

INTERVENTI DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO NELL'AREA A GRAVE RISCHIO EX L.267/98
CHE INTERESSA IL CENTRO ABITATO DI LOVERE CON PARTICOLARE RIFERIMENTO ALLA ZONA DI VIA
CORNASOLA - VIA NAZIONALE - VIA DANTE



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

prof. geol. Lamberto Griffini
Ing. Massimo Griffini

STUDIO GRIFFINI
GEOLOGIA GEOTECNICA STRUTTURE

Ing. G. Federici

ARKINGLAB

Dott. Geol. F. Baio

Fabio BAIO * geologo

Collaborazione

Ing. F. Cattaneo
Ing. L. Tedeschi
Ing. S. Rozzoni

Elaborato

B05

Codice 271D017T13

Scala -

Data	n°	Descrizione	Approvato
25/10/2021	1	Revisione per importo quadro economico	PC
15/09/2021	0	Emissione per consegna	PC



Indice

1	PREMESSA	3
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
2.1	<i>Normativa di riferimento</i>	4
2.2	<i>Bibliografia</i>	4
3	IDROLOGIA ED IDRAULICA SUPERFICIALE.....	5
3.1	<i>Definizione e caratteristiche dell'area drenata</i>	5
3.1.1	<i>Superficie planimetrica del bacino</i>	5
3.1.2	<i>Pendenza media dei versanti.....</i>	5
3.1.3	<i>Lunghezza e pendenza media dell'asta principale.....</i>	7
3.2	<i>Linee segnalatrici di Probabilità Pluviometrica</i>	7
3.3	<i>Tempo di corrivazione.....</i>	10
3.4	<i>Portata di progetto</i>	12
4	IDROGEOLOGIA	16



1 PREMESSA

Il presente documento è stato redatta nell'ambito della progettazione delle opere previste dagli *interventi di mitigazione del rischio idrogeologico nell'area a grave rischio ex L.267/98 che interessa il centro abitato di Lovere con particolare riferimento alla zona di via Cornasola - via Nazionale - via Dante*.

La presente relazione descrive le condizioni idrologiche ed idrogeologiche del sito oggetto di intervento.

La relazione è stata articolata sulla base dei seguenti capitoli:

- **Idrologia ed idraulica superficiale:** viene descritto il cointesto idrologico nel quale insiste il sito poggetto di intervento, soprattutto in termini di piogge attese, e viene valutata la quota parte di pioggia che viene drenata superficialmente;
- **idrogeologia:** viene descritto il sistema idrogeologico dell'area di intervento, con particolare riferimento agli acquiferi presenti e alle emersioni sorgentizie.



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 IDROLOGIA ED IDRAULICA SUPERFICIALE

3.1 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 in via Dante. Tale area è concettualmente assimilabile a quella di un bacino la cui sezione di chiusura è posta in via Dante, 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 3.1 è mostrata l'estensione dell'area, la cui sezione di chiusura è posta in corrispondenza della via Dante.

3.1.1 Superficie planimetrica del bacino

La superficie del bacino è stata calcolata attraverso gli strumenti di analisi di Qgis. Si ottiene una superficie pari a 345715 mq (0.3457 kmq).

3.1.2 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 62%.

