

Comuni di: DORNO  
Comuni di: SCALDASOLE  
Comuni di: PIEVE ALBIGNOLA  
Provincia di: PAVIA  
Regione: LOMBARDIA



PROPONENTE

# NEOEN

NEOEN RENEWABLES ITALIA srl  
Via Giuseppe Rovani, 7 - 20123 MILANO (MI)

OPERA

## PROGETTO DEFINITIVO

IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE  
RINNOVABILE AGRIVOLTAICA DI POTENZA NOMINALE PARI A 104.734,56  
kWp E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE RTN

## "SOLARE DORNO - NEOEN"

OGGETTO

TITOLO DELL' ELABORATO:

### RELAZIONE IDROLOGICA E IDROGEOLOGICA

DATA:

17/07/2024

N°/CODICE ELABORATO:

## REL 008

Tipologia: REL (RELAZIONI)

I TECNICI

PROGETTISTI:

EDILSAP s.r.l.  
Via di Selva Candida, 452 - 00166 ROMA  
Ing. Fernando Sonnino Project Manager



Prof. Geol. Alfonso Russi  
Via Friuli, 5 - 06034 FOLIGNO



PROFESSIONISTI:

Prof. Geol. Alfonso Russi  
Via Friuli, 5 - 06034 FOLIGNO



Dott. Geol. Raffaele Di Ceglie



00

202304086

Emissione per Progetto Definitivo

Dott. Geol. Raffaele Di Ceglie

Prof. Geol. Alfonso Russi

Ing. Fernando Sonnino

N° REVISIONE

Cod. STMG

OGGETTO DELLA REVISIONE

ELABORAZIONE

VERIFICA

APPROVAZIONE

Proprietà e diritto del presente documento sono riservati - la riproduzione è vietata

## INDICE

1	PREMESSA .....	1
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	2
3	CARATTERISTICHE CLIMATICHE.....	4
3.1	Dati termopluviometrici .....	5
3.1.1	Comune di Dorno.....	5
3.1.2	Comune di Scaldasole .....	7
3.1.3	Comune di Pieve Albignola .....	10
3.2	Bilancio idrologico .....	13
3.2.1	Comune di Dorno.....	13
3.2.2	Comune di Scaldasole .....	14
3.2.3	Comune di Pieve Albignola .....	15
4	CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE .....	16
4.1	Aree esondabili.....	30
4.2	Erosione .....	34
5	CARATTERISTICHE IDROLOGICHE .....	36
5.1	Calcolo della portata di massima piena .....	38
6	CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE .....	40
6.1	Mappa delle isobate .....	44
6.2	Mappa delle isopache.....	46
6.3	Mappe della sabbiosità.....	48
6.4	Limiti gruppi acquiferi.....	51
6.5	Area di ricarica potenziale .....	54
6.6	Vulnerabilità acquiferi .....	58
7	CONCLUSIONI .....	65
8	BIBLIOGRAFIA E WEB REFERENCES .....	66
8.1	BIBLIOGRAFIA .....	66
8.2	WEB REFERENCES.....	67

# 1 PREMESSA

La Neoen Renewables S.r.l., con sede a Milano (TS) in Via G. Rovani n.7, ha affidato agli scriventi l'incarico di eseguire delle analisi idrologiche ed idrogeologiche nell'area d'intervento per la realizzazione di un impianto agrivoltaico nei Comuni di Dorno, Scaldasole e Pieve Albignola (PV).

Dette indagini si rendono necessarie al fine di valutare la fattibilità dell'intervento in progetto, fornire utili dati ed indicazioni per la stesura della presente Relazione Idrologica ed Idrogeologica.

Nella presente relazione saranno presentate le indagini svolte, analizzati i risultati ottenuti e descritto il modello idrologico ed idrogeologico del sito. Detto modello sarà sviluppato in modo da costituire un utile elemento di riferimento per l'inquadramento, da parte del progettista, delle problematiche idrologiche ed idrogeologiche a piccola e grande scala.

Da un punto di vista normativo, il contesto è in continua evoluzione anche per il recepimento di Direttive Comunitarie nell'ordinamento giuridico nazionale e regionale.

Vale la pena ricordare, ad esempio, la direttiva CE/2000/60 che prevedeva la redazione del Piano di Gestione delle Acque a livello distrettuale, al fine di raggiungere al 2015 il buono stato ambientale dei corpi idrici superficiali e sotterranei. La principale fonte normativa nell'ambito in oggetto è sicuramente il D.lgs. n. 152 del 3 aprile 2006 "Norme in materia ambientale", noto anche come testo unico ambientale.

La realizzazione di un'opera come quella in progetto può comportare delle modificazioni ambientali e, in tal senso, uno degli aspetti più importanti riguarda certamente le condizioni di circolazione dell'acqua nei mezzi porosi e/o fratturati che vengono interessati dall'opera in costruzione. Le problematiche sono generalmente riconducibili a due aspetti principali: la stabilità dell'opera e le conseguenze che l'intervento può provocare sulla circolazione idrica sotterranea.

Nelle NTC18 (Norme Tecniche per le Costruzioni – D.M. 17/01/2018) si fa riferimento, tra l'altro, alla componente idrogeologica, richiamando la necessità di ricostruire i caratteri idrogeologici del territorio nelle attività di studio e progettazione. La relativa Circolare esplicativa specifica che la caratterizzazione e la modellazione geologica del sito deve fornire anche lo schema di circolazione idrica superficiale e sotterranea.

Il modello idrologico ed idrogeologico di riferimento descritto è stato validato e supportato da indagini specifiche proporzionate, nello specifico, all'importanza dell'opera.

La presente Relazione Idrologica ed Idrogeologica è strutturata nei seguenti paragrafi:

- 1) Premessa;
- 2) Inquadramento geografico;
- 3) Caratteristiche climatiche;
- 4) Caratteristiche geomorfologiche;
- 5) Caratteristiche idrologiche;
- 6) Caratteristiche idrogeologiche;
- 7) Conclusioni.

Allegati:

- Analisi climatica.

## 2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La Lomellina è una porzione del territorio lombardo situata nella provincia di Pavia. Racchiuso dal Piemonte, il territorio lomellino è esteso su una superficie di 1.240 chilometri quadrati e, dal punto di vista storico-geografico, è composto da 57 Comuni tra il fiume Sesia a ovest, il fiume Po a ovest e a sud, il fiume Ticino a est e il Basso Novarese (Piemonte) a nord. Superati i corsi d'acqua, a occidente si trova il Monferrato (Piemonte), a meridione il Tortonese (Piemonte) e l'Oltrepò Pavese, a oriente alcuni comuni del pavese e del milanese.

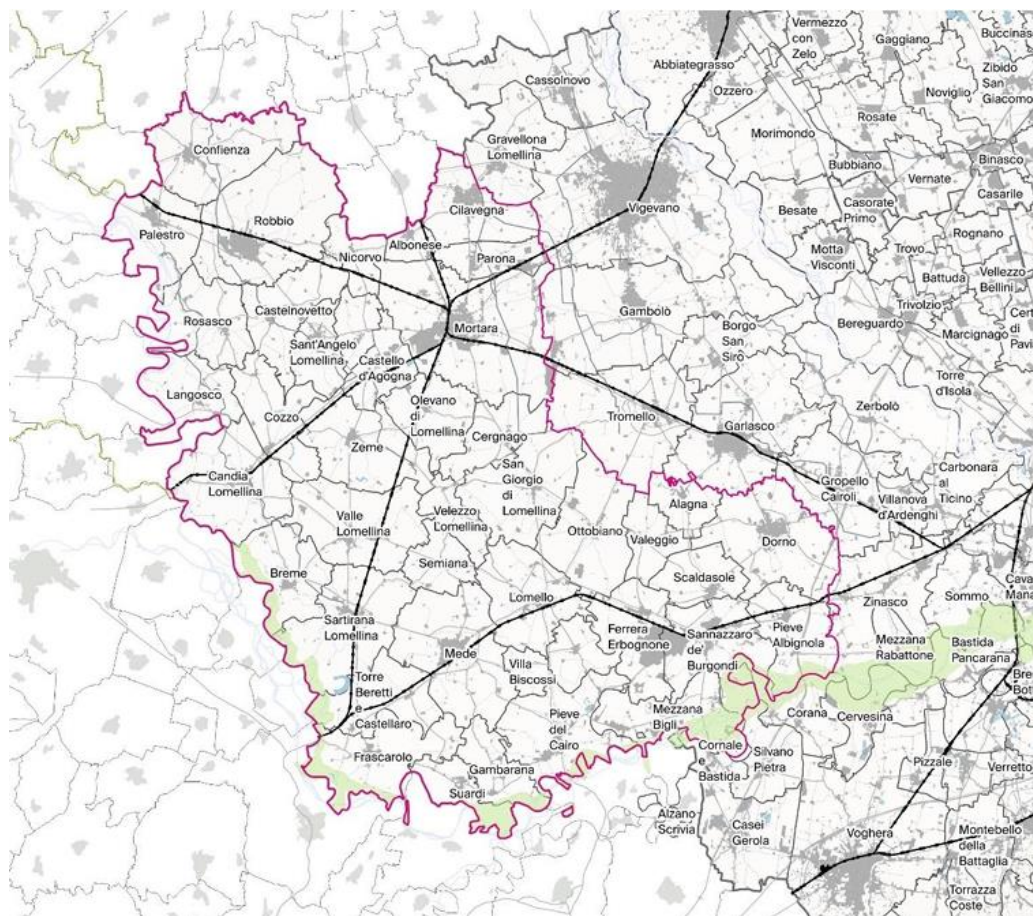


Figura 2-1. Perimetrazione della lomellina.

Anche se il territorio della provincia di Pavia è principalmente ad andamento pianeggiante, con altitudine minima pari a 50 m s.l.m., si integra con una parte collinare di vaste dimensioni e con il settore appenninico dell'Oltrepò, che arriva fino ai 1.724 m s.l.m. del Monte Lesima. Il quadro morfologico del territorio presenta una notevole ricchezza di ambienti naturali diversi: fluviali, collinari e montani, con parchi e riserve naturali. La Lomellina ha una forte tradizione legata alla vocazione agricola, che nel corso del tempo è stata integrata dallo sviluppo di altri settori economici.

In Lomellina si concentra uno dei più vasti sistemi agricoli a scala regionale, con circa 50 mila ettari di superficie dedicata. L'agricoltura occupa infatti il 65% dell'intera superficie territoriale e si caratterizza per la prevalente presenza di risaie, pari a più di due terzi dell'intera superficie coltivata, fonte di circa l'80% della produzione regionale di riso. Il sistema agricolo con la sua fitta rete idrica costituisce l'elemento essenziale e tipico del paesaggio. La presenza di numerosi corsi d'acqua a carattere fluviale e torrentizio ha giocato infatti un importante ruolo paesistico-morfologico e storico nella configurazione spaziale di questo territorio. L'abbondante disponibilità della risorsa idrica ha costituito la base per la

realizzazione della maglia di un sistema agricolo che presenta caratteri distintivi se paragonato alla restante parte della pianura padana.

L'area di impianto è racchiusa nel reticolo di strade principale:

- SP19 a N;
- A7 a E;
- SP 193 bis a S;
- SP206 e SP16 a O.

Le Coordinate Geografiche, corrispondenti al centro dei lotti, e i rispettivi Fogli e Particelle sono riportati nella tabella sottostante. La somma totale delle superficie ammonta a circa 215,31 ha.

Lotto	Comune	Località	Area (ha)	Potenza nominale (kWp)	Latitudine	Longitudine	Altitudine media (m)
1	SCALDASOLE (PV)	Cascina Paralupo	20,60	10.160,16	45,137778	8,921944	88
2	SCALDASOLE (PV)	Cascina Paralupo	4,84	1.288,32	45,137778	8,927222	87
3	SCALDASOLE (PV) e DORNO (PV)	Cascina Paralupo	115,34	51.474,24	45,131111	8,929167	95
4	DORNO (PV) e PIEVE ALBIGNOLA (PV)	Cascina Gorana Nuova	74,52	41.811,84	45,1225	8,936389	86
TOT			215,31	104.734,56	45,128611	8,932222	89

Tabella 2-1. Localizzazione dei lotti.

La quota media è di 87 m s.l.m.

### 3 CARATTERISTICHE CLIMATICHE

L'area in esame ha un clima continentale con inverni freddi e lunghi ed estati calde e brevi. Le precipitazioni si concentrano in autunno e in primavera, non superano mai i 900 mm all'anno. In inverno sono frequenti le nebbie e le neviccate, in estate i temporali, spesso accompagnati da grandine.

Le attuali condizioni meteorologiche rispecchiano le vicende stagionali dell'area del Mediterraneo orientale, per effetto delle interferenze fra l'anticiclone eurasiatico, di origine termica, e l'anticiclone subtropicale delle Azzorre, di origine dinamica. Durante l'inverno, una fascia depressionaria (sede di ciclogenese) si instaura nell'area mediterranea con orientamento SO-NE, separando la zona di alta pressione eurasiatica da quella delle Azzorre; nei mesi estivi, la zona anticiclonica eurasiatica scompare e l'anticiclone delle Azzorre si intensifica e si sposta verso nord. I venti predominanti provengono dai quadranti settentrionale e meridionale, di norma con valori medi di intensità alti e distribuiti in modo piuttosto uniforme durante il corso dell'anno.

### 3.1 Dati termopluviometrici

#### 3.1.1 Comune di Dorno

Per la caratterizzazione climatica delle zone in esame (quarto lotto) è stato utilizzato il software DIACLI della Tecnovia s.r.l., ceduto alla Microsoftware del gruppo Namirial per la distribuzione commerciale. Per la zona relativa al quarto lotto sono state considerate valide le caratteristiche climatiche di Dorno in quanto la valenza statistica delle serie P/T ha fornito dei valori attendibili.

Gli indici e i dati afferenti al comune di Dorno sono riportati in allegato.

G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
71	64	83	89	127	113	110	129	94	109	111	56

Tabella 3-1. Tabella precipitazioni medie.

La maggior parte delle precipitazioni, che sono a carattere di pioggia, cadono nel semestre autunno-inverno:

Periodo	mm	% annua
Apr-Set	662	75
Ott-Mar	494	25

Tabella 3-2. Precipitazioni, ripartizione semestrale.

Le precipitazioni totali sono pari a 1156 mm. Analizzando la distribuzione mensile delle piogge, si evidenzia un picco di piovosità in corrispondenza del mese di dicembre, mentre il minimo si verifica nel mese di luglio.

La maggior parte delle precipitazioni, che sono a carattere di pioggia, cadono nel semestre autunno-inverno.

I valori più alti di temperatura si registrano nel mese di agosto ed i più bassi in quello di gennaio. L'escursione termica fra estate e inverno risulta di media entità, passando da massimi estivi intorno ai 23 °C ai minimi non inferiori a 0°C.

G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
0,93	3,63	8,33	12,63	17,23	21,03	23,33	22,53	18,93	13,13	6,73	2,23

Tabella 3-3. Tabella temperature medie.

Vengono di seguito rappresentati i diagrammi climatici risultanti dall'elaborazione dei dati raccolti e precisamente: il diagramma ombrotermico ed il climogramma di Peguy. La rappresentazione grafica risulta essere efficace e consente un'immediata lettura e comprensione dei fenomeni climatici.

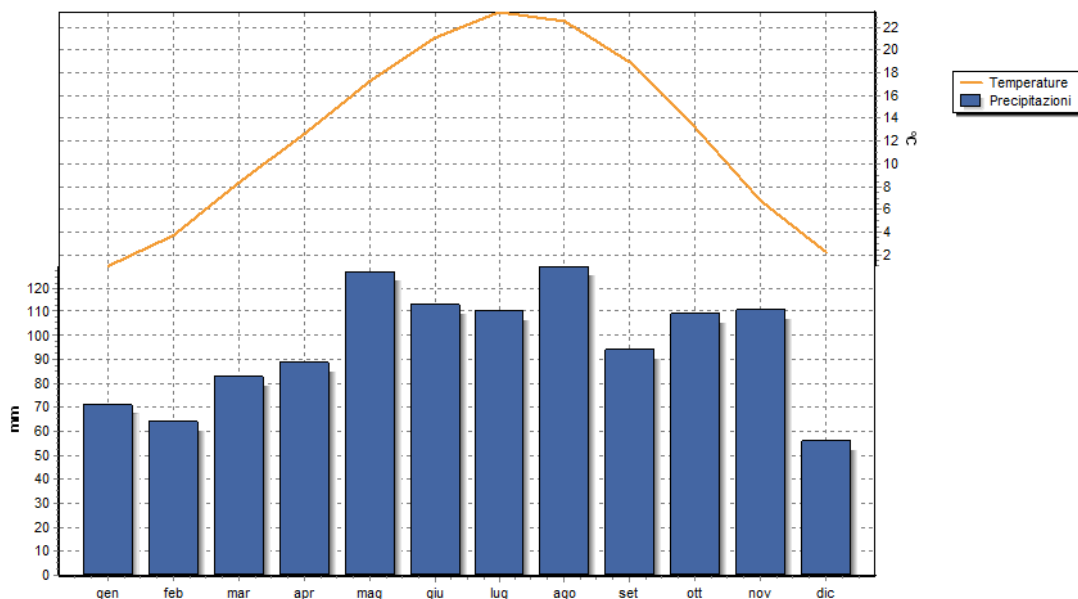


Figura 3-1. Diagramma Ombrotermico.

Dal diagramma ombrotermico si evince che i mesi definibili come “umidi” sono, giugno, luglio e agosto. Dal climogramma di Peguy si può constatare che i mesi di gennaio, febbraio, marzo, aprile, maggio, settembre, ottobre, novembre e dicembre sono “temperati”, mentre giugno, luglio e agosto sono “umidi”.

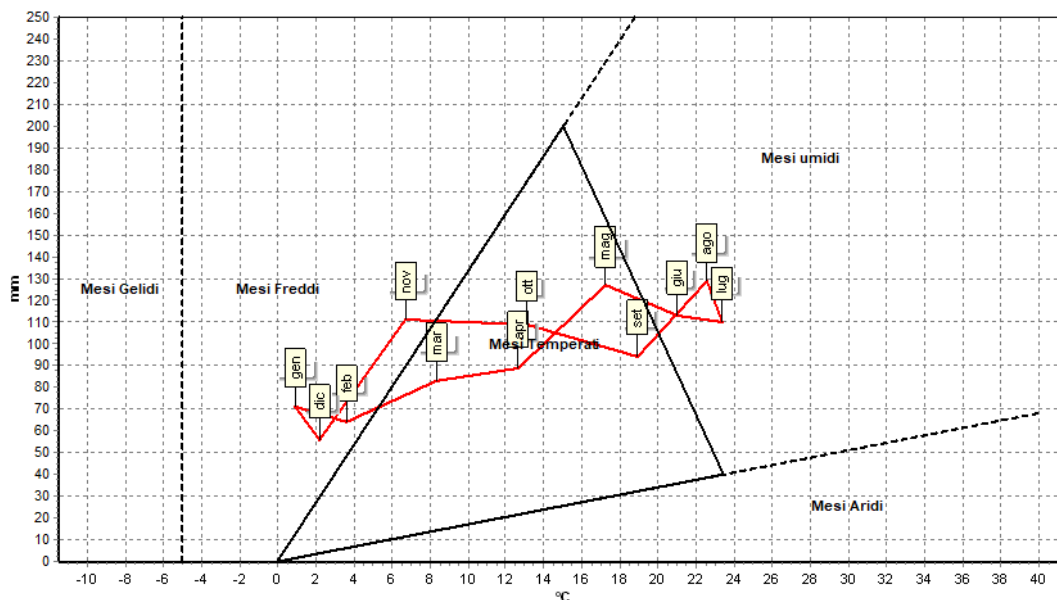


Figura 3-2. Climogramma di Peguy.

Nessun mese ricade tra i “gelidi”, i “freddi e umidi” e i “caldi e umidi”.

Nella tabella seguente sono riportati alcuni degli Indici climatici annuali maggiormente utilizzati.



Pluviofattore di Lang	91,75
Indice di Fournier	14,40
Indice di Amann	650,25
Evaporazione Idrologica di Keller	594,10 mm
Mesi aridi secondo Köppen	Nessuno
Mesi aridi secondo Gaussen	Nessuno
Indice ombrotermico annuale	7,67
Indice ombrotermico estivo	5,26

Tabella 3-4. Elenco principali indici climatici (per l'elenco completo si rimanda all'allegato).

Si rimanda agli Allegati per il report climatico completo.

### 3.1.2 Comune di Scaldasole

Per la zona relativa al quarto lotto sono state considerate valide le caratteristiche climatiche di Scaldasole in quanto la valenza statistica delle serie P/T ha fornito dei valori attendibili.

Gli indici e i dati afferenti al comune di Scaldasole sono riportati in allegato.

G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
71	64	83	89	127	113	110	129	94	109	111	56

Tabella 3-5. Tabella precipitazioni medie.

La maggior parte delle precipitazioni, che sono a carattere di pioggia, cadono nel semestre autunno-inverno:

Periodo	mm	% annua
Apr-Set	662	75
Ott-Mar	492	25

Tabella 3-6. Precipitazioni, ripartizione semestrale.

Le precipitazioni totali sono pari a 1156 mm. Analizzando la distribuzione mensile delle piogge, si evidenzia un picco di piovosità in corrispondenza del mese di dicembre, mentre il minimo si verifica nel mese di luglio.

La maggior parte delle precipitazioni, che sono a carattere di pioggia, cadono nel semestre autunno-inverno.

I valori più alti di temperatura si registrano nel mese di agosto ed i più bassi in quello di gennaio. L'escursione termica fra estate e inverno risulta di media entità, passando da massimi estivi intorno ai 23 °C ai minimi non inferiori a 0°C.

G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
0,95	3,65	8,35	12,65	17,25	21,05	23,35	22,55	18,95	13,15	6,75	2,25

Tabella 3-7. Tabella temperature medie.

Vengono di seguito rappresentati i diagrammi climatici risultanti dall'elaborazione dei dati raccolti e precisamente: il diagramma ombrotermico ed il climogramma di Peguy. La rappresentazione grafica risulta essere efficace e consente un'immediata lettura e comprensione dei fenomeni climatici.

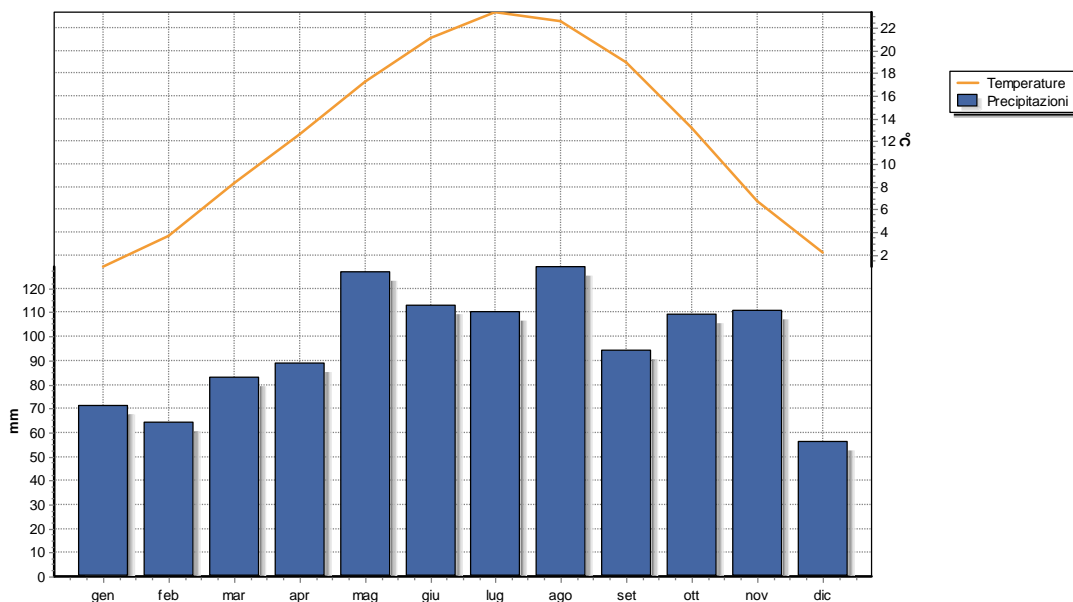


Figura 3-3. Diagramma Ombrotermico.

Dal diagramma ombrotermico si evince che i mesi definibili come “umidi” sono, giugno, luglio e agosto. Dal climogramma di Peguy si può constatare che i mesi di gennaio, febbraio, marzo, aprile maggio, settembre, ottobre, novembre e dicembre sono “temperati”, mentre giugno, luglio e agosto sono “umidi”.

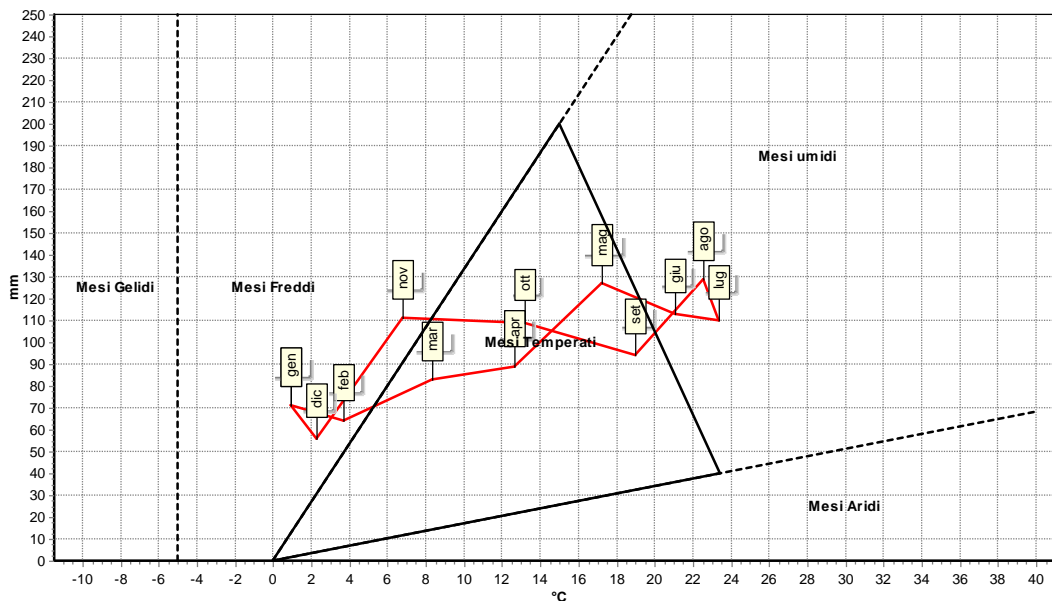


Figura 3-4. Climogramma di Peguy.

Nessun mese ricade tra i “gelidi”, i “freddi e umidi” e i “caldi e umidi”.

Nella tabella seguente sono riportati alcuni degli Indici climatici annuali maggiormente utilizzati.

Pluviofattore di Lang	91,60
Indice di Fournier	14,40
Indice di Amann	651,28
Evaporazione Idrologica di Keller	594,10 mm
Mesi aridi secondo Köppen	Nessuno
Mesi aridi secondo Gausson	Nessuno
Indice ombrotermico annuale	7,66
Indice ombrotermico estivo	5,26

Tabella 3-8. Elenco principali indici climatici (per l'elenco completo si rimanda all'allegato).

Si rimanda agli Allegati per il report climatico completo.

### 3.1.3 Comune di Pieve Albignola

Per la zona relativa a parte del percorso finale del cavidotto e della sottostazione sono state considerate valide le caratteristiche climatiche di Pieve Albignola in quanto la valenza statistica delle serie P/T ha fornito dei valori attendibili

Gli indici e i dati afferenti al comune di Pieve Albignola sono riportati in allegato.

G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
71	64	83	89	127	113	110	129	94	109	111	56

Tabella 3-9. Tabella precipitazioni medie.

La maggior parte delle precipitazioni, che sono a carattere di pioggia, cadono nel semestre autunno-inverno:

Periodo	mm	% annua
Apr-Set	662	75
Ott-Mar	494	25

Tabella 3-10. Precipitazioni, ripartizione semestrale.

Le precipitazioni totali sono pari a 1156 mm. Analizzando la distribuzione mensile delle piogge, si evidenzia un picco di piovosità in corrispondenza del mese di dicembre, mentre il minimo si verifica nel mese di luglio.

La maggior parte delle precipitazioni, che sono a carattere di pioggia, cadono nel semestre autunno-inverno.

I valori più alti di temperatura si registrano nel mese di agosto ed i più bassi in quello di gennaio. L'escursione termica fra estate e inverno risulta di media entità, passando da massimi estivi intorno ai 23 °C ai minimi non inferiori a 0°C.

G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
0,96	3,66	8,36	12,66	17,26	21,06	23,36	22,56	18,96	13,16	6,76	2,26

Tabella 3-11. Tabella temperature medie.

Vengono di seguito rappresentati i diagrammi climatici risultanti dall'elaborazione dei dati raccolti e precisamente: il diagramma ombrotermico ed il climogramma di Peguy. La rappresentazione grafica risulta essere efficace e consente un'immediata lettura e comprensione dei fenomeni climatici.

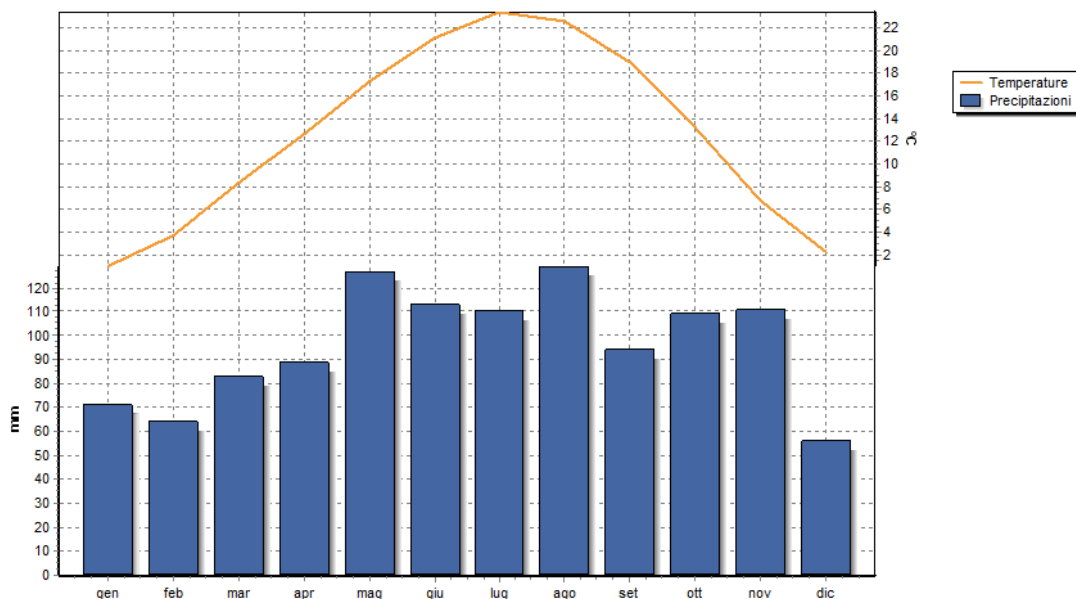


Figura 3-5. Diagramma Ombrotermico.

Dal diagramma ombrotermico si evince che i mesi definibili come “umidi” sono, giugno, luglio e agosto. Dal climogramma di Peguy si può constatare che i mesi di gennaio, febbraio, marzo, aprile, maggio, settembre, ottobre, novembre e dicembre sono “temperati”, mentre giugno, luglio e agosto sono “umidi”.

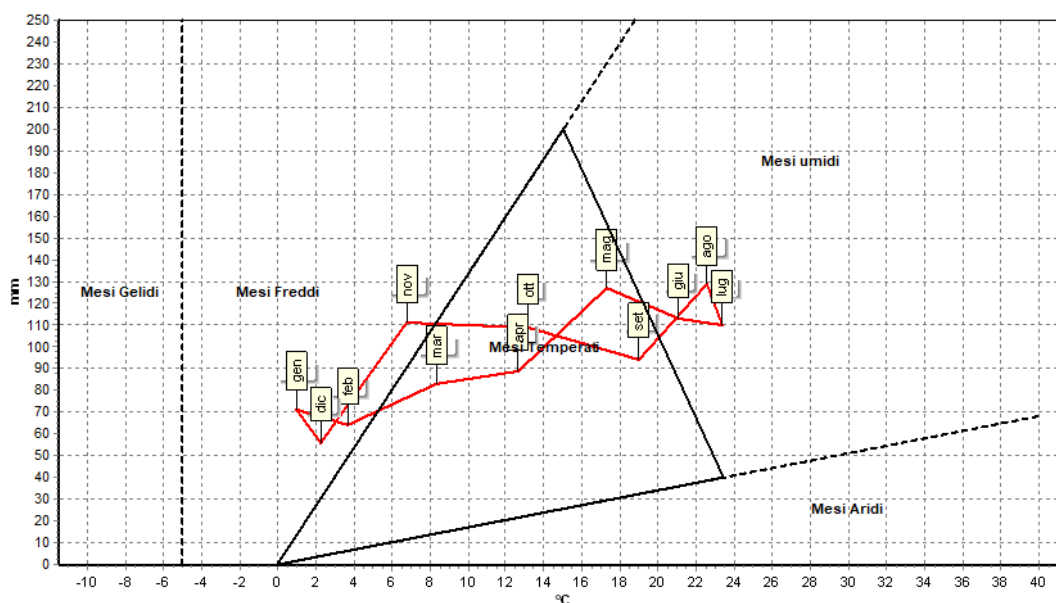


Figura 3-6. Climogramma di Peguy.

