15	t16	t17	t18
	60	120	240	420	600	750	900	1050	1200	1500	1650	1800	2100	2400	2700	3000	3300	3600
abbassamento m:	h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	h14	h15	h16	h17	h18
	0.84	0.82	0.8	0.76	0.74	0.71	0.69	0.67	0.65	0.61	0.6	0.58	0.56	0.54	0.51	0.49	0.47	0.45
h2-h1		0.02	0.02	0.04	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.04	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02
t2-t1		60	120	180	180	150	150	150	150	300	150	150	300	300	300	300	300	300
		0.00033	0.00017	0.00022	0.00011	0.0002	0.00013	0.00013	0.00013	0.00013	6.7E-05	0.00013	6.7E-05	6.7E-05	0.0001	6.7E-05	6.7E-05	6.7E-05
		2.58095	2.54286	2.48571	2.42857	2.38095	2.33333	2.29524	2.25714	2.2	2.15238	2.12381	2.08571	2.04762	2	1.95238	1.91429	1.87619
		24.3429	23.8286	23.0571	22.2857	21.6429	21	20.4857	19.9714	19.2	18.5571	18.1714	17.6571	17.1429	16.5	15.8571	15.3429	14.8286
K m/sec:		3.53E-05	1.78E-05	2.40E-05	1.21E-05	2.20E-05	1.48E-05	1.49E-05	1.51E-05	1.53E-05	7.73E-06	1.56E-05	7.87E-06	7.96E-06	1.21E-05	8.21E-06	8.32E-06	8.44E-06

STATISTICA:

tab. 2

numero campioni:

17

considerati

valore massimo 3.53E-05

valore minimo 7.73E-06

media 1.46E-05

mediana 1.48E-05

dev standard 7.30E-06

coeff di variazione % 48.61

cov 0.50

METODO DELLE SOLE PIOGGE

TR 50 ANNI

inserisci dato
risultato

DATI IN ENTRATA:

comune:	Cesate (MI)		
luogo:	piano attuativo Tsm - aree	in cessione	
area totale lotto di intervento:	4442,24	mq	
area totale lotto soggetta a invarianza idraulica:	4442,24	mq	
	0,444224	ha	
aree impermeabili:	2199,85	mq	coefficiente deflusso: 1
aree semipermeabili (tetti verdi - giardini pensili - aree verdi sovrapposti a solette comunque costituite - pavimentazioni discontinue drenanti o semipermeabili di strade, vialetti, parcheggi):	0,00	mq	0,7
aree verdi munite di sistema di raccolta e collettamento:	0,00	mq	0,3
aree verdi drenanti:	2242,39	mq	0
coefficiente deflusso medio ponderale:			0,495

superficie scolante impermeabile:	2199,85	mq
portata limite allo scarico in fognatura:	0,00	lt/sec*ha
portata limite allo scarico in pozzo pendente:	3,57	lt/sec
portata massima infiltrata per ha di superficie scolante impermeabile:	16,23	lt/sec*ha
n° pozzi perdenti previsti:	7	
ogni singolo pozzo pendente drena (lateralmente):	0,51	lt/sec
dimensioni pendente:		
diametro:	2,00	m
altezza interna:	4,00	m
dati idrologici tr 50 anni:		
a:	62,8	mm/ora^n
n:	0,318	

RISULTATI:

Dw:	6,06	ore
volume di laminazione occorrente:	166,99	mc
tempo di svuotamento:	12,99	ore

REQUISITO MINIMO (da normativa):

volume di laminazione minimo (Art.12 RR 7/2017):	175,99	mc
--	--------	----

VOLUME LAMINATO - OPERE IN PROGETTO

batteria n° 7 pozzi perdenti diam. int. 2 metri e altezza utile 4,0 metri:	182,50	mc
tubazione DN 500 PVC (circa 150 ml)	29,44	mc
volume totale laminato:	211,94	mc

VERIFICA SODDISFATTA:

211,94 mc > 175,99 mc > 166,99 mc

METODO DELLE SOLE PIOGGE

TR 50 ANNI

inserisci dato
risultato

DATI IN ENTRATA:

comune:	Cesate (MI)		
luogo:	piano attuativo Tsm - aree	in cessione	
area totale lotto di intervento:	4442,24	mq	
area totale lotto soggetta a invarianza idraulica:	4442,24	mq	
	0,444224	ha	
aree impermeabili:	2199,85	mq	coefficiente deflusso: 1
aree semipermeabili (tetti verdi - giardini pensili - aree verdi sovrapposti a solette comunque costituite - pavimentazioni discontinue drenanti o semipermeabili di strade, vialetti, parcheggi):	0,00	mq	0,7
aree verdi munite di sistema di raccolta e collettamento:	0,00	mq	0,3
aree verdi drenanti:	2242,39	mq	0
coefficiente deflusso medio ponderale:			0,495

superficie scolante impermeabile:	2199,85	mq
portata limite allo scarico in fognatura:	0,00	lt/sec*ha
portata limite allo scarico in pozzo pendente:	3,57	lt/sec
portata massima infiltrata per ha di superficie scolante impermeabile:	16,23	lt/sec*ha
n° pozzi perdenti previsti:	7	
ogni singolo pozzo pendente drena (lateralmente):	0,51	lt/sec
dimensioni pendente:		
diametro:	2,00	m
altezza interna:	4,00	m
dati idrologici tr 50 anni:		
a:	69,9	mm/ora^n
n:	0,318	

RISULTATI:

