

MESSA IN SICUREZZA E SMALTIMENTO ACQUE TRA EX SS.42-VIA NAZIONALE E VIA G.PAGLIA
CUP: C69J22002440004 - CIG: ZA637C708C



COMUNE DI LOVERE
PROVINCIA DI BERGAMO

Fase Progettuale

PROGETTO DEFINITIVO

Oggetto

Relazione idraulica ed idrologica

Ing. P. Cancelli
Ing. G. Bragonzi

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: sca@sca.fastwebnet.it



Collaborazione

Elaborato

B01

Codice **285D009T07**

Scala -

Maggio 2023	0	Emissione per consegna	PC
Data	n°	Descrizione	Approvato



Indice

1	PREMESSA	3
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
2.1	Normativa di riferimento	4
2.2	Bibliografia	4
3	DESCRIZIONE DELLE OPERE	5
4	IDROLOGIA.....	7
4.1	Definizione e caratteristiche dell'area drenata	7
4.1.1	Superficie planimetrica del bacino	7
4.1.2	Pendenza media dei versanti.....	7
4.1.3	Lunghezza e pendenza media dell'asta principale	9
4.2	Linee segnalatrici di Probabilità Pluviometrica	9
4.3	Tempo di corrivazione.....	12
4.4	Portata di progetto	14
5	VERIFICHE IDRAULICHE	18
5.1	Tubazione di scarico	18
5.1.1	Funzionamento in pressione	18



1 PREMESSA

Il presente documento è stato redatta nell'ambito della progettazione delle opere previste per la *messa in sicurezza e smaltimento acque tra ex SS.42-via Nazionale e via G. Paglia in comune di Lovere (BG)*.

Innanzitutto vengono descritte le opere previste nel presente progetto, soprattutto con riferimento ai loro aspetti idraulici. Si procederà poi alla caratterizzazione del bacino, per poter stimare la portata di riferimento per le successive verifiche idrauliche.



2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Normativa di riferimento

- [1] Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE, Decreto Legislativo 12.04.2006, n. 163, G.U. n. 100 del 02.05.2006.
- [2] Regolamento di esecuzione e attuazione del Decreto Legislativo 12.04.2006, n. 163, DPR del 05.10.2010, n. 207, G.U. n. 288 del 10.12.2010, Supplemento Ordinario n. 270.

2.2 Bibliografia

- Becciu, G. & Paoletti, A. (1999). *Esercitazioni di costruzioni idrauliche*. CEDAM, Padova.
- Ferro, V. (2002). *La sistemazione dei bacini idrografici*. McGraw-Hill, Milano.
- De Michele C., Rosso R., Rulli M. C. (2005). *Il regime delle precipitazioni intense sul territorio della Lombardia. Modello di previsione statistica delle precipitazioni di forte intensità e breve durata. Relazione finale*. Progetto SHAKEUP-2 in tema di regime delle precipitazioni intense sul territorio della Lombardia.
- Giandotti M. (1934). *Previsione delle piene e delle magre dei corsi d'acqua*. Memorie e studi idrografici, Pubbl. 2 del Servizio Idrografico Italiano, vol. VIII, 107.
- Kirpich, Z.P. (1940). *Time of concentration of small agricultural watershed*. Civil Engineering, 10(6), 362.
- Merlo, C. (1973). *Determinazione mediante il "Metodo Razionale" delle portate massime di piena di data frequenza nei piccoli bacini*. Annali della facoltà di Scienze Agrarie, Tipografia Vincenzo Bona, Torino.
- Watt, W.E. & Chow, K.C.A. (1985). *A general expression for basin lag time*. Canadian Journal of Civil Engineering, vol. 12, pp. 294-300.
- USDA-SCS (1972). *National Engineering Handbook*. Part 630 Hydrology, Section 4, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- USDA-SCS (1986). *Urban Hydrology for Small Watersheds*. Technical Release No. 55, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.



3 DESCRIZIONE DELLE OPERE

Al km 61+400 della SS. 42, nel Comune di Lovere, le acque di ruscellamento vengono convogliate, a partire dal ciglio di valle della strada stessa, in un piccolo canale in calcestruzzo a cielo libero. Il canale risulta di sezione idonea relativamente alle portate trasportare anche alla luce della forte pendenza, in quanto non si sono mai verificati casi di tracimazione di acqua dalle sue pareti.

Il canale, transitando al confine fra due proprietà, smaltisce le acque direttamente sulla strada sottostante (S.P. 469 Lovere-Castro, che nel comune di Lovere è denominata via G. Paglia) mediante caduta diretta a cascata dalla sommità di un manufatto di sostegno in c.a. faccia a vista.

Nonostante la presenza al piede del muro di sostegno di una caditoia, durante eventi meteorici di forte intensità, la caditoia viene scavalcata dall'acqua che prosegue la sua corsa attraversando trasversalmente la Strada Provinciale fino ad arrivare alla quota del Lago. In questi casi si creano situazioni di forte pericolo per gli utenti della Strada Provinciale.

Come detto, non risultando casi di tracimazione del canale, la strategia intervento è volta a modificare il punto finale del canale evitando che l'acqua finisca su via Paglia e garantendone lo smaltimento. Le acque che scorrono nel canale derivano dal ruscellamento superficiale di parte del versante soprastante. La SS 42, tagliando trasversalmente il versante, raccoglie le acque di ruscellamento che tenderebbero a scorrere fino al lago, loro recapito naturale. Per questo motivo il progetto prevede che le acque che scorrono nel canale vengano recapitate nel lago.