Nessun mese ricade tra i “gelidi”, i “freddi e umidi” e i “caldi e umidi”.

Nella tabella seguente sono riportati alcuni degli Indici climatici annuali maggiormente utilizzati.

Pluviofattore di Lang	91,53
Indice di Fournier	14,40
Indice di Amann	651,80
Evaporazione Idrologica di Keller	594,10 mm
Mesi aridi secondo Köppen	Nessuno
Mesi aridi secondo Gaussen	Nessuno
Indice ombrotermico annuale	7,65
Indice ombrotermico estivo	5,26

Tabella 3-12. Elenco principali indici climatici (per l'elenco completo si rimanda all'allegato).

Si rimanda agli Allegati per il report climatico completo.

## 3.2 Bilancio idrologico

### 3.2.1 Comune di Dorno

Per una valutazione quantitativa delle acque si è proceduto ad effettuare il Bilancio Idrologico secondo Thornthwaite, elaborato statisticamente nell'arco dei 12 mesi. Dall'analisi dei dati relativi alla Stazione di Dorno si evidenzia che, a fronte di 1156 mm/anno di Precipitazioni, si registra un'evapotraspirazione potenziale (Etp) di ben 784,7 mm/anno. Ciò evidenzia una situazione di aridità alquanto marcata, infatti il deficit idrico (D) è di ben 38,7 mm/anno e si concentra nel periodo da maggio ad ottobre.

Anche i dati relativi all'acqua a disposizione delle piante nella zona radicale (PAW) sono d'interesse. Infatti, il quantitativo totale, con i suoi 784,7 mm/anno, è concentrato nei mesi da ottobre a giugno, in netta contrapposizione con il marcato deficit. Il ruscellamento (R) risulta essere 316,4 mm/anno.

#### Modello di Thornthwaite

##### Bilancio idrico mensile

z	0,8	m	Profondità apparato radicale
FC	0,3	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	Capacità di ritenzione idrica
PWP	0,18	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	Punto di appassimento
mxPAW=(FC-PWP) * z	96	mm	Acqua massima utilizzabile dalle piante

MESE	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Totale
Precipitazioni	71,0	64,0	83,0	89,0	127,0	113,0	110,0	129,0	94,0	109,0	111,0	56,0	1156,0
Etp	1,2	8,2	32,6	64,3	112,1	148,8	174,5	153,6	103,7	56,5	18,8	3,9	878,2
dS	69,8	55,8	50,4	24,7	14,9	-35,8	-60,2	0,0	0,0	52,5	92,2	52,1	
PAW	96,0	96,0	96,0	96,0	96,0	60,2	0,0	0,0	0,0	52,5	96,0	96,0	784,7
AET	1,2	8,2	32,6	64,3	112,1	148,8	170,2	129,0	94,0	56,5	18,8	3,9	
R	69,8	55,8	50,4	24,7	14,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	48,7	52,1	316,4
D	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,4	24,6	9,7	0,0	0,0	0,0	38,7

#### Legenda

dS = ritenuta idrica del suolo, mm H<sub>2</sub>O  
PAW = acqua a disposizione delle piante nella zona radicale (mm H<sub>2</sub>O)  
AET = evapotraspirazione reale (mm H<sub>2</sub>O)  
R = surplus; ruscellamento o drenaggio  
D = deficit idrico

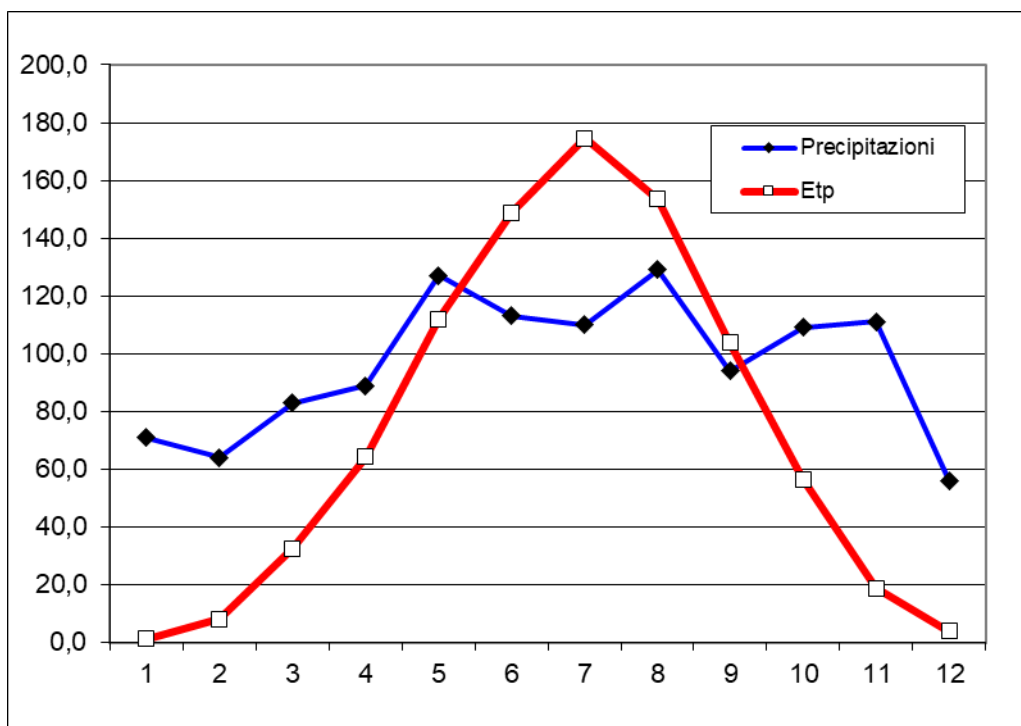


Figura 3-7. Grafico di Thornthwaite.

### 3.2.2 Comune di Scaldasole

Dall'analisi dei dati relativi alla Stazione di Scaldasole si evidenzia che, a fronte di 1156 mm/anno di Precipitazioni, si registra un'evapotraspirazione potenziale (Etp) di ben 879,4 mm/anno. Ciò evidenzia una situazione di aridità alquanto marcata, infatti il deficit idrico (D) è di ben 39,3 mm/anno e si concentra nel periodo da maggio ad ottobre.

Anche i dati relativi all'acqua a disposizione delle piante nella zona radicale (PAW) sono d'interesse. Infatti, il quantitativo totale, con i suoi 784,5 mm/anno, è concentrato nei mesi da ottobre a giugno, in netta contrapposizione con il marcato deficit. Il ruscellamento (R) risulta essere 316,0 mm/anno.

#### Modello di Thornthwaite

##### Bilancio idrico mensile

z	0,8	m	Profondità apparato radicale
FC	0,3	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	Capacità di ritenzione idrica
PWP	0,18	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	Punto di appassimento
maxPAW=(FC-PWP) * z	96	mm	Acqua massima utilizzabile dalle piante

MESE	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Totale
Precipitazioni	71,0	64,0	83,0	89,0	127,0	113,0	110,0	129,0	94,0	109,0	111,0	56,0	1156,0
Etp	1,3	8,2	32,7	64,4	112,2	149,0	174,7	153,8	103,8	56,5	18,8	3,9	879,4
dS	69,7	55,8	50,3	24,6	14,8	-36,0	-60,0	0,0	0,0	52,5	92,2	52,1	
PAW	96,0	96,0	96,0	96,0	96,0	96,0	60,0	0,0	0,0	52,5	96,0	96,0	784,5
AET	1,3	8,2	32,7	64,4	112,2	149,0	170,0	129,0	94,0	56,5	18,8	3,9	
R	69,7	55,8	50,3	24,6	14,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	48,6	52,1	316,0
D	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,7	24,8	9,8	0,0	0,0	0,0	39,3

##### Legenda

dS = ritenuta idrica del suolo, mm H<sub>2</sub>O  
PAW = acqua a disposizione delle piante nella zona radicale (mm H<sub>2</sub>O)  
AET = evapotraspirazione reale (mm H<sub>2</sub>O)  
R = surplus; ruscellamento o drenaggio  
D = deficit idrico

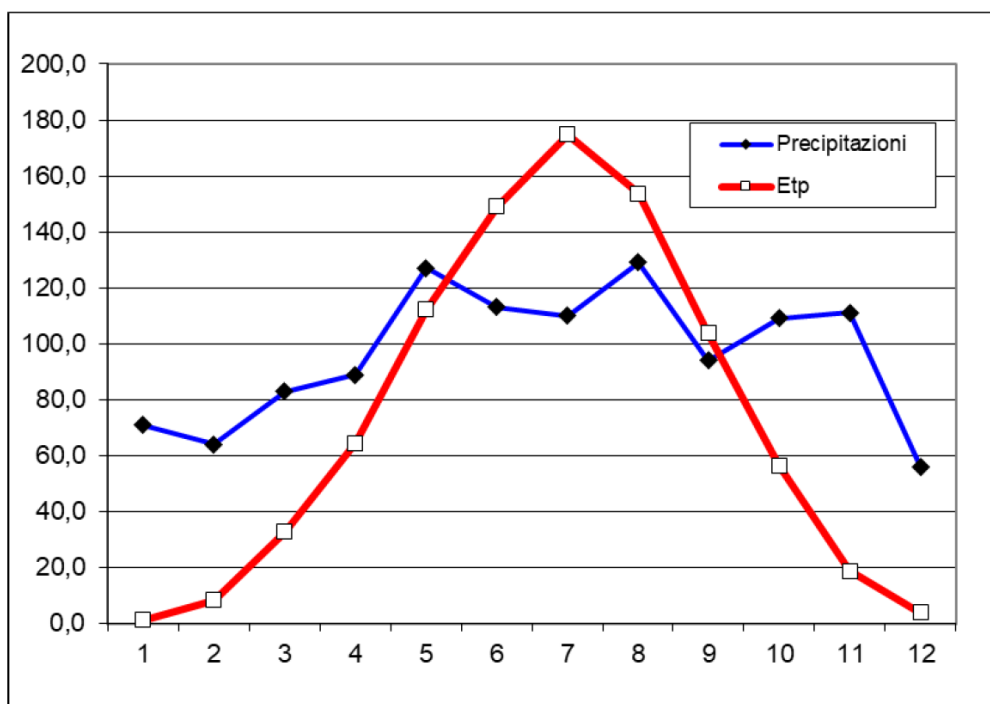


Figura 3-8. Grafico di Thornthwaite.



### 3.2.3 Comune di Pieve Albignola

Dall'analisi dei dati relativi alla Stazione di Pieve Albignola si evidenzia che, a fronte di 1156 mm/anno di Precipitazioni, si registra un'evapotraspirazione potenziale (Etp) di ben 879,4 mm/anno. Ciò evidenzia una situazione di aridità alquanto marcata, infatti il deficit idrico (D) è di ben 39,3 mm/anno e si concentra nel periodo da maggio ad ottobre.

Anche i dati relativi all'acqua a disposizione delle piante nella zona radicale (PAW) sono d'interesse. Infatti, il quantitativo totale, con i suoi 784,5 mm/anno, è concentrato nei mesi da ottobre a giugno, in netta contrapposizione con il marcato deficit. Il ruscellamento (R) risulta essere 316,0 mm/anno.

#### Modello di Thornthwaite

##### Bilancio idrico mensile

z	0,8 m	Profondità apparato radicale
FC	0,3 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	Capacità di ritenzione idrica
PWP	0,18 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	Punto di appassimento
mxPAW=(FC-PWP) * z	96 mm	Acqua massima utilizzabile dalle piante

MESE	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Totale
Precipitazioni	71,0	64,0	83,0	89,0	127,0	113,0	110,0	129,0	94,0	109,0	111,0	56,0	1156,0
Etp	1,3	8,3	32,7	64,4	112,2	149,1	174,8	153,8	103,9	56,6	18,9	3,9	879,9
dS	69,7	55,7	50,3	24,6	14,8	-36,1	-59,9	0,0	0,0	52,4	92,1	52,1	
PAW	96,0	96,0	96,0	96,0	96,0	59,9	0,0	0,0	0,0	52,4	96,0	96,0	784,3
AET	1,3	8,3	32,7	64,4	112,2	149,1	169,9	129,0	94,0	56,6	18,9	3,9	
R	69,7	55,7	50,3	24,6	14,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	48,6	52,1	315,7
D	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9	24,8	9,9	0,0	0,0	0,0	39,6

##### Legenda

dS = ritenuta idrica del suolo, mm H<sub>2</sub>O  
PAW = acqua a disposizione delle piante nella zona radicale (mm H<sub>2</sub>O)  
AET = evapotraspirazione reale (mm H<sub>2</sub>O)  
R = surplus; ruscellamento o drenaggio  
D = deficit idrico

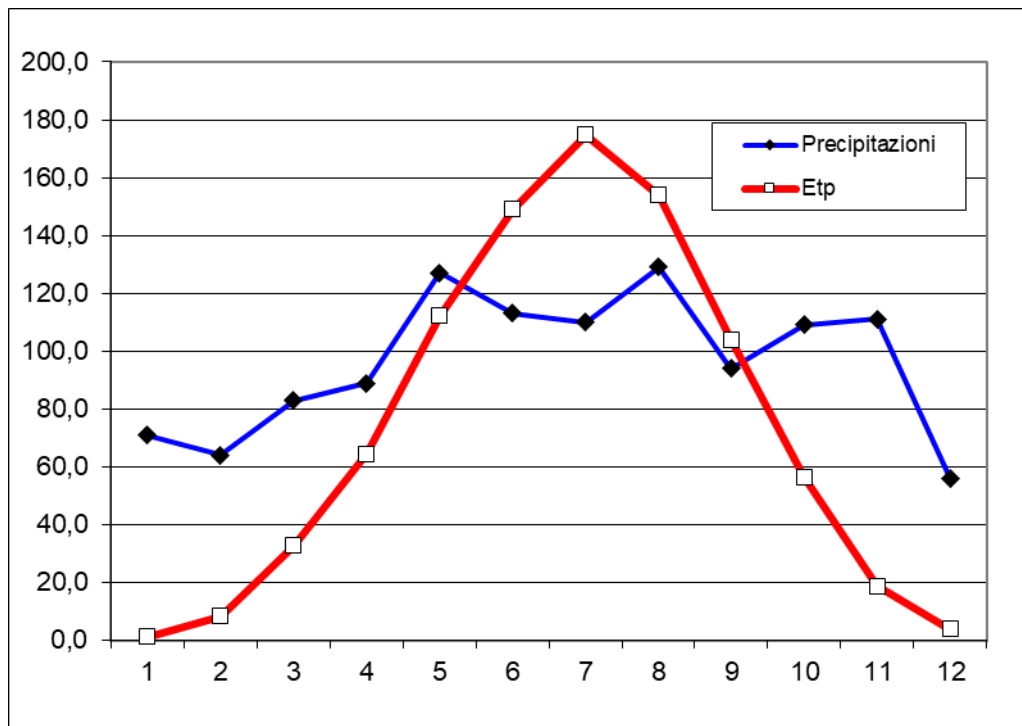


Figura 3-9. Grafico di Thornthwaite.

## 4 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

La macro area di studio ricade nel settore nord-occidentale della Pianura Padana. Quest'ultima si sviluppa in direzione E-O attraverso il nord d'Italia per oltre 40.000 km<sup>2</sup> rappresentando il più ampio bacino alluvionale della Penisola. Essa è delimitata a nord e a sud rispettivamente dagli alti topografici delle Alpi e degli Appennini, mentre ad est è delimitata dalla costa adriatica. La Pianura Padana si estende trasversalmente fino ad un'ampiezza di 100 km, ed è caratterizzata da un sistema di drenaggio principale avente una lunghezza di 652 km e rappresentato dal fiume Po. Quest'ultimo è caratterizzato da un bacino idrografico ampio più di 70.000 km<sup>2</sup>.

La fascia morfologica di inquadramento dei territori comunali di Dorno, Scaldasole e Pieve Albignola è quella della Lomellina centrale compresa fra le aste fluviali dei torrenti Agogna ad Est e Terdoppio ad Ovest.

Dal punto di vista geomorfologico, l'area è caratterizzata da terrazzi fluviali successivi che si sono formati attraverso una combinazione di processi erosivi e deposizionali. I terrazzi più antichi sono costituiti dai depositi di natura fluviale e fluvioglaciale, composti da ciottoli e ghiaie, a cui si sovrappongono sedimenti più fini di natura sabbiosa e limosa: lungo i margini di transizione tra la media e la bassa pianura corre la linea delle risorgive.

Tale porzione di territorio si colloca entro il livello fondamentale della pianura padana, impostato sui terreni che costituiscono il terrazzo Würmiano, ossia l'insieme dei sedimenti continentali che ha colmato le preesistenti depressioni originate dalla fase interglaciale erosiva Riss-Würm con il sovralluvionamento delle antiche superfici, ad esclusione di taluni lembi residuali (dossi).

I cicli fluvioglaciali, di cui il Würm rappresenta l'ultima fase, corrispondono al periodo quaternario di alluvionamento successivo al Villafranchiano e coincidono con l'alternarsi di pulsazioni climatiche calde e fredde, correlabili direttamente con le azioni di avanzamento ed arretramento delle fronti glaciali con apporto ed accumulo di sedimenti durante i cicli freddi (glaciali o stadiali) e terrazzamento erosivo durante i periodi caldi (interglaciale o interstadiale).

Nel corso dell'Olocene, infine (periodo postglaciale, 12.000-10.000 anni fa), i fiumi hanno inciso il suolo formando valli dal caratteristico profilo a "cassetta" entro cui sono visibili le oscillazioni degli alvei (Marchetti et al. 1984).

Nell'ambito della fase Würmiana sono stati distinti più cicli stadiali (Würm 1, 2, 3) di cui al primo (Würm 1), corrispondente alla massima espansione glaciale, è attribuibile il maggior apporto di sedimenti e quindi la prevalente azione di colmamento e seppellimento delle antiche depressioni interglaciali, mentre i cicli successivi avrebbero operato l'apporto di modeste coltri detritiche, producendo principalmente dei terrazzi di erosione nella superficie principale.

Per questo motivo, il livello fondamentale della pianura nella Lomellina centrosettentrionale si presenta come una conoide terrazzata con superfici blandamente ondulate, vergenti verso S-SE, assimilabili in gran parte al livello del ciclo Würmiano principale, mentre i terrazzi inferiori determinano morfologie a tratti depresse, comunque marginali arealmente rispetto alla superficie fondamentale.

I materiali ripresi dai depositi morenici, granulometricamente eterogenei, vengono depositati in un ordine (ghiaie-sabbie-limiargille) che non è mai rigido e che dipende da diversi fattori tra cui la portata delle varie fasi di piena e la composizione litologica (rocce più o meno pesanti), tenendo conto, inoltre, che un tempo i fiumi privi di argini cambiavano spesso alveo e i loro depositi si sovrapponevano a quelli di altri.

Il risultato delle azioni descritte è una coltre alluvionale che, analizzata in una sezione verticale, appare formata da livelli grossolani alternati a sabbie a volte cementate e ad argille contenenti falde idriche più o meno potenti. Analizzando una sezione NO-SE della Pianura lombarda possiamo osservare che le ghiaie dominano verso Nord (fascia dell'alta pianura) e i sedimenti fini prevalgono verso Sud (fascia della bassa pianura). Tra le due fasce possiamo individuarne una di transizione (media pianura), con caratteristiche litologiche intermedie, che nel vicentino ha un'ampiezza variabile dai 2 ai 10 chilometri ed è compresa tra i 64 e i 30 metri s.l.m.

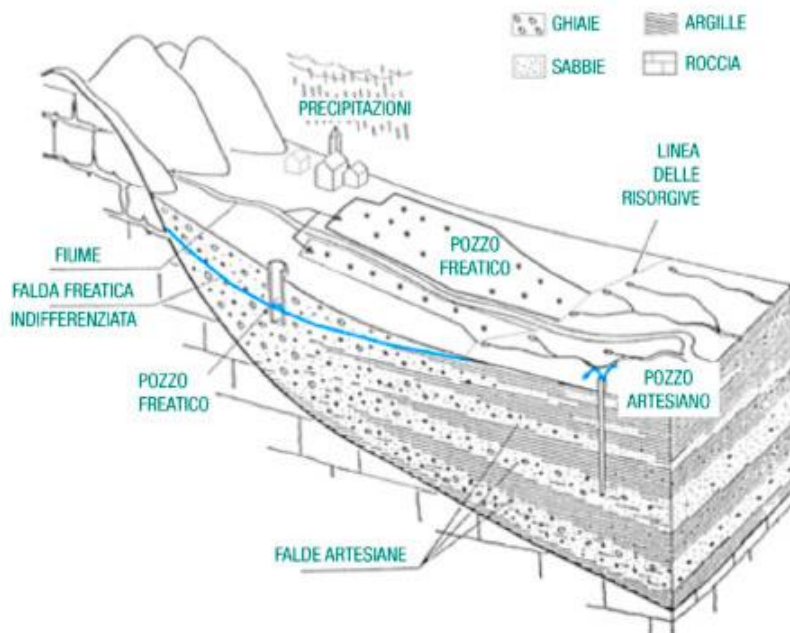


Figura 4-1. Schema deposizionale della pianura lombarda.

Le maggiori accentuazioni positive della superficie fondamentale della pianura sono costituite dai dossi che rappresentano ondulazioni altimetricamente elevate, rispetto al “Piano Generale Terrazzato”, di pochi metri rispetto alle piane circostanti, aventi senso di allungamento planimetrico NNO-SSE, analogo a quello delle paleo linee di drenaggio ben conservate fra le incisioni dei torrenti Agogna ed Terdoppio; essi rappresentano i lembi residuali di paleosuperfici relitte di formazione Rissiana, e sono riconducibili a quelle forme caratteristiche della morfologia fluviale rappresentate dalle barre sabbiose. La maggiore potenza del ciclo deposizionale Riss nei confronti di quello Würmiano, fu la causa del non completo colmamento delle antiche superfici e forme di modellamento fluviale da parte delle nuove assise alluvionali, motivo per cui i rilievi attuali, sebbene rimaneggiati parzialmente dalla rielaborazione eolica e soprattutto dagli interventi di insediamento che ne hanno provocato il progressivo livellamento alla pianura circostante, sono da considerarsi come delle forme di modellamento o paleo superfici fluviali relitte, corrispondenti dal punto di vista della genesi sedimentologica ad una fase antecedente ai cicli alluvionali Würmiani, così come le linee di paleo drenaggio attualmente riconoscibili corrispondono ai relitti di un sistema di canalizzazione modello “braided” collegato alle divagazioni fluviali e parzialmente sepolto dai successivi eventi di colluvionamento.

Analoghi per antichità e modalità di formazione alle grandi dune sabbiose dell’entroterra centro-europee (Paesi Bassi, Germania, Polonia), i “dossi” della Lomellina, detti anche “sabbioni”, erano delle dune di sabbia soggette al rimodellamento da parte del vento. La formazione dei depositi che hanno originato i dossi risale al Diluvium recente, il periodo in cui le fiumane originate dallo scioglimento delle calotte glaciali che ricoprivano l’Italia settentrionale durante l’ultima glaciazione portarono a valle un’enorme quantità di detriti (Boni, 1947). L’azione del vento seppellì i detriti più grossi e pesanti – pietre e ciottoli – sotto la sabbia, che venne modellata in dune e dossi.

Un tempo molto più diffusi in Lomellina, i dossi vennero spianati dall’uomo fin dall’epoca romana per ottenere terreno agricolo (Boni, 1947).

La Lomellina si configura per un andamento debolmente ondulato del piano di campagna, interrotto da aee blandamente sopraelevate denominate “dossi”. Si tratta di rilievi di modeste dimensioni, 5° 6 metri di rilievo rispetto al piano di campagna, costituite da materiale. La loro diffusione, attualmente concentrata in alcune aree e quantitativamente ai minimi storici a causa dell’intenso lavoro di bonifica agraria, era molto maggiore fino a metà del secolo scorso e in età preistorica costituiva probabilmente il tratto distintivo dell’intera Lomellina. L’origine di queste formazioni è probabilmente legata ad un mix

di fattori eolici e fluviali, in cui l'azione di modellamento dei fiumi ha creato delle barre sabbiose deposte in peiodi di sovralluvionamento e rimaneggiate dall'azione di deposizione e deflazione del vento.

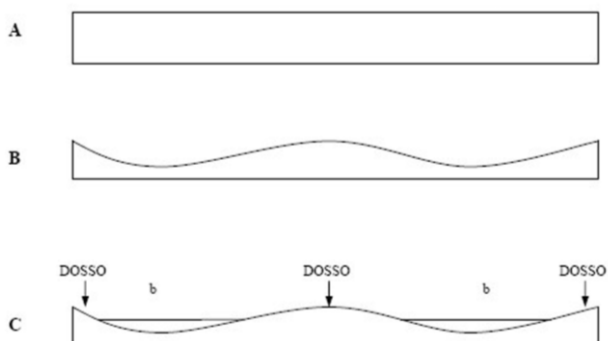


Figura 4-2. Schema di formazione dei dossi sabbiosi. Il livello fondamentale della pianura (A) viene modificato dall'azione fluviale che determina la creazione di barre sabbiose (B). L'azione del vento ha causato un rimodellamento della superficie (C), determinando la deposizione di substrato di più recente formazione (b) e lasciando scoperti i dossi.

Il substrato geologico della Lomellina è di tipo alluvionale, prevalentemente sabbioso e a tratti limosoargilloso in superficie, formatosi nel tardo Pleistocene.

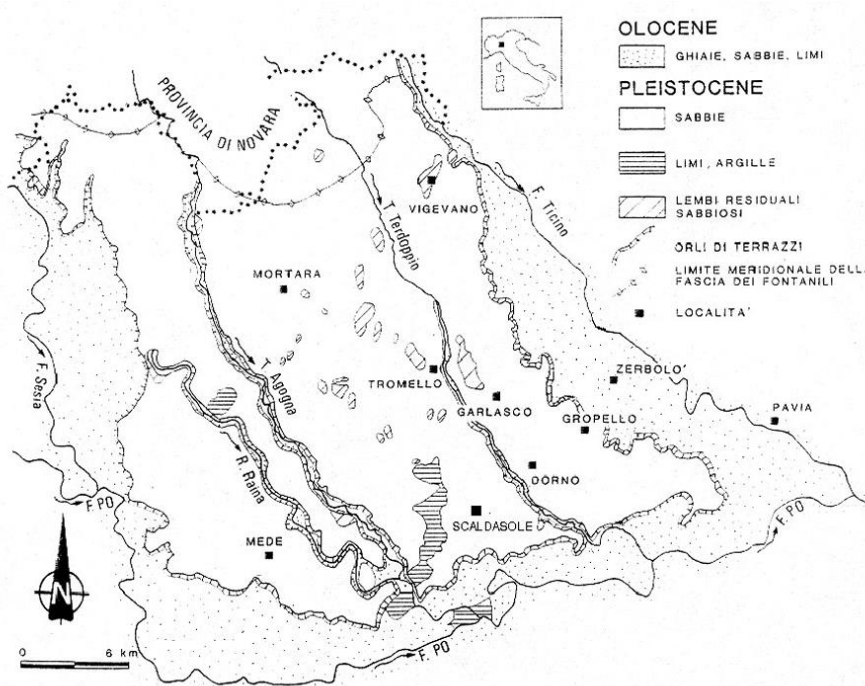


Figura 4-3. Geologia schematica della Lomellina. (Fonte: Taramelli, 1916).

In definitiva, per la macro area oggetto di studio, si possono identificare tre unità fisiografiche:

- la pianura generale terrazzata, formata durante l'ultima glaciazione ad opera dei vari fiumi alpini, che hanno depositato sabbie, ghiaie, limi e argille, i prodotti di erosione e di outwash glaciali;
- le valli a cassetta incise dai corsi d'acqua nella pianura durante il corso dell'Olocene;

- i dossi, piccoli rilievi tradizionalmente considerati lembi, isolati ed erosi, dalla precedente pianura rissiana, che vengono attualmente ricollegati a fenomeni di sollevamento tettonico.

La macro area di studio è caratterizzata da quote comprese tra i 56 m s.l.m. e i 96 m s.l.m; sulla base del Digital Elevation Model (DEM), in ambiente QGis, è stato approntato il livello tematico di carattere morfometrico, ossia la carta rappresentante la zonizzazione del territorio in funzione della clivometria.

La distribuzione delle classi di acclività è in buona parte controllata dall'energia cinetica dei corsi d'acqua, che dipende dalla portata e dalla velocità, in quanto la pianura pavese è dotata di una rete idrografica ben definita, costituita da corsi d'acqua a regime prevalentemente torrentizio che incidono i depositi quaternari.

L'area dell'impianto in oggetto sorge su un ripiano morfologico pianeggiante, con un'altitudine media di circa 95 m s.l.m.

La variabile Topographic Position Index caratterizza le forme di paesaggio. Essa si basa su 10 differenti forme di paesaggio. In letteratura per la definizione della classificazione dei valori dei pixel, in termini di forme del paesaggio, può avere un significato più strettamente idrologico, oppure più strettamente geomorfologico.

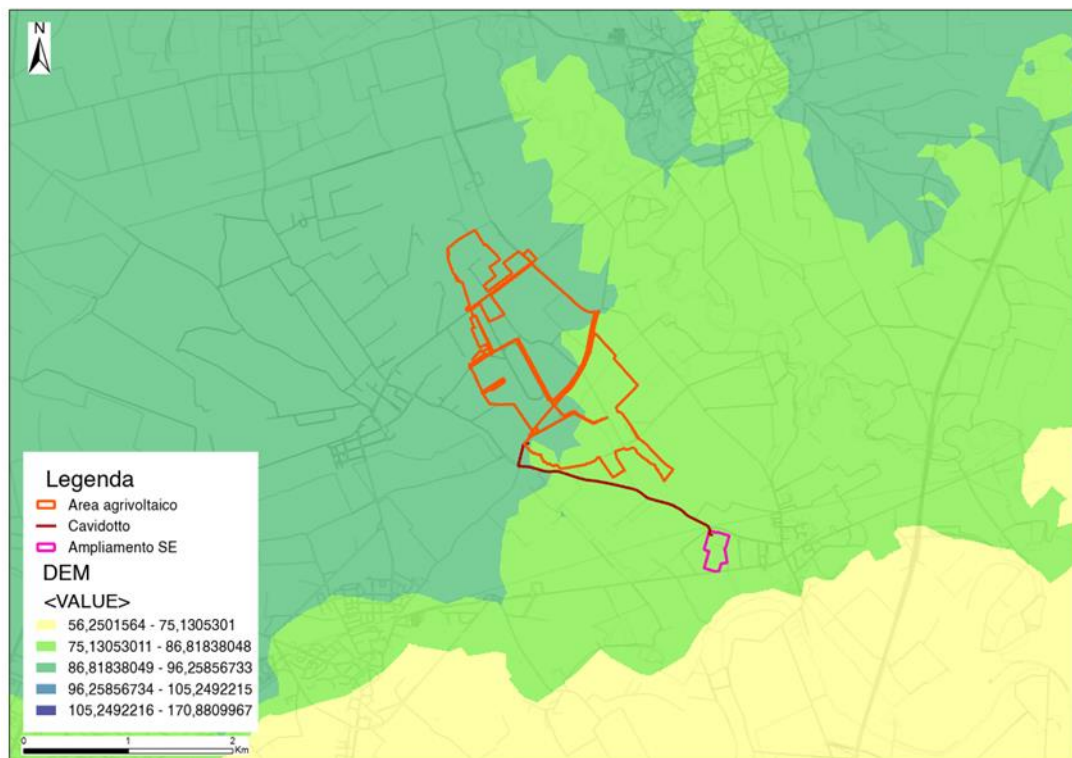


Figura 4-4. Condizioni al contorno imposte – Elaborazione, su base DBT regionale, delle quote topografiche, nonché dell'energia del rilievo.

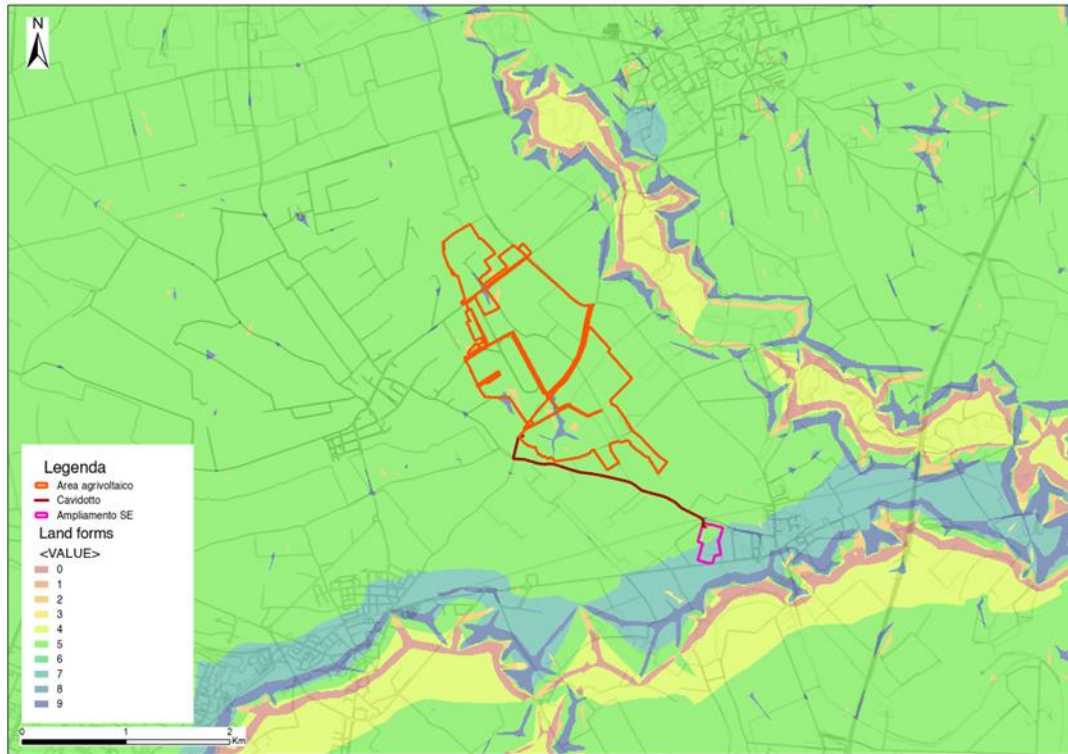


Figura 4-5. Condizioni al contorno imposte – Elaborazione, su base DBT regionale, della classificazione delle forme del paesaggio.