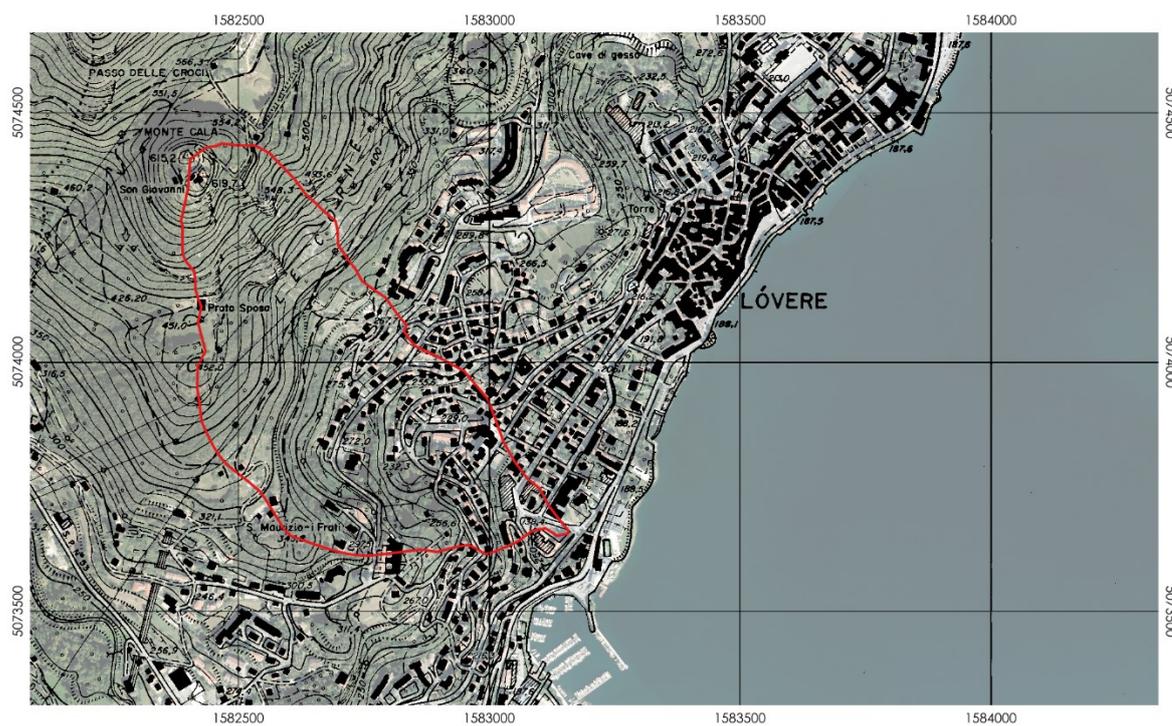


Figura 3.1: area drenata in via Dante.

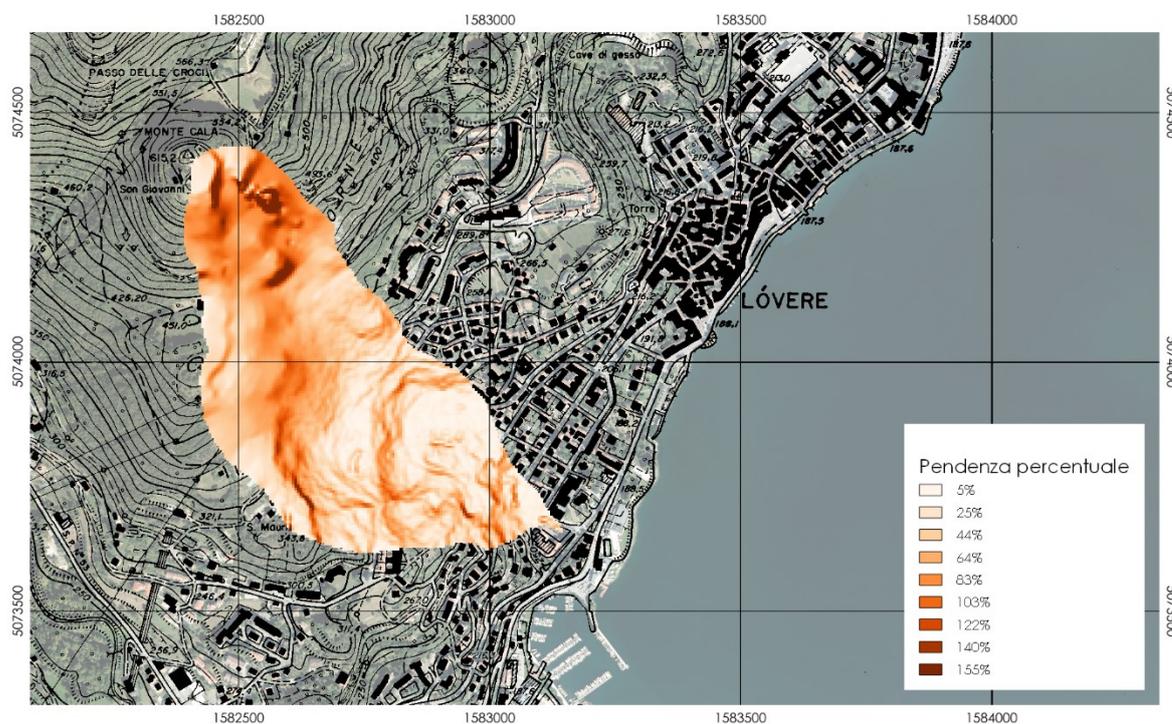


Figura 3.2: pendenza del bacino.