Il progetto prevede la realizzazione di una vasca nella parte terminale del canale, previa demolizione del manufatto di sostegno esistente. La vasca è volta al rallentamento della corrente ed alla sedimentazione di eventuali trasporti solidi. A partire dalla vasca inizia una tubazione di smaltimento in pressione con recapito diretto a Lago.

La vasca sarà munita di grigliati removibili per consentire le operazioni di manutenzione ed inoltre viene previsto un sistema di sicurezza a sfioro con funzione precauzionale in caso di malfunzionamento della tubazione di scarico prevista. La vasca sarà realizzata in c.a. gettato in opera. La parte lungo la via Paglia sarà rivestita in pietra.

La nuova tubazione di scarico attraverserà la S.P. 469, scenderà lungo la scarpata a sostegno della stessa per poi proseguire sulle vie e sul piazzale a quota lago fino al punto d'immissione nel lago stesso. Trattandosi di tubazione in pressione con



Comune di
Lovere (BG)

**Messa in sicurezza e smaltimento acque tra ex SS.42-via
Nazionale e via G. Paglia in comune di Lovere (BG)**

battente di circa 6 m di dislivello lo scarico viene sempre garantito anche posizionando il tubo d'ingresso al di sotto del pelo libero del lago in modo da mitigarne la presenza.



4 IDROLOGIA

4.1 Definizione e caratteristiche dell'area drenata

Il territorio comunale di Lovere è caratterizzato dalla presenza di un reticolo idrografico fortemente controllato dalle caratteristiche geo-strutturali del substrato, in particolare nella porzione di monte dove le modificazioni antropiche hanno avuto un minore impatto sul territorio. Nel territorio comunale si individuano una serie di bacini imbriferi principali con asse disposto all'incirca in direzione NNO-SSE: a partire dal confine con il territorio di Costa Volino, si riconoscono: bacino di Val Rescudio, bacini di Val Marino est di Val Marino Ovest, bacino di Val Vendra, l'interbacino di versante del Lago d'iseo; quest'ultimo è quello che include l'area e di Cornasola, via Nazionale e via Dante.

L'interbacino di versante del Lago d'Iseo (per semplicità: Interbacino di Versante) non presenta un vero e proprio reticolo di drenaggio se non nella parte di monte dove sono presenti alcuni piccoli impluvi minori che tuttavia non arrivano direttamente a Lago se non in maniera indiretta, attraverso opere artificiali o infiltrandosi in profondità attraverso inghiottitoio o doline dai quali, talvolta, ricompaiono in superficie con sorgenti perenni o effimere. È comunque possibile definire la porzione di versante le cui acque di ruscellamento si accumulano sulla via Nazionale in corrispondenza dello scarico. Tale area è concettualmente assimilabile a quella di un bacino la cui sezione di chiusura è posta all'inizio del canale di scarico, per cui nel proseguo verrà indicata indifferentemente come "area drenata" o "bacino".

Il perimetro dell'area drenata è stato definito analizzando criticamente i risultati degli strumenti di analisi idrologica del software Qgis, ottenuti a partire dal DTM 5x5 m. In Figura 4.1 è mostrata l'estensione dell'area, la cui sezione di chiusura è posta in corrispondenza del canale di scarico.

4.1.1 Superficie planimetrica del bacino

La superficie del bacino è stata calcolata attraverso gli strumenti di analisi di Qgis. Si ottiene una superficie pari a 136359 mq (0.1364 kmq).

4.1.2 Pendenza media dei versanti

Per calcolare la pendenza media dei versanti del bacino è stato innanzitutto creato un layer, a partire dal DTM 5x5 m, contenente la pendenza, dal quale è stato estratto un layer contenente i dati relativi al solo bacino in oggetto. Si ottiene un valor medio della pendenza dei versanti pari al 41.56%.