Landforms Values	Inglese	Italiano
0	Streams	Impluvi profondi e canyon
1	Midslope drainages	Vallecole ed impluvi poco profondi
2	Upland drainages	Siti superiori di drenaggio montano
3	U-shape valleys	Piè versante e valle a forma di U
4	Plains	Pianure e pianori
5	Open slopes	Medio versante
6	Upper slopes	Alto versante
7	Local ridges	Convessità e crinali isolati in pianura e pianori
8	Midslope ridges	Convessità e crinali inferiori
9	High ridges	Crinali

Tabella 4-1. Landforms classification.

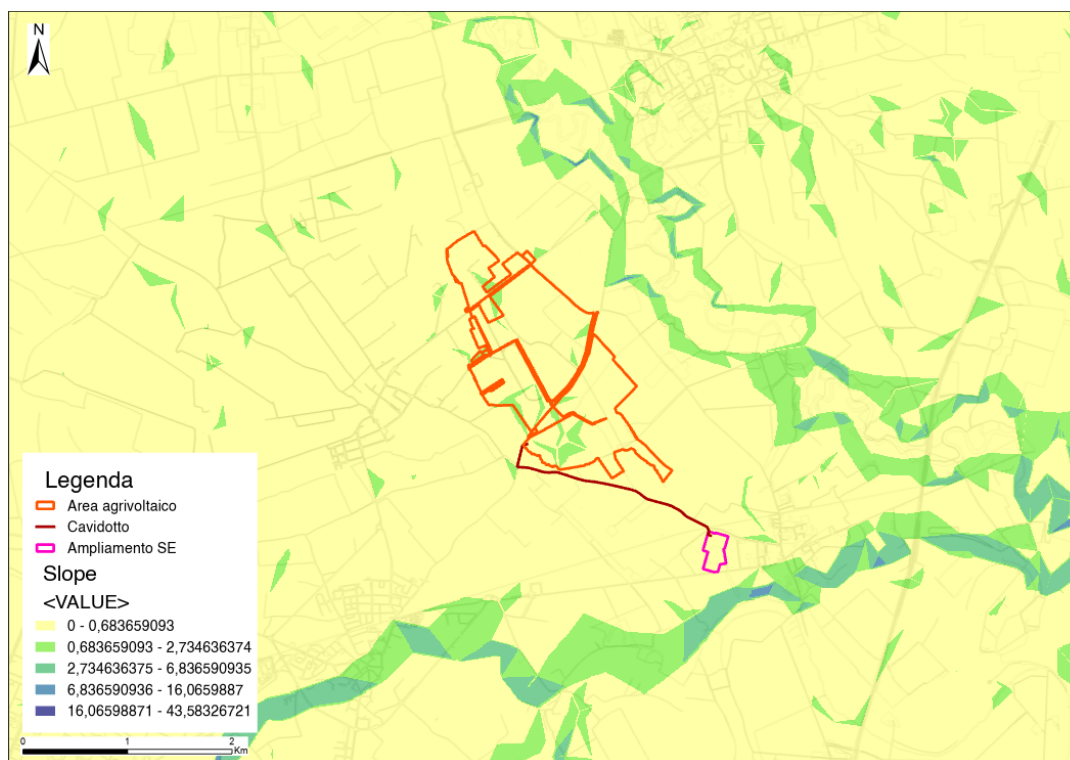


Figura 4-6. Condizioni al contorno imposte – Elaborazione, su base DBT regionale, delle pendenze.

L'azione dell'acqua, sulla superficie terrestre, si esplica attraverso una serie di fenomeni che iniziano con la caduta delle gocce di pioggia sul suolo (splash erosion) e prosegue con il ruscellamento superficiale, in forma areale (sheet erosion), con basso grado di incanalamento (rill erosion, canali di scorrimento con profondità < 10 cm circa), con fenomeni di ruscellamento incanalato ad erosione concentrata (gully erosion, impluvi accentuati profondi anche 1 m) o infine nello scorrimento nei corsi d'acqua (fiumi e torrenti).

La velocità del deflusso superficiale può essere limitata, da azioni di miglioramento della permeabilità dei suoli e dalla vegetazione o residui vegetali. Anche le barriere fisiche che limitano lo scorrimento delle acque superficiali, intercettando i flussi, possono diminuire la capacità erosiva delle acque superficiali.

Corsi d'acqua di tipo non confinato o semiconfinato (eccetto soglie rocciose intermedie), di dimensioni da intermedie a grandi con alveo alluvionale (a fondo mobile) è libero di auto-modellarsi, sia in senso altimetrico che planimetrico, a differenza degli alvei confinati. La configurazione planoaltimetrica dell'alveo è il risultato dell'interazione tra processi responsabili della sua formazione (variabili guida del sistema, ovvero portate liquide e solide) e condizioni al contorno (forma del fondovalle, sedimenti che lo compongono, presenza o meno di vegetazione).



Figura 4-7. Stralcio dell'ortofoto satellitare con evidenza di alcune delle aree di golena. ↓

Il sistema di ROSGEN (1994) rappresenta, probabilmente, la classificazione morfologica più completa dei corsi d'acqua naturali.

La classificazione si basa su tre livelli di conoscenza:

- caratteristiche del fiume, le quali dipendono dalle forme del rilievo, morfologia della valle e dell'alveo;
- tipologia di valle fluviale, è la principale variabile della forma dei fiumi;
- descrizione morfologica di dettaglio, da misure dirette in alveo della forma del canale e composizione del letto.

Nello specifico, il Torrente Terdoppio, ricade nel tipo "C". Tale tipo si trova in valli da strette ad ampie, costruite da depositi alluvionali. Essi hanno una golena ben sviluppata (poco trincerate), sono relativamente sinuosi con una pendenza del canale del 2% o inferiore e una morfologia del letto indicativa di una configurazione riffle/pool e caratteristici "point-bar" all'interno del canale attivo.

I processi di aggradazione/degradazione e di estensione laterale sono, intrinsecamente, dipendenti dalla stabilità naturale degli argini, dalle condizioni dello spartiacque di monte, dal regime di flusso e dai sedimenti.

Il flusso dei canali di tipo "C" può essere significativamente alterato e rapidamente destabilizzato, provocando il superamento della soglia di stabilità.

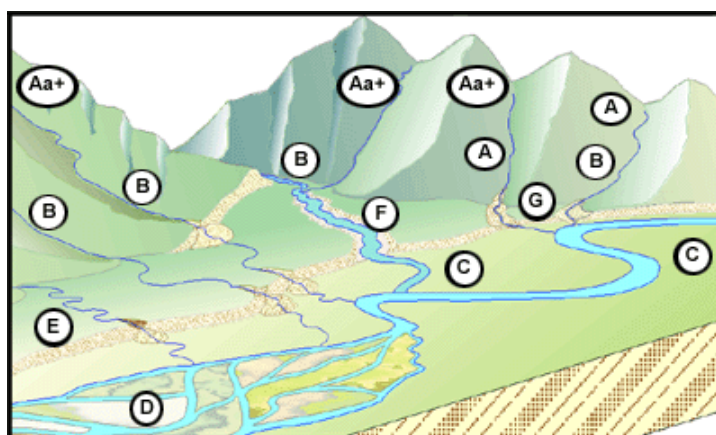


Figura 4-8. Condizioni al contorno imposte - Diversi tipi fluviali in diverse zone del paesaggio.



Il Terdoppio lomellino, nel tratto a valle della chiusa di Batterra, in comune di Garlasco, costituisce uno dei migliori esempi di morfologia fluviale a meandri della Pianura padana. La posizione incassata in una incisione fluviale non impedisce al corso d'acqua di formare una successione di meandri, con aspetti di erosione e deposizione dei sedimenti di rilevante valore naturalistico e documentario.

Il torrente Terdoppio da Divignano a Cerano alterna tratti sinuosi e meandriformi a tratti sostanzialmente rettilinei; la struttura dell'alveo è monocursale. La sezione dell'alveo non ha subito variazioni significative di larghezza e a tratti si è riscontrato un modesto aumento della lunghezza. Fino a monte di Suno, sia in destra che in sinistra, il corso d'acqua scorre tra superfici terrazzate piuttosto rimodellate; da valle di Suno fino allo scolmatore in Ticino (roggia Cerano), solo localmente sono presenti scarpate di erosione fluviale alte pochi metri.

Il bacino di utenza (anche noto come accumulazione di flusso), può essere utilizzato per impostare una soglia per l'inizializzazione dei canali. L'algoritmo di calcolo del tool di SAGA è basato sulla pendenza e su specific catchment area come sostituto della lunghezza del versante. Catchment area (recursive method) (SAGA), Catchment area (max flux method) (SAGA), convergence index (SAGA), sono variabili che forniscono informazioni riguardo il flusso idrologico superficiale (GRUBER e PECKHAM 2009). La legenda mostra i valori delle celle dell'elaborazione, le quali si riferiscono all'ordine delle aste fluviali (in blu, è evidenziato il V ordine che corrisponde ai canali principali del Fiume Terdoppio).

La variabile Flow direction è tipicamente utilizzata per comprendere il flusso idrologico. Consente di mappare la direzione del flusso idrologico, determinata dalla massima pendenza (ZHAO et al. 2009). Utilizzando l'opzione Raster Drop viene creato un raster di output che mostra il valore (in termini percentuali) del rapporto tra la massima variazione dell'elevazione, individuata tra i pixel lungo la direzione del flusso, e la lunghezza del percorso tra i centri dei pixel considerati.

Il Topographic Wetness Index è il parametro che fornisce informazioni riguardo il run off delle acque meteoriche, fornendo una misura di quanto un'area tende a saturarsi (OLAYA e CONRAD 2009). L'indice è funzione della pendenza che dell'area contribuente a monte per unità di larghezza, ortogonale alla direzione del flusso. I numeri di accumulo nelle aree pianeggianti saranno molto grandi, quindi il TWI non sarà una variabile rilevante. L'indice è altamente correlato con diversi attributi del suolo come profondità dell'orizzonte, percentuale di limo, contenuto di materia organica e fosforo. Tale elaborazione può essere messa a conferma che le aree di golena sono ricche di limo e ghiaia, molto permeabili.

L'equazione denominata Universal Soil Loss Equation (USLE) è il modello più utilizzato per stimare il rischio di erosione del suolo. Tra i parametri utilizzati nell'equazione vi è l'LS factor, (MOORE et al. 1991) la quale descrive l'effetto della topografia sull'erosione del suolo. L è il fattore che tiene conto della lunghezza (m) del versante mentre S rappresenta la pendenza (%).

La variabile Mass Balance Index descrive le potenziali zone di accumulo di materiale colluviale e di deplezione del suolo: assume valori negativi per le aree di deposizione, valori positivi per quelle di erosione e valori prossimi allo zero per le aree dove vi è un equilibrio tra erosione e deposizione, come per le zone di pianura (MÖLLER et al. 2008).

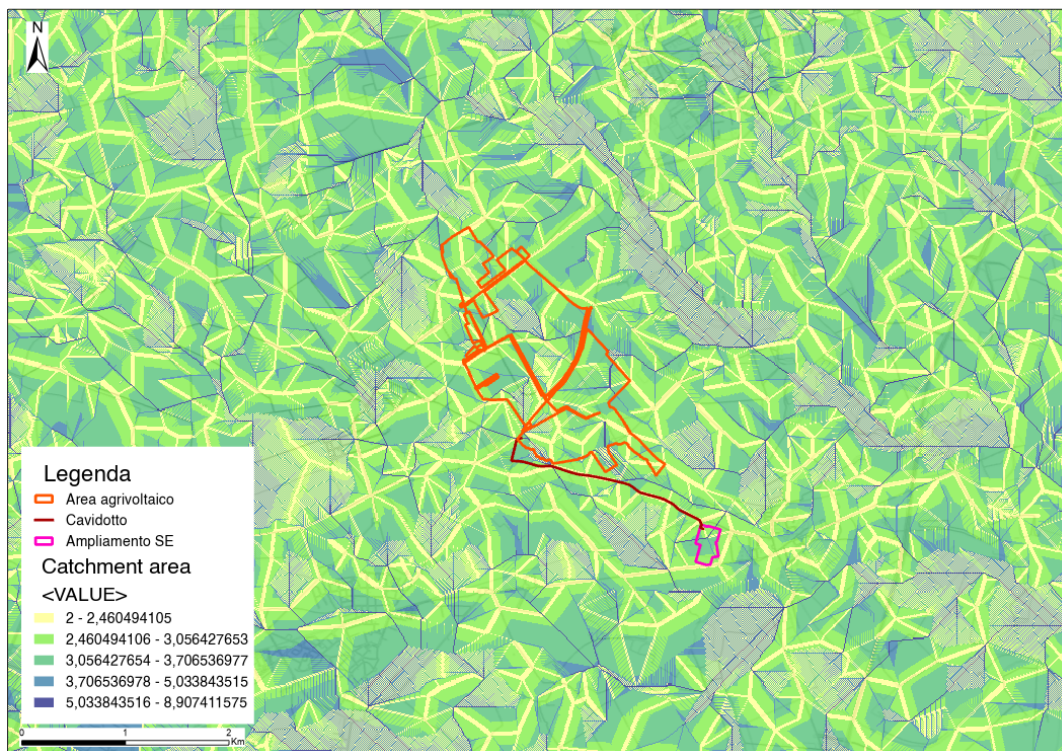


Figura 4-9. Condizioni al contorno di flusso liquido e solido - Elaborazione, su base DBT regionale, della classificazione catchment area.

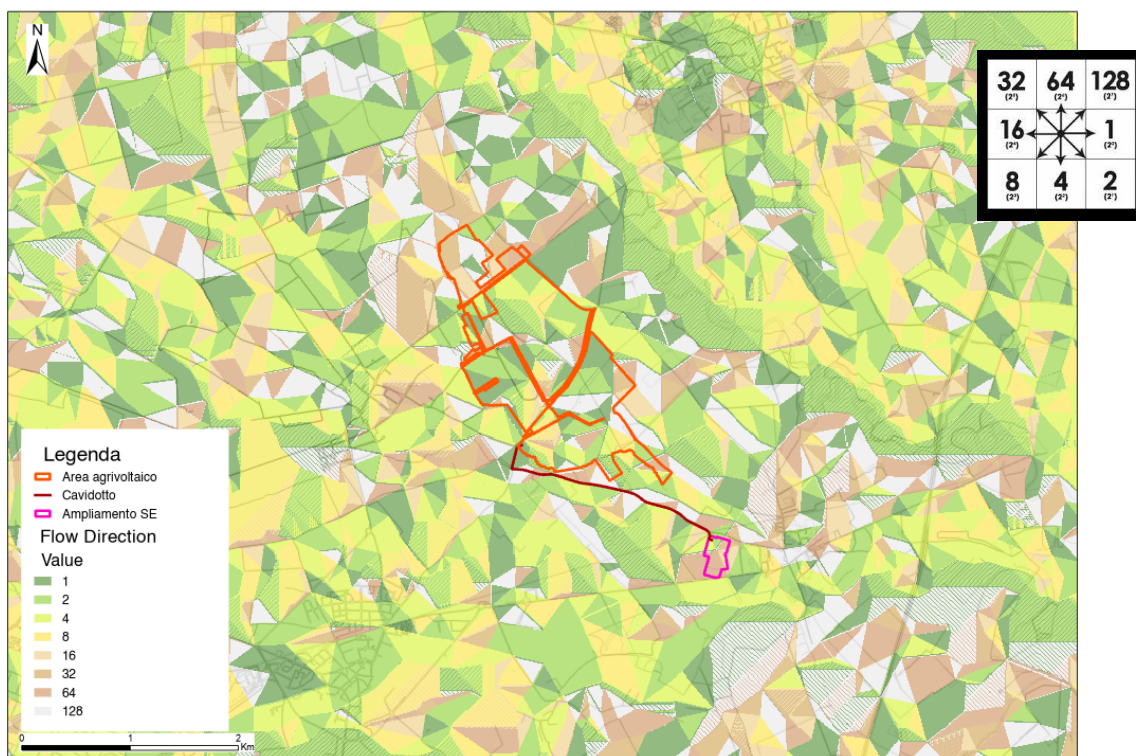


Figura 4-10. Condizioni al contorno di flusso liquido e solido – Elaborazione, su base DBT regionale, della Flow Direction.

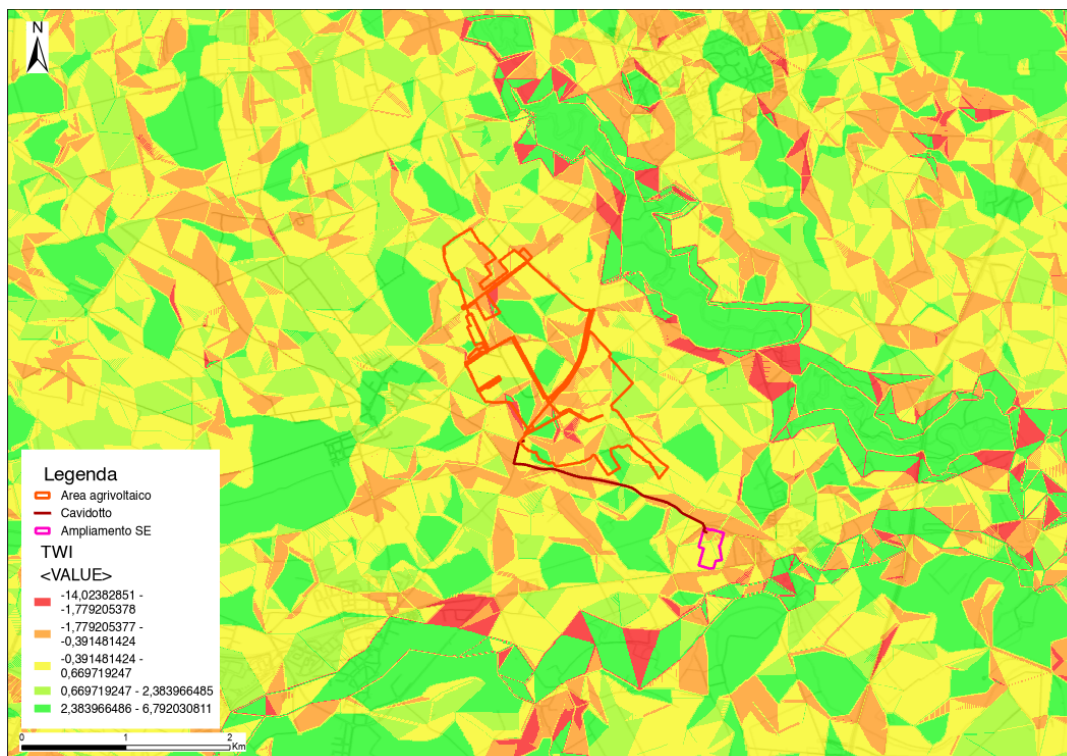


Figura 4-11. Condizioni al contorno di flusso liquido e solido – Elaborazione, su base DBT regionale, della classificazione TWI.

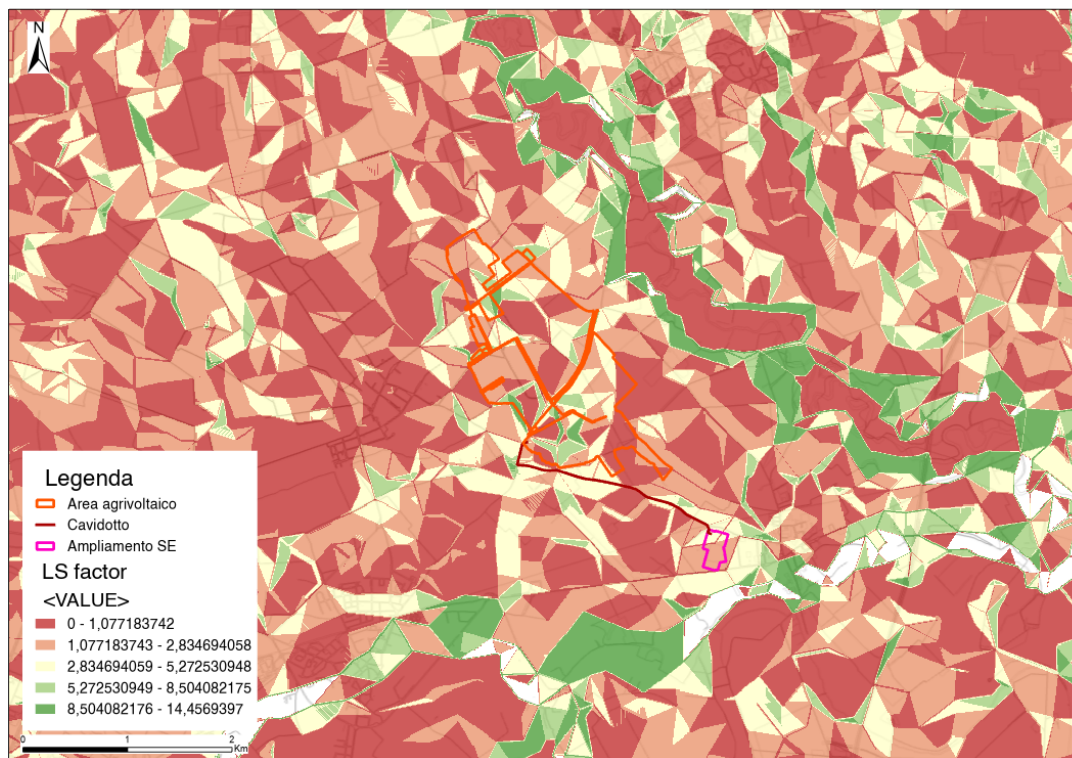


Figura 4-12. Condizioni al contorno di flusso liquido e solido – Elaborazione, su base DBT regionale, della classificazione LS factor.

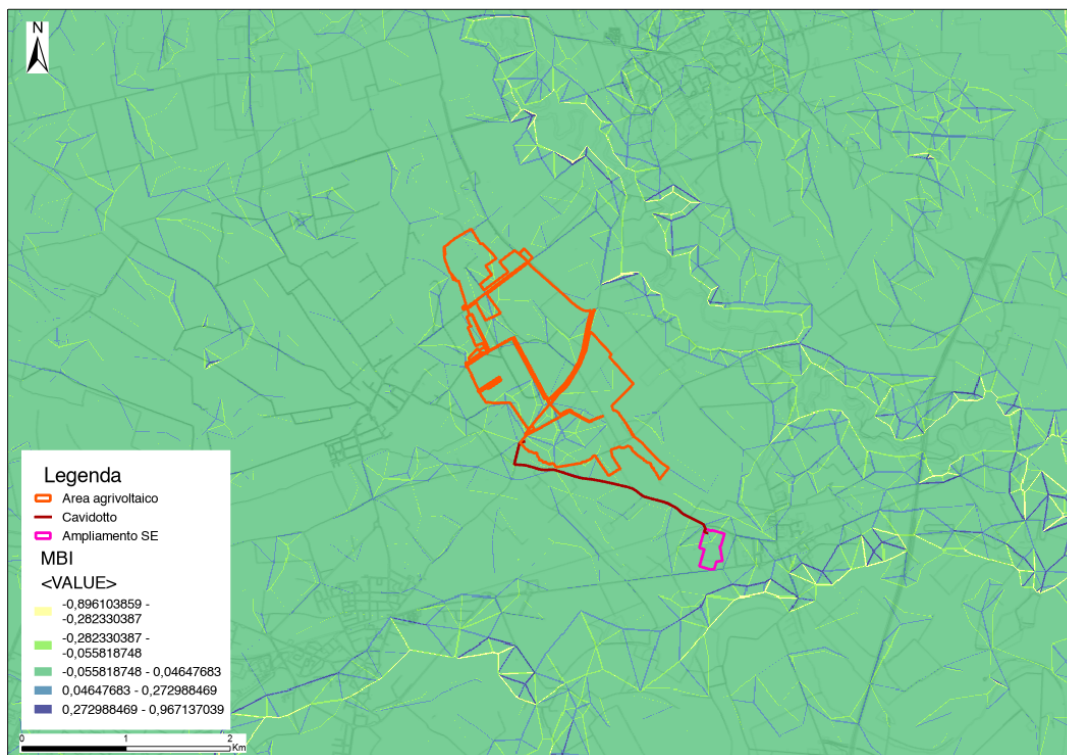


Figura 4-13. Condizioni al contorno di flusso liquido e solido – Elaborazione, su base DBT regionale, della MBI.

La determinazione dell'altezza media di un bacino idrografico può essere semplificata costruendo la curva ipsografica che fornisce la distribuzione delle superfici nelle diverse fasce altimetriche. Ogni punto della suddetta curva ha come ordinata un valore di quota  $h_i$  e come ascissa la superficie parziale del bacino  $A_i$ , posta al di sopra della quota considerata. Ovviamente alla quota massima corrisponde una superficie nulla mentre, alla quota minima, che è quella della sezione di chiusura, corrisponde la superficie dell'intero bacino. L'area racchiusa dalla curva ipsografica e dagli assi coordinati, tenuto conto delle unità di misura utilizzate (le quote in m e le superfici in  $\text{km}^2$ ), rappresenta il volume del rilievo. La suddetta area rapportata alla superficie del bacino fornisce il valore dell'altitudine media.

La rappresentazione ipsometrica di un bacino idrografico consente, pertanto, di stimare lo stadio di evoluzione volumetrica raggiunto dal bacino in relazione a quello primigenio, che ha lo stesso sviluppo areale e il medesimo dislivello. Questa possibilità è offerta dall'integrale della curva ipsometrica, denominato integrale ipsometrico, il cui valore costituisce una valutazione del volume del bacino attualmente presente rispetto a quello teoricamente supposto originario.

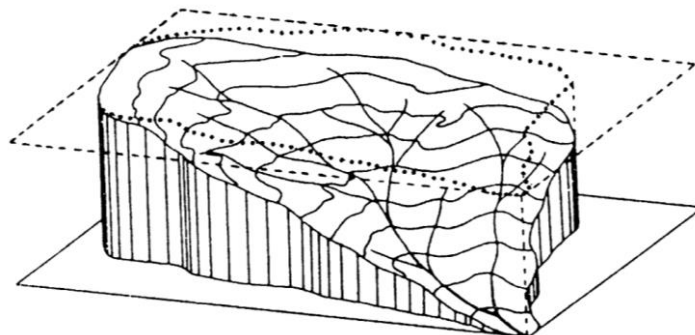


Figura 4-14. Schema generico di approfondimento di un bacino idrografico.

La terza legge di Horton o Legge delle pendenze dei corsi d'acqua enuncia che: "In un corso d'acqua le pendenze medie dei segmenti idrografici di ordine successivo si dispongono secondo una progressione geom.ca con primo termine pari alla pendenza media dei segmenti del primo ordine e con ragione pari al rapporto di pendenza".

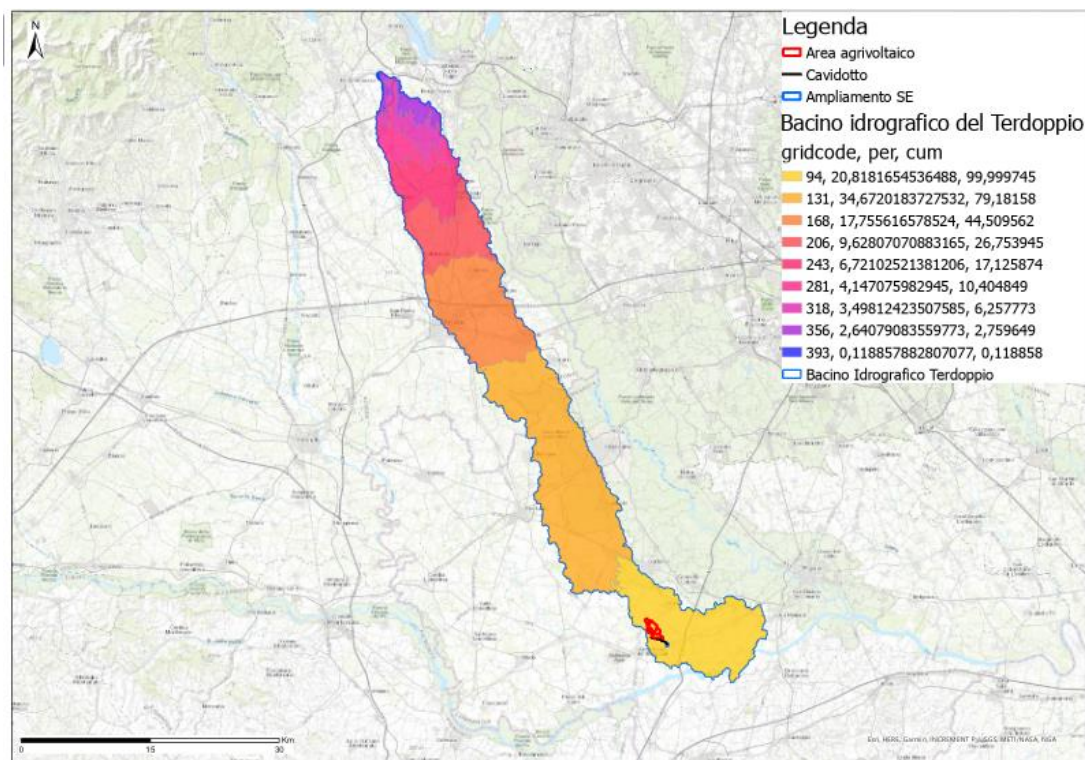


Figura 4-15. Altimetrie del bacino idrografico del Terdoppio.

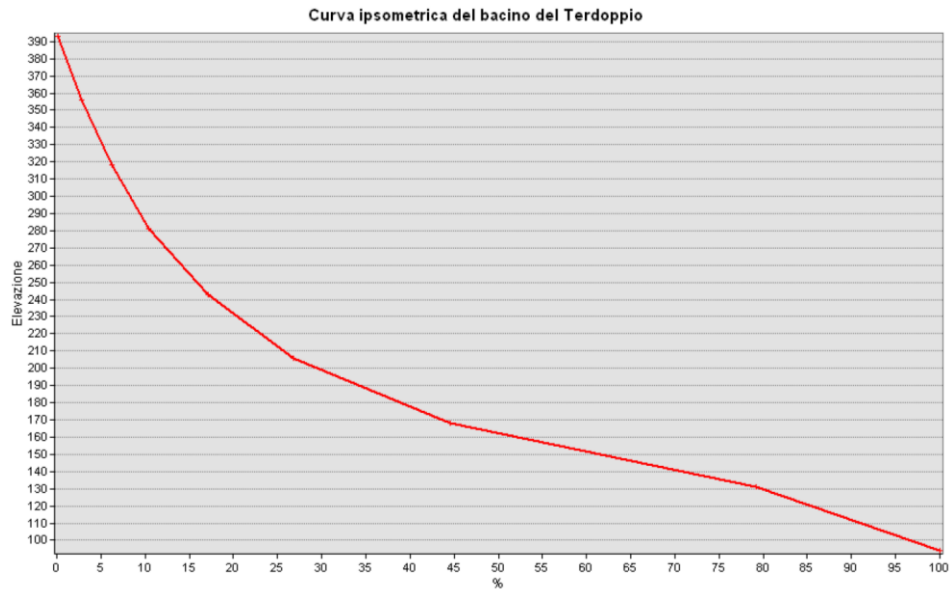


Figura 4-16. Curva Ipsometrica del bacino idrografico del bacino del Fiume Terdoppio.