3.1.3 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. Nella parte di monte dove sono presenti alcuni piccoli impluvi minori, che però sono poi stati tombinati oppure si infiltrano in profondità attraverso inghiottitoi o doline dai quali, talvolta, ricompaiono in superficie con sorgenti perenni o effimere. Sommando la lunghezza dei vari tratti che costituiscono l'asta principale, individuati sulla base del DTM tramite gli strumenti analisi idrologica, si ottiene comunque una lunghezza dell'ipotetica asta principale pari a 727 m.

La pendenza media dell'asta principale è pari al 21.08 %.

3.2 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:

$$h_T(\theta) = a_1 w_T \theta^n, \quad 3.1$$

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

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left(1 - \left(\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right)^k \right), \quad 3.2$$

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

$$1-p = \frac{1}{T}. \quad 3.3$$

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 3.3, 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 3.1.

Tabella 3.1: Parametri per la determinazione della LSPP per l'ambito di interesse (Dati del servizio idrografico ARPA Lombardia).

Parametro		Valore
Coefficiente pluviometrico orario	a_1	27.44
Coefficiente di scala	n	0.3209
Parametro di forma della distribuzione GEV	α	0.3042
Parametro di scala della distribuzione GEV	k	-0.0066
Parametro di posizione della distribuzione GEV	ε	0.8215

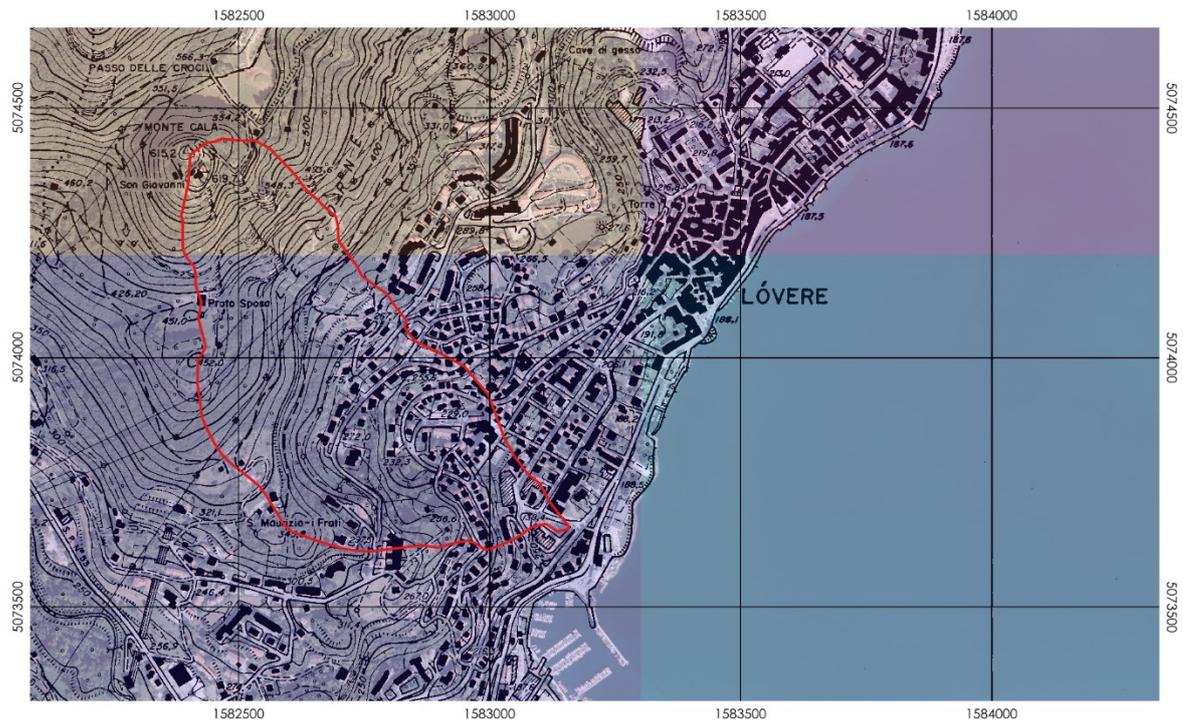


Figura 3.3: griglia della parametrizzazione delle LSPP nella zona in oggetto.