Dw:	7,09	ore
volume di laminazione occorrente:	195,38	mc
tempo di svuotamento:	15,20	ore

REQUISITO MINIMO (da normativa):

volume di laminazione minimo (Art.12 RR 7/2017):	175,99	mc
--	--------	----

VOLUME LAMINATO - OPERE IN PROGETTO

batteria n° 7 pozzi perdenti diam. int. 2 metri e altezza utile 4,0 metri:	182,50	mc
tubazione DN 500 PVC (circa 150 ml)	29,44	mc
volume totale laminato:	211,94	mc

VERIFICA SODDISFATTA:

211,94 mc > 195,38 mc > 175,99 mc

All. E- Asseverazione del professionista in merito alla conformità del progetto ai contenuti del regolamento

DICHIARAZIONE SOSTITUTIVA DELL'ATTO DI NOTORIETA'

(Articolo 47 D.P.R. 28 dicembre 2000, n. 445)

Il sottoscritto **BORGHI MARCO EDOARDO** nato a **TRADATE** il **26/01/1965**, residente a **OLGIATE COMASCO** in via **PIERO GOBETTI n. 102** iscritto all' Ordine dei **geologi** della Regione **LOMBARDIA** al n **750** incaricato da **ORCHIDEA S.r.l.** di redigere il *Progetto di invarianza idraulica e idrologica* per l'intervento di realizzazione **OPERE DI URBANIZZAZIONE RELATIVE AL PIANO ATTUATIVO Tsm DI INIZIATIVA PRIVATA PER LO SVILUPPO DI NUOVI IMPIANTI PER LA DISTRIBUZIONE DEL CARBURANTE E RELATIVI SERVIZI - VIA SCARLATTI - CESATE (MI) - AREE IN CESSIONE**

In qualità di tecnico abilitato, qualificato e di esperienza nell'esecuzione di stime idrologiche e calcoli idraulici

Consapevole che in caso di dichiarazione mendace sarà punito ai sensi del Codice Penale secondo quanto prescritto dall'articolo 76 del succitato D.P.R. 445/2000 e che, inoltre, qualora dal controllo effettuato emerga la non veridicità del contenuto di taluna delle dichiarazioni rese, decadrà dai benefici conseguenti al provvedimento eventualmente emanato sulla base della dichiarazione non veritiera (articolo 75 D.P.R. 445/2000);

DICHIARA

che il comune di **CESATE**, in cui è sito l'intervento, ricade all'interno dell'area:

A: ad alta criticità idraulica

B: a media criticità idraulica

C: a bassa criticità idraulica

oppure:

che l'intervento ricade in un'area inserita nel PGT comunale come ambito di trasformazione e/o come piano attuativo previsto nel piano delle regole e pertanto di applicano i limiti delle aree A ad alta criticità

che la superficie interessata dall'intervento è minore o uguale a 300 m² e che si è adottato un sistema di scarico sul suolo, purché non pavimentato, o negli strati superficiali del sottosuolo e non in un ricettore, salvo il caso in cui questo sia costituito da laghi o dai fiumi Po, Ticino, Adda, Brembo, Serio, Oglio, Chiese e Mincio (art. 12, comma 1, lettera a)

che per il dimensionamento delle opere di invarianza idraulica e idrologica è stata considerata la portata massima ammissibile per l'area (A/B/C/ambito di trasformazione/piano attuativo) pari a:

10 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento

20 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento

..... l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento, derivante da limite imposto dall'Ente gestore del ricettore

che l'intervento prevede l'infiltrazione come mezzo per gestire le acque pluviali (in alternativa o in aggiunta all'allontanamento delle acque verso un ricettore), e che la portata massima infiltrata dai sistemi di infiltrazione realizzati è pari a 16,23 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento

- che in relazione all'effetto potenziale dell'intervento e alla criticità dell'ambito territoriale (rif. articolo 9 del regolamento), l'intervento ricade nella classe di intervento:
- Classe "0
 - Classe "1" Impermeabilizzazione potenziale bassa
 - Classe "2" Impermeabilizzazione potenziale media
 - Classe "3" Impermeabilizzazione potenziale alta
- che l'intervento ricade nelle tipologie di applicazione dei requisiti minimi di cui:
- all'articolo 12, comma 1 del regolamento
 - all'articolo 12, comma 2 del regolamento
- di aver redatto il *Progetto di invarianza idraulica e idrologica* con i contenuti di cui:
- all'articolo 10, comma 1 del regolamento (casi in cui non si applicano i requisiti minimi)
 - all'articolo 10, comma 2 e comma 3, lettera a) del regolamento (casi in cui si applicano i requisiti minimi)
- di aver redatto il *Progetto di invarianza idraulica e idrologica* conformemente ai contenuti del regolamento, con particolare riferimento alle metodologie di calcolo di cui all'articolo 11 del regolamento

ASSEVERA

- che il *Progetto di invarianza idraulica e idrologica* previsto dal regolamento (articoli 6 e 10 del regolamento) è stato redatto nel rispetto dei principi di invarianza idraulica e idrologica, secondo quanto disposto dal piano di governo del territorio, dal regolamento edilizio e dal regolamento;
- che le opere di invarianza idraulica e idrologica progettate garantiscono il rispetto della portata massima ammissibile nel ricettore prevista per l'area in cui ricade il Comune ove è ubicato l'intervento.
- che la portata massima scaricata su suolo dalle opere realizzate è compatibile con le condizioni idrogeologiche locali;
- che l'intervento ricade nell'ambito di applicazione dell'art. 12, comma 1, lettera a) del regolamento;
- che l'intervento ricade nell'ambito di applicazione della monetizzazione (art. 16 del regolamento), e che pertanto è stata redatta la dichiarazione motivata di impossibilità di cui all'art. 6 comma 1, lettera d) del regolamento, ed è stato versato al comune l'importo di Euro

Dichiara infine di essere informato, ai sensi e per gli effetti di cui all'articolo 13 del Dlgs 196 del 30 giugno 2003, che i dati personali raccolti saranno trattati, anche con strumenti informatici, esclusivamente nell'ambito del procedimento per il quale la presente dichiarazione viene resa.