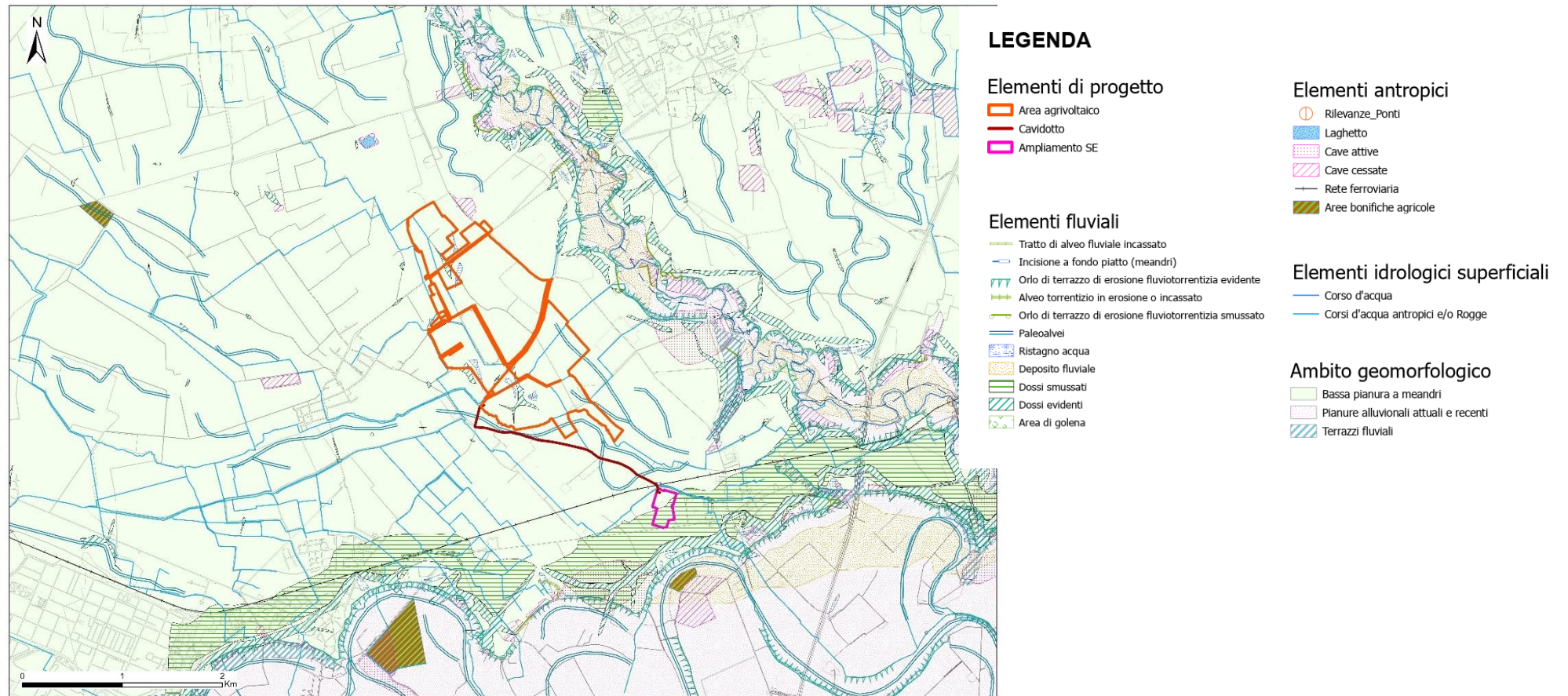


Figura 4-17. Carta geomorfologica su base DBT regionale.

## 4.1 Aree esondabili

Il Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) è lo strumento operativo previsto dalla legge italiana, per individuare e programmare le azioni necessarie a ridurre le conseguenze negative delle alluvioni per la salute umana, il territorio, i beni, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche e sociali, in attuazione della Direttiva Europea 2007/60/CE, "Direttiva Alluvioni".

Tale Direttiva, nell'incipit, recita: *“Le alluvioni possono provocare vittime, l'evacuazione di persone e danni all'ambiente, compromettere gravemente lo sviluppo economico e mettere in pericolo le attività economiche della Comunità. Alcune attività umane (come la crescita degli insediamenti umani e l'incremento delle attività economiche nelle pianure alluvionali, nonché la riduzione della naturale capacità di ritenzione idrica del suolo a causa dei suoi vari usi) e i cambiamenti climatici contribuiscono ad aumentarne la probabilità e ad aggravarne gli impatti negativi. Ridurre i rischi di conseguenze negative derivanti dalle alluvioni soprattutto per la vita e la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale, l'attività economica e le infrastrutture, connesse con le alluvioni, è possibile e auspicabile ma, per essere efficaci, le misure per ridurre tali rischi dovrebbero, per quanto possibile, essere coordinate a livello di bacino idrografico.”*

La Direttiva Alluvioni è stata recepita in Italia dal D.lgs. 49/2010, che ha introdotto il Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA), da predisporre per ciascuno dei distretti idrografici individuati nell'art. 64 del D.lgs. 152/2006, contiene il quadro di gestione delle aree soggette a pericolosità e rischio individuate nei distretti, delle aree dove possa sussistere un rischio potenziale significativo di alluvioni e dove si possa generare in futuro (APSF), nonché delle zone costiere soggette ad erosione.

Le due direttive europee evidenziano l'approccio integrato della gestione che si fonda su alcuni pilastri:

- unità geografica di riferimento caratterizzata da un'ampia porzione di territorio raggruppante più bacini individuata come distretto idrografico;
- pianificazione ai fini e per il raggiungimento degli obiettivi della direttiva 2000/60/CE per l'azione comunitaria in materia di acque; nonché la pianificazione per la gestione e la riduzione del rischio da alluvioni che la direttiva 2007/60/CE introduce (codificando, disciplinando ed ampliando quanto già contenuto nella legge 183/89);
- individuazione dei soggetti a cui è demandata la redazione dei piani.

Con delibera n. 26 del 20 dicembre 2021, la Conferenza Istituzionale Permanente, ai sensi degli articoli 65 e 66 del d.lgs. 152/2006, ha adottato il primo aggiornamento del Piano di gestione del rischio di alluvioni 2021-2027 – secondo ciclo di gestione – del distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale, che è stato successivamente approvato, ai sensi degli articoli 57, 65 e 66 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, con D.P.C.M. 1 dicembre 2022, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 31 del 7.02.2023.

Nel Distretto del fiume Po sono considerate significative le alluvioni di origine fluviale e marina e pertanto, la mappatura è stata effettuata solo in relazione ad esse. Nel II ciclo di gestione, le mappe sono state redatte con riferimento a tutte le Aree a Potenziale Rischio Significativo (APSF), le quali rappresentano un sottoinsieme delle aree allagabili complessive del distretto, ove sono presenti situazioni di rischio potenziale significativo. L'aggiornamento delle mappe di pericolosità ha riguardato pertanto:

- le mappe di pericolosità (aree allagabili, tiranti, velocità) nelle APSF, oggetto di reporting alla Commissione europea;
- le mappe delle aree allagabili complessive (rappresentate nella figura di seguito riportata), che costituiscono quadro conoscitivo del PAI e alle quali sono associate specifiche norme del PAI.

Tali mappe sono aggiornate con Decreto del Segretario Generale, in esito a nuovi approfondimenti, realizzazione di interventi di mitigazione del rischio e al verificarsi di nuovi eventi alluvionali.



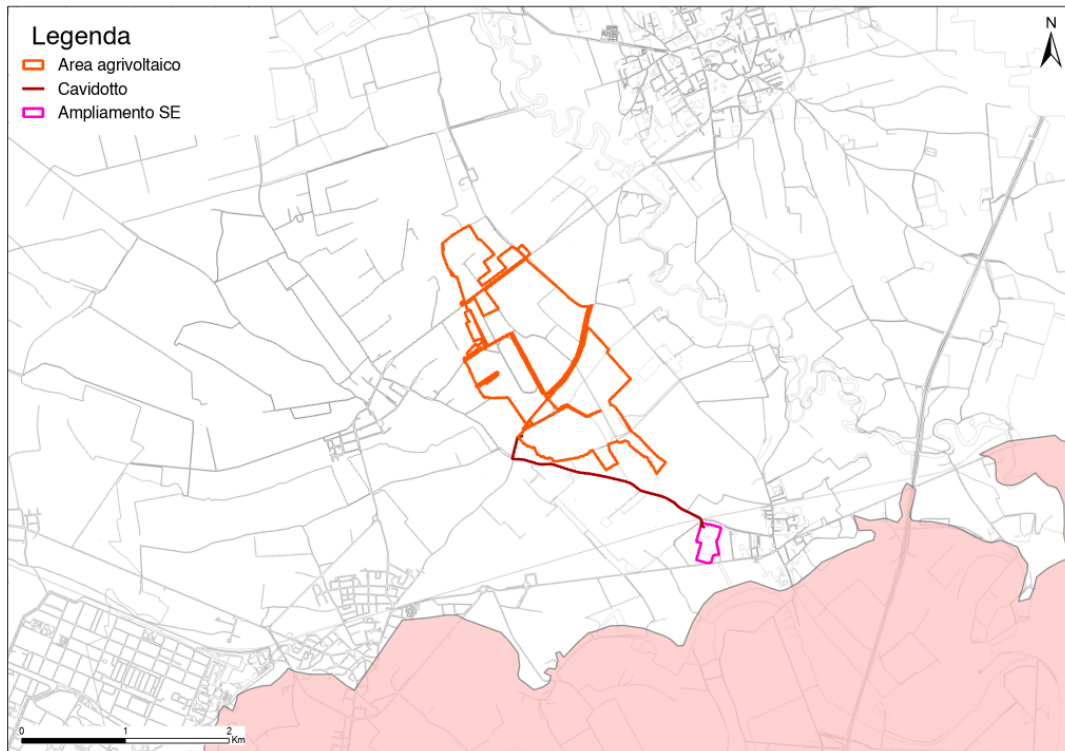


Figura 4-18. Stralcio, su base DBT regionale, del Areas of Potential Significant Flood Risk.

Dallo stralcio si evince come le aree ad agrivoltaico non sono interessate da Areas of Potential Significant Flood Risk.

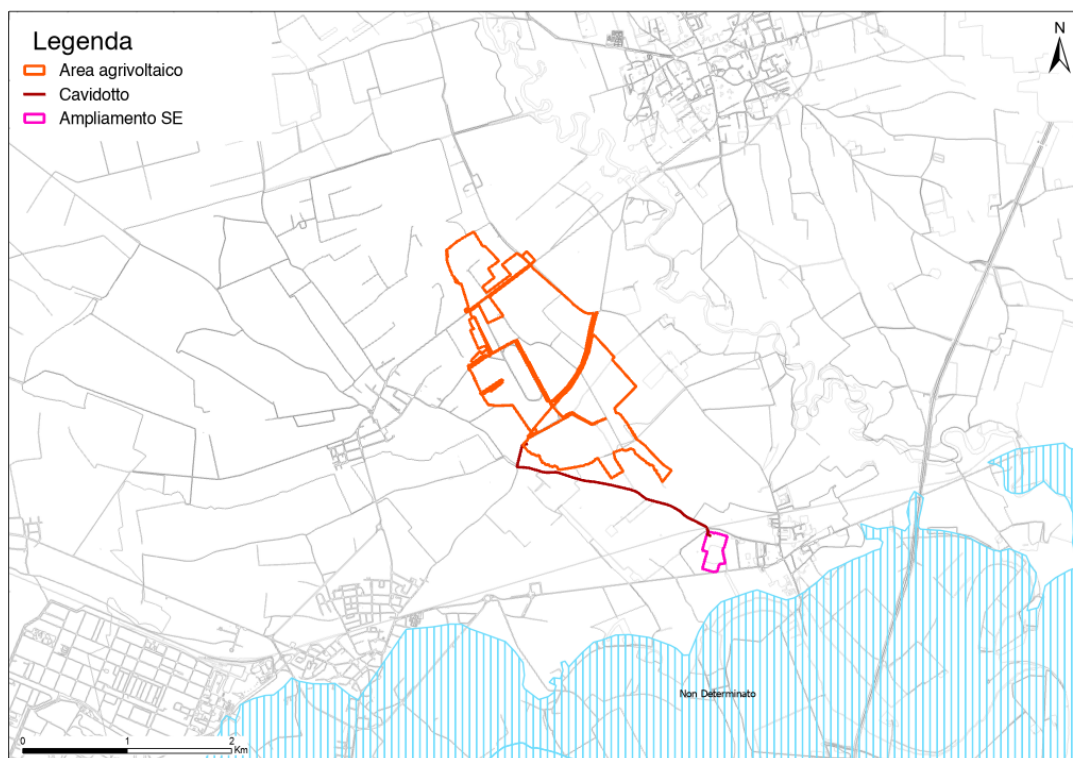


Figura 4-19. Stralcio, su base DBT regionale, del pericolo alluvioni (Fonte: PAI).

Dallo stralcio si evince come le aree ad agrivoltaico non sono interessate da pericolo di alluvioni.

Nell'UoM del fiume Po, la rilevante estensione del bacino e la peculiarità e diversità dei processi alluvionali che avvengono lungo il suo reticolo idrografico, hanno reso necessario effettuare la mappatura della pericolosità secondo approcci metodologici differenziati per i diversi ambiti territoriali. Tali ambiti sono di seguito brevemente descritti:

- reticolo principale (RP): costituito dall'asta principale del fiume Po e dai suoi maggiori affluenti nei tratti di pianura e nei principali fondivalle montani e collinari (lunghezza complessiva pari a circa 5.000 km).
- reticolo secondario collinare e montano (RSCM): costituito dai corsi d'acqua secondari nei bacini collinari e montani e dai tratti montani dei fiumi principali.
- reticolo secondario di pianura (RSP): costituito dai corsi d'acqua secondari di pianura gestiti dai Consorzi di bonifica e irrigui nella medio-bassa pianura padana.
- aree costiere marine (ACM): sono le aree costiere del mare Adriatico in prossimità del delta del fiume Po.
- aree costiere lacuali (ACL): sono le aree costiere dei grandi laghi alpini (Maggiore, Como, Garda, ecc.).

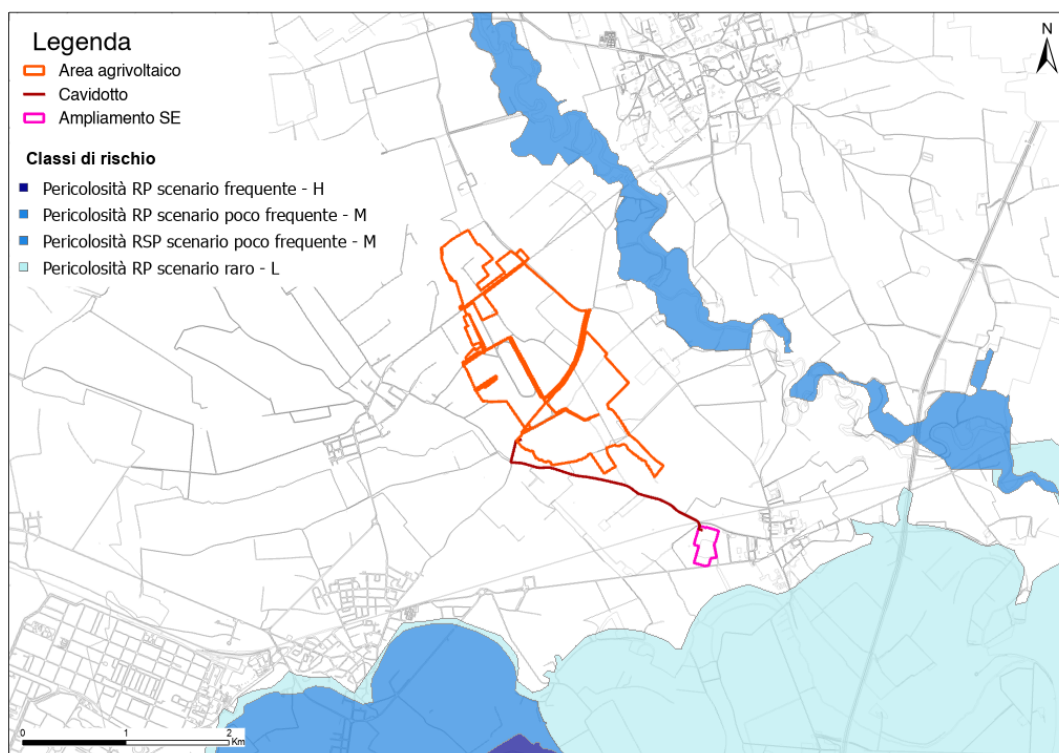


Figura 4-20. Stralcio, su base DBT regionale, della pericolosità (Fonte: PGRA).

Dallo stralcio si evince come le aree ad agrivoltaico non sono interessate da pericolosità idraulica.

La Direttiva Alluvioni stabilisce che in corrispondenza di ciascuno scenario di probabilità, siano redatte mappe del rischio di alluvioni, in cui devono essere rappresentate le potenziali conseguenze avverse in termini di:

- a) numero indicativo di abitanti potenzialmente interessati;
- b) tipo di attività economiche insistenti nell'area potenzialmente interessata;

- c) impianti di cui alla Direttiva 96/61/CE che potrebbero provocare inquinamento accidentale in caso di alluvioni e aree protette (di cui all'allegato IV, paragrafo 1, punti i), iii) e v) della Dir. 2000/60/CE) potenzialmente interessate;
- d) altre informazioni considerate utili dai MS, come l'indicazione delle aree in cui possono verificarsi alluvioni con elevato trasporto solido e colate detritiche e informazioni su altre fonti notevoli di inquinamento.

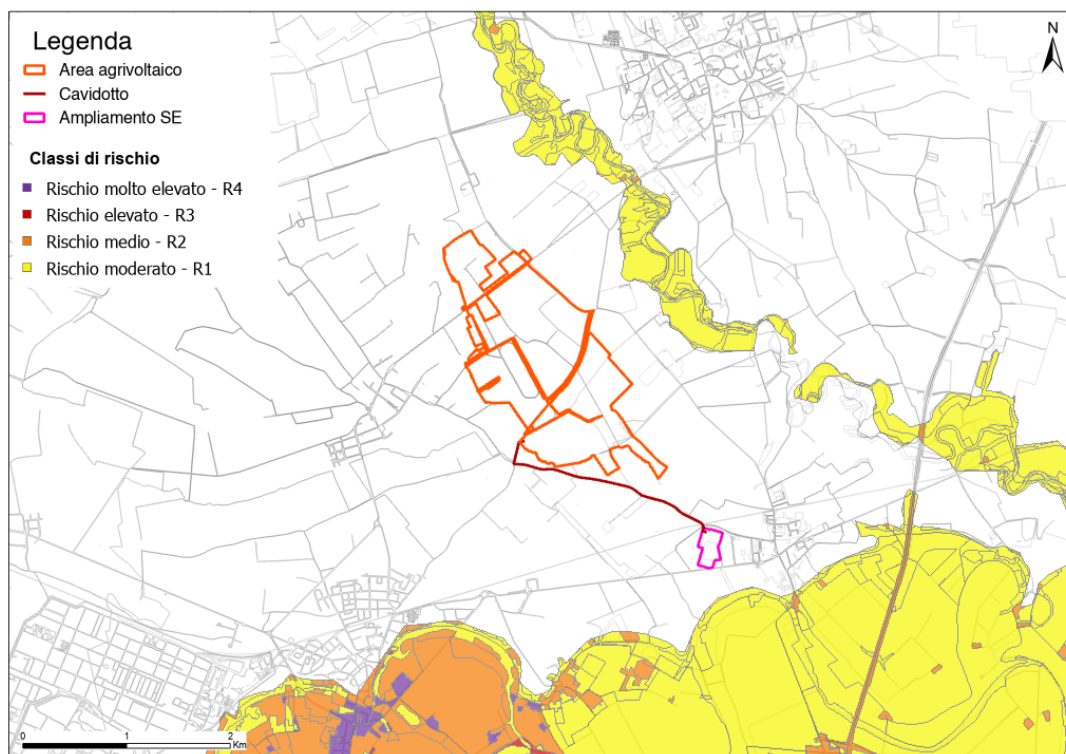


Figura 4-21. Stralcio, su base DBT regionale, del rischio (Fonte: PGRA).

Dallo stralcio si evince come le aree ad agrivoltaico non sono interessate da rischio idraulico.

## 4.2 Erosione

L'erosione dei suoli è certamente una delle più subdole forme di degrado ambientale innescate spesso proprio dalla scorretta gestione del suolo.

Generalmente, la sua lenta evoluzione è causa di un atteggiamento di scarsa attenzione da parte dei soggetti preposti al controllo e alla gestione del territorio. Ancora più subdolo e dannoso è l'approccio mirato al problema, visto come la sola "sottrazione di suolo" e non come un più generale e diffuso danno all'intero ecosistema dell'area erosa. È opportuno, infatti, ricordare che il suolo è la "base", il primo gradino della scala della vita (vegetale prima, animale poi).

Anche l'approccio alla conoscenza scientifica del problema risente di limiti; ed è soprattutto la difficile stima dell'erosione ad essere l'oggetto principale dell'attenzione degli studiosi. Poiché l'erosione dipende infatti da molteplici e differenti fattori ambientali ed antropici, la sua quantificazione è spesso soggetta ad ampi intervalli di giudizio.

Una delle metodologie più note per la stima della quantità di materiale asportabile per erosione lungo i pendii è quella elaborata da Fournier, basata prevalentemente su elementi climatici. L'unità di misura è espressa in  $t \cdot km^2 \cdot anno$ .

La relazione è la seguente:

$$\log E = 2,65 \cdot \log (P_1^2 / P) + 0,46 \cdot \log H \cdot \text{tg } a_m - 1,56$$

Dove:

E = sedimento trascinato ( $t \cdot km^2 \cdot anno$ );

$P_1$  = precipitazione del mese più piovoso (mm);

P = precipitazione media annuale (mm);

H = altitudine media del pendio (km s.l.m.);

$a_m$  = inclinazione media del pendio ( $^\circ$ ).

Dalla interpretazione della formula risulta evidente l'elevato contributo attribuito alle precipitazioni e, in particolare, al rapporto  $P_1^2/P$ . Un significativo contributo, oggetto di una successiva modifica dell'indice di Fournier è dato dalla quota del bacino e dalla pendenza, vincolati da proporzionalità diretta e con crescita esponenziale.

Un altro aspetto da prendere in considerazione è la componente data dalla splash erosion, ovvero l'effetto battente delle gocce di pioggia che accentua, nei periodi di aridità degli ambienti mediterranei, l'erosione superficiale.

EROSIONE secondo Fournier	
$P_1$ – precipitazione del mese più piovoso (mm)	129
P – precipitazione media annuale (mm)	1156
H – altitudine media del pendio (m s.l.m.)	145
$a_m$ – inclinazione media del pendio ( $^\circ$ )	1
E – sedimento trascinato ( $t \cdot km^2 \cdot anno$ )	32.97
Superficie del bacino ( $km^2$ )	592
<b><math>E_t</math> - erosione totale nel bacino (<math>t \cdot anno</math>)</b>	<b>18917</b>

Tabella 4-2. Calcolo dell'erosione secondo Fournier per il bacino del Terdoppio.

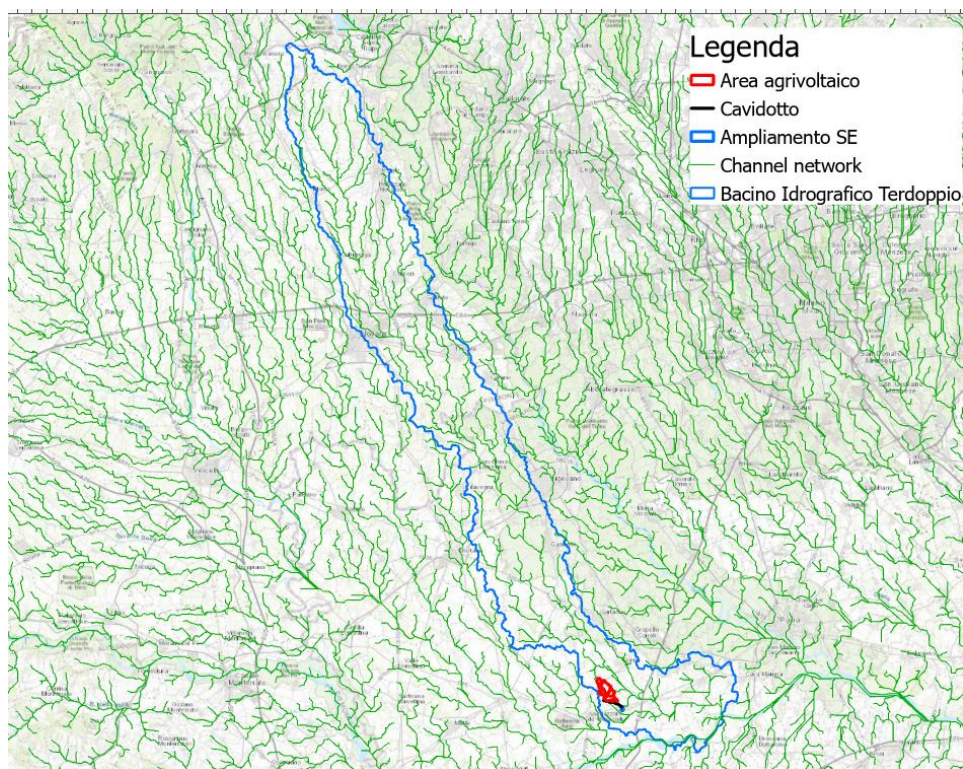


Figura 4-22. Delimitazione dei bacini idrografici. In blu, bacino idrografico del Terdoppio.

## 5 CARATTERISTICHE IDROLOGICHE

Il bacino del Terdoppio ha una superficie complessiva di circa 515 km<sup>2</sup> interamente in ambito di pianura; è suddiviso in due bacini parziali, il novarese e il lomellino di superficie circa uguale. Il torrente nasce dal gruppo delle Prealpi compreso tra il lago Maggiore e il lago d’Orta, scorre in direzione sud-est-sud e, dopo aver percorso il basso novarese, attraversa la provincia di Pavia, confluendo nel Po nel comune di Zinasco. Lo sviluppo complessivo del corso d’acqua, dalle sorgenti al Po, è di circa 86 km. In realtà, il corso del torrente Terdoppio si divide in due tratte distinte:

- il Terdoppio novarese che confluisce in Ticino a valle di Cerano;
- il Terdoppio lomellino che termina nel Po a valle di Zinasco.

La continuità del corso d’acqua è stata artificialmente interrotta in epoca medioevale per far luogo a derivazioni irrigue; pertanto il tratto terminale del Terdoppio novarese è attualmente costituito da uno scolmatore artificiale che recapita le acque in Ticino; mentre a sud il corso d’acqua prosegue fino al Po. Ai fini delle analisi conoscitive e della successiva delimitazione degli interventi di Piano, il bacino idrografico del Terdoppio viene suddiviso nelle sue componenti: l’asta principale, il bacino montano e la rete idrografica minore.

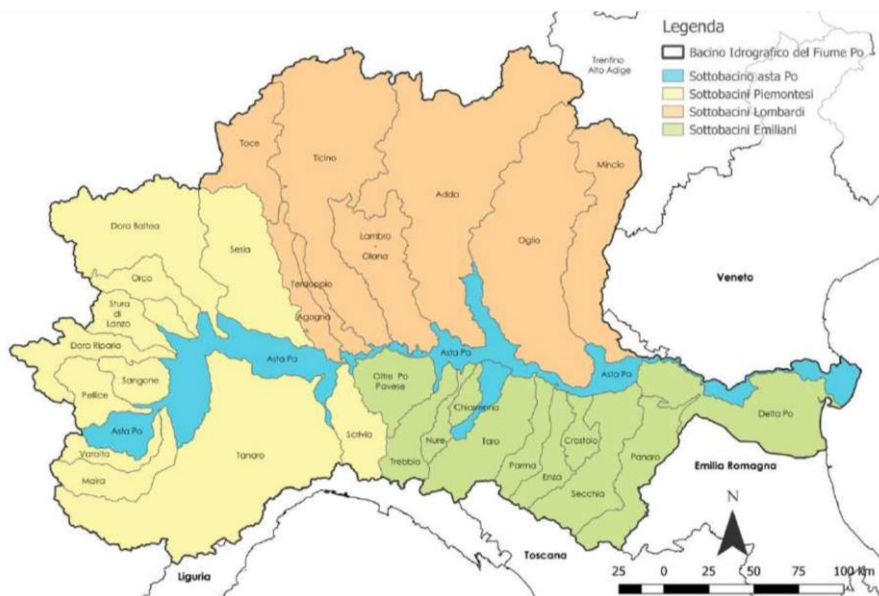


Figura 5-1. Delimitazione del Bacino Idrografico del Fiume Po con relativi sottobacini (Fonte: Autorità di Bacino distrettuale del Fiume Po).

La caratterizzazione della capacità di trasporto solido nell’asta principale è stata stimata impiegando la formulazione di Engelund-Hansen sulla base della scala di durata delle portate, delle caratteristiche idrauliche e della granulometria del materiale d’alveo.

Asta fluviale	Capacità di trasporto al fondo 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /anno	Capacità di trasporto in sospensione	Capacità di trasporto totale 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /anno
Terdoppio	0.93	--	0.93

Tabella 5-1. Caratteristiche del trasporto solido dell’asta fluviale.

In genere, i corsi d'acqua prevalentemente di pianura (Lambro, Olona, Agogna, Terdoppio), denotano tutti un elevato grado di artificializzazione, con alveo frequentemente canalizzato, in relazione alla pressione posta dagli insediamenti; costituiscono pertanto un sistema molto vincolato e rigido, spesso non sufficientemente adeguato alle esigenze di deflusso.

Si tratta di un sistema la cui evoluzione morfologica è fortemente condizionata, soprattutto nelle parti di media e bassa pianura, dalle opere di sistemazione idraulica realizzate nel tempo per rispondere alle esigenze di ritagliare il maggiore spazio possibile all'agricoltura prima e successivamente agli insediamenti e alle infrastrutture.

Fenomeni evolutivi relativi alla morfologia degli alvei e in generale al regime idraulico sono ancora riscontrabili per la maggior parte degli affluenti nei settori di alta pianura, che sono meno condizionati dalle opere.

## 5.1 Calcolo della portata di massima piena

Il tempo di corrivazione, ovvero il tempo necessario affinché tutto il bacino imbrifero contribuisca al deflusso superficiale nella sezione di chiusura, è stato calcolato utilizzando la formula del Giandotti.

Per il calcolo della portata massima riferita a vari tempi di ritorno si assegna un coefficiente di deflusso pari a 0,50 in quanto si tratta di una superficie agricola con suolo poco permeabile. In seguito viene riportato lo strato informativo del sottobacino considerato.

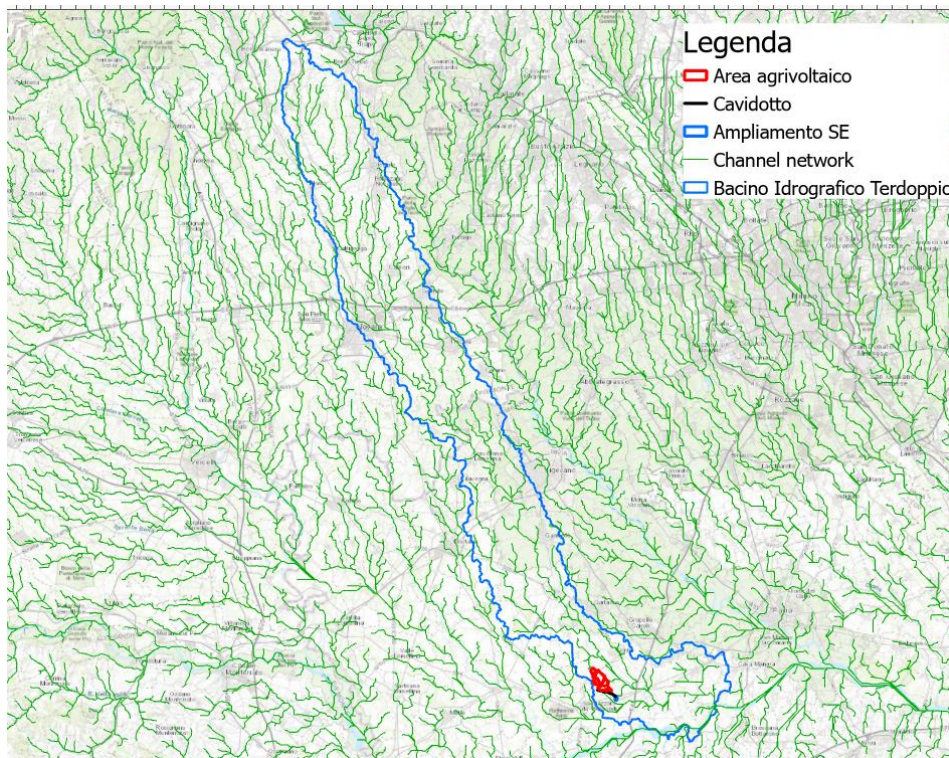


Figura 5-2. Bacino considerato per il calcolo di portata di massima piena.

DATI MORFOMETRICI DEL BACINO IDROGRAFICO SOTTESO ALLA SEZIONE DI CHIUSURA CONSIDERATA		TEMPO DI CORRIVAZIONE $t_c$ (ore)
Superficie del Bacino	$S = 591,78 \text{ Km}^2$	Giandotti $\Rightarrow t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m - H_0}} = 24,89$
Lunghezza percorso idraulico principale	$L = 100,00 \text{ Km}$	
Altitudine max percorso idraulico	$H_{max} = 393,00 \text{ m (s.l.m.)}$	Kirpich, Watt- Chow, Pezzoli $\Rightarrow t_c = 0.02221 \left( \frac{L}{\sqrt{P}} \right)^{0.8}$
Altitudine min percorso idraulico	$H_0 = 56,00 \text{ m (s.l.m.)}$	
Pendenza media percorso idraulico	$P = 0,00 \text{ (m/m)}$	
Altitudine max bacino	$H_{max} = 393,52 \text{ m (s.l.m.)}$	<input checked="" type="radio"/> Giandotti <input type="radio"/> Kirpich, Watt-Chow, Pezzoli...
Altitudine sezione considerata	$H_0 = 85,00 \text{ m (s.l.m.)}$	
Altitudine media bacino	$H_m = 239,26 \text{ m (s.l.m.)}$	
Dislivello medio bacino	$H_m - H_0 = 154,26 \text{ m}$	Software freeware distribuito da geologi.it



Tr (assegnato)	a	n	tc	hc	Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /sec)
10 anni	43.71	0.39	24.89	153.05	202.16
20 anni	50.92	0.41	24.89	189.05	249.71
50 anni	60.27	0.42	24.89	235.71	311.34
100 anni	67.29	0.43	24.89	270.70	357.57
200 anni	74.29	0.44	24.89	305.58	403.64

Tabella 5-2. Calcolo della portata di massima piena per i vari tempi di ritorno del bacino del Terdoppio. (Software geologi.it creato da G. PILLA)

Gli scriventi desiderano mettere in risalto che l'area dell'impianto agrivoltaico è posta nella porzione di monte del sottobacino, pertanto le portate di piena (Q<sub>max</sub>), per ragioni meramente fisiche, non raggiungeranno quelle riportate in tabella in quanto i collettori idrografici (impluvi) sono di modesta entità e con medio-bassa energia di flusso.