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 3.4).

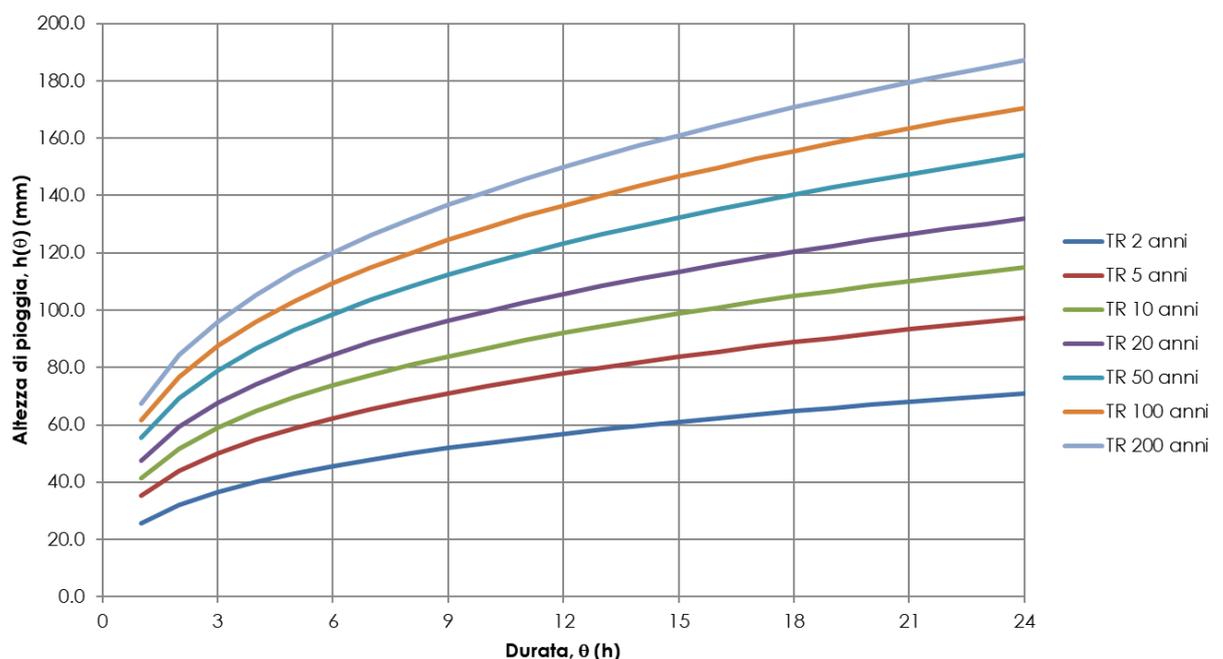


Figura 3.4: LSPP relative all'ambito oggetto di studio.



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 ragguaglio all'area (Areal Reduction Factor), definito come

$$ARF = \frac{h_r(\theta, A)}{h(\theta)} < 1, \quad 3.4$$

dove $h(\theta)$ è l'altezza di precipitazione (puntuale) nel centro di scroscio mentre $h_r(\theta, A)$ è altezza di precipitazione ragguagliata (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 ragguaglio non viene considerato nel caso di bacini di ridotta estensione, inferiore ad 1 kmq, come nel caso in esame.

3.3 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):

$$t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{h_{mr}}}, \quad 3.5$$

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

$$t_c = \frac{1}{Md} \frac{\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{h_{mr}}}, \quad 3.6$$

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 3.2.



Tabella 3.2: 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:

$$t_c = 0,396 \frac{L}{\sqrt{i_a}} \times \left(\frac{S}{L^2} \times \frac{\sqrt{i_a}}{\sqrt{Y}} \right)^{0,72}, \quad 3.7$$

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:

$$t_c = 0.055 \frac{L}{\sqrt{i_a}}, \quad 3.8$$

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):

$$t_c = 0.00325 \left(\frac{L}{\sqrt{i_a}} \right)^{0,77}, \quad 3.9$$

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:



$$t_L = 0.342 \frac{L^{0.8}}{\sqrt{S}} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7} \quad 3.10$$

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 :

$$t_c = \frac{t_L}{0.6} \quad 3.11$$

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

$$t_c = 0.46 \frac{\sqrt{A}}{1.5} \quad 3.12$$

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 3.3. Il valore medio è pari a 6 min (0.10 h).