Solaro, 17/12/2024

Il Dichiarante

Dr. Geol. Marco Borghi



Ai sensi dell'articolo 38, D.P.R. 445 del 28 dicembre 2000, così come modificato dall'articolo 47 del d. lgs. 235 del 2010, la dichiarazione è sottoscritta dall'interessato in presenza del dipendente addetto ovvero sottoscritta e presentata unitamente a copia fotostatica non autenticata di un documento di identità del sottoscrittore. La copia fotostatica del documento è inserita nel fascicolo. La copia dell'istanza sottoscritta dall'interessato e la copia del documento di identità possono essere inviate per via telematica.

La mancata accettazione della presente dichiarazione costituisce violazione dei doveri d'ufficio (articolo 74 comma D.P.R. 445/2000). Esente da imposta di bollo ai sensi dell'articolo 37 D.P.R. 445/2000.

**STUDIO DI GEOLOGIA APPLICATA
BORGHI DOTT. MARCO**

**VERIFICA AL DIMENSIONAMENTO DELLA RETE DI SCARICO
DI ACQUE METEORICHE**

PIANO ATTUATIVO Tsm

**DI INIZIATIVA PRIVATA PER LO SVILUPPO DI NUOVI IMPIANTI PER LA
DISTRIBUZIONE DEL CARBURANTE E RELATIVI SERVIZI
VIA SCARLATTI - CESATE (MI)**

AREE IN CESSIONE

Committente: ORCHIDEA S.r.l.

Relazione a cura di: Dott. Geologo Marco Borghi



Dicembre 2024

INDICE

PREMESSA

- 1. INTRODUZIONE**
- 2. DEFINIZIONE DELLE AREE**
- 3. DEFINIZIONE DELL'EVENTO PLUVIOMETRICO DI PROGETTO**
- 4. MODELLO**
- 5. RISULTATI DEL MODELLO E CONCLUSIONI**

Tabella 1: Caratteristiche delle aree in esame

Area	Area [mq]	Impermeabilizzazione [%]	Larghezza [m]	Pendenza [%]	Nodo di deflusso
S1	925,17	100	10	0,2	J1
S2	257,33	84	14,7	0,2	J2
S3	587,06	98	10	0,2	J4
S4	61,61	100	12,5	0,2	J5
S5	125,56	100	12,5	0,2	J6
S6	133,20	100	12,5	0,2	J7
S7	190,84	100	12,5	0,2	OUTFALL

3 - DEFINIZIONE DELL'EVENTO PLUVIOMETRICO DI PROGETTO

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

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

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

h [mm]: altezza di pioggia

a_1 [mm/oraⁿ]: coefficiente pluviometrico orario

D [ore]: durata di pioggia

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

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

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

ε, α, k [-]: parametri della legge probabilistica GEV

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

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

Per quanto attiene i parametri caratteristici delle linee segnalatrici di pioggia si possono estrarre per il territorio regionale dal Portale Idrologico Geografico di ARPA Lombardia:

<http://idro.arpalombardia.it/pmapper-4.0/map.phtml>.

Il tempo di ritorno adottato è di 100 anni.

Ietogramma di pioggia di progetto

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

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

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

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

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

h [mm]: altezza di precipitazione

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

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

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

t [ore]: generico istante di calcolo

t_p [ore]: durata della precipitazione

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

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

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

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

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

i [mm/ora]: intensità di precipitazione

Δt [ore]: passo di calcolo dell'intensità di precipitazione.

Lo ietogramma di progetto può essere osservato in Fig. 2.