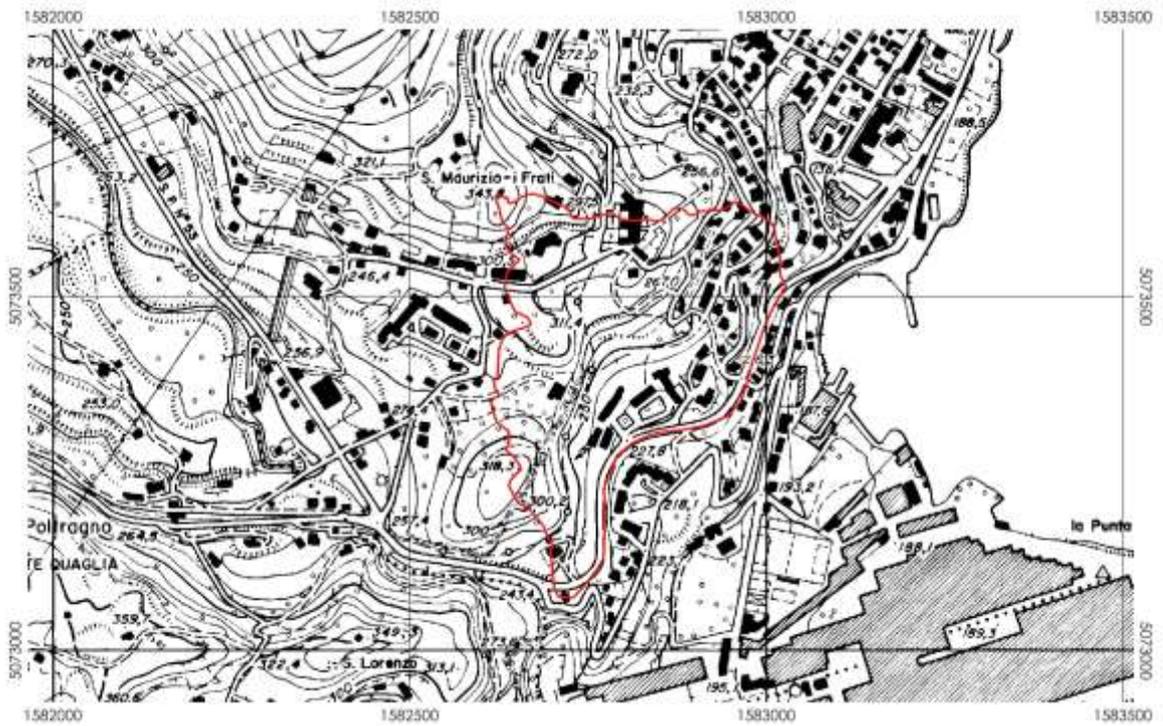


Figura 4.1: area drenata in via Dante.

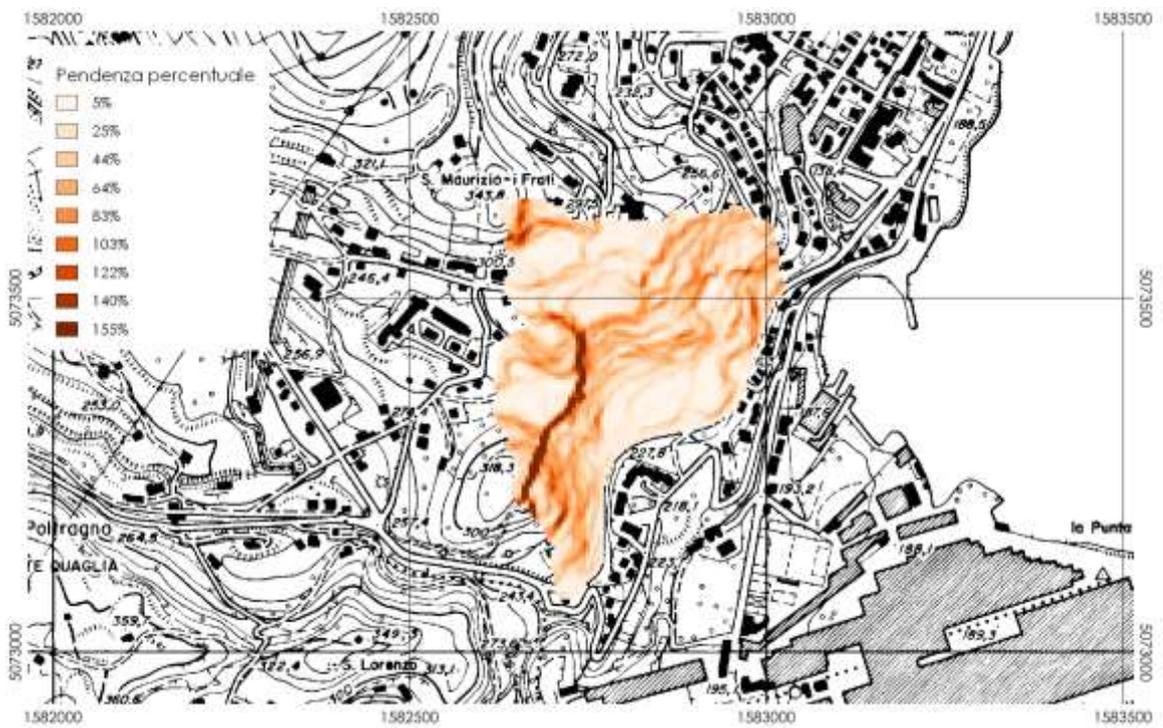


Figura 4.2: pendenza del bacino.



4.1.3 Lunghezza e pendenza media dell'asta principale

Come detto in precedenza, nell'interbacino di versante non è presente un vero e proprio reticolo di drenaggio. L'asta principale è stata quindi definita sulla base della viabilità presente, che costituisce la via principale di accumulo e ruscellamento delle acque superficiali. Si ottiene una della lunghezza dell'ipotetica asta principale pari a 591 m, con una pendenza media pari al 1.61 %.

4.2 Linee segnalatrici di Probabilità Pluviometrica

Nell'ambito del progetto SHAKEUP-2 in tema di REGIME DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE SUL TERRITORIO DELLA LOMBARDIA, affidato da ARPA Lombardia al Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, infrastrutture viarie e Rilevamento del Politecnico di Milano, sono stati formulati i criteri e i metodi per la caratterizzazione idrologica del regime pluviale in Lombardia sviluppando, in particolare, la parametrizzazione della LSPP (linea segnalatrice di probabilità pluviometrica) per ogni sito stazione e per ogni punto griglia del territorio della Lombardia secondo il modello probabilistico GEV (Generalized Extreme Value) scalainvariante (De Michele et al., 2005).