Tabella 3.3: stima del tempo di correlazione.

Relazione	t_c (min)
Aronica e Paltrinieri (1954)	29
Merlo-Tournon (1973)	19
Pezzoli	5
Kirpich (1940)	6
Mockus	18.9
Agnese e d'Asaro	10.8
Viparelli	5.9

3.4 Portata di progetto

La portata attesa è stata stimata utilizzando la formula razionale:

$$Q = \varphi Ai \quad 3.13$$

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:

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} , \quad 3.14$$

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

$$S = \frac{25000}{CN} - 250 . \quad 3.15$$

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 3.5 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 3.4 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 68.

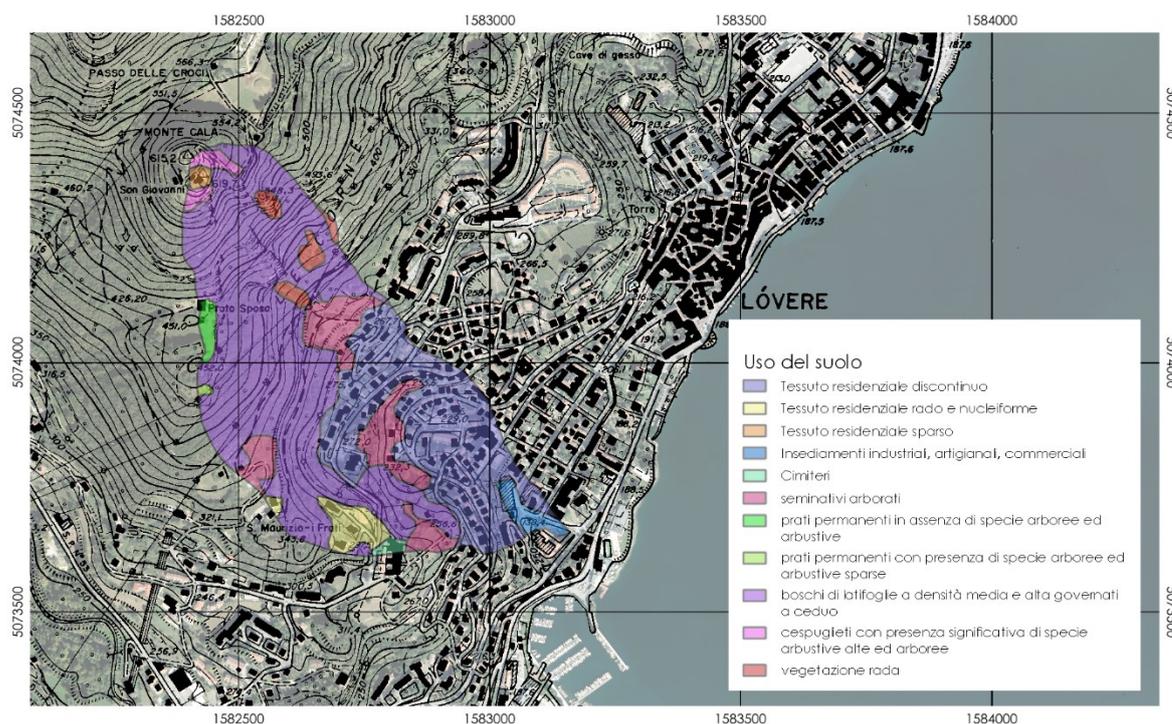


Figura 3.5: carta di uso del suolo (Geoportale Regione Lombardia).

Tabella 3.4: 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	10419	3.01%	B	85
Insedimenti industriali, artigianali, commerciali	6143	1.78%	B	88
Tessuto residenziale discontinuo	97152	28.10%	B	85
Tessuto residenziale sparso	1831	0.53%	B	81
seminativi arborati	36046	10.43%	B	81
prati permanenti in assenza di specie arboree ed arbustive	3442	1.00%	B	78
Cimiteri	1720	0.50%	B	69
prati permanenti con presenza di specie arboree ed arbustive sparse	583	0.17%	B	69
vegetazione rada	7877	2.28%	B	69
cespuglieti con presenza significativa di specie arbustive alte ed arboree	4918	1.42%	B	56
boschi di latifoglie a densità media e alta governati a ceduo	175584	50.79%	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 3.5: 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	35.3	111.6	1.2	0.03	0.357
50	38.4	121.3	1.8	0.05	0.545
200	42.5	134.3	2.8	0.07	0.853



4 IDROGEOLOGIA

Come detto in precedenza l'area oggetto di studio fa parte dell'interbacino di versante del Lago d'Iseo (per semplicità: *Interbacino di Versante*). L'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.