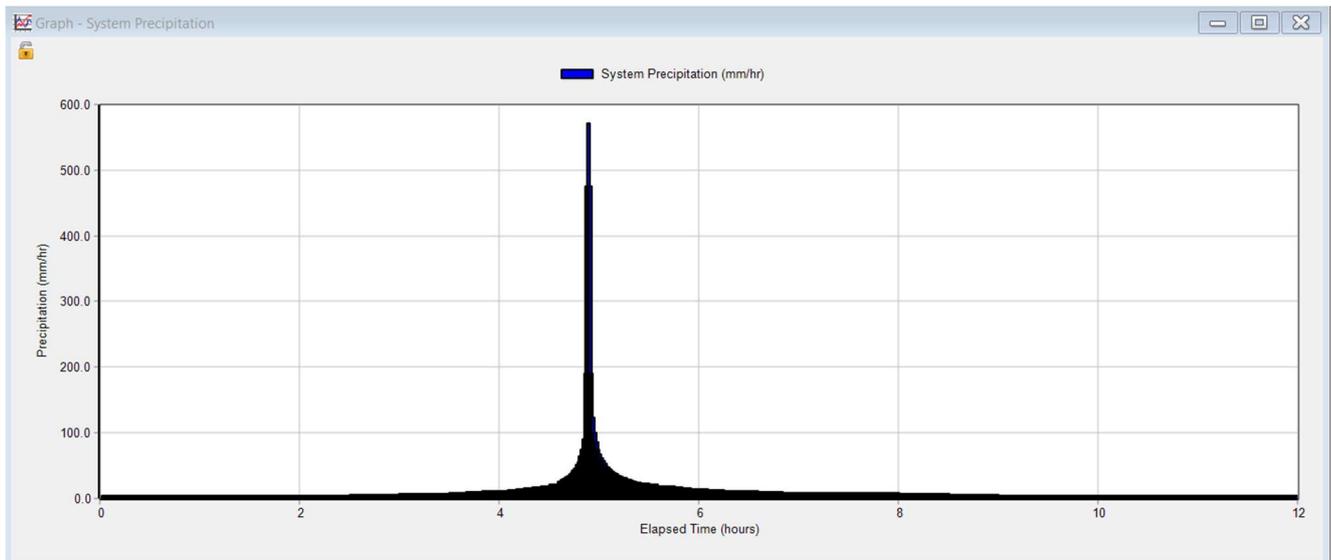


Figura-2: letogramma di progetto (Tr 100 anni)

4 – MODELLO

L'EPA Storm Water Management Model è un modello a moto vario di simulazione idraulica di afflussi in deflussi che risolvendo le equazioni di De Saint Venant, e consente di verificare il comportamento dei canali e delle condotte a seguito di un evento pluviometrico di progetto. La componente del deflusso SWMM opera su un insieme di aree sottobacino su cui cade la pioggia ed ove il deflusso viene generato. La porzione di routing di SWMM trasporta questo deflusso attraverso il sistema di trasporto composto da tubi, canali, dispositivi di stoccaggio/trattamento, pompe e regolatori.

SWMM rappresenta i vari processi idrologici che producono il deflusso dalle aree urbane. La variabilità spaziale di questi processi viene realizzata dividendo la zona di studio in sottobacini, subcatchment, ognuna delle quali sarà divisa sulla base dell'area permeabile ed impermeabile. Il flusso terrestre può essere diretto tra i subcatchment, o nei punti di entrata di una rete di fognatura.

L'acqua che defluisce dalle 7 aree prese in considerazione viene defluita, attraverso un canale di raccolta principale (Fig. 3), nei pozzi perdenti. Nella Tab. 3 viene riassunta la ripartizione del canale di scolo principale.

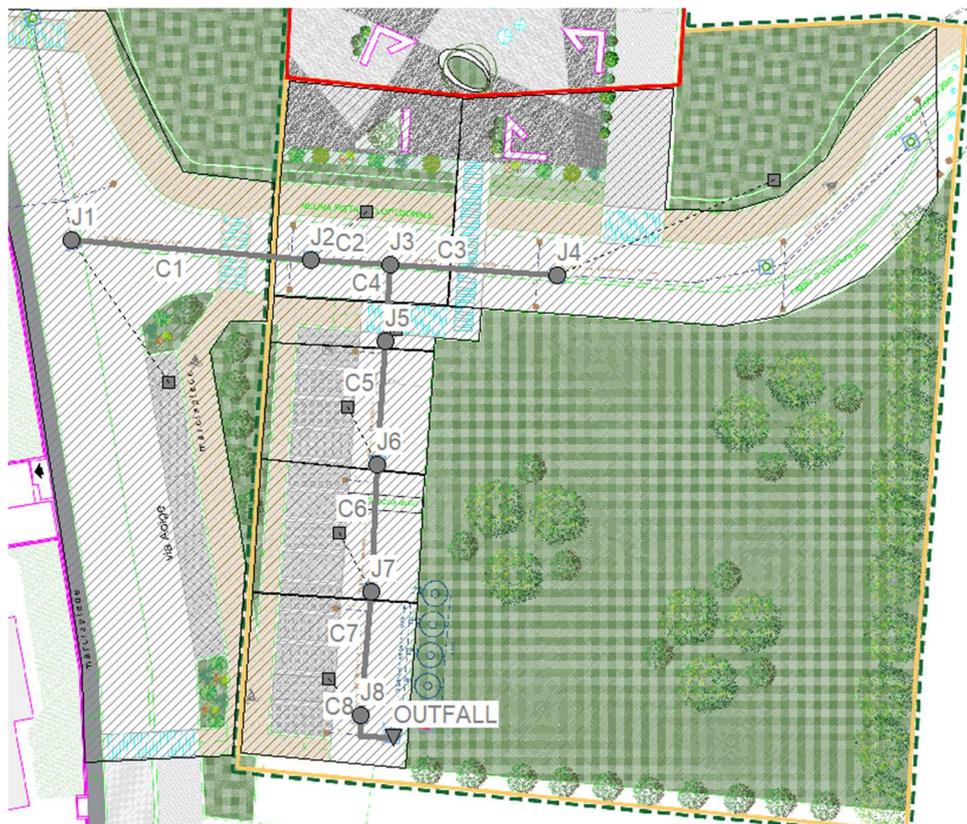


Figura-3: Ripartizione della condotta in esame

Tabella 2: Caratteristiche delle condotte prese in esame

Nome	Nodo a monte	Nodo a valle	Diametro [cm]	Lunghezza [m]	Inclinazione [%]
C1	J1	J2	50	15,0	0,3
C2	J2	J3	50	6,5	0,3
C3	J4	J3	50	13,9	0,3
C4	J3	J5	50	6,2	0,3
C5	J5	J6	50	9,8	0,3
C6	J6	J7	50	10,5	0,3
C7	J7	J8	50	10,0	0,3
C8	J8	OUTFALL	50	3,5	0,3

5 – RISULTATI DEL MODELLO E CONCLUSIONI

Le simulazioni matematiche eseguite con il modello SWMM permettono di osservare il grado di riempimento delle condotte e rami dei corpi idrici. Tale variabile permette di determinare le criticità del sistema di raccolta dell'acqua.