I risultati di tale studio hanno permesso la definizione di un modello che consente la valutazione dell'altezza di precipitazione temibile al variare della durata temporale (compresa tra 1 e 24 ore e tra 1 e 5 giorni) con qualsivoglia periodo di ritorno (compreso indicativamente tra 2 e 200 anni). Il modello proposto è stato identificato, controllato, tarato e validato in base ai dati della rete pluviometrica della Lombardia ed è stato quindi spazializzato all'intera regione tramite tecniche di estrapolazione geostatistica.

Nello studio di cui sopra, definita come h l'altezza di pioggia, θ la durata e T il tempo di ritorno, la curva $h_T(\theta)$ di crescita dell'altezza di pioggia temibile al crescere della durata, denominata *linea segnalatrice T-ennale di probabilità pluviometrica*, viene espressa tramite la relazione:

$$h_T(\theta) = a_1 w_T \theta^n, \quad 4.1$$

dove a_1 rappresenta il coefficiente di scala della linea segnalatrice, pari al valore atteso dell'altezza di pioggia massima annuale per la durata di riferimento, w_T rappresenta il fattore di crescita in frequenza e n è l'esponente di scala con cui la variabilità del fenomeno si trasmette dalla scala temporale di riferimento alle altre scale temporali.

Il fattore di crescita in frequenza w_T è funzione del tempo di ritorno e misura la variabilità relativa degli eventi estremi alle diverse frequenze. Esso è espresso dalla relazione



$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left(1 - \left(\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right)^k \right), \quad 4.2$$

in cui ε , α e k sono rispettivamente il parametro di forma, di scala e di posizione della distribuzione GEV.

Il tempo di ritorno T di una variabile (portata, altezza di pioggia, ecc.) è definito come il numero di anni T in cui la variabile è raggiunta o superata mediamente una sola volta. Pertanto tra la probabilità di superamento $1-p$ e il tempo di ritorno sussiste la relazione

$$1-p = \frac{1}{T}. \quad 4.3$$

I risultati dello studio sono stati messi a disposizione per libera consultazione da ARPA Lombardia. In particolare il territorio regionale è stato suddiviso in una griglia a maglia quadrata 1500x1500 m, all'interno di ogni elemento della quale sono reperibili tutti i parametri necessari alla definizione della LSPP per il tempo di ritorno desiderato.

Dalla Figura 4.3, nella quale tale griglia è stata sovrapposta al bacino in oggetto, si nota come quest'ultimo sia compreso interamente in due quadrati. Il quadrato inferiore copre circa l'85% della superficie del bacino. Inoltre i due quadrati danno LSPP molto simile, che differiscono tra loro al massimo del 0.8%.

Per questo motivo nel proseguo si utilizzerà la LSPP maggiore tra le due. I parametri della Linea segnalatrice di possibilità pluviometrica per durate da 1 a 24 ore, aggiornati con i dati al 2011, sono riportati nella Tabella 4.1.

Tabella 4.1: Parametri per la determinazione della LSPP per l'ambito di interesse (Dati del servizio idrografico ARPA Lombardia).

Parametro		Valore
Coefficiente pluviometrico orario	α_1	27.55
Coefficiente di scala	n	0.3177
Parametro di forma della distribuzione GEV	α	0.3015
Parametro di scala della distribuzione GEV	k	-0.0111
Parametro di posizione della distribuzione GEV	ε	0.8219



Figura 4.3: griglia della parametrizzazione delle LSPP nella zona in oggetto.

L'elaborazione dei dati sopra riportati ha permesso la definizione dei coefficienti per la linea segnalatrice di possibilità pluviometrica per diversi tempi di ritorno (Figura 4.4).

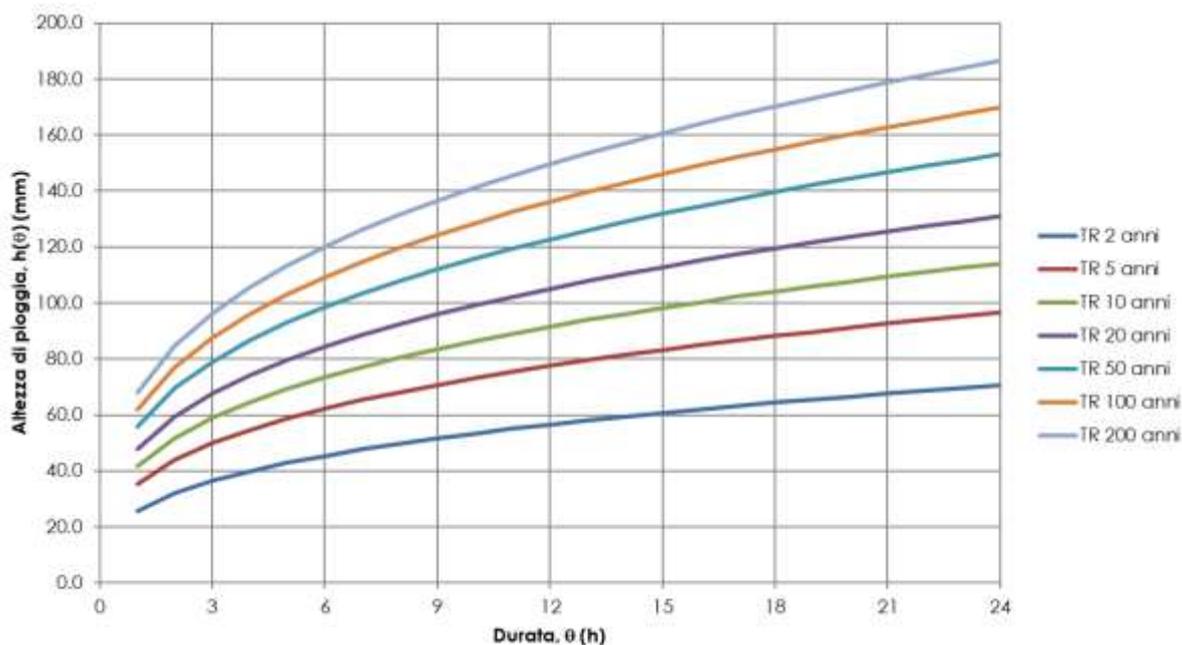


Figura 4.4: LSPP relative all'ambito oggetto di studio.



La precipitazione presenta, oltre che una variabilità temporale, anche una variabilità spaziale. In particolare si osserva che gli eventi di precipitazione mostrano una o più zone di intensa attività meteorica (centro di scroscio). La precipitazione diminuisce quanto più ci si allontana dal centro di scroscio. Per tenere conto di questa variabilità spaziale della precipitazione, possiamo introdurre un coefficiente di ragguglio all'area (Areal Reduction Factor), definito come

$$ARF = \frac{h_r(\theta, A)}{h(\theta)} < 1, \quad 4.4$$

dove $h(\theta)$ è l'altezza di precipitazione (puntuale) nel centro di scroscio mentre $h_r(\theta, A)$ è altezza di precipitazione raggugliata (mediata) su un'area A che contiene il centro di scroscio. L'ipotesi implicitamente assunta è che il centro di scroscio fosse localizzato in prossimità del pluviometro quando questo ha misurato i massimi annui di precipitazione utilizzati poi per ricavare le curve di possibilità pluviometrica. In genere il ragguglio non viene considerato nel caso di bacini di ridotta estensione, inferiore ad 1 kmq, come nel caso in esame.

4.3 Tempo di corrivazione

Per calcolare la durata critica di un evento di pioggia, si deve calcolare il tempo di corrivazione. Il tempo di corrivazione del bacino è l'intervallo di tempo impiegato dalla particella d'acqua caduta nella porzione idraulicamente più distante del bacino a contribuire al deflusso attraverso la sezione di chiusura. In letteratura sono state proposte diverse correlazioni per calcolare il tempo di corrivazione a partire dalle caratteristiche del bacino.

Una delle formule più utilizzate in Italia è quella proposta da Giandotti (1934):

$$t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{h_{mr}}}, \quad 4.5$$

dove il tempo di corrivazione t_c è espresso in ore, S è la superficie del bacino in km², L la lunghezza dell'asta principale in km e h_{mr} l'altezza media relativa in m.

L'espressione 4.5 è stata modificata da Aronica e Paltrinieri (1954) per consentire l'applicazione nel caso di bacini con estensione minore di 10 kmq:

$$t_c = \frac{1}{Md} \frac{\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{h_{mr}}}, \quad 4.6$$

dove M e d sono due costanti numeriche che assumono in funzione del tipo di suolo e della permeabilità dei terreni i valori riportati in Tabella 4.2.



Tabella 4.2: Valori delle costanti M e d della correlazione di Aronica e Paltrinieri (1954).

Tipo di copertura	M
Terreno nudo	0.667
Terreni coperti con erbe rade	0.250
Terreni coperti da bosco	0.200
Terreni coperti da prato permanente	0.167
Permeabilità	d
Terreni semi-impermeabili	1.270
Terreni poco permeabili	0.960
Terreni mediamente permeabili	0.810
Terreni molto permeabili	0.690

Nel caso in esame sono stati assunti i valori M=0.200 e d=0.810.

Merlo e Tournon (1973) hanno proposto una relazione sulla base di rilievi condotti in nove bacini montani piemontesi:

$$t_c = 0,396 \frac{L}{\sqrt{i_a}} \times \left(\frac{S}{L^2} \times \frac{\sqrt{i_a}}{\sqrt{Y}} \right)^{0,72}, \quad 4.7$$

dove il tempo di corrivazione t_c è espresso in ore, S è la superficie del bacino in km², L la lunghezza dell'asta principale in km, i_a la pendenza media dell'asta principale e Y la pendenza media dei versanti.

Pezzoli ha proposto la seguente espressione del tempo di corrivazione dedotta sulla base di misure relative ad alcuni piccoli bacini piemontesi:

$$t_c = 0.055 \frac{L}{\sqrt{i_a}}, \quad 4.8$$

dove il tempo di corrivazione t_c è espresso in ore, L la lunghezza dell'asta principale in km e i_a è la pendenza media dell'asta principale.

Kirpich (1940) ha proposto una correlazione utilizzando dati di bacini di area compresa tra 0.0051 e 0.433 kmq. Tale relazione è stata successivamente affinata da Rowe e Thomas (1942):

$$t_c = 0.00325 \left(\frac{L}{\sqrt{i_a}} \right)^{0,77}, \quad 4.9$$

dove il tempo di corrivazione t_c è espresso in ore, L la lunghezza dell'asta principale in m e i_a è la pendenza media dell'asta principale.