Il sistema idrogeologico dell'*Interbacino di Versante*, nelle sue linee essenziali può essere distinto in:

Acquifero superiore: un parte di monte dove la circolazione ipogea avviene all'interno dell'ammasso roccioso carbonatico (Formazione di Castro). L'acquifero è di tipo carsico con infiltrazione nella zona sommitale (Altipiano di Bossico, Monti di Lovere) dove sono presenti estesi campi di doline di soffusione, localizzate nei depositi glaciali non carsificabili per processi di dissoluzione carsica nelle sottostanti rocce carbonatiche della formazione di Castro; l'infiltrazione avviene attraverso condotti prevalentemente subverticali che si ampliano progressivamente sino a raggiungere il livello di base impermeabile costituito dal sovrascorrimento; da questa zona le acque . Almeno inizialmente le acque sono dolci, ma lungo il loro percorso ipogeo si arricchiscono progressivamente in carbonato (CaCO_3 o Ca-MgCO_3).

Prima dello scavo della Galleria "Lovere" della S.S. 42 realizzata tra il 1985 e il 1991, il livello piezometrico dell'acquifero "di monte" dava luogo a numerose sorgenti nella zona di monte dell'area urbanizzata; lo scavo della galleria ha avuto numerose problematiche per sfornellamenti e copiose venute d'acqua, che hanno causato la modifica del modello di circolazione idrica profonda con l'inaridimento delle sorgenti. In particolare alla progressiva 1+666 km dall'imbocco lato Costa Volpino che "Lovere" dove si sono avute venute d'acqua istantanee massime di circa 1000 l/s, stabilizzatesi in seguito a 150÷200 l/s. Altre importanti venute d'acqua sono state registrate alla progressiva 0+400 km dall'imbocco lato ovest con 80÷100 l/s e alle progressive 1+000, 1+139 e 1+413 km dall'imbocco est. La venuta d'acqua incontrata in galleria nella zona della cava di gesso è stata captato in e collegato all'acquedotto comunale.

Acquifero inferiore: si sviluppa al contatto tra le unità carbonatiche (Formazione di Castro e Dolomia Principale) e quelle evaporitiche della Formazione di San Giovanni Bianco. Le acque di questo acquifero "di base" sono mineralizzate e ricchi in solfati e solfuri proprio in conseguenza della circolazione che avviene al contatto con le evaporiti.



Le acque dell'acquifero inferiore si infiltrano nei depositi sciolti della copertura quaternaria che ricoprono i versanti della zona urbanizzata di Lovere vanno a realizzare una falda libera che defluisce verso il lago.

Nell'ambito delle campagne d'indagine del 2016 e del 2021 in Loc. Cornasola e Trello sono state misurate le soggiacenze piezometriche nei fori di sondaggio. La superficie di falda individuata nella parte a monte della Loc. Cornasola è situata a circa 27/28 m di profondità dal p.c., è inclinata parallelamente alla superficie topografica e sostenuta dai livelli limosi – argillosi. La stessa tende poi avvicinarsi alla superficie nella parte a valle, per poi raccordarsi con il livello lacustre. Infine, viene riportato un innalzamento anomalo della soggiacenza che supporta l'ipotesi della morfologia sepolta che convoglia le acque profonde entro l'incisione valliva.

L'acquifero inferiore alimenta, tra l'altro anche la sorgente "Biff", ubicata sulla strada di Trello a quota 235 m s.m. Questa sorgente era connessa all'acquedotto comunale; ma anch'essa, dopo l'apertura della Galleria Lovere, soprattutto in conseguenza delle venute d'acqua che si sono verificate nei primi 400 m dall'imbocco ovest, ha subito una sensibile riduzione della portata.

Attualmente la sorgente è captata ma con il solo scopo di ridurre la circolazione idrica al contatto con i gessi nella zona di Trello convogliando parte delle acque della sorgente in un condotto artificiale che le porta direttamente a lago; ciò con lo scopo di mitigare gli effetti della dissoluzione dei depositi evaporitici che hanno provocato ingenti danni agli edifici esistenti.