I modelli ottenuti mostrano tali variabili nel tempo, durante tutta la durata delle precipitazioni.

Dall'analisi delle simulazioni matematiche condotte non sono emerse particolari criticità del sistema progettato per la raccolta e lo smaltimento dell'acqua.

Di seguito si riportano le schermate dei risultati della simulazione.

Link	Type	Maximum [Flow] CMS	Day of Maximum Flow	Hour of Maximum Flow	Maximum [Velocity] m/sec	Max / Full Flow	Max / Full Depth
C1	CONDUIT	0.087	0	04:55	0.83	0.32	0.59
C2	CONDUIT	0.120	0	04:55	0.90	0.44	0.65
C3	CONDUIT	0.064	0	04:55	0.49	0.26	0.63
C4	CONDUIT	0.185	0	04:55	1.36	0.68	0.67
C5	CONDUIT	0.193	0	04:55	1.38	0.71	0.68
C6	CONDUIT	0.209	0	04:55	1.46	0.77	0.69
C7	CONDUIT	0.225	0	04:55	1.57	0.84	0.69
C8	CONDUIT	0.248	0	04:55	1.73	0.90	0.69

Figura 4: Risultati della simulazione del modello per le condotte

Dalla Fig. 4 si può vedere che l'ora di simulazione della massima portata è 4:55. La percentuale di riempimento delle condotte nel momento più critico varia, per quell'istante, da un minimo del 59% per il tratto C1 a un massimo del 69% per i tratti finali C6, C7 e C8, confermando il corretto dimensionamento delle condotte.

Node	Type	Maximum Lateral Inflow CMS	Maximum Total Inflow CMS	Day of Maximum Inflow	Hour of Maximum Inflow	Lateral Inflow Volume 10 ⁶ ltr	Total Inflow Volume 10 ⁶ ltr	Flow Balance Error %
J1	JUNCTION	0.087	0.087	0	04:55	0.135	0.135	0.021
J2	JUNCTION	0.037	0.120	0	04:55	0.0377	0.173	0.022
J3	JUNCTION	0.000	0.184	0	04:55	0	0.259	0.023
J4	JUNCTION	0.065	0.065	0	04:55	0.0862	0.0862	0.025
J5	JUNCTION	0.010	0.192	0	04:55	0.00911	0.268	0.016
J6	JUNCTION	0.019	0.207	0	04:55	0.0186	0.287	0.019
J7	JUNCTION	0.020	0.224	0	04:55	0.0197	0.306	0.021
J8	JUNCTION	0.027	0.248	0	04:55	0.0282	0.335	0.029
OUTFALL	OUTFALL	0.000	0.248	0	04:55	0	0.334	0.000

Figura 5: Risultati della simulazione sui nodi del modello

Infine, in Fig. 5 vengono riassunti i risultati della simulazione sui nodi del sistema, compreso l'output finale.

Solaro, li 17 Dicembre 2024

Dr. Geol. Marco Borghi

1. Verifica statica delle condotte interrato.

Le tubazioni posate in scavo o terrapieno, sono soggette a carichi esterni, dovuti al peso del materiale di ricoprimento e a quello dei manufatti che gravano sullo stesso (carichi statici) e ai carichi dovuti al passaggio di mezzi sopra o in prossimità della condotta (carichi dinamici).

Quando una tubazione posata in scavo è soggetta a carichi esterni si verificano interazioni tra tubo, materiale di riempimento e parete dello scavo.

Nei tubi rigidi prima del collasso della condotta la deformazione è trascurabile, se non nulla in alcuni casi. La contropinta del terreno in questo caso serve solo a diminuire le tensioni di parete dovute al carico laterale del terreno stesso. Nel caso di tubi rigidi, inoltre, il valore del carico è più elevato che in quelli flessibili e si concentra sulle generatrici, superiore e inferiore, traducendosi in momenti flettenti nella parete.

Va considerato inoltre che l'assestamento del terreno intorno ai tubi posati è diverso nel caso di tubi rigidi rispetto a tubi flessibili; infatti nel caso di tubi rigidi il cedimento del terreno dovuto all'assestamento avviene in corrispondenza dei lati dello scavo, mentre per i tubi flessibili il cedimento avviene in corrispondenza del centro dello scavo.

Nel caso di tubi flessibili, la deformazione può raggiungere valori sensibili: la contropinta del materiale di rifianco si traduce in una limitazione della deformazione (Fig. 1). Il carico è inferiore, più uniformemente distribuito e si traduce in sforzi di compressione. È quindi importante ottenere, durante l'installazione, un sufficiente contrasto compattando il rifianco in modo adeguato, per limitare la deformazione a valori accettabili.