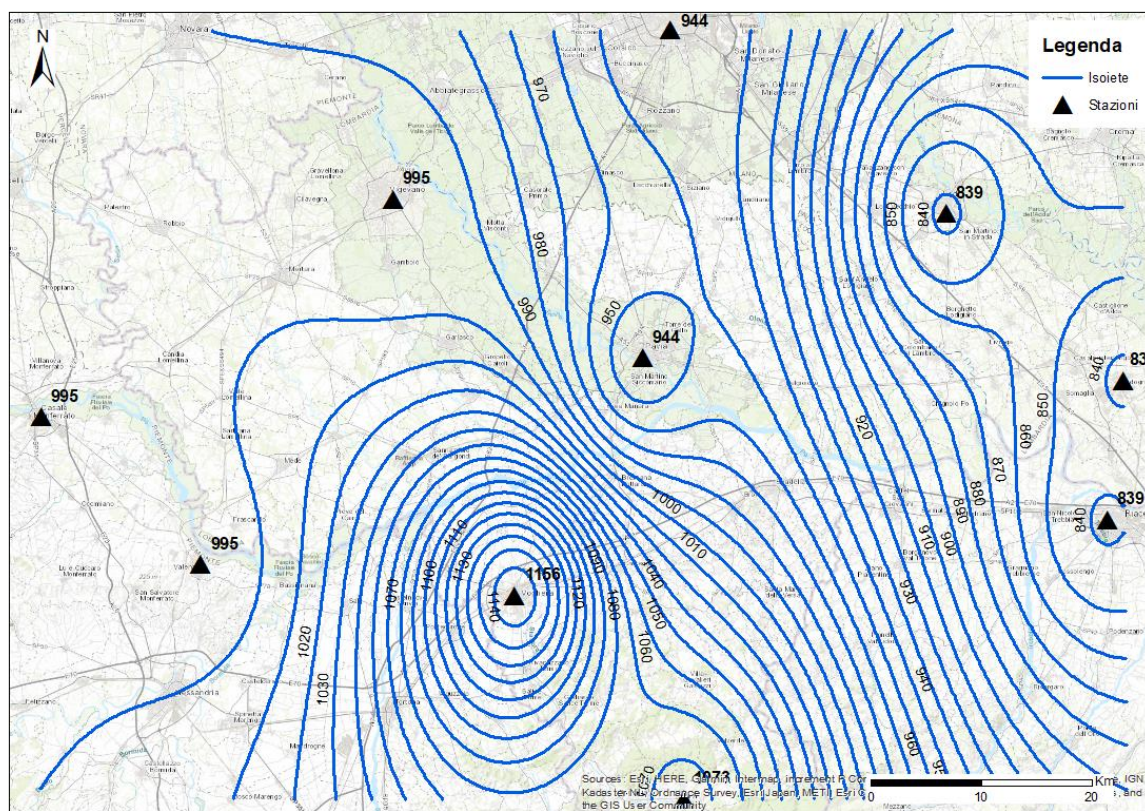


Figura 5-3. Carta delle isoiete.

## 6 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

L'alta pianura è caratterizzata da una pendenza relativamente accentuata (15‰) in quanto i fiumi, a causa della forte dispersione delle proprie acque nel sottosuolo, perdono rapidamente di portata depositando così la maggior parte dei materiali grossolani. È questa, infatti, l'area di ricarica delle falde. In questi terreni molto permeabili le acque sotterranee, la cui velocità di scorrimento orizzontale può arrivare fino a 12 metri al giorno, costituiscono una falda indifferenziata in cui le isofreatiche si avvicinano, procedendo verso sud-est, alle quote del piano campagna.

Nella bassa pianura la pendenza diminuisce sensibilmente (2‰), i materiali fini depositati hanno una bassa permeabilità e separano una serie di falde le cui acque scorrono a una velocità di 1-10 centimetri al giorno. Queste falde sono spesso in pressione e possono alimentare pozzi artesiani in cui le acque risalgono a una altezza che è legata al loro punto di alimentazione, secondo il principio dei vasi comunicanti. La fascia di transizione tra l'alta e la bassa pianura viene definita da alcuni autori "media" pianura, e corrisponde alla fascia delle risorgive dove abbiamo l'affioramento spontaneo della falda. La falda sotterranea, infatti, fortemente alimentata dalle acque meteoriche e da quelle dei fiumi che si infiltrano nei terreni permeabili dell'alta pianura a Nord, ha un notevole carico idrostatico, ma viene ostacolata nel suo deflusso verso Sud dai terreni impermeabili della bassa pianura. Le acque vengono in questo modo "costrette" ad emergere, formando le risorgive. Da un punto di vista puramente idraulico le risorgive costituiscono il "troppo pieno" del grande acquifero indifferenziato del Vicentino.

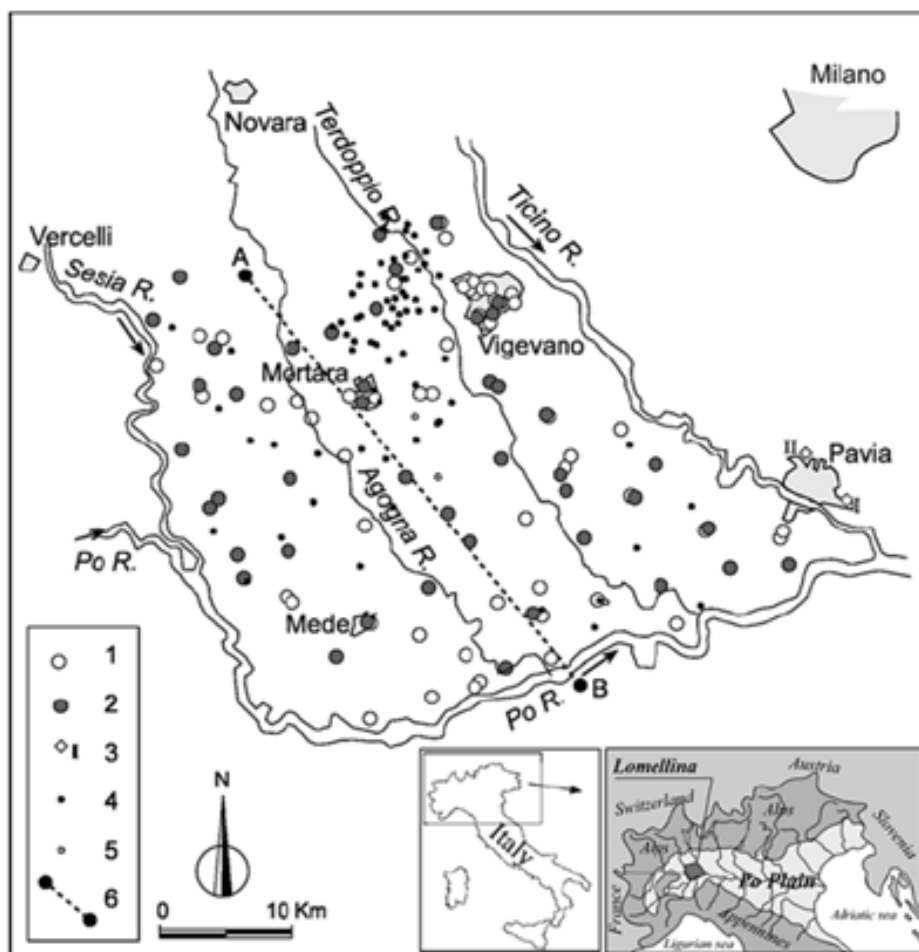


Figura 6-1. Schema della lomellina con indicati i pozzi ad uso domestico. 123 = pozzo; 4,5 = sorgente naturale. (da Pilla et al. 2006).

Il sistema acquifero ospitato nel sottosuolo rappresenta la principale fonte di approvvigionamento delle popolazioni insediate nell'area, il prelievo si realizza attraverso pozzi diffusi nella macro area di studio.

L'emungimento ad uso potabile delle acque sotterranee viene effettuato in gran parte attraverso pozzi privati o di tipo comunale, dal momento che le reti acquedottistiche sono di norma frammentate e con una gestione prevalentemente a scala locale. Soprattutto negli anni '50 e '60 si è realizzato un poderoso insediamento residenziale e produttivo che è responsabile, più o meno direttamente, del progressivo degrado qualitativo dei corpi idrici sotterranei.

Le falde acquifere utilizzate o suscettibili di utilizzazione sono in massima parte concentrate nei depositi fluviali e fluvio-glaciali del Pliocene medio superiore e dell'olocene.

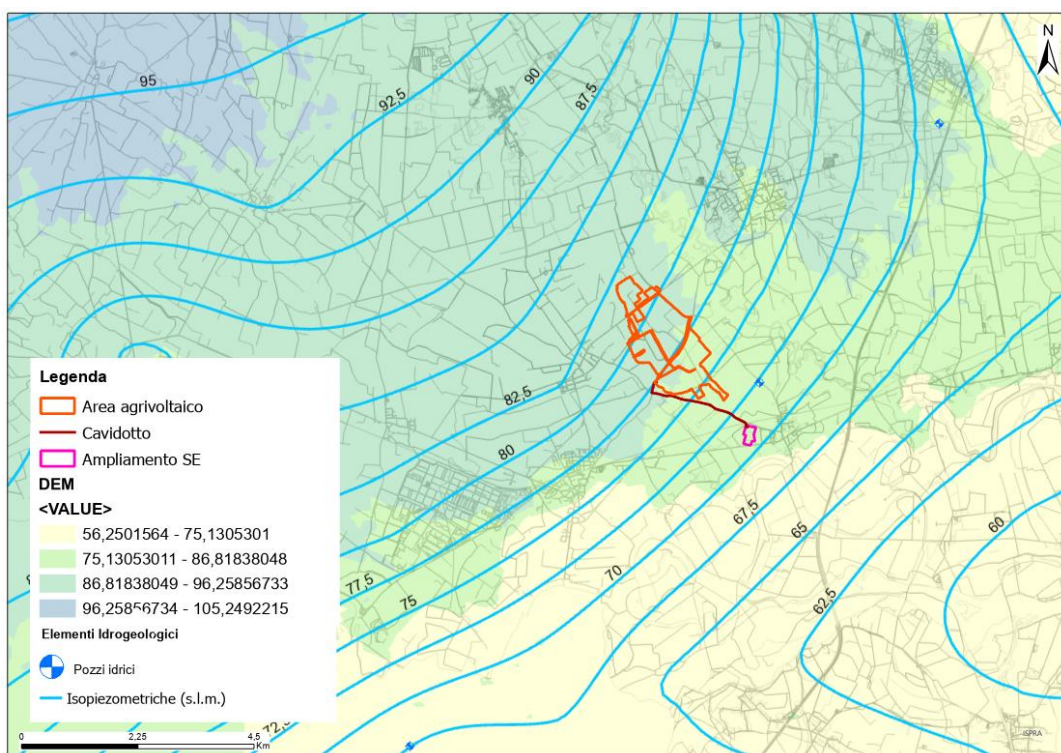


Figura 6-2. Carta delle superfici piezometriche dell'acquifero superficiale.

Nel settore occidentale della pianura falde acquifere di importanza prevalentemente locale sono reperibili negli orizzonti permeabili dei depositi fluvio-lacustri del Villafranchiano e nelle intercalazioni sabbiose del Pliocene e del Pleistocene inferiore lungo i margini della pianura.

La base dell'acquifero secondo una stretta accezione del termine, non corrisponde ad un limite fisico-geologico ben preciso, ma piuttosto all'interfaccia acque dolci-acque "salate" di fondo, il cui andamento è a sua volta controllato dalle strutture tettoniche sepolte, che determinano fenomeni di "squeezing" differenziato delle acque connate.

Da un punto di vista strutturale ed a scala regionale, l'acquifero padano costituisce un sistema "monostrato" (CASTANY & MARGAT, 1977) anche se in ampi tratti, soprattutto al centro della pianura e presso la linea di costa, esso appare nettamente suddiviso in più strati. Ai piedi delle catene delle Alpi e dell'Appennino, le ghiaie e sabbie dei depositi fluviali e fluvio-glaciali formano uno strato indifferenziato, spesso senza coperture a bassa permeabilità e con falda libera. Verso valle esso si suddivide in più strati ("monostrato compartimentato"), presenta consistenti coperture limo-argillose a bassa permeabilità ed è caratterizzato, quasi ovunque, da falde in pressione.

Il bacino del Terdoppio è suddivisibile in tre domini:

- il primo a monte, dalla sorgente fino a Suno, in depositi glaciali e fluvioglaciali (DGL);
- il secondo, da Suno a Lagna, in depositi derivati dall'alterazione di rocce e terreni (DCG);
- il terzo, fino alla confluenza in Po, in alluvioni fluvio-lacustri (AFL).

I sedimenti Plio-Pleistocenici possono essere suddivisi in due formazioni:

1. la sequenza superiore alluvionale costituita da ghiaie e sabbie con intercalazioni argillose (acquifero non confinato);
2. la sequenza lacustro-palustre del "Villafranchiano" inferiore, costituita da argille intercalate a sabbie (acquiferi confinati).

La formazione superiore raggiunge una profondità di 150-200m, creando un sistema acquifero multi-strato (con una falda libera avente una soggiacenza di pochi metri. Esso rappresenta un acquifero importante per estensione laterale e trasmissività (10-2 m<sup>2</sup>/s).

La direzione di flusso della falda confinata è all'incirca in direzione N-S, mentre all'interno dell'acquifero freatico è fortemente influenzata dall'azione drenante dei fiumi Po, Sesia e Ticino.

L'acquifero viene ricaricato dalle precipitazioni, delle acque irrigue e da quelle dei corsi d'acqua, in maniera indifferenziata. Tenendo conto della distribuzione dei depositi, si può affermare che l'alimentazione della falda avviene, soprattutto, nell'alta pianura. Le infiltrazioni efficaci delle acque meteoriche possono raggiungere anche il 25-30% del totale annuo, naturalmente in funzione della permeabilità dei terreni affioranti e delle condizioni meteorologiche locali. Le dispersioni della rete dei canali irrigui costituiscono un'aliquota fondamentale della ricarica della falda freatica (GIULIANO & PELLEGRINI, 1993).

Le aree di ricarica sono situate nella zona pedemontana alpina, oltre al consistente apporto dovuto alle infiltrazioni derivanti dal sistema irriguo. La sequenza "villafranchiana" è composta da limi argillosi aventi un potente spessore e contenenti corpi acquiferi sabbiosi. Di nuovo, la direzione di flusso ha orientazione meridiana, sebbene influenzata dai fronti dei thrust appenninici sepolti e la permeabilità, si aggira intorno a valori di 10<sup>-8</sup> m/s.

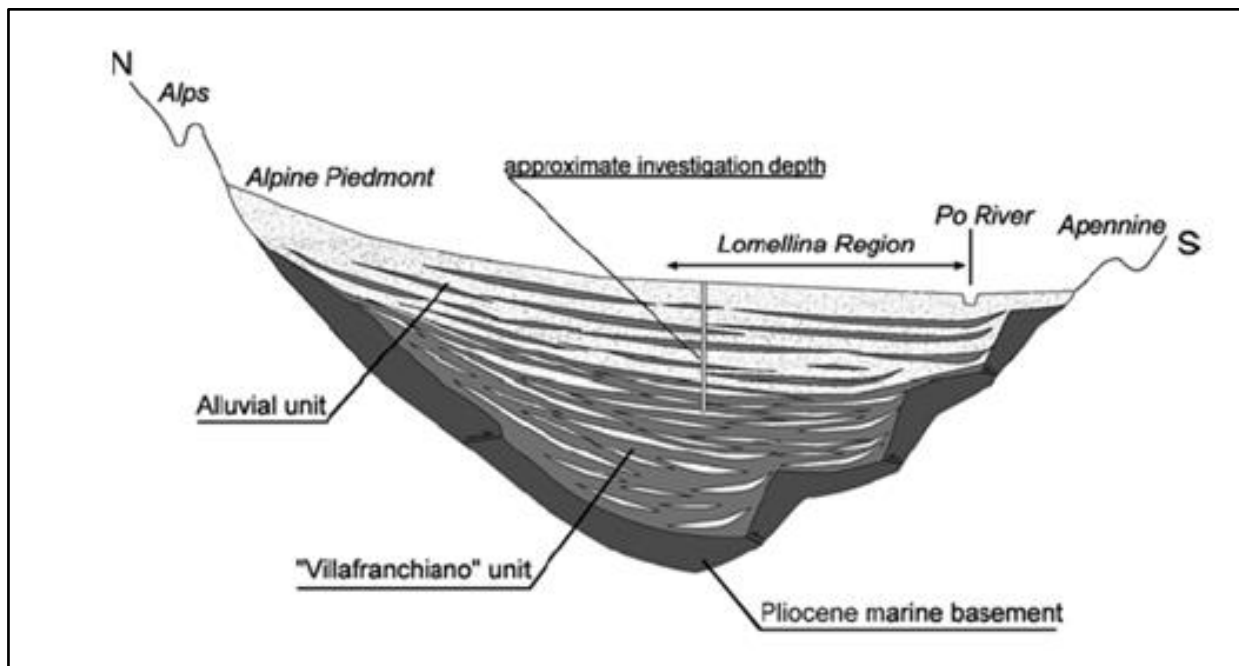


Figura 6-3. Sezione attraverso la Lomellina con indicate le unità idrogeologiche della copertura sedimentaria continentale del Plio-Pleistocene e l'andamento delle principali strutture sepolte, che interessano le formazioni marine plioceniche (da PILLA et al., 2006).

Nella pianura, la presenza di depositi alluvionali terrazzati con superfici anche notevolmente rilevate rispetto ai fondi vallivi (sino a 50 metri), si hanno importanti acquiferi freatici superficiali che sono drenati dai corsi d'acqua.

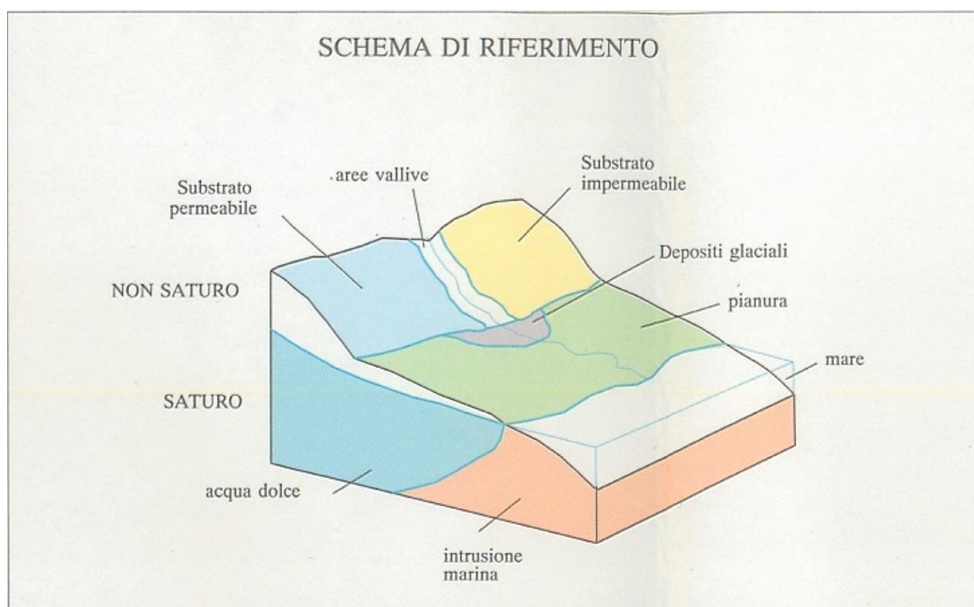


Figura 6-4. Schema di riferimento idrogeologico.

## 6.1 Mappa delle isobate

Le mappe delle isobate evidenziano l'andamento nel sottosuolo della base di ogni singolo Gruppo Acquifero. I limiti di sequenza così identificati sono stati riportati in profondità sui pozzi Eni Divisione Agip. L'operazione di taratura stratigrafica ha permesso di validare le fasi temporali dell'evoluzione del bacino.

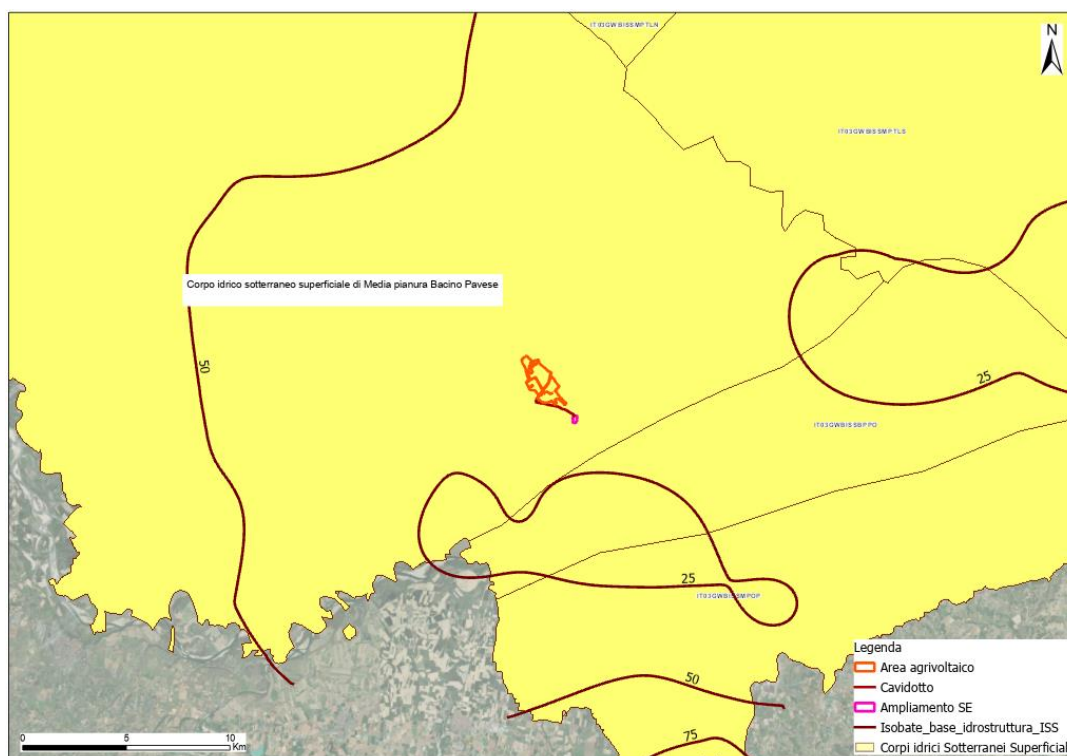


Figura 6-5. Stralcio dei Corpi Idrici Sotterranei Superficiali e le loro isobate.

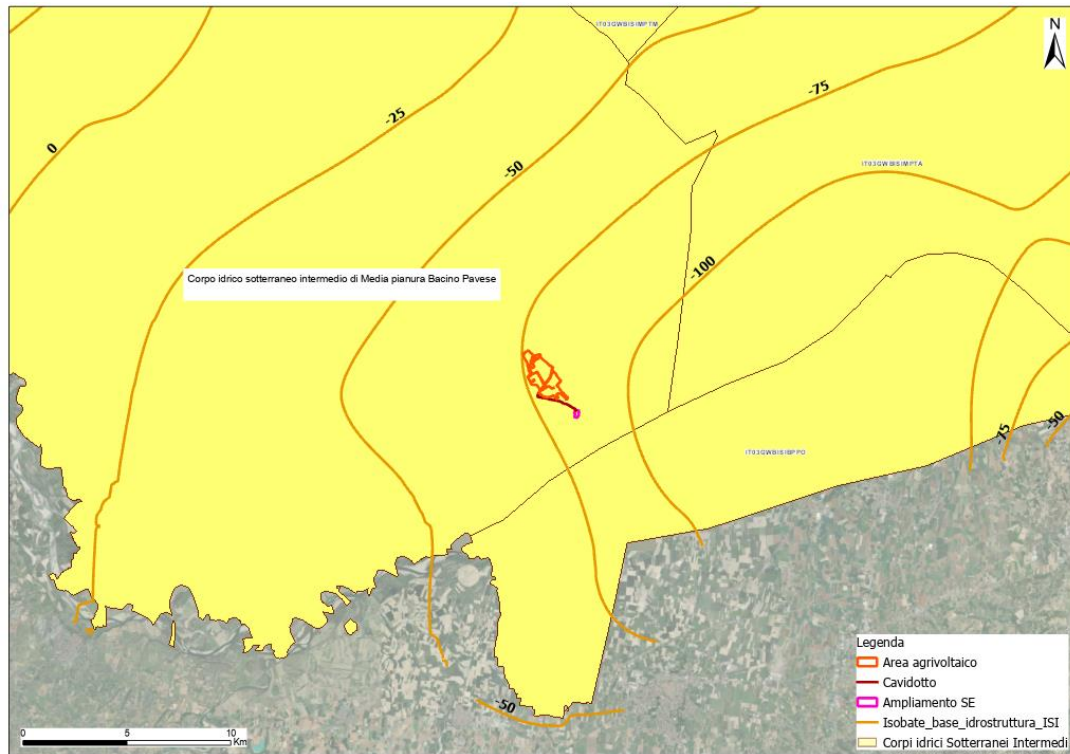


Figura 6-6. Stralcio dei Corpi Idrici Sotterranei Intermedi e le loro isobate.

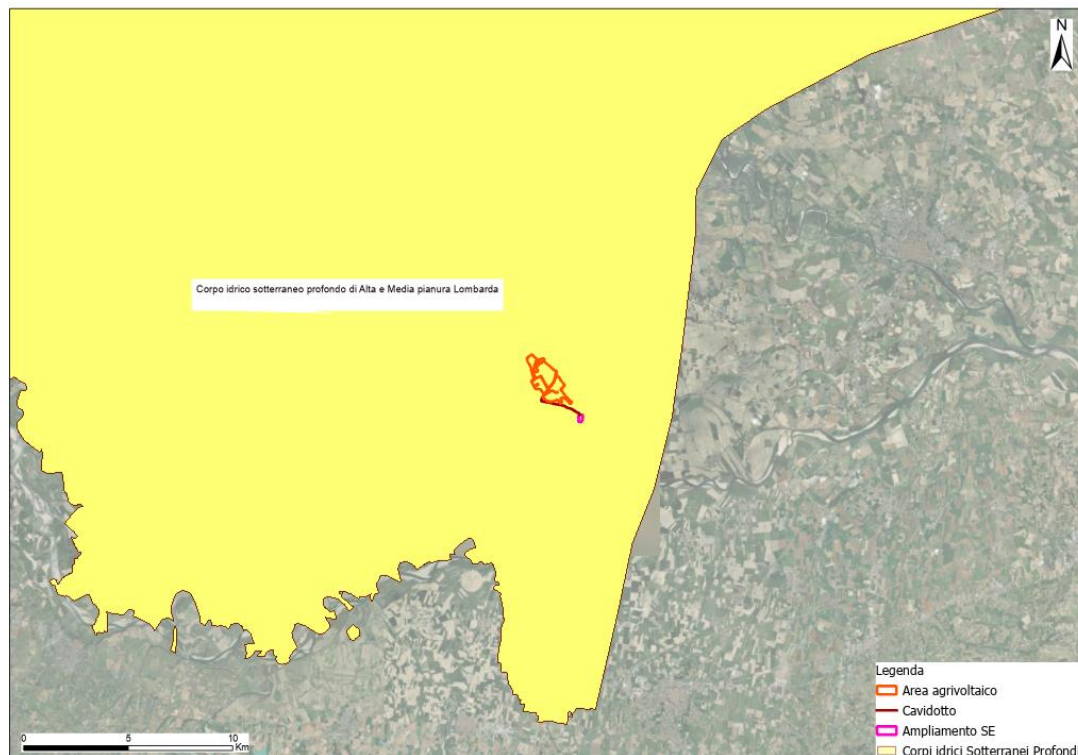


Figura 6-7. Stralcio dei Corpi Idrici Sotterranei Profondi.

## 6.2 Mappa delle isopache

Le mappe delle isopache dei Gruppi Acquiferi B, C e D, calcolate per differenza rispettivamente tra le mappe della base dei Gruppi Acquiferi A e B, dei Gruppi Acquiferi B e C, e dei Gruppi Acquiferi C e D. Queste mappe sono rappresentate come curve isopache sovrimposte alle mappe della base dei rispettivi Gruppi Acquiferi. Le mappe di isobate e isopache possono essere utilizzate per il calcolo dei volumi degli acquiferi su base regionale o di bacino e per valutare la profondità alla quale indirizzare, nelle diverse aree, le perforazioni per ricerca d'acqua.

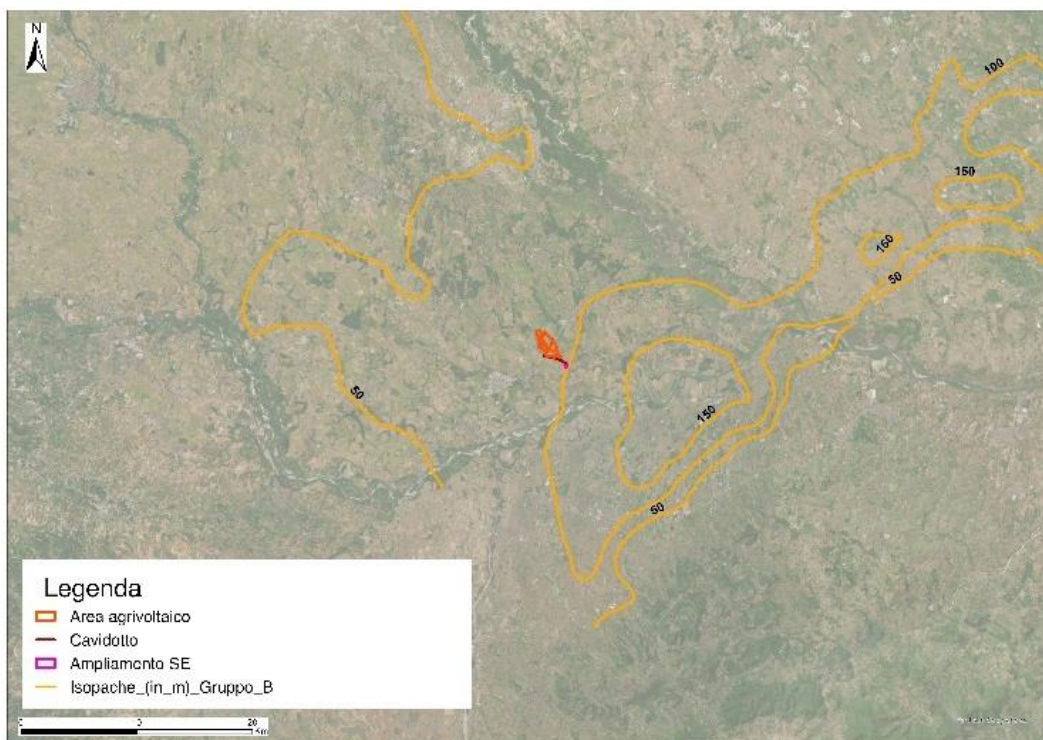


Figura 6-8. Stralcio delle Isopache Gruppo Acquifero B.



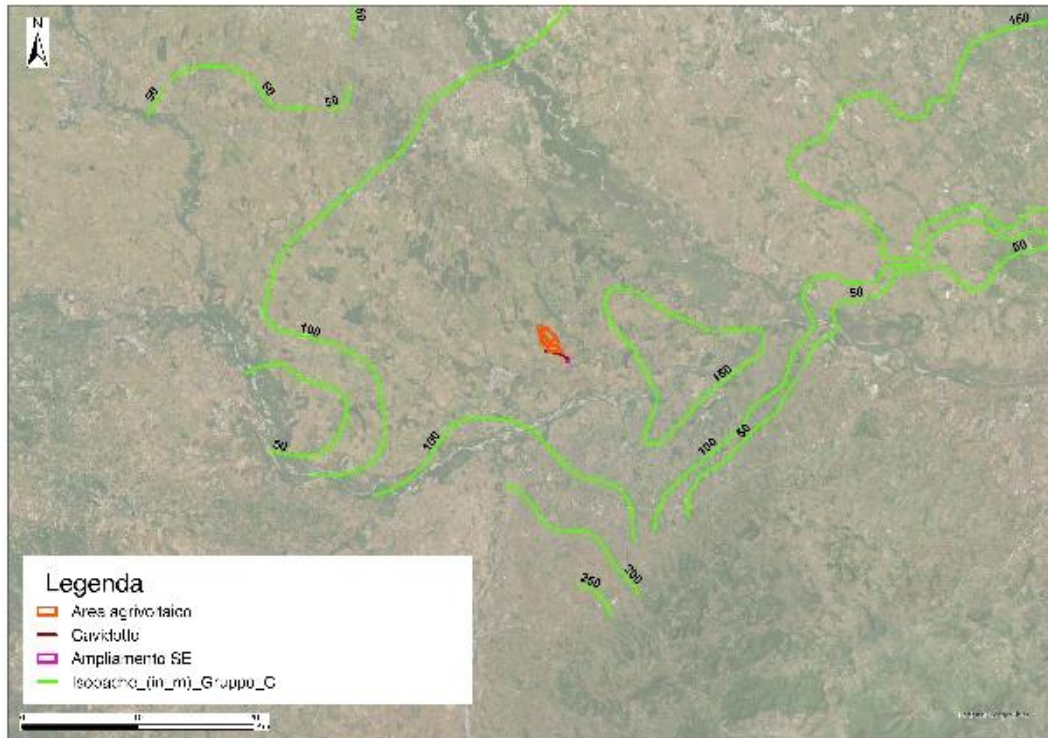


Figura 6-9. Stralcio delle Isopache Gruppo Acquifero C.