Mockus ha proposto la seguente espressione del tempo di ritardo di un bacino:



$$t_L = 0.342 \frac{L^{0.8}}{\sqrt{S}} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7} \quad 4.10$$

dove il tempo di ritardo t_L è espresso in ore, L la lunghezza dell'asta principale in km, i è la pendenza media del bacino espressa in percentuale e CN è il coefficiente Curve Number del bacino. Il tempo di ritardo è legato al tempo di corrivazione :

$$t_c = \frac{t_L}{0.6} \quad 4.11$$

Agnese e d'Asaro hanno proposto la seguente espressione del tempo di corrivazione:

$$t_c = 0.46 \frac{\sqrt{A}}{1.5} \quad 4.12$$

dove il tempo di corrivazione t_c è espresso in ore e A è l'area del bacino.

I valori risultanti dall'applicazione delle formule precedenti sono riassunti nella Tabella 4.3. Il valore medio è pari a 17 min (0.28 h).

Tabella 4.3: stima del tempo di correlazione.

Relazione	t_c (min)
Aronica e Paltrinieri (1954)	43
Merlo-Tournon (1973)	17
Pezzoli	15
Kirpich (1940)	13
Mockus	18
Agnese e d'Asaro	7
Viparelli	6

4.4 Portata di progetto

La portata attesa è stata stimata utilizzando la formula razionale:

$$Q = \varphi Ai \quad 4.13$$

dove φ è il coefficiente di deflusso, A l'area del bacino e i l'intensità di pioggia, ovvero il rapporto tra altezza di pioggia e durata di pioggia. Il coefficiente di deflusso è il rapporto tra la pioggia totale e quella netta che contribuisce al deflusso superficiale.

Per valutare la pioggia netta che contribuisce al deflusso superficiale è stato utilizzato il metodo del Curve Number (CN), proposto dal Soil Conservation Service (USDA-SCS, 1972). Il metodo del Curve Number considera il deflusso superficiale come



differenza fra precipitazione e perdite, dove in queste ultime si inglobano, oltre alle perdite per infiltrazione, anche quelle per intercettazione da parte delle piante, per accumulo sulle depressioni superficiali e per l'imbibimento iniziale del terreno. L'equazione del metodo Curve Number (CN) per il calcolo della pioggia netta P_e è la seguente:

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} , \quad 4.14$$

dove P indica l'altezza di pioggia totale caduta e S la capacità massima di assorbimento del terreno o volume specifico di saturazione.

Il volume specifico di saturazione S dipende da natura e uso del suolo, e la sua valutazione può essere ricondotta a quella dell'indice CN , cui risulta legato dalla relazione

$$S = \frac{25000}{CN} - 250 . \quad 4.15$$

L'indice CN è adimensionale ed è un fattore decrescente della permeabilità. Esso varia tra $CN=0 \div 100$ con i seguenti valori estremi:

- $CN = 0$ per superficie totalmente permeabile;
- $CN = 100$ per superficie totalmente impermeabile.

In Figura 4.5 è possibile apprezzare la classificazione del bacino sulla base della carta dell'uso del suolo definita nell'ambito del progetto DUSAF (Destinazione d'Uso dei Suoli Agricoli e Forestali) e arrivata alla sua 6° versione. In questa versione sono state utilizzate ortofoto (realizzate da AGEA, 1 pixel=0,2m a terra), con foto aeree a colori realizzate nel 2018 e immagini da satellite SPOT6/7 2018 (1 pixel=1,5m a terra), in quanto a causa di problemi non noti AGEA ha fornito una copertura parziale del territorio regionale. Tutto il territorio regionale è stato di conseguenza aggiornato per quanto riguarda l'uso e copertura del suolo e le siepi e filari al 2018. Il dato ha permesso l'assegnazione, per ciascuna delle tipologie di uso del suolo identificate, del coefficiente CN . In Tabella 4.4 sono riepilogate le categorie di uso del suolo presenti nel bacino in oggetto, con indicata sia la loro estensione areale che il coefficiente CN assegnato ad ognuna. I valori di CN sono stati assegnati sulla base dei valori riportati da USDA-SCS (1986). Il parametro CN del bacino è stato valutato con ponderazione rispetto all'area dei valori attribuiti alla singola categoria individuata, ottenendo un valore rappresentativo del bacino pari a 71.

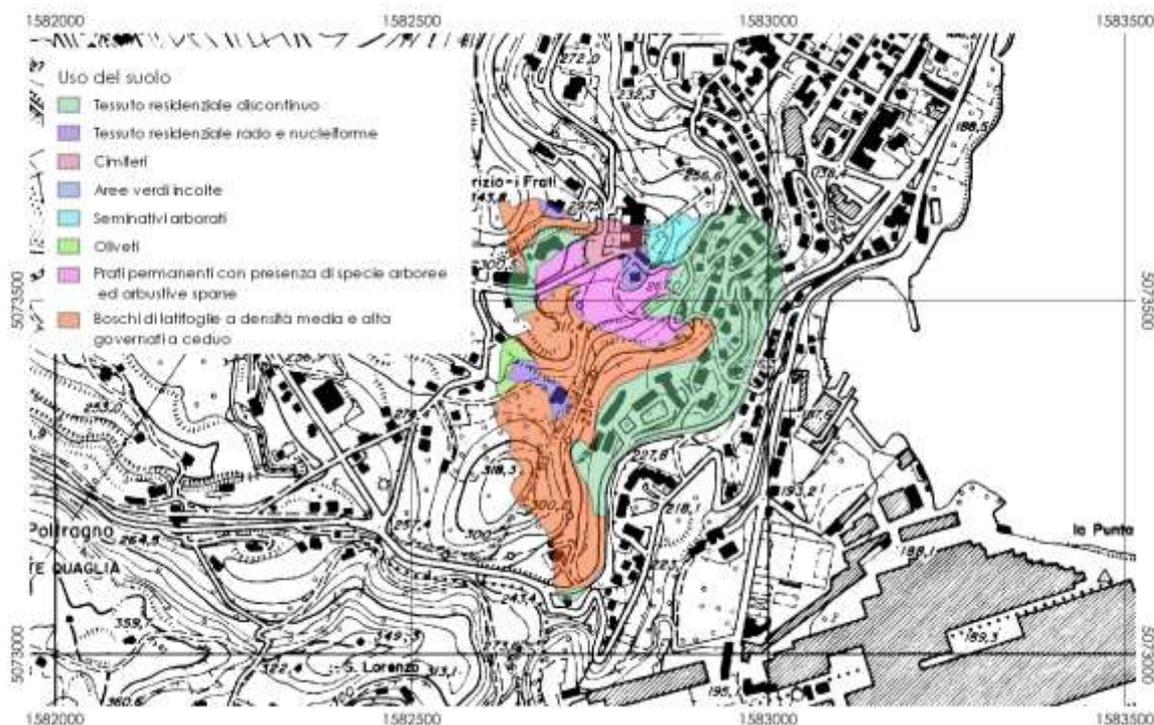


Figura 4.5: carta di uso del suolo (Geoportale Regione Lombardia).

Tabella 4.4: sintesi delle categorie di uso del suolo presenti nel bacino della canaletta.

Descrizione	Area	Percentuale copertura	Tipo di suolo	CN
(-)	(mq)	(%)	(-)	(-)
Tessuto residenziale rado e nucleiforme	5085	3.73%	B	85
Tessuto residenziale discontinuo	54463	39.94%	B	85
seminativi arborati	4172	3.06%	B	81
Cimiteri	4187	3.07%	B	69
prati permanenti con presenza di specie arboree ed arbustive sparse	15152	11.11%	B	69
Boschi di latifoglie a densità media e alta governati a ceduo	51240	37.58%	B	55

Nella tabella seguente vengono riportati i valori risultanti dal calcolo della pioggia netta e della portata per i tempi di ritorno di 30, 50 e 100 anni a partire dalla durata della pioggia pari al tempo di corrivazione del bacino ed utilizzando la formula razionale. Il coefficiente di afflusso ϕ utilizzato nella formula razionale è stato calcolato come rapporto tra la pioggia netta e la pioggia lorda caduta P_{net}/P_{lorda} .



Tabella 4.5: calcolo della portata defluente dal bacino considerato per diversi tempi di ritorno.

T (anni)	P (mm)	i (mm/ora)	P_e (mm)	φ (-)	Q (mc/s)
30	34.4	1.6	0.05	121.3	0.220
50	37.4	2.4	0.06	131.8	0.318
100	41.4	3.5	0.09	146.2	0.474
200	45.5	4.9	0.11	160.7	0.655

Per valutare la correttezza delle portate sopra calcolate è possibile confrontare il valore massimo, pari a 0.655 mc/s per un tempo di ritorno di 200 anni, con la portata massima transitabile all'interno del canale di smaltimento esistente. Ciò in quanto il canale di smaltimento esistente non è mai stato interessato da fenomeni di tracimazione durante gli eventi di piena nel corso degli anni. La portata massima transitabile all'interno del canale di smaltimento è stata calcolata a partire dalle caratteristiche geometriche e materiche dello stesso e applicando, in prima approssimazione, condizioni di moto permanente, mediante l'utilizzo della formula di Chezy:

$$Q = A \cdot v = A \cdot \chi \cdot \sqrt{R \cdot i} , \quad 4.16$$

dove A è l'area bagnata, χ il coefficiente di resistenza e R il raggio idraulico. Assumendo un moto puramente turbolento, il coefficiente di resistenza χ può essere espresso in diverse formule di pratico uso (Becciu & Paoletti, 1999). Una delle formule più utilizzate è quella di Gauckler-Strickler:

$$\chi = k_s \cdot R^{\frac{1}{6}} \quad 4.17$$

dove il parametro k_s dipende dalle caratteristiche di scabrezza della superficie bagnata e si trova tabella nei manuali tecnici (Becciu & Paoletti, 1999). Nel caso in esame il canale di smaltimento ha una sezione rettangolare con una base mediamente larga 50 cm e un'altezza delle sponde di 30 cm. La pendenza minima è pari a 36%. Per manufatti come quelli in esame, con pareti di cemento in non perfette condizioni, è possibile assegnare un valore $k_s = 67 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$. Si ottiene che la massima portata transitabile all'interno del canale di smaltimento esistente è pari a 1.60 mc/s, valore maggiore di quello calcolato in precedenza a partire dall'analisi idrologica. Si tratta di una conferma delle osservazioni secondo le quali non sono mai state rilevate tracimazioni del canale.



5 VERIFICHE IDRAULICHE

5.1 Tubazione di scarico

5.1.1 Funzionamento in pressione

Il dimensionamento della tubazione di scarico è stato condotto applicando la formula di Hazen-Williams, riportata di seguito, attraverso la quale, nota il diametro ed il materiale della tubazione, il dislivello tra i peli liberi di monte e di valle e la lunghezza di tubo è possibile risalire alla portata massima smaltibile dalla tubazione stessa.

$$\Delta = \frac{10675 Q^{1.852}}{C^{1.852} D^{4.8704}} L \quad 5.1$$

dove Q è la portata smaltita dalla tubazione in m³/s, D il diametro della tubazione, C il coefficiente di scabrezza della tubazione, L la lunghezza della tubazione e Δ il dislivello piezometrico tra il pelo libero di monte ed il pelo libero di valle. Per tubazioni in PEAD come quella in progetto è pari a 150, mentre il diametro interno D della tubazione è pari a 0.407 m.

Una valutazione alternativa della portata massima smaltibile dalla tubazione è dato dalla formula di Darcy-Weisbach, che esprime la cadente piezometrica J in funzione della velocità media V e il diametro D della tubazione:

$$J = \lambda \frac{V^2}{2gD} = \lambda \frac{Q^2}{2gDA^2} \quad 5.2$$

dove λ è l'indice di resistenza di Darcy-Weisbach per la cui valutazione è possibile riferirsi all'espressione di Colebrook:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{2.51}{Re\sqrt{\lambda}} + \frac{1}{3.71D} \frac{\varepsilon}{D} \right) \quad 5.3$$

dove Re è il numero di Reynolds dell'acqua nella tubazione, D ed ε il diametro e la scabrezza assoluta della tubazione, rispettivamente.

Il pelo libero di monte coincide con la tubazione che parte dalla vasca di carico, mentre il pelo libero di valle coincide con il livello del lago. Considerando il livello medio del lago il dislivello della tubazione è pari a 5.65 m. A partire da tale dislivello risulta che la portata massima smaltibile è pari a 1.61 mc/s (Figura 5.1), valore superiore alla massima portata determinata in precedenza. Qualora il livello del lago aumenti, ad esempio in condizioni di piena il livello del lago raggiunge il bordo del marciapiede, la presenza della vasca permette di mantenere un sufficiente dislivello tra i peli liberi di monte e valle tale da garantire lo smaltimento della portata prevista.

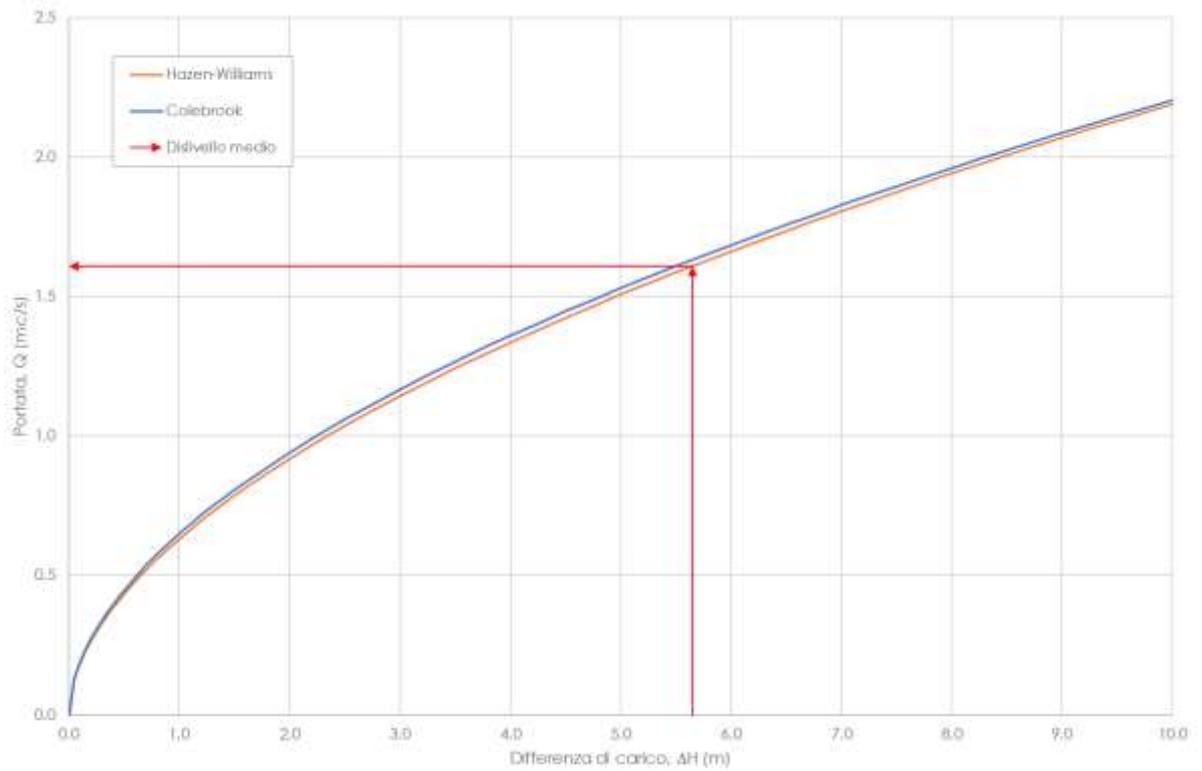


Figura 5.1: portata massima smaltibile dalla tubazione con funzionamento in pressione in funzione della differenza di carico.