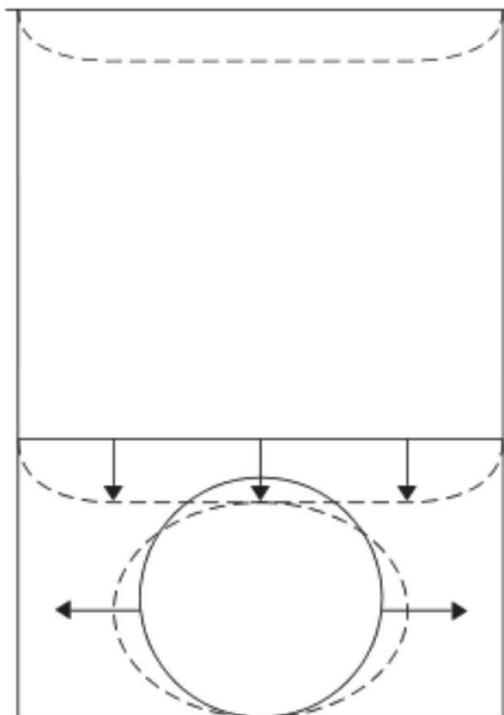


Figura 1

Maggiore è dunque la "rigidezza" del materiale di riempimento e della struttura attorno al tubo, maggiore è la resistenza della condotta alle sollecitazioni esterne.

La reazione del sistema terreno-riempimento va rapportata al modulo di elasticità del terreno di riempimento, che dipende direttamente dal grado di compattazione, ed al modulo di elasticità delle pareti dello scavo. Ai fini della riduzione delle deformazioni, ma anche delle tensioni, la rigidità del contorno prevale su quella del tubo.

Per i tubi flessibili generalmente si utilizza il metodo di Spangler che considera il fatto che il modulo elastico del terreno di riempimento non è costante, mentre rimane praticamente costante il modulo secante (prodotto del modulo elastico per il raggio della condotta).

Dalle considerazioni espresse si può quindi vedere come sia fondamentale trovare il giusto equilibrio tra rigidità del tubo e carico esterno al quale, durante la fase di installazione, dovrebbero essere aggiunte le sollecitazioni dovute all'operazione di riempimento dello scavo e alla compattazione del materiale di riempimento; infatti la situazione che si crea durante la fase di chiusura dello scavo può essere più critica di quella a medio o lungo termine, in cui il materiale di riempimento va ad autocompattarsi.

Nei tubi rigidi il materiale di riempimento inizialmente non ha l'effetto di supporto che invece è presente nel caso di tubazioni flessibili. Se non vengono eseguite accuratamente, le operazioni di compattazione trasmettono alla tubazione carichi dinamici impulsivi e vibrazioni che in alcuni casi possono portare a fenomeni di crisi (cricche, cedimenti, rotture).

Le tubazioni flessibili invece reagiscono a tali sollecitazioni con una deformazione elastica, alla quale si oppone il terreno di contorno.

2. Calcolo della deformazione.

Come già detto precedentemente, il sistema terreno-trincea interagisce con la tubazione soggetta a carichi esterni in modo da opporsi alla deformazione. L'equazione che regola il calcolo della deformazione dei tubi corrugati è la classica equazione derivante dal metodo di Spangler, in cui i dati relativi a trincea, materiali di riempimento e compattazione non sono direttamente presenti, ma rientrano nei calcoli dei diversi fattori utilizzati.

$$\Delta D_e = \frac{(d_1 \times P_0 + P_{tt}) \times K_{xx}}{8 \times SN_{50} + 0,061 \times E'}$$

In cui:

Variabile	Unità di Misura	Caratteristiche
ΔD_e	mm	Variazione del diametro esterno a causa del carico esterno
d_1	-	Fattore di incremento del carico (1,5 ÷ 2,0)
P_0	N/m	Carico statico del terreno
P_{tt}	N/m	Carico dinamico dovuto al traffico
K_{xx}	-	Costante di fondo
SN_{50}	KN/m ²	Rigidità circonferenziale a lungo termine
E'	KN/m ²	Modulo secante del terreno

La deformazione così calcolata deve dare un risultato di schiacciamento relativo inferiore al 5% del diametro esterno.

3. Calcolo statico.

Il carico statico che grava sul tubo è quello dato dal peso del terreno che lo ricopre, adeguatamente moltiplicato per un coefficiente correttivo dipendente dalle caratteristiche del terreno e dalla geometria dello scavo.

$$P_0 = C \times \gamma_{tt} \times D_e \times B$$

in cui:

Variabile	Unità di Misura	Caratteristiche
P_0	N/m	Carico statico del terreno
C	-	Coefficiente di carico del terreno
γ_{tt}	N/m ³	Peso specifico del materiale di riempimento
D_e	m	Diametro esterno del tubo
B	m	Larghezza dello scavo sull'estradosso superiore del tubo

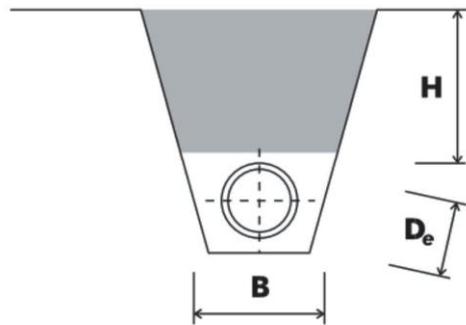


Figura 2

Il valore di C si ricava da:

$$C = \frac{1 - e^{\left(\frac{-2 \times K \times \mu \times H}{B}\right)}}{2 \times K \times \mu}$$

$$K = \frac{1 - \text{sen } \varphi}{1 + \text{sen } \varphi}$$

in cui:

Variabile	Unità di Misura	Caratteristiche
C	-	Coefficiente di carico del terreno
K	-	Coefficiente di Rankine
μ	-	Coefficiente di attrito tra materiale di riempimento e fianco dello scavo

φ	radianti	Angolo di attrito interno del materiale di riporto
H	m	Altezza dello scavo misurata dall'estradosso superiore del tubo
B	m	Larghezza dello scavo sull'estradosso superiore del tubo

4. Carico dinamico.

Il carico dovuto al traffico, carico di superficie, va ad aggiungersi ai carichi statici e influisce sul calcolo della deformazione del tubo.