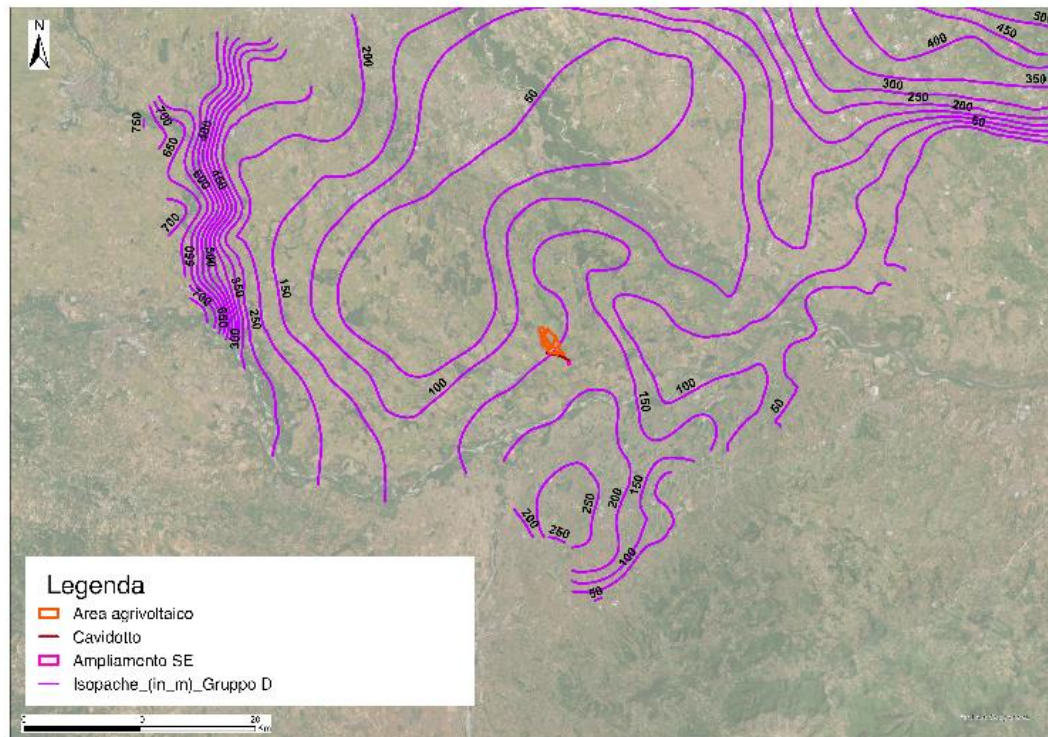


Figura 6-10. Stralcio delle Isopache Gruppo Acquifero D.

### 6.3 Mappe della sabbiosità

Le mappe della distribuzione dei depositi porosi e permeabili sono state realizzate, dalla regione Lombardia, utilizzando i valori di spessore cumulativo dei livelli acquiferi utili in ciascun Gruppo Acquifero. Tali valori rappresentano la somma dei livelli di ghiaia e sabbia per ciascun Gruppo Acquifero, misurati nei 250 pozzi per la ricerca e produzione degli idrocarburi (Eni Divisione Agip) e nei 596 pozzi per la produzione di acqua utilizzati nel presente studio.

Le mappe della sabbiosità possono essere utilizzate per calcolare il volume di acquifero utile nel caso di studi a scala regionale. In ambito locale, queste mappe permettono di calcolare lo spessore di acquifero utile che ci si può attendere nella zona di interesse. Consentono di individuare la presenza di aree impermeabili, ovvero ragionevolmente prive di depositi porosi e permeabili, che possono costituire un'efficace protezione per gli acquiferi sottostanti. In generale, le aree caratterizzate da spessore cumulativo di depositi porosi e permeabili nullo o scarso, sono localizzate negli interconoidi dei fiumi e torrenti alpini e appenninici, nel settore pavese, e a margine dei canali principali del fiume Po.

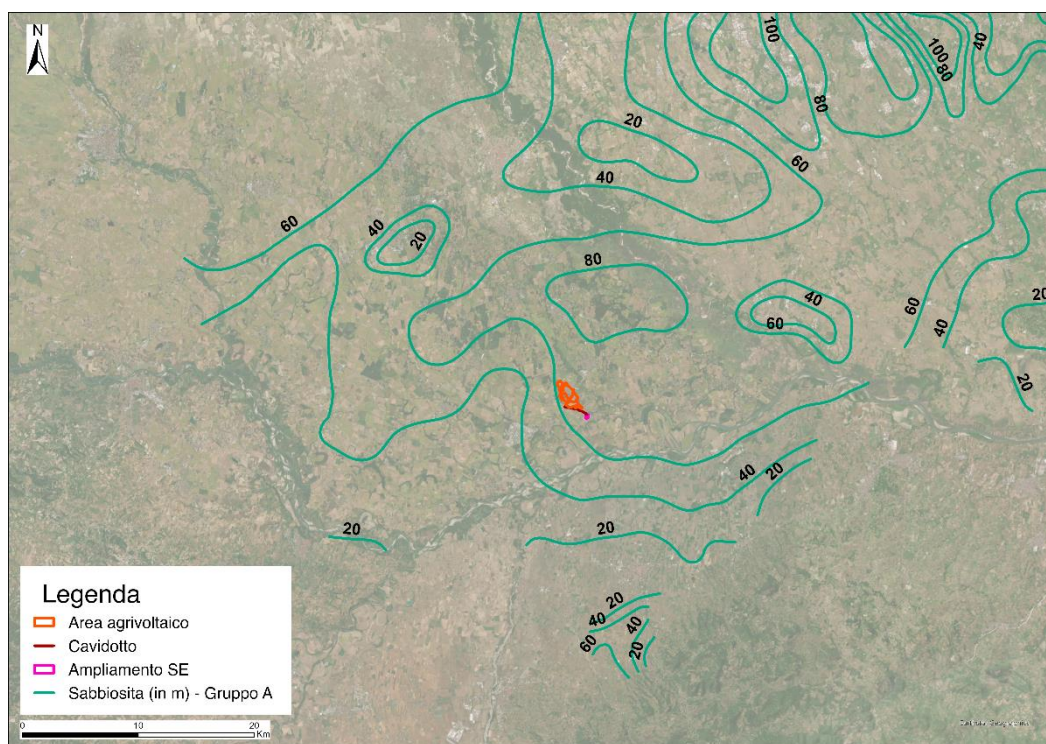


Figura 6-11. Stralcio della sabbiosità del Gruppo Acquifero A.

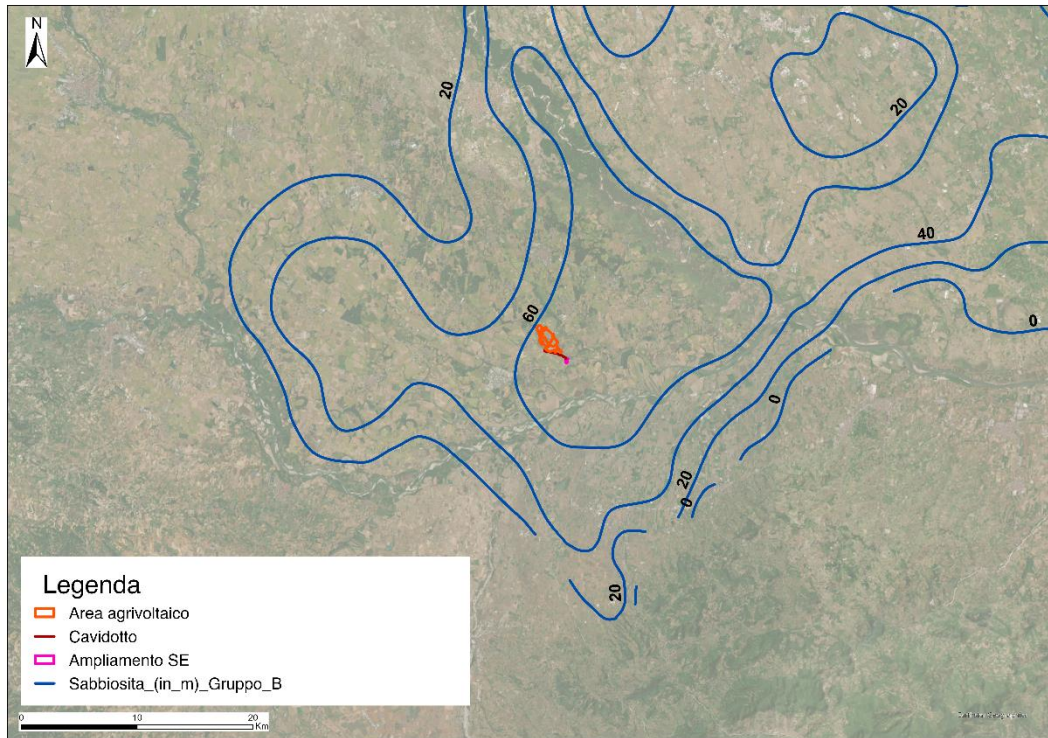


Figura 6-12. Stralcio della sabbiosità del Gruppo Acquifero B.

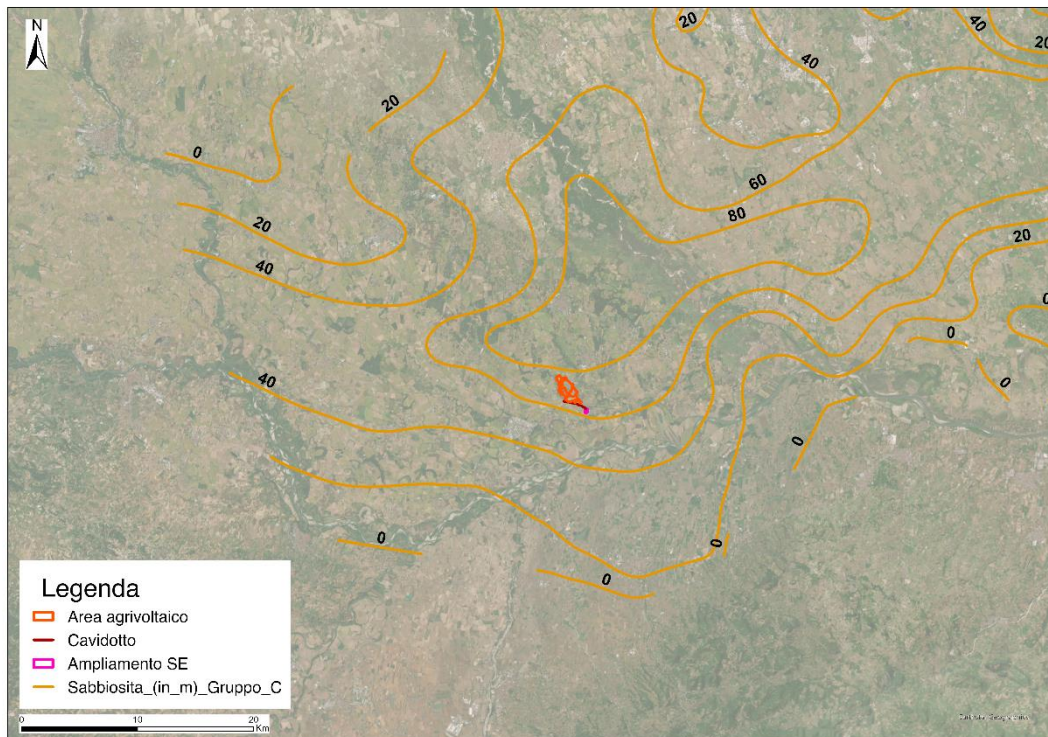


Figura 6-13. Stralcio della sabbiosità del Gruppo Acquifero C.

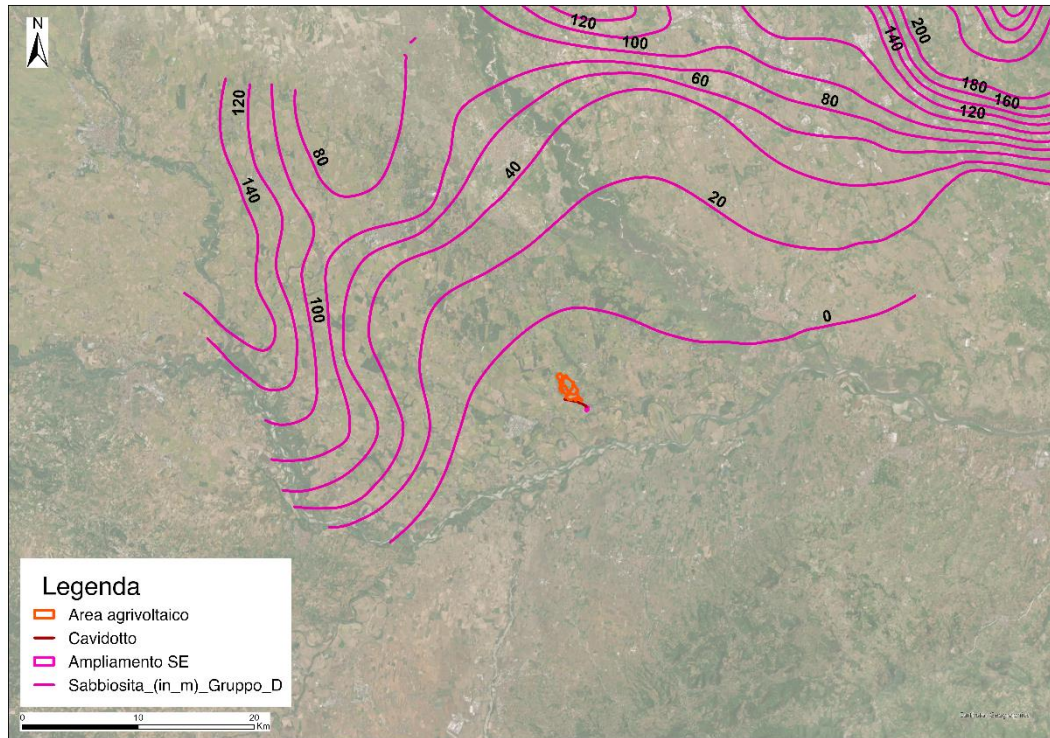


Figura 6-14. Stralcio della sabbiosità del Gruppo Acquifero D.

## 6.4 Limiti gruppi acquiferi

La Regione Lombardia, ha definito acquiferi i corpi geologici che, grazie alle loro proprietà geometriche e petrofisiche (porosità, permeabilità e compressibilità), svolgono efficientemente le funzioni di serbatoio e condotta per le acque sotterranee. Nel sottosuolo il limite tra acqua dolce e acqua salmastra definisce la base degli acquiferi utili per uso idropotabile e agricolo-industriale. La profondità di tale limite è nota in corrispondenza di alcuni pozzi per acqua particolarmente profondi e dei pozzi pubblicati dall'AGIP sui volumi "Acque Dolci Sotterranee" (1972, 1994)

Gruppi Acquiferi, così come sono stati definiti, sono delimitati alla base da una superficie stratigrafica (limite di sequenza) che definisce l'inizio di un nuovo ciclo regressivo-trasgressivo. La trasgressione marina che termina il ciclo è rappresentata da un livello di argille marine e sedimenti continentali fini nelle aree marginali del bacino che coincide con un acquicludo regionale. Nelle mappe è tuttavia rappresentata unicamente la porzione di Gruppo Acquifero saturata in acqua dolce (acquifero utile) e pertanto i Gruppi Acquiferi cartografati sono localmente delimitati alla base anche dall'interfaccia acqua dolce/acqua salmastra. La superficie stratigrafica alla base di un Gruppo Acquifero rappresenta ad un dato tempo la paleo-fisiografia del bacino sedimentario, in cui è possibile individuare la pianura alluvionale, l'area costiera, la piattaforma, la scarpata e il bacino profondo. L'interfaccia acqua dolce/acqua salmastra, nelle aree marginali e di piattaforma, si trova al di sotto della superficie stratigrafica di base per i Gruppi Acquiferi A, B e C.

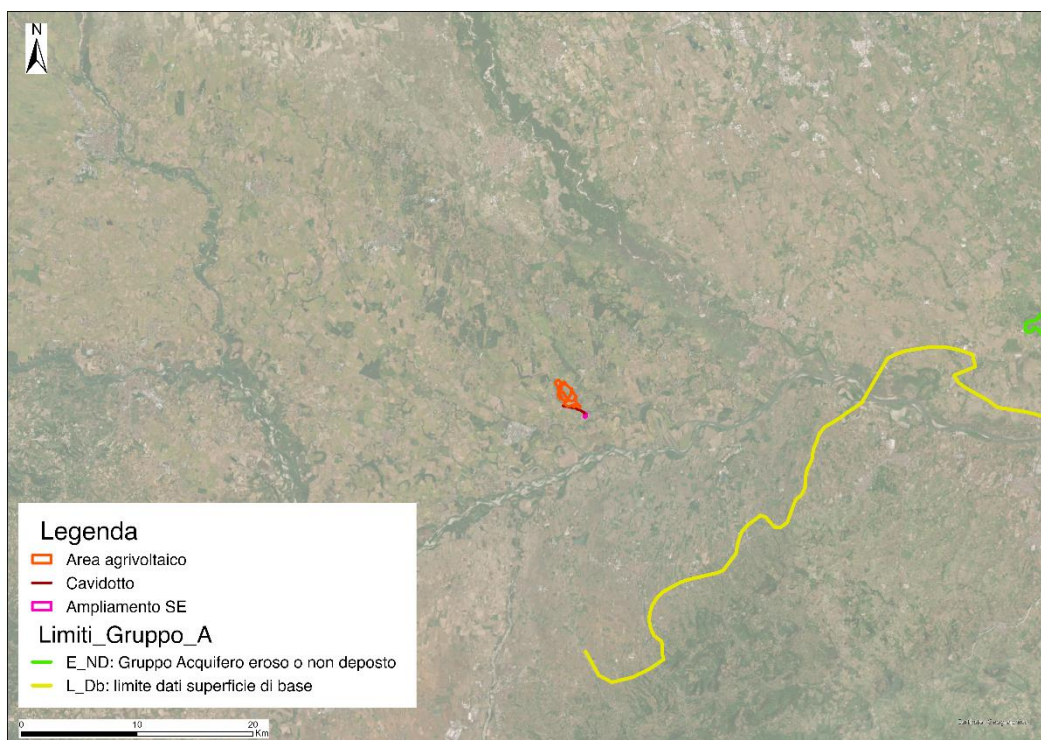


Figura 6-15. Stralcio dei Limiti del Gruppo Acquifero A.

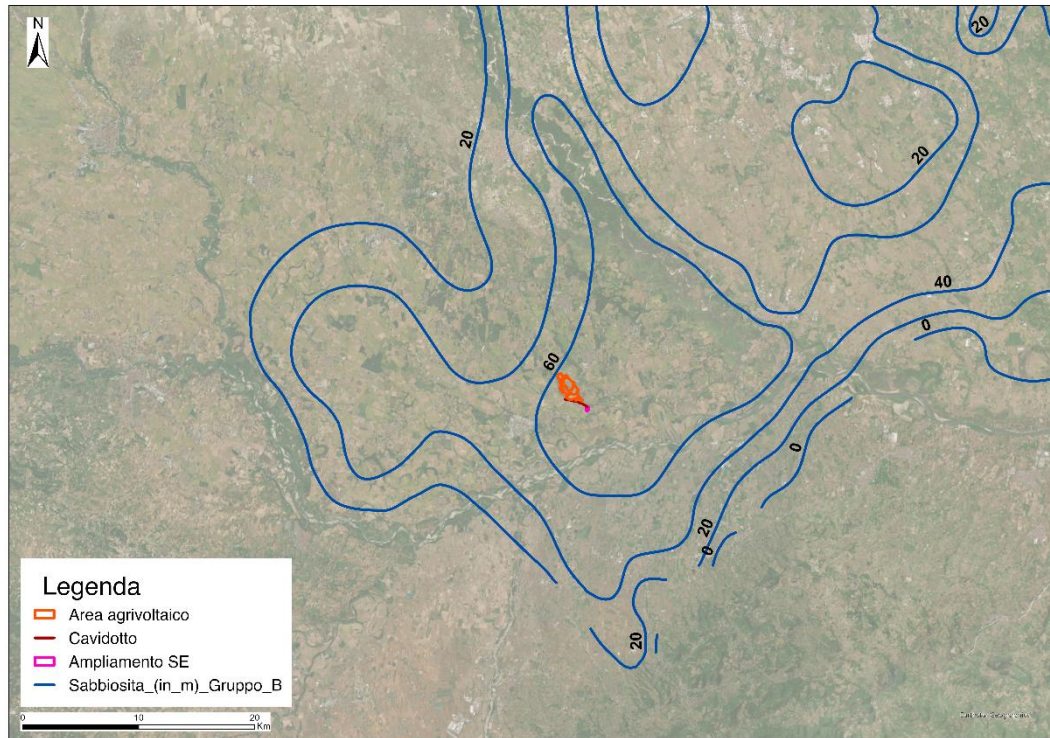


Figura 6-16. Stralcio dei Limiti del Gruppo Acquifero B.

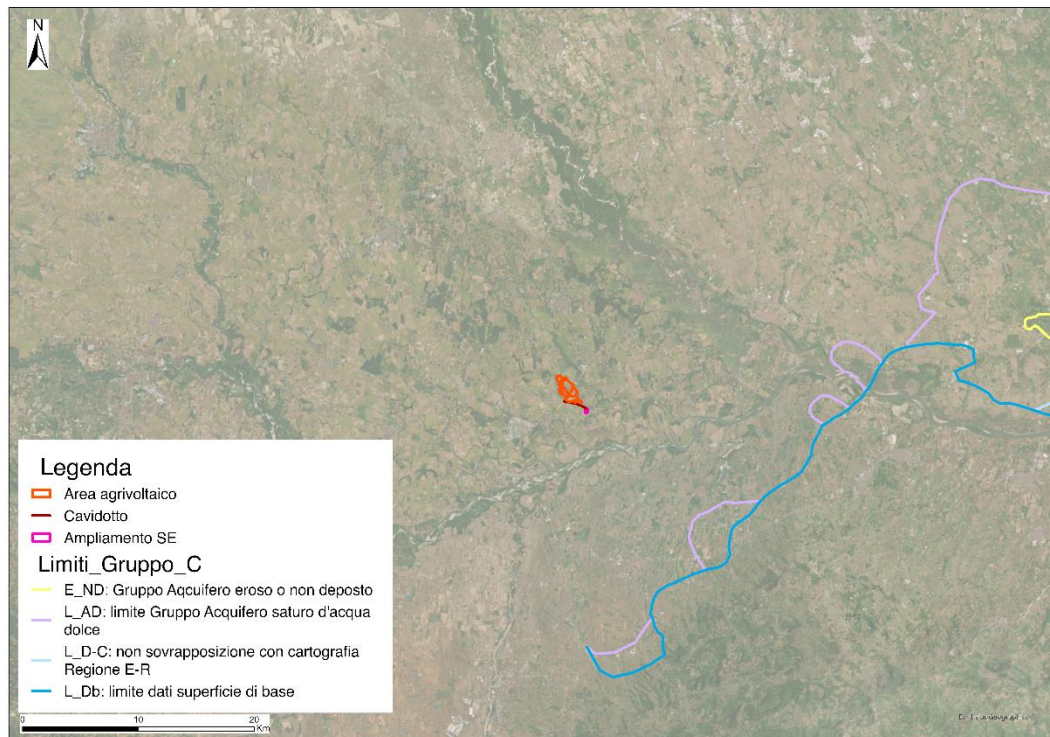


Figura 6-17. Stralcio dei Limiti del Gruppo Acquifero C.

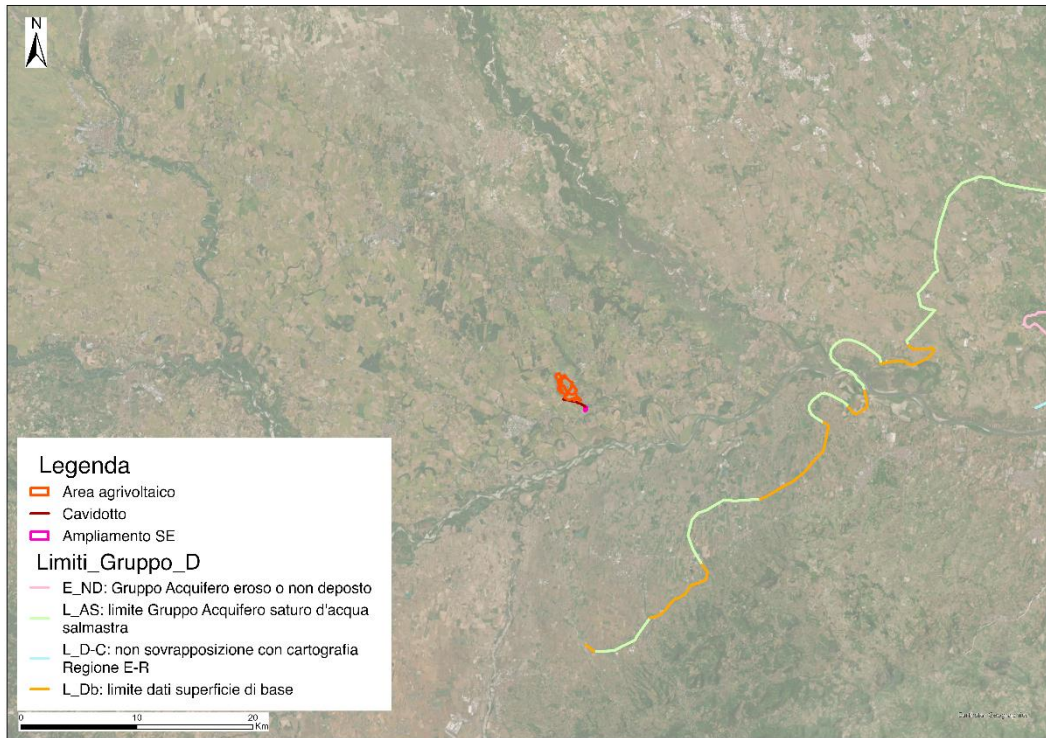


Figura 6-18. Stralcio dei Limiti del Gruppo Acquifero D.

## 6.5 Area di ricarica potenziale

Le aree di ricarica diretta potenziale sono definite dal sub-affioramento dei Gruppi Acquiferi, ovvero quando vengono a mancare livelli acquitardi (i.e. impermeabili) di significativa continuità laterale che annullino o riducano decisamente la componente verticale del flusso idrico. Tale circostanza, relativamente al Gruppo Acquifero A, si verifica sostanzialmente su tutta la sua estensione, dato che il tetto di questo Gruppo Acquifero è definito dalla superficie topografica.

I Gruppi Acquiferi sottostanti sono invece in generale isolati dalle barriere di permeabilità legate ai principali limiti di sequenza: tale isolamento diventa più labile, fino a scomparire del tutto, avvicinandosi ai margini del bacino, dove prevalgono sedimenti a granulometria prevalentemente grossolana (sabbia e soprattutto ghiaia) e la presenza di livelli argillosi assume carattere locale. In questo caso i Gruppi Acquiferi possono essere in comunicazione idraulica diretta gli uni con gli altri e con la superficie topografica.

Queste aree rappresentano le aree di ricarica diretta potenziale di ciascun Gruppo Acquifero e la loro delimitazione è fondamentale per le problematiche di protezione delle risorse idriche.

Le aree di ricarica diretta potenziale sono state così definite:

1. Gruppo Acquifero A: tutta l'estensione della mappa relativa al territorio regionale, a partire dal limite degli affioramenti (i.e. limite della pianura);
2. Gruppo Acquifero B: dal limite degli affioramenti fino al limite dei dati considerati per i Gruppi Acquiferi A e B, dove la barriera di permeabilità posta al tetto del Gruppo Acquifero B diventa ragionevolmente continua;
3. Gruppo Acquifero C: dal limite degli affioramenti fino al limite dei dati considerati per i Gruppi Acquiferi A e B, dove anche la barriera di permeabilità posta al tetto del Gruppo Acquifero C diventa ragionevolmente continua;
4. Gruppo Acquifero D: dal limite degli affioramenti fino al limite dei dati considerati per il Gruppo Acquifero C, dove la barriera di permeabilità posta al tetto del Gruppo Acquifero D, diventa ragionevolmente continua.



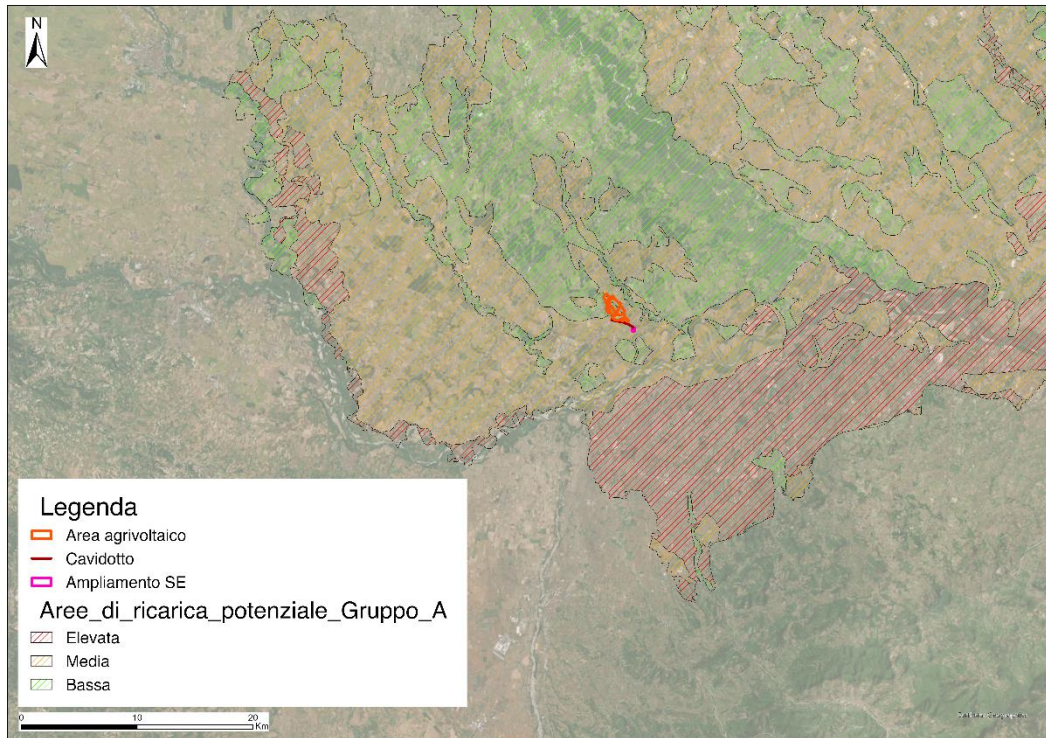


Figura 6-19. Stralcio dell'Area di Ricarica del Gruppo Acquifero A.

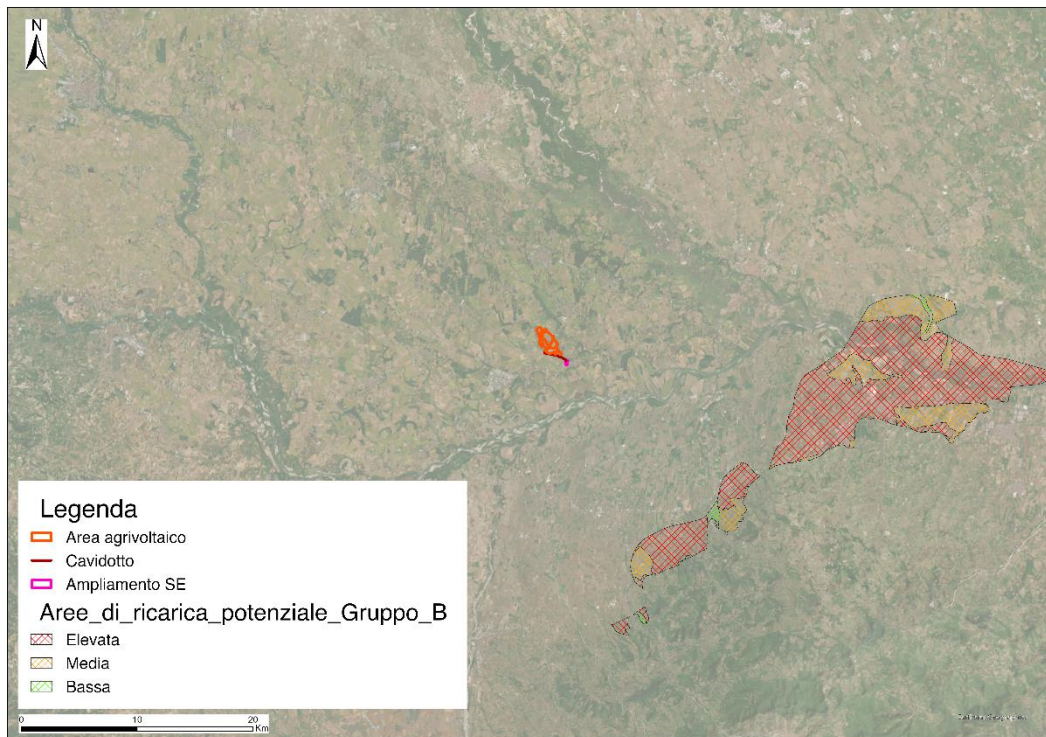


Figura 6-20. Stralcio dell'Area di Ricarica del Gruppo Acquifero B.

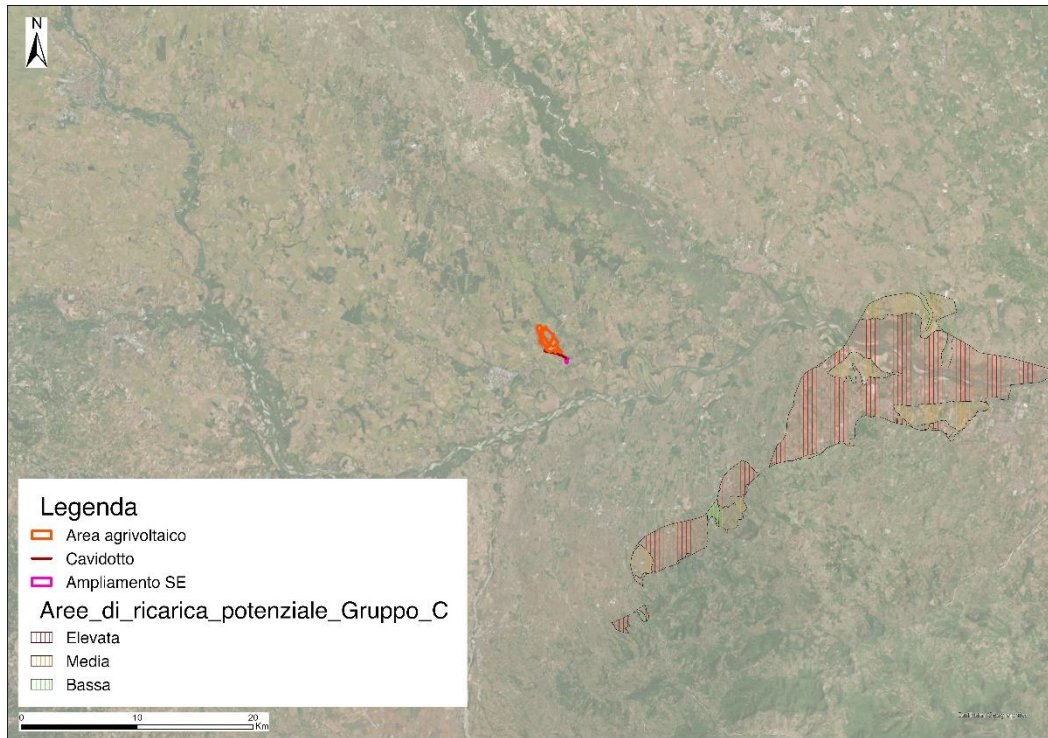


Figura 6-21. Stralcio dell'Area di Ricarica del Gruppo Acquifero C.

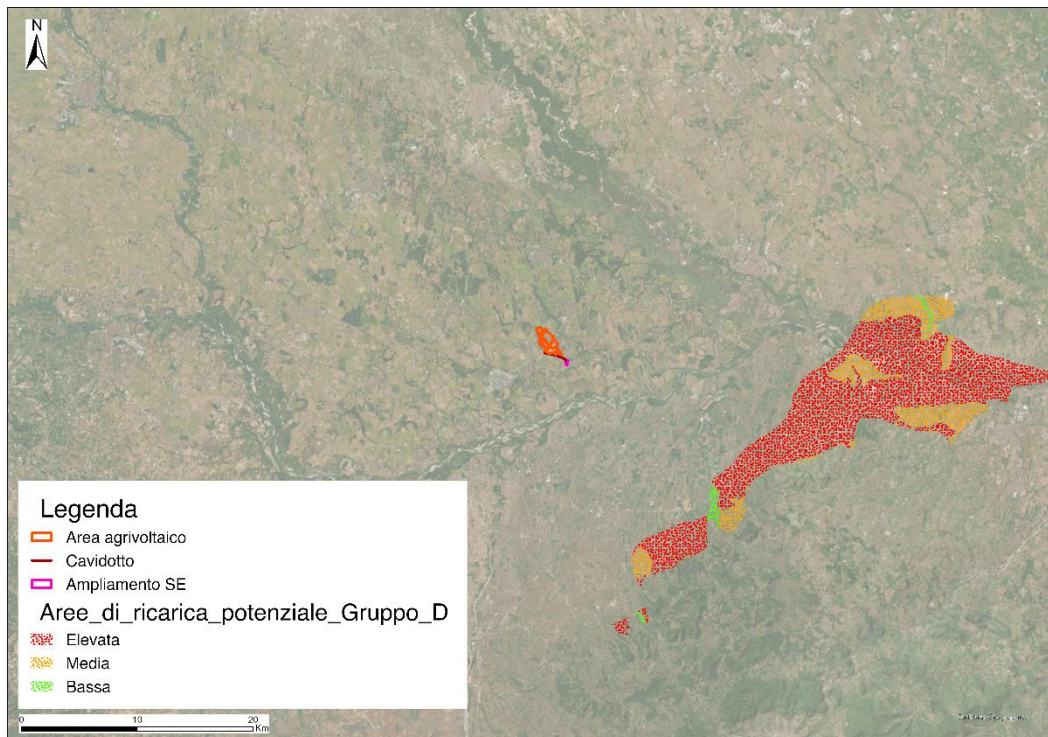
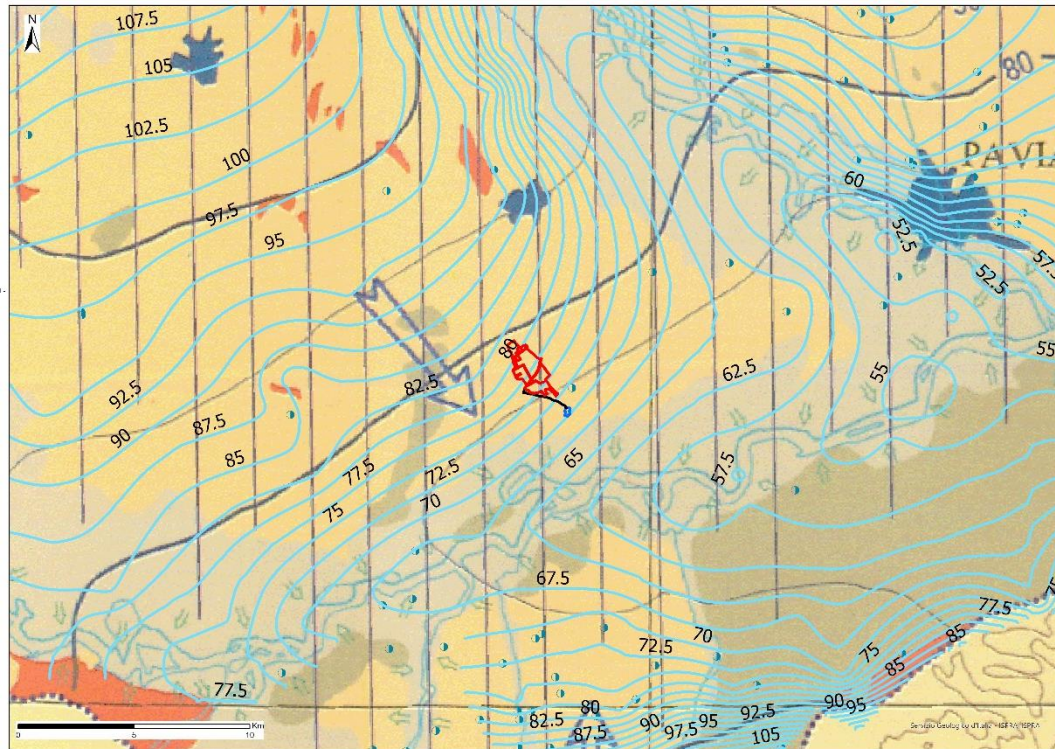


Figura 6-22. Stralcio dell'Area di Ricarica del Gruppo Acquifero D.



## LEGENDA

- ▭ Aree agrivoltaico
- ▬ Cavidotto
- ▭ Ampliamento SE

### Elementi antropici

- ▭ Principali aree urbane

### Classi Idrogeologiche

- ▭ Specchio d'acqua

#### Ghiaie prevalenti, senza copertura.

Ghiaie affioranti comprese tra il piano campagna e 1 m di profondità. Si tratta di ghiaie prevalenti con diametro massimo inferiore ai 20 cm, in matrice sabbiosa e sabbioso/limosa, in corpi lentiformi e spessore variabile tra i 3 e 10 metri. Si tratta generalmente di depositi di canale; la parte fine posta al tetto viene interpretata come deposito di abbandono di canale. Permeabilità elevata.

#### Sabbie prevalenti

Sono prevalentemente sabbie fini e medie con contenuto di sabbia maggiore del 30%; sono spesso alternate a limi sabbiosi. Lo spessore dei depositi sabbiosi non supera generalmente i 3-4 metri, la geometria è nastrofornita con larghezza di poche decine di metri se legata ai torrenti minori e di qualche centinaio di metri per i fiumi principali. Permeabilità media.

#### Limi e argille

Nella pianura la litologia limosa è predominante e caratteristica di più sottoambienti distinguibili solo sulla base morfologica. Il profilo principale è quello di trascinamento e di rotta fluviale. Nei bacini interfluviali, le argille, costituiscono i depositi di trascinamento fine e di decantazione caratteristici delle aree più depresse, lontane dai corsi d'acqua principali, ove si ha presenza quasi continua di acqua in superficie. Il contenuto di argilla è > 40%. Lo spessore è modesto non superando i 2-3 metri in superficie, mentre nel sottosuolo può superare i 5 metri. Permeabilità da bassa a nulla.

#### Coltre di alterazione e/o loess

Le ghiaie sono sormontate da depositi fini di pianura inondabile, costituiti da alternanze di limi più o meno argillosi o sabbiosi e da sabbie; lo spessore massimo di questa copertura fine è di una ventina di metri (parte di questi depositi sono stati interpretati da alcuni autori come loess, CREMASCHI, 1978; FARABEGOLI & ONOREVOLI, 1991). Questi depositi si presentano intensamente pedogenizzati, sulla superficie topografica affiora un suolo (alfisuolo) tipicamente bruno giallastro, spesso alcuni metri, sviluppato generalmente in argille. Permeabilità variabile.

### Elementi Idrogeologici

Isopieze (m. s.l.m.) anno 1998

(Fonte: MEMORIE DESCRITTIVE CARTA GEOLOGICA D'ITALIA VOLUME LVI - Ricerca sulla vulnerabilità naturale e sul rischio di inquinamento delle acque sotterranee nella Pianura Padana e Veneto-Friulana. Carta idrogeologica regionale (scala 1: 500.000).

Isopieze (m. s.l.m.) anno 2014

(Fonte: Geoportale Lombardia)

Direzione di flusso principale

Direzione di flusso

Pozzi

Figura 6-23. Carta Idrogeologica.

## 6.6 Vulnerabilità acquiferi

La funzione protettiva dei suoli consiste nella capacità che essi hanno di agire da barriera e filtro nei confronti di potenziali inquinanti e, quindi, di proteggere il sistema delle acque sotterranee e superficiali e le catene alimentari.

Con “capacità protettiva nei confronti delle acque sotterranee” si intende, in particolare, la capacità dei suoli di controllare il trasporto di inquinanti idrosolubili in profondità con le acque di percolazione ed in direzione, quindi, delle risorse idriche sottosuperficiali. Più nello specifico, l’interpretazione proposta esprime la potenziale capacità dei suoli di trattenere gli inquinanti idrosolubili entro i limiti degli orizzonti esplorati dagli apparati radicali delle piante ed interessati dall’attività biologica e microbiologica per un tempo sufficiente a permetterne la degradazione. Essa corrisponde, pertanto, alla definizione di “capacità di attenuazione del suolo”, che il D.lgs. n.152/99 (“Disposizioni sulla tutela delle acque dall’inquinamento”), nell’Allegato VII dedicato alle modalità di individuazione delle zone vulnerabili da nitrati di origine agricola e da prodotti fitosanitari, indica come elemento rilevante di conoscenza per approfondire la valutazione della “vulnerabilità intrinseca degli acquiferi” effettuata considerando le caratteristiche litostrutturali ed idrogeologiche del sottosuolo.

Le proprietà pedologiche prese in considerazione nel modello interpretativo sono permeabilità, profondità della falda superficiale, granulometria ed alcune proprietà chimiche (pH, CSC) utilizzate come indicatori del potere tampone del suolo.

Classi di capacità protettiva	Permeabilità	Profondità falda	classe granulometrica	modif. chimici pH in H <sub>2</sub> O, CSC in meq/100 g (*)
ELEVATA	BASSA (Classi 4. 5. 6)	> 100 cm	Fine. Very Fine. Fine Silty. Fine Loamy. Coarse Silty. Loamy Clayey Skeletal. più tutte le classi fortemente contrastanti comprese quelle over Sandy. Sandy Skeletal e Fragmental in cui il primo termine sia Fine. Very Fine o Fine Silty.	pH > 5.5 CSC > 10
MODERATA	MODERATA (Classe 3)	50 - 100 cm (con perm. bassa)	Coarse Loamy. Loamy Skeletal. più le rimanenti classi over Sandy. Sandy Skeletal o Fragmental	pH 4.5 - 5.5 CSC tra 5-10
BASSA	ELEVATA (Classi 1. 2)	< 50 cm (con perm. bassa) < 100 cm (con perm. moderata)	Sandy. Sandy Skeletal. Fragmental. più le classi fortemente contrastanti in cui il primo termine sia Sandy. Sandy Skeletal. Fragmental	pH < 4.5 CSC < 5

(1)\*Considerare il valore più alto tra quello riscontrato entro. 100 cm

Tabella 6-1. Capacità protettiva dei suoli nei confronti delle acque sotterranee. Modello interpretativo.

Il modello prevede, in sintonia anche con analoghi schemi interpretativi adottati negli Stati Uniti ed in altri paesi d’Europa, la ripartizione dei suoli in tre classi di capacità protettiva nei confronti delle acque sotterranee: elevata, moderata e bassa. Nella pianura lombarda, i suoli a bassa capacità protettiva sono prevalentemente concentrati nell’alta pianura, soprattutto nella parte occidentale, nella Lomellina e nella pianura pavese e lodigiana, nella zona delle risorgive e nelle valli fluviali; in queste aree, infatti, i suoli hanno in genere una permeabilità elevata, essendo caratterizzati da una granulometria

grossolana, sabbiosa o sabbioso-ghiaiosa, e/o sono interessati da falde e fenomeni di idromorfia in prossimità della superficie.

La capacità protettiva è invece elevata dove i suoli hanno una tessitura più fine, sono meno permeabili ed hanno una maggiore capacità di filtro, condizioni che si verificano prevalentemente sulle superfici moreniche e terrazzate antiche localizzate tra il Ticino e l'Adda e nella porzione Sudorientale della pianura.

Nel considerare le relazioni tra suoli ed ambiente nel suo complesso e, quindi, anche nell'analisi della funzione protettiva dei suoli, non bisogna tuttavia dimenticare che, spesso, le caratteristiche, quali pendenza o bassa permeabilità, che rendono i suoli protettivi nei confronti delle acque sotterranee, favoriscono invece i movimenti laterali delle acque, determinando una minore capacità di protezione delle risorse idriche di superficie: per questa ragione le interpretazioni e le cartografie della capacità protettiva dei suoli nei confronti delle acque sotterranee tendono frequentemente ad assumere un aspetto che è complementare a quello delle interpretazioni e delle carte riferite alla capacità protettiva nei confronti delle acque superficiali.

La valutazione della capacità protettiva dei suoli nei confronti delle acque sotterranee assume conseguentemente un interesse particolare nelle aree pianeggianti, nelle zone ad alta piovosità e in quelle dove sono utilizzate tecniche irrigue a forte consumo di acqua.

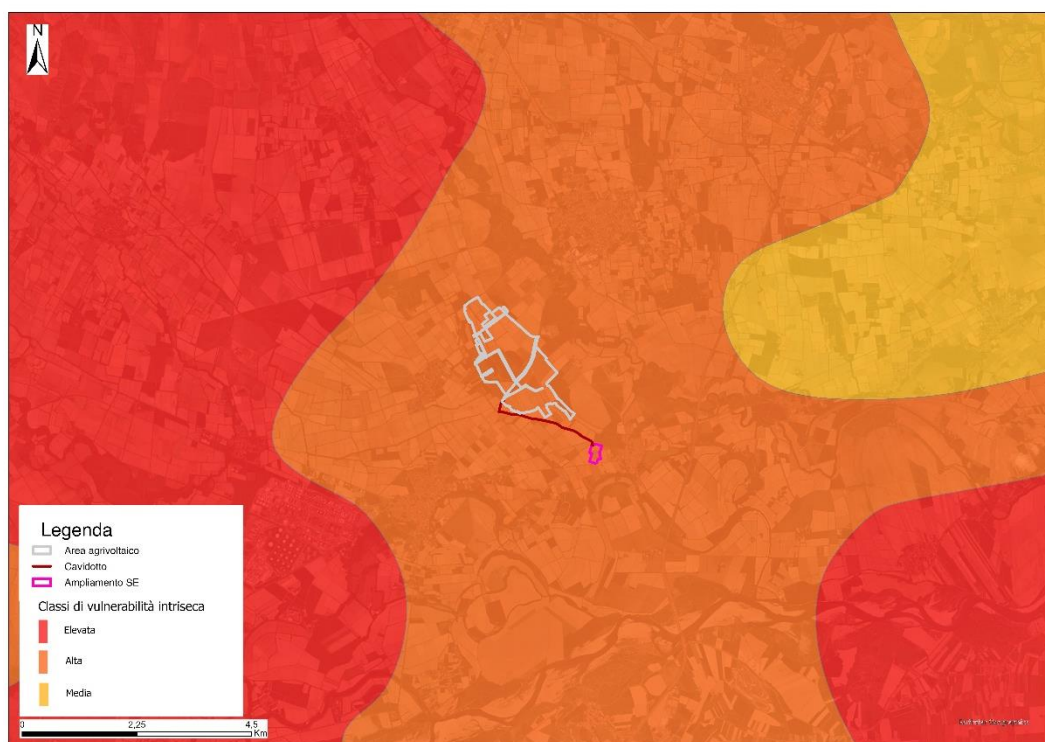


Figura 6-24. Stralcio della carta della Vulnerabilità intrinseca.

Le litofacies più superficiali (profondità 0-5 m) nell'intera pianura dell'Oltrepò Pavese sono, infatti, costituite solamente dal 10.6% e dal 8.2% rispettivamente di litofacies sabbiosa e di litofacies ghiaiosa, mentre il rimanente 70.6% è costituito da litofacies argillose e il 10.6% da litofacies limose (Pilla et al., 2006). Data la sua scarsa permeabilità (normalmente inferiore a  $10^{-7}$  m/s), tale coltre costituisce per le acque sotterranee della zona, una forte protezione nei confronti di sostanze inquinanti provenienti dalla superficie.

In riferimento alla stima della vulnerabilità dell'acquifero si è fatto riferimento ad uno dei modelli più diffusi al mondo nel settore scientifico, il Modello Drastic Index. Questo modello spicca tra le varie metodologie usate per la determinazione della vulnerabilità degli acquiferi sia per la semplicità d'uso che per la validità dei risultati ottenibili e trova largo impiego anche negli studi di impatto ambientale come strumento adatto alle stime relative alla componente "Acque sotterranee".

Il modello si basa sull'analisi di più fattori che, in base ad una ponderazione in funzione dei caratteri localmente riscontrati, esprimono la vulnerabilità di un acquifero.

I fattori presi in considerazione dal modello Drastic Index sono sette (le loro iniziali formano l'acronimo D.R.A.S.T.I.C.):

D = Depth water	(profondità dell'acquifero)
R = Recharge	(ricarica dell'acquifero)
A = Aquifer media	(caratteristiche dell'acquifero)
S = Soil media	(caratteristiche del suolo)
T = Topography	(topografia, clivometria)
I = Impact of vadose zone media	(impatto della zona non satura)
C = Conductivity	(conducibilità idraulica)

Il Drastic Index (Dix) è stimato con la seguente formula:

$$Dix = (D_p \cdot D_v) + (R_p \cdot R_v) + (A_p \cdot A_v) + (S_p \cdot S_v) + (T_p \cdot T_v) + (I_p \cdot I_v) + (C_p \cdot C_v)$$

con:

p = peso dei fattori;

v = valori di intensità.

Per valutare il probabile inquinamento, i pesi standard dei fattori possono anche essere differenziati per inquinamento di probabile origine agricola o industriale.

Di seguito i parametri standard del metodo:

D <sub>p</sub> =	5	(p = 7)
R <sub>p</sub> =	4	(p = 3)
A <sub>p</sub> =	3	(p = 6)
S <sub>p</sub> =	2	(p = 6)
T <sub>p</sub> =	1	(p = 10)
I <sub>p</sub> =	5	(p = 6)
C <sub>p</sub> =	3	(p = 8)

Di seguito le tabelle sinottiche del Drastic Index per l'attribuzione dei pesi dei fattori.

Profondità (Piedi)		Punteggio	Profondità (Metri)		Punteggio
min	max		min	max	
0	5	10	0	1,52	10
5	15	9	1,52	4,57	9
15	30	7	4,57	9,14	7
30	50	5	9,14	15,24	5
50	75	3	15,24	22,86	3
75	100	2	22,86	30,48	2
100		1	30,48		1

Ricarica (Pollici)		Punteggio	Ricarica (mm)		Punteggio
min	max		min	max	
0	2	1	0	50,8	1
2	4	3	50,8	101,6	3
4	7	6	101,6	177,8	6
7	10	8	177,8	254	8
10		9	254		9

Litologia	Punteggio
scisti massicci	1-3
metamorfica/igneo	2-5
metamorfica/igneo alterate	3-5
morene glaciali	4-6
sequenze di arenarie, calcari e scisti	5-9
arenarie	4-9
calcare massiccio	4-9
sabbia e ghiaia	6-9
basalto	5-10
calcare	9-10

Caratteristiche/tipologia	Punteggio
fine o assente	10
ghiaia	10
sabbia pulita	9
argilla aggregata	7
suolo sabbioso	6
suolo franco	5
suolo fangoso	4
suolo argilloso	3
argilla pulita	1

Pendenza (%)		Punteggio
min	max	
0	2	10
2	6	9
6	12	5
12	18	3
18		1

Litologia	punteggio
argilla-limo	2-6
scisti	2-5
calcare	2-7
arenarie	4-8
sequenze di arenarie, calcari e scisti	4-8
sabbia e ghiaia con argilla e fango	4-8
metamorfica/igneo	2-8
sabbia e ghiaia	6-9
basalto	2-10
calcare	8-10



Conducibilità (gdp/piediquadri)		Punteggio	Conducibilità (cm/s)		Punteggio
min	max		min	max	
1	100	1	4,72E-07	4,72E-05	1
100	300	2	4,72E-05	1,42E-04	2
300	700	4	1,42E-04	3,30E-04	4
700	1000	6	3,30E-04	4,72E-04	6
1000	2000	8	4,72E-04	9,44E-04	8
2000		10	9,44E-04		10

Figura 6-25. Pesi dei fattori Drastic Index (ALLER et al., US-EPA Environmental Protection Agency).

I valori di intensità, valutati in base alle tabelle comparative appositamente costruite e proposte dal software utilizzato (DRASTIC-O per Windows), sono quelli riferiti all'area in studio.

L'elaborazione dei dati ha fornito i seguenti risultati:

Dix = 141, che corrisponde come atteso ad una Vulnerabilità "A - Alto"

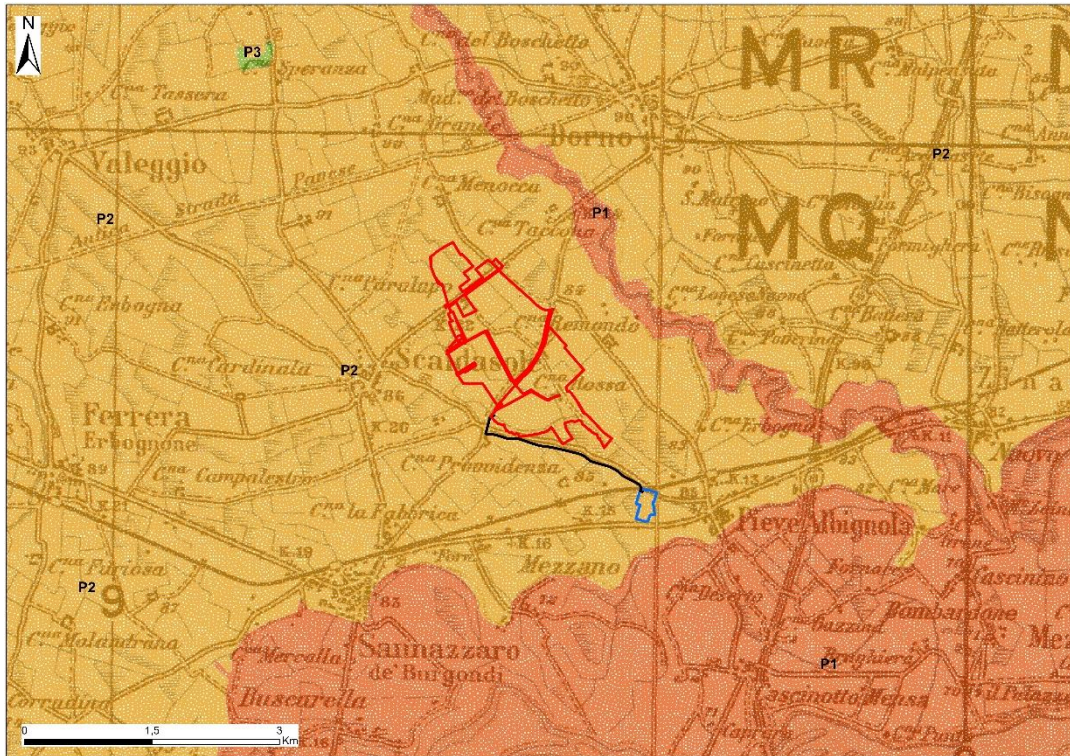
Grado di vulnerabilità	Intervallo di punteggio grezzo
Bassissimo	0 – 55
Basso	56 – 80
Medio	81 – 113
Alto	114 – 159
Elevato	160 – 182
Elevatissimo	183 - 230

Tabella 6-2. Grado di vulnerabilità Drastic Index (ALLER et al., US-EPA Environmental Protection Agency).

Il Servizio Geologico d'Italia di ISPRA, in qualità di Organo Cartografico dello Stato e quindi depositario di una notevole mole di informazioni geologiche territoriali, organizzate anche in banche dati, ha redatto la Carta della Permeabilità d'Italia.

Tale carta è rappresentativa della permeabilità su scala prevalentemente regionale di unità geologiche affioranti al di sotto degli orizzonti del suolo. Nonostante la piccola scala, si ritiene coerente con quanto misurato e rilevato in zona.

La zona in oggetto rientra tra le aree denominate P2 "Permeabilità media / Porosità".



### Legenda

- Area agrivoltaico
- Cavidotto
- Ampliamento SE

### Classi di Permeabilità

- P1 - Alta Permeabilità / Porosità,  $K > 10^{-2}$  m/s
- P2 - Media Permeabilità / Porosità,  $10^{-2}$  m/s  $> K > 10^{-6}$  m/s
- P3 - Scarsa Permeabilità / Porosità,  $10^{-6}$  m/s  $> K > 10^{-9}$  m/s

Figura 6-26. Carta della permeabilità su base IGM 100.000.

## 7 CONCLUSIONI

A vantaggio della sicurezza, si consiglia al progettista di impiegare per i calcoli e le verifiche del caso i dati più cautelativi dei parametri idrologici ed idrogeologici ottenuti dall'elaborazione dei dati e riportati nei capitoli precedenti.

In funzione delle soluzioni di progetto che saranno prescelte, sarà possibile apportare eventuali modifiche a quanto riportato nella presente relazione, a vantaggio della sicurezza.

I sopralluoghi ed i controlli in cantiere richiesti dal progettista e/o direttore dei lavori, saranno effettuati previa comunicazione.

I sottoscritti si rendono disponibili ad effettuare incontri e sopralluoghi chiarificatori con il progettista, con gli altri consulenti tecnici, con i responsabili degli Uffici della P.A.

Per una eventuale valutazione delle caratteristiche idrauliche si farà riferimento alla relativa "Relazione idrologica e idraulica", oggetto del dossier progettuale in questione.

Sulla base di quanto rilevato, analizzato e calcolato, la presenza di condizioni idrologiche ed idrogeologiche favorevoli consente la fattibilità degli interventi in progetto.

Tanto si doveva per l'incarico ricevuto.

Foligno, luglio 2024

Prof. Geol. Alfonso Russi



Dott. Geol. Raffaele Di Ceglie



## 8 BIBLIOGRAFIA E WEB REFERENCES

### 8.1 Bibliografia

- ALLER L., LEHR J.H., PETTY R. & BENNETT, T. (1987) - DRASTIC—A Standardized System to Evaluate Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeologic Setting. *Journal of the Geological Society of India*, 29, 23-37.
- BONI A. (1947) - I “dossi” della Lomellina e del Pavese. *Atti dell’Istituto Geologico dell’Università di Pavia* 2: 1-44.
- CASTANY G. & MARGAT J. (1977) - *Dictionnaire francais d’hydrogeologie*. B.R.G.M. Orleans.
- GRUBER S. & PECKHAM S. (2009) – Land-surface parameters and objects in hydrology. In: T. Hengl & H.I. Reuter (eds) *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*, pp.171-194. Amsterdam, Netherlands: Elsevier.
- MÖLLER I., SONDERGAARD V.H., JORGENSEN F., AUKEN E. & CHRISTIANSEN A.V. (2009) - Integrated management and utilization of hydrogeophysical data on a national scale. *Near Surface Geophysics* 7, 647-659.
- MOORE I. D., & GRAYSON R. B. (1991) - Terrain-based catchment partitioning and runoff prediction using vector elevation data. *Water Resources Research*, 27(6), 1177-1191. [doi:10.1029/91WR00090]
- OLAYA V. & CONRAD O. (2009) - Chapter 12 Geomorphometry in SAGA. In T. Hengl & H.I. Reuter (eds.), *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*. Book series *Developments in Soil Science*, 33, Elsevier, Amsterdam, 293-308, doi: 10.1016/S0166-2481(08)00012-3.
- PILLA G., SACCHI E., ZUPPI G., BRAGA G., CIANCETTI G., (2006) - Hydrochemistry and isotope geochemistry as tools for groundwater hydrodynamic investigation in multilayer aquifers: a case study from Lomellina, Po plain, South-Western Lombardy, Italy. *Hydrogeol. J.* 14 (5), 795–808. <https://doi.org/10.1007/s10040-005-0465-2>.
- ROSGEN D.L. (1994) – A classification of natural rivers. *Wildland Hydrology*, 157649 U.S. Highway 160, Pagosa Spings, CO 81147. *Catena* 22 1669-199
- TARAMELLI T. (1916) – *Descrizione geologica della provincia di Pavia*. 2° ed. Ist. Geogr. De Agostini, Novara.
- ZHAO G.J. (2009) - *Water Science and Engineering*, Dec. 2009, Vol. 2, No. 4, 1-15.

## 8.2 Web References

Linee generali di assetto idrogeologico e quadro degli interventi bacino del Terdoppio

<http://sgi2.isprambiente.it/viewersgi2/>

<https://idrogeo.isprambiente.it/app/>

[http://wms.pcn.minambiente.it/ogc?map=/ms\\_ogc/WMS\\_v1.3/Vettoriali/PAI\\_pericolosita.map&](http://wms.pcn.minambiente.it/ogc?map=/ms_ogc/WMS_v1.3/Vettoriali/PAI_pericolosita.map&)

[https://www.cartografia.servizirl.it/expo/services/gpt/direttiva\\_alluvioni\\_2023/MapServer/WMServer?](https://www.cartografia.servizirl.it/expo/services/gpt/direttiva_alluvioni_2023/MapServer/WMServer?)



**COMUNE:**  
Pieve Albignola

**PROVINCIA:**  
PV

## ***DIAGRAMMI CLIMATICI***

## Sommario

1. Dati del Comune.....	3
2. Indici.....	4
3. Diagramma Pluviometrico .....	6
4. Diagramma Termometrico.....	7
5. Diagramma Termopluviometrico.....	8
6. Diagramma Ombrotermico .....	9
7. Diagramma Walter & Lieth .....	10
8. Climogramma Precipitazioni e Temperature .....	11
9. Climogramma di Peguy .....	12

## 1. Dati del Comune

<b>Comune di</b>	Pieve Albignola
<b>Provincia</b>	PV
<b>Altitudine [m]</b>	85
<b>Latitudine</b>	45,1138
<b>Longitudine</b>	8,9625
<b>Temperatura Massima Annuale [°C]</b>	34,56
<b>Temperatura Minima Annuale [°C]</b>	-9,04

I dati climatici sono stati acquisiti dalla Norma UNI 10349 e sono relativi ad un periodo minimo di 30 anni.

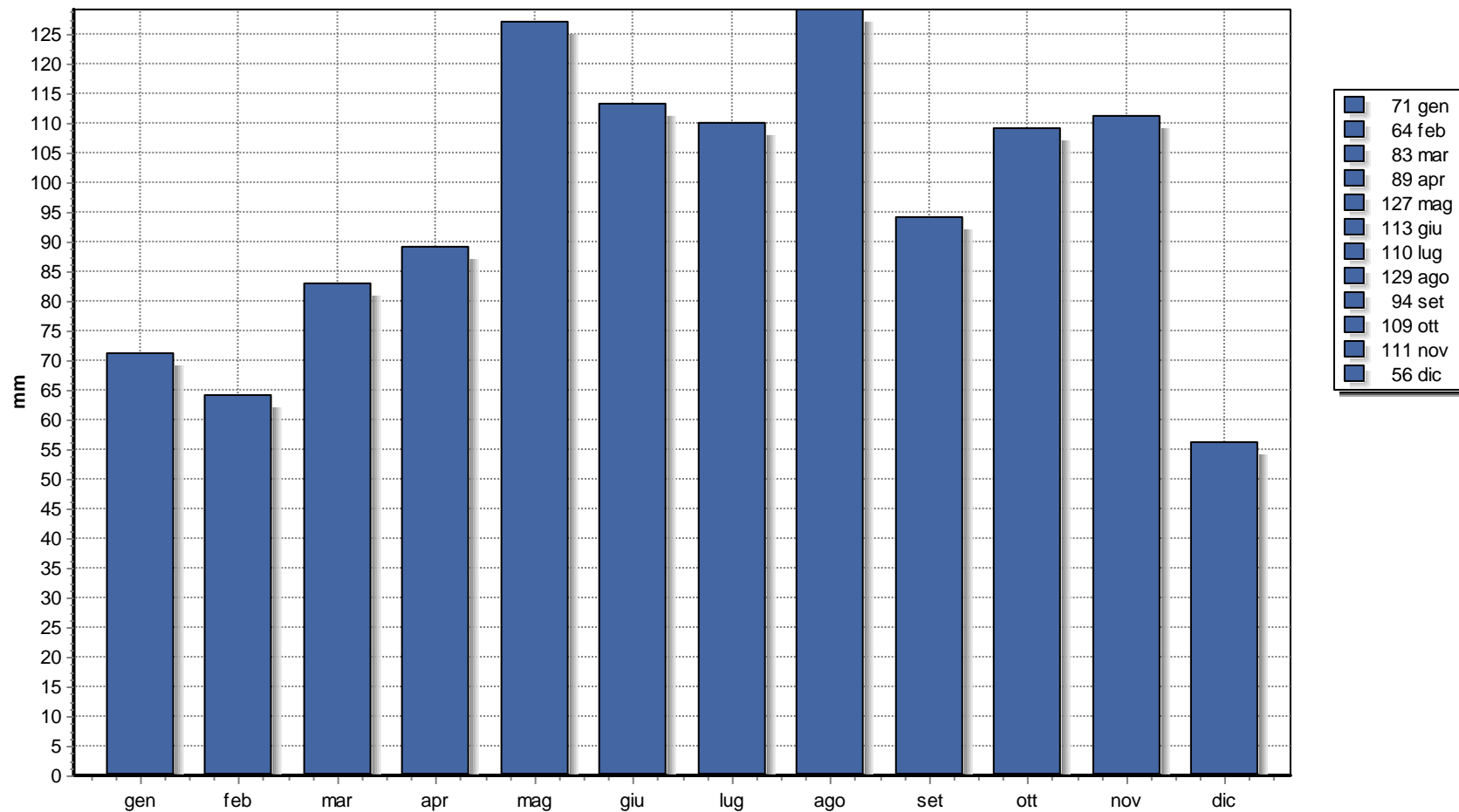


## 2. Indici

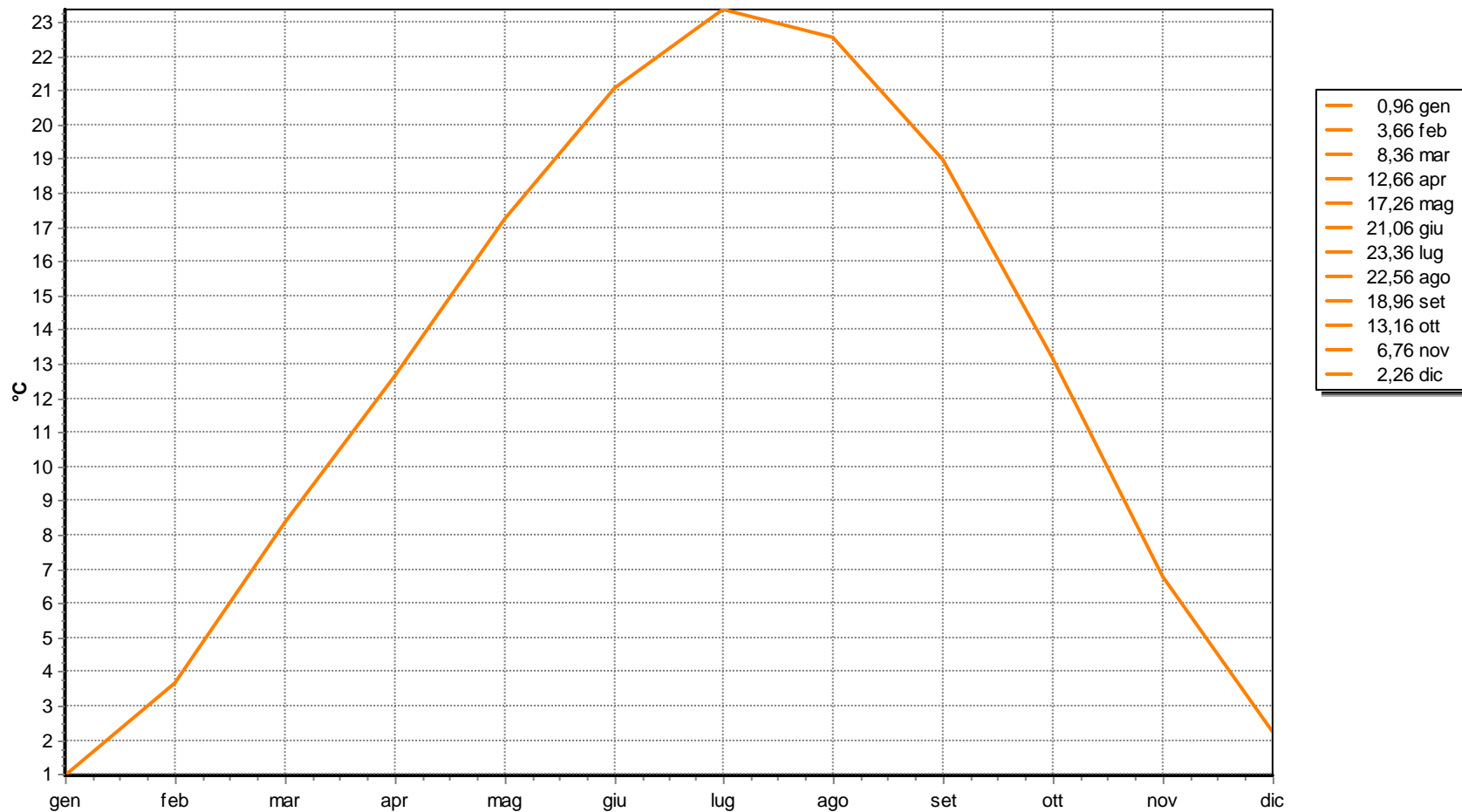
<b>Precipitazioni [mm]:</b>	Totale:	1156
	Media:	96,54
<b>Temperatura Media [°C]</b>	12,63	
<b>Indice di Continentalità di Gams</b>	4° 12'	
<b>Indice di Fournier</b>	14,40	
<b>Evaporazione Idrologica di Keller [mm]</b>	594,10	
<b>Pluviofattore di Lang</b>	91,53	
<b>Indice di Amann</b>	651,80	
<b>Mesi Aridi:</b>	Secondo Koppen:	
	Secondo Gaussen:	
<b>Indice di De Martonne</b>	51,08	
<b>Indice di De Martonne-Gottmann</b>	52,95	
<b>Indice di Aridità di Crowther</b>	73,92	
<b>Indice Bioclimatico di J.L. Vernet</b>	0,42	
<b>Indice FAO</b>	1,87	
<b>Evaporazione Media mensile [mm]</b>	100,99	
<b>Quoziente Pluviometrico di Emberger</b>	126,66	
<b>Indice di Continentalità di Currey</b>	1,40	
<b>Indice di Continentalità di Conrad</b>	39,75	
<b>Indice di Continentalità di Gorczynski</b>	33,35	
<b>Evapotraspirazione Reale di Turc [mm]</b>	531,16	
<b>Evapotraspirazione Reale di Coutagne [mm]</b>	635,66	
<b>Indici di Rivas-Martinez:</b>	Continentalità [°C]:	22,40
	Termicità:	144,50 ± 29,00
	Ombrotermico Annuale:	7,65
	Ombrotermico Estivo:	5,26
<b>Indici di Mitrakos:</b>	SDS (Summer Drought Stress):	100,98
	WCS (Winter Cold Stress):	-23,52
	YDS (Year Drought Stress):	287,62
	YCS (Year Cold Stress):	17,52

[C°]	gen	feb	mar	apr	mar	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Temperature	0,96	3,66	8,36	12,66	17,26	21,06	23,36	22,56	18,96	13,16	6,76	2,26
Massime	3,86	7,66	13,36	18,36	23,26	27,16	29,76	28,56	24,56	17,56	9,96	4,86
Minime	-2,04	-0,44	3,36	7,06	11,36	14,96	17,06	16,46	13,46	8,66	3,56	-0,34
Massime Estreme	11,16	15,96	21,26	25,06	30,06	32,66	34,56	33,76	30,56	24,56	16,76	11,26
Minime Estreme	-9,04	-8,04	-2,94	0,96	5,16	9,56	11,86	11,06	6,86	1,76	-3,24	-6,44
[mm]	gen	feb	mar	apr	mar	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Precipitazioni	71	64	83	89	127	113	110	129	94	109	111	56
Indice di Angot	8,66	8,64	10,12	11,22	15,49	14,24	13,42	15,73	11,85	13,29	13,99	6,83
Indice di De Martonne (mensile)	77,74	56,22	54,25	47,13	55,91	43,66	39,57	47,54	38,95	56,48	79,47	54,81
Stress di Mitrakos (idrico)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Stress di Mitrakos (termico)	96,32	83,52	53,12	23,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,72	51,52	82,72

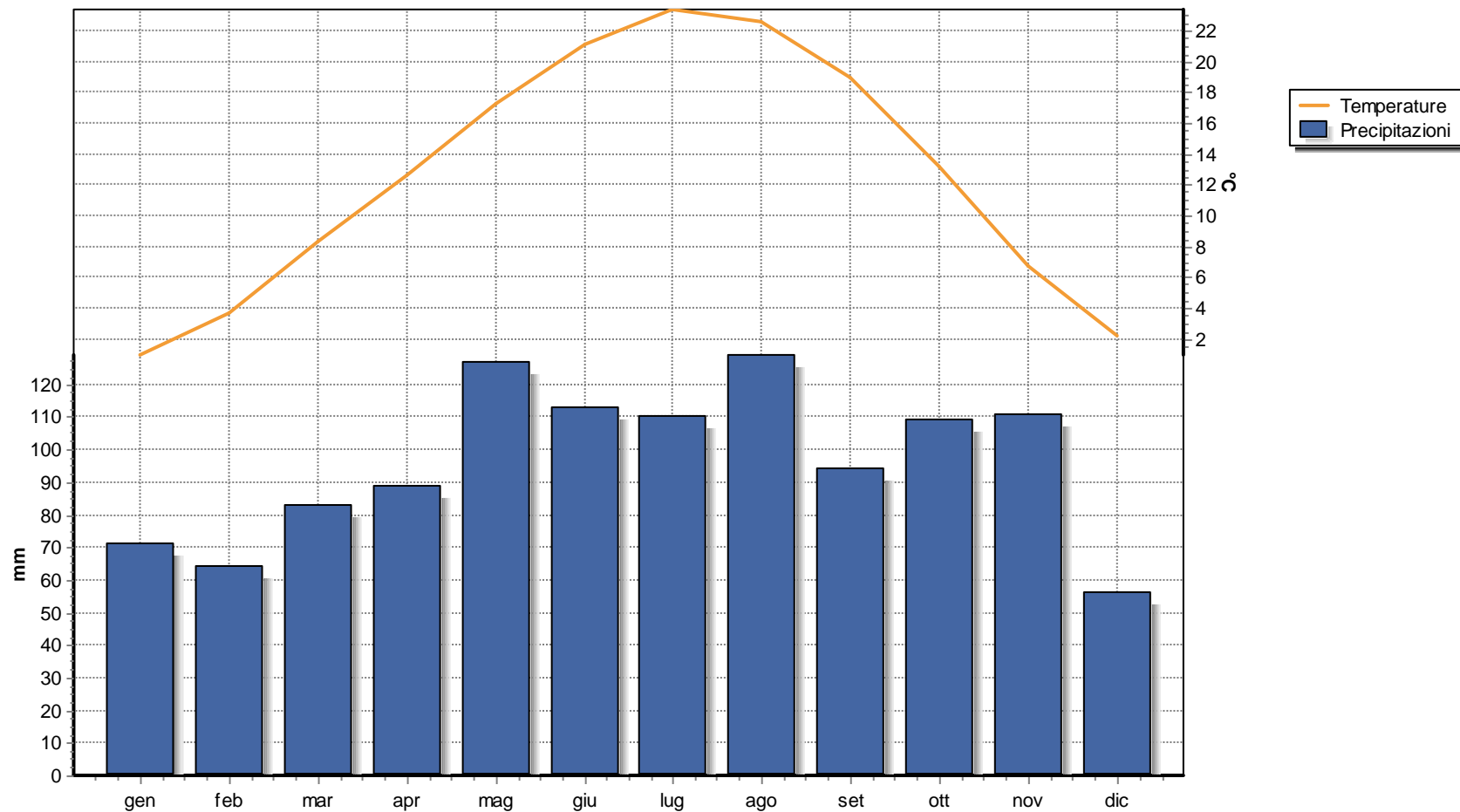
### 3. Diagramma Pluviometrico



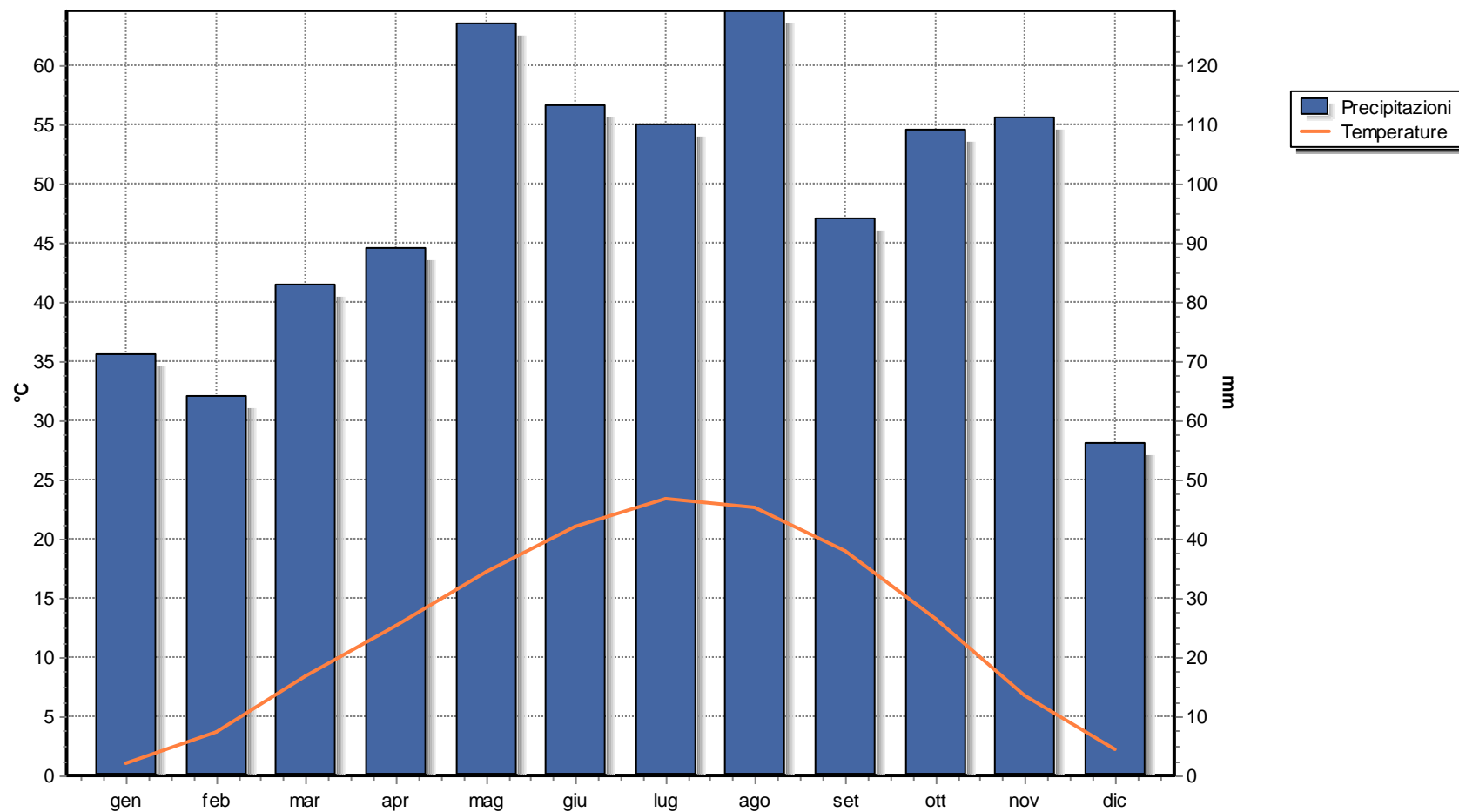
4. Diagramma Termometrico



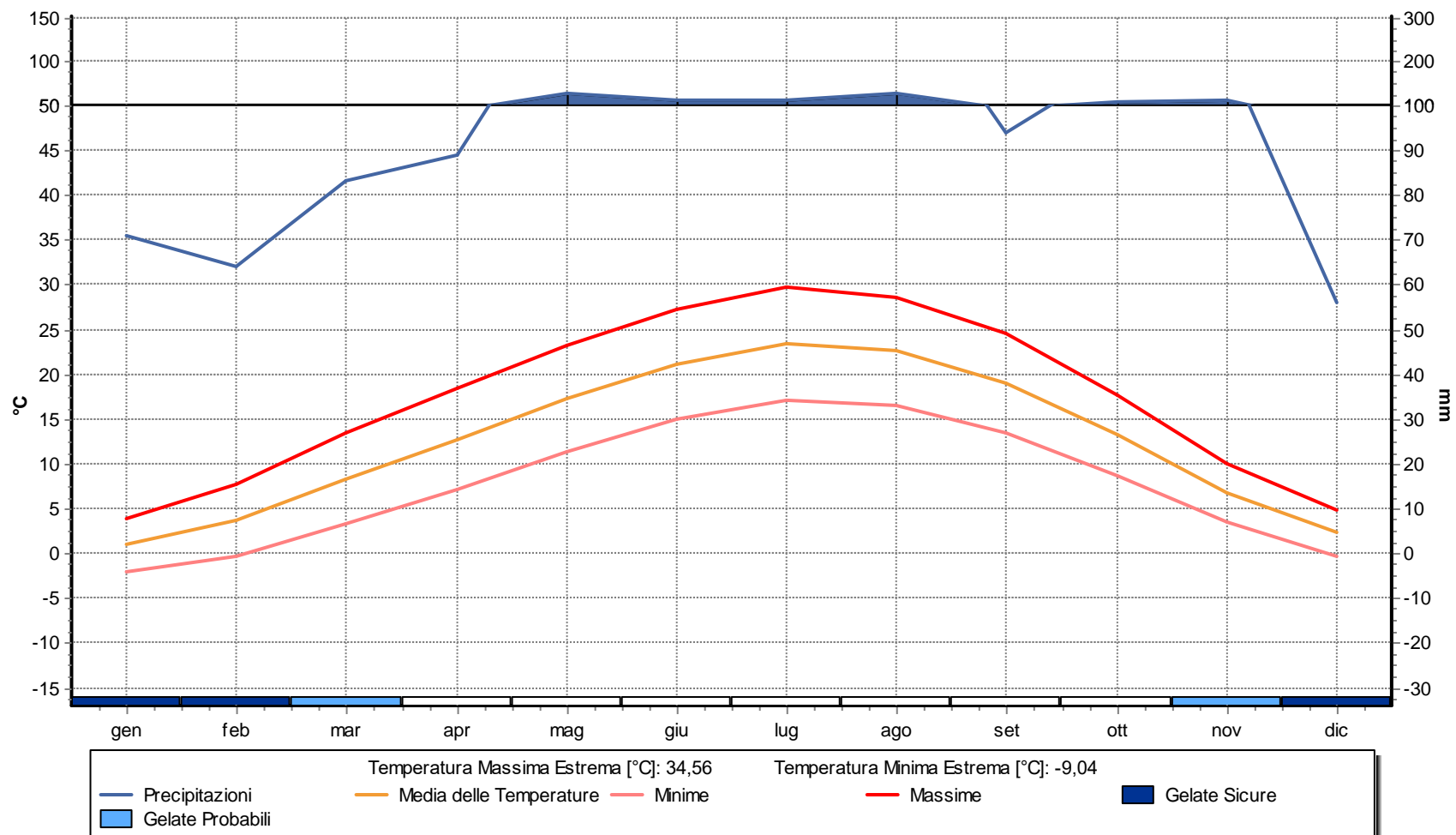
5. Diagramma Termopluviometrico



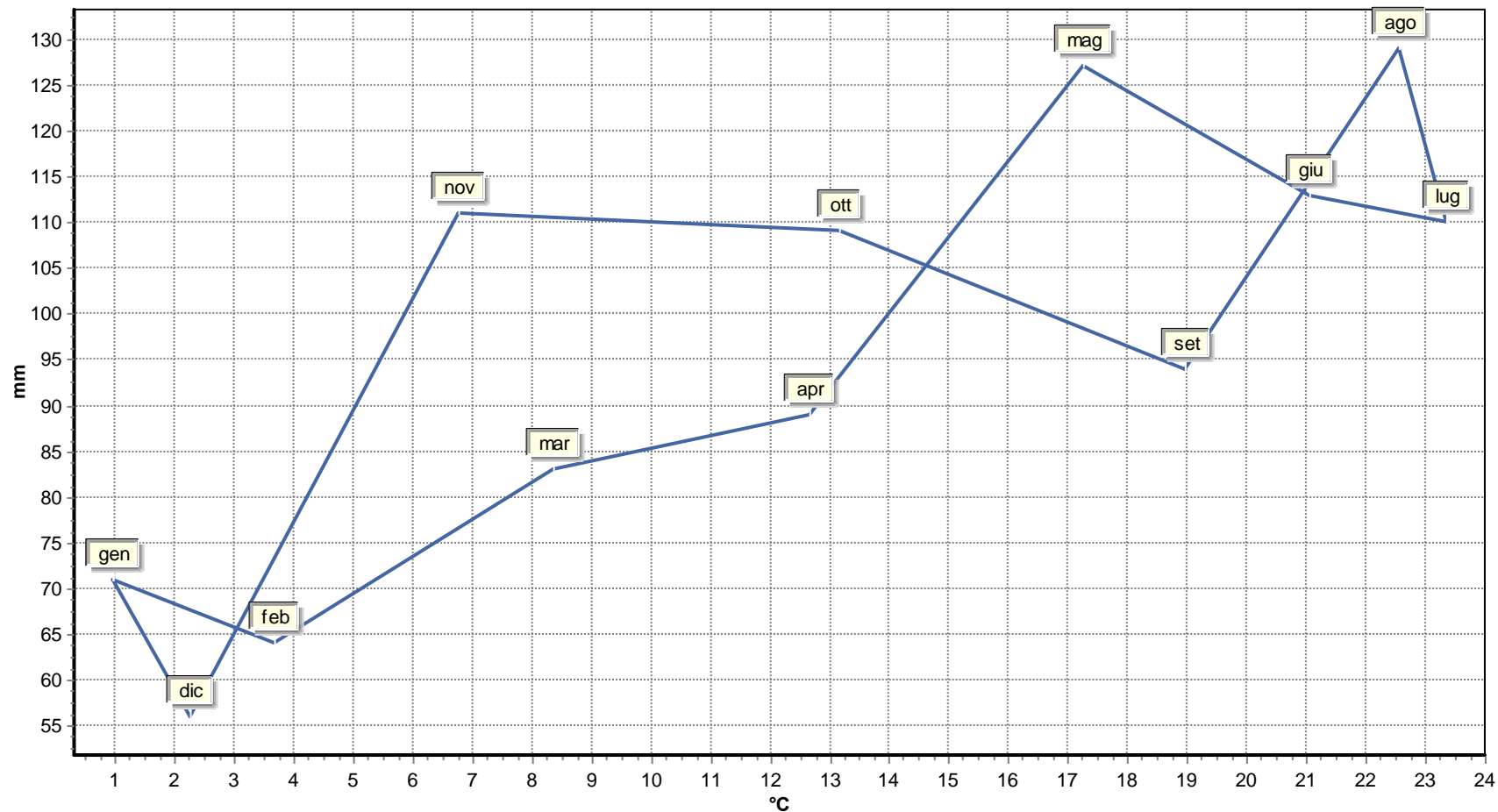
6. Diagramma Ombrotermico



7. Diagramma Walter & Lieth

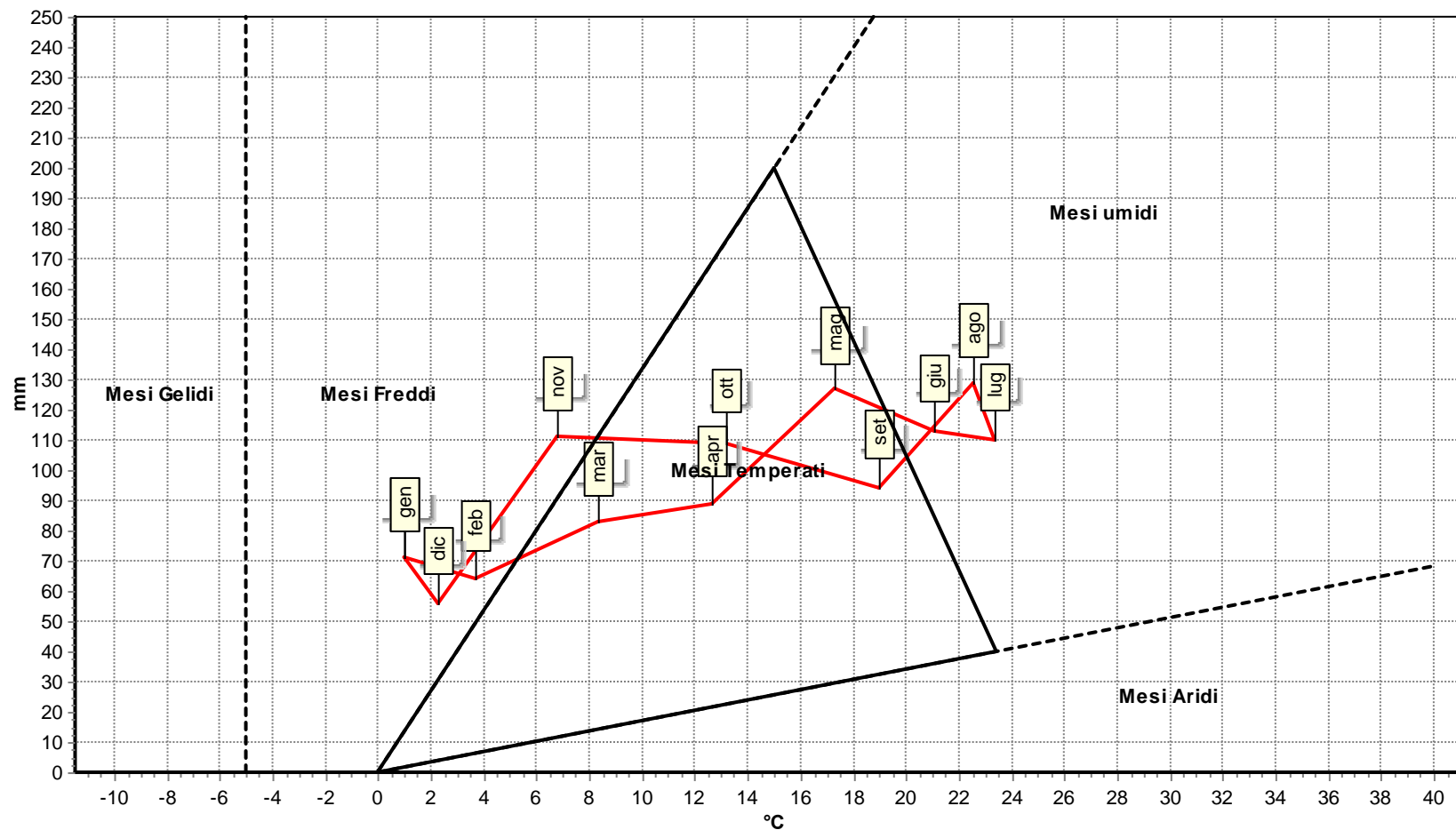


8. Climogramma Precipitazioni e Temperature





9. Climogramma di Peguy





**COMUNE:**  
Scaldasole

**PROVINCIA:**  
PV

## ***DIAGRAMMI CLIMATICI***

## Sommario

1. Dati del Comune.....	3
2. Indici.....	4
3. Diagramma Pluviometrico .....	6
4. Diagramma Termometrico.....	7
5. Diagramma Termopluviometrico.....	8
6. Diagramma Ombrotermico .....	9
7. Diagramma Walter & Lieth .....	10
8. Climogramma Precipitazioni e Temperature .....	11
9. Climogramma di Peguy .....	12

**1. Dati del Comune**

<b>Comune di</b>	Scaldasole
<b>Provincia</b>	PV
<b>Altitudine [m]</b>	86
<b>Latitudine</b>	45,1268
<b>Longitudine</b>	8,9107
<b>Temperatura Massima Annuale [°C]</b>	34,55
<b>Temperatura Minima Annuale [°C]</b>	-9,05

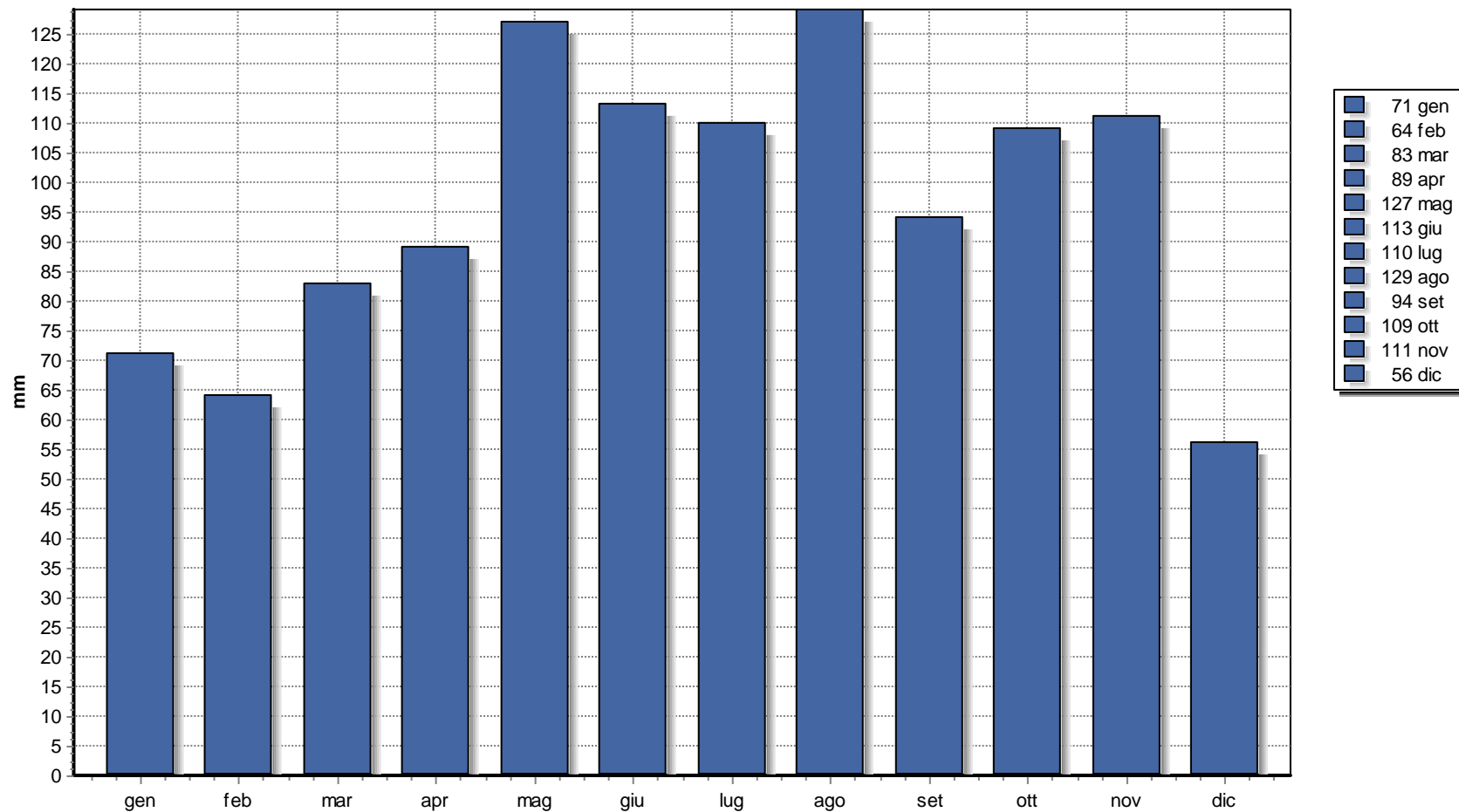
I dati climatici sono stati acquisiti dalla Norma UNI 10349 e sono relativi ad un periodo minimo di 30 anni.

## 2. Indici