Nelle formule descritte si utilizza un carico di superficie Q che tiene conto sia del carico dinamico dovuto al traffico che del carico statico dato dalle strutture fisse che gravano sulla trincea (fondazioni, immobili ecc.).

La formula di riferimento per il calcolo del carico superficiale deriva dalla teoria di Boussinesq, attraverso la quale si calcola la tensione verticale dovuta a un carico superficiale in un punto qualsiasi sotto il piano di campagna.

$$\sigma_z = \frac{3 \times Q}{2 \times \pi \times H^2} \times \left(\frac{1}{1 + \left(\frac{r}{H}\right)^2} \right)^{5/2}$$

$$P_t = \sigma_z \times D_e$$

In cui:

Variabile	Unità di Misura	Caratteristiche
P_t	N/m	Carico dinamico
σ_z	N/m ²	Tensione verticale
Q	N	Carico superficiale totale
r	m	Distanza orizzontale dal punto di carico

La tensione verticale si considera ugualmente distribuita su una larghezza pari al diametro orizzontale del tubo e di lunghezza unitaria.

Dalle formule si evince che il carico dinamico decresce con il quadrato della profondità di copertura, per cui il carico assume notevole importanza nel caso di altezze di ricoprimento inferiori ai 2 m.

Il carico dinamico è inoltre un carico che non è presente in maniera costante, per cui il fatto di considerarlo sempre presente consente di avere risultati conservativi nel calcolo della deformazione.

5. Angolo di supporto.

Il termine di costante di fondo è legato al valore dell'angolo di supporto (angolo di sostegno, normalmente indicato con 2α) ed è stato definito sperimentalmente.

Il valore di K_x è riferito praticamente all'accuratezza della preparazione del letto di posa.

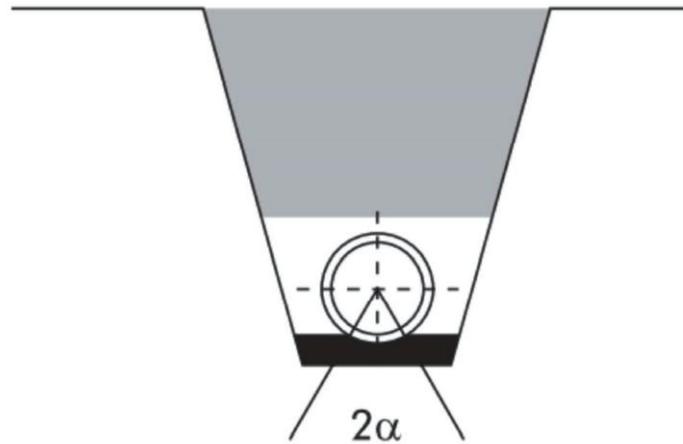


Figura 3

È dunque opportuno fare in modo che il letto di posa consenta un angolo di appoggio superiore a 90° , tendendo a raggiungere la condizione di massimo appoggio (180°) con una accurata compattazione del materiale di rifianco.

I valori di K_x definiti nelle tabelle sono interpolabili linearmente per angoli di appoggio diversi da quelli tabulati.

6. Rigidezza circonferenziale a lungo termine.

La rigidezza circonferenziale (SN) del tubo è definita secondo la norma prEN 13476-1 dalla ISO 9969 e deriva da una prova di schiacciamento a velocità costante fino ad una deformazione del 3% del valore del diametro interno.

Il valore di rigidezza circonferenziale a lungo termine è in relazione con la rigidezza a breve termine attraverso lo stesso rapporto che esiste tra i moduli elastici.

7. Modulo secante del terreno.

Il modulo secante del terreno, o modulo di resistenza, dipende dalla natura e dal grado di compattazione del terreno. È costante per tutti i diametri di tubo e la classificazione adottata è quella della ASTM 2487.

DATI DEI VARI TIPI DI TERRENO DI RIPORTO

Tipo di terreno	Angolo di attrito interno φ (gradi)	Peso specifico γ_t (kN/m ³)	Peso di volume del terreno immerso γ' (kN/m ³)
Argilla fangosa	20	20	16,9
Argilla sabbiosa	14	18	15,9
Argilla umida comune	12	20	16,4
Fango con polvere di roccia	25	18	16,9

Loess	18	21	15,9
Marna	22	21	16,9
Misto di cava di ghiaia e ciottoli	37	20	16,8
Misto di cava di sabbia e ghiaia	33	20	16,5
Sabbio argilloso	15	18	15,9
Sabbia secco	31	15	15,9
Sabbia umida	34	17	16,4
Terra secco	14	17	15,5
Terra umida	25	20	16,0

Tipologie di terreno

Tipo di terreno	Angolo di attrito tra materiale di riporto e trincea $\mu\mu$
Gesso	0,33
Argilla secca	0,41
Argilla umida	0,21
Terra secca sciolta	0,21
Terra secca costipata	0,26
Terra alla rinfusa	0,6
Terra molto compatta	0,62
Terra umida costipata	0,65
Ghiaia	0,47
Ghiaia con sabbia	0,49
Argilla grassa secca	0,25
Argilla grassa umida	0,41
Fango	0,47
Ciottoli	0,75
Sabbia secca	0,6
Sabbia compattata	0,65
Sabbia umida	0,67
Sassi grossi	0,75

Angolo di attrito tra materiale di riporto e trincea μ

CARICHI DOVUTI AL TRAFFICO

Classe di Carico	Carico totale kN	Carico per ruota kN
Traffico pesante	600	100
Traffico medio	450	75
Traffico medio	300	50

Traffico leggero	120	20
Traffico leggero	60	20
Autovettura	30	10

Classe	Carico totale kN
HT60	100
HT45	75
HT38	62,5
HT30	50
HT26	35

Classe	Carico per ruota kN	
	Anteriore Pa	Posteriore Pp
LT12	20	40
LT6	10	20
LT3	5	10

Tipologie di traffico (DIN 1072)

INFLUENZA DELL'ANGOLO DI SUPPORTO

2α	0°	60°	90°	120°	180°
K_x	0,121	0,103	0,096	0,090	0,083

Coefficiente di sottofondo Sprangler

Tipo di terreno	Compattazione			
	Rinfusa	Leggera	Moderata	Alta
	Indice di 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

Moduli di elasticità del terreno di rinfianco (ASTM 2487)

8. Calcoli sulla deformazione a lungo termine per tubazioni interrato.

I calcoli per la verifica della deformazione delle tubazioni sotto carico sono stati effettuati con i metodi classici della scienza delle costruzioni e della meccanica delle terre nelle condizioni più gravose. Le verifiche sono state condotte considerando le possibili giaciture delle tubature in progetto.

Alla luce di quanto esposto sopra, i tratti in questione rispettano le verifiche del comportamento statico delle condotte interrate.

VERIFICA TUBO: Tubo PVC SN8 – Diametro 500 mm – Profondità scavo 1,5 m

DATI DIMENSIONALI DEL TUBO		SOVRACCARICO STATICO	
Diametro tubazione, \varnothing (mm)	500	Carico concentrato statico, P_s (kN)	0.00
Spessore, s (mm)	14.6	Lunghezza impronta, u_1 (m)	0.00
Materiale tubo	PVC	Larghezza impronta, u_2 (m)	0.00
Modulo di elasticità, E_m (kN/m ²)	3000000	Pressione statica, q_s (kN/m ²)	0
Rapporto diametro esterno/spessore, SDR	3	Coefficiente di diffusione, β	0.71
Rigidezza circonferenziale, SN (kN/m ²)	9993	Sovraccarico statico, Q_s (kN/m)	0
DATI DELLO SCAVO		SOVRACCARICO IDROSTATICO	
Larghezza, B (m)	1	Profondità quota di falda, h' (m)	0
Altezza sull'estradosso, H (m)	1.5	Pressione da falda, q_f (kN/m ²)	0
Modulo elasticità del rinterro, E_t (kN/m ²)	10000	Carico idrostatico, Q_{idr} (kN/m)	0
Peso specifico del rinterro, γ_t (kN/m ³)	20	CARICO DA FLUIDO TRASPORTATO	
Angolo di attrito interno, ϕ (°)	30	Diametro interno tubazione, D_i (mm)	470.8
Coefficiente di attrito rinterro/pareti, μ	0.58	Carico da fluido trasportato, Q_a (kN/m)	1.71
Coefficiente di rigidezza relativa, n	0	CARICO TOTALE	
Tipo di tubazione	Rigida	Carico statico rinterro, Q_{st} (kN/m)	26,2
Verifica tipo di trincea (UNI 7517)	Stretta	Sovraccarico dinamico, Q_d (kN/m)	1,6
Si applica la riduzione del carico per l'azione attritiva del terreno		Sovraccarico statico, Q_s (kN/m)	0
		Carico idrostatico, Q_{idr} (kN/m)	0
		Carico da fluido trasportato, Q_a (kN/m)	1,7
		Carico totale, Q_{tot} (kN/m)	29,5
CARICO STATICO RINTERRO		REAZIONE LATERALE DEL TERRENO	
Coefficiente di spinta attiva, K_a	0.33	Qualità costipazione	Buona
Coefficiente di Marston, χ	2.616	Grado di costipazione del terreno, f_c	17
Pressione verticale, q_{st} (kN/m ²)	73.8	Coefficiente di rigidità, c_r (N/cm ²)	255
Carico statico rinterro, Q_{st} (kN/m)	26.2	Pressione laterale del terreno, (kN/m ²)	6,6
SOVRACCARICO DINAMICO		Reazione laterale del terreno, (kN/m)	2,3
Tipologia rete di traffico	Stradale	<input type="button" value="Ottieni i carichi"/> <input type="button" value="Esegui verifiche"/>	
Tipologia di mezzi (DIN1072)	Pesanti	<input type="button" value="Mostra grafico"/>	
	HT 60		
Coefficiente dinamico, ω	1.02		
Carico per ruota, P (kN/ruota)	100		
Pressione dinamica, q_d (kN/m ²)	3.2		
Sovraccarico dinamico, Q_d (kN/m)	1.6		

Verifica per tubazione RIGIDA	
Classe di resistenza (kN/m ²)	8
Indice di posa	1.5
Carico di rottura, F_s (kN/m)	188,5
Carico totale agente, F_{tot} (kN/m)	29,5
Coefficiente di sicurezza, F_{tot}/F_s	6,4
Tubazione verificata	
<input type="button" value="Verifica"/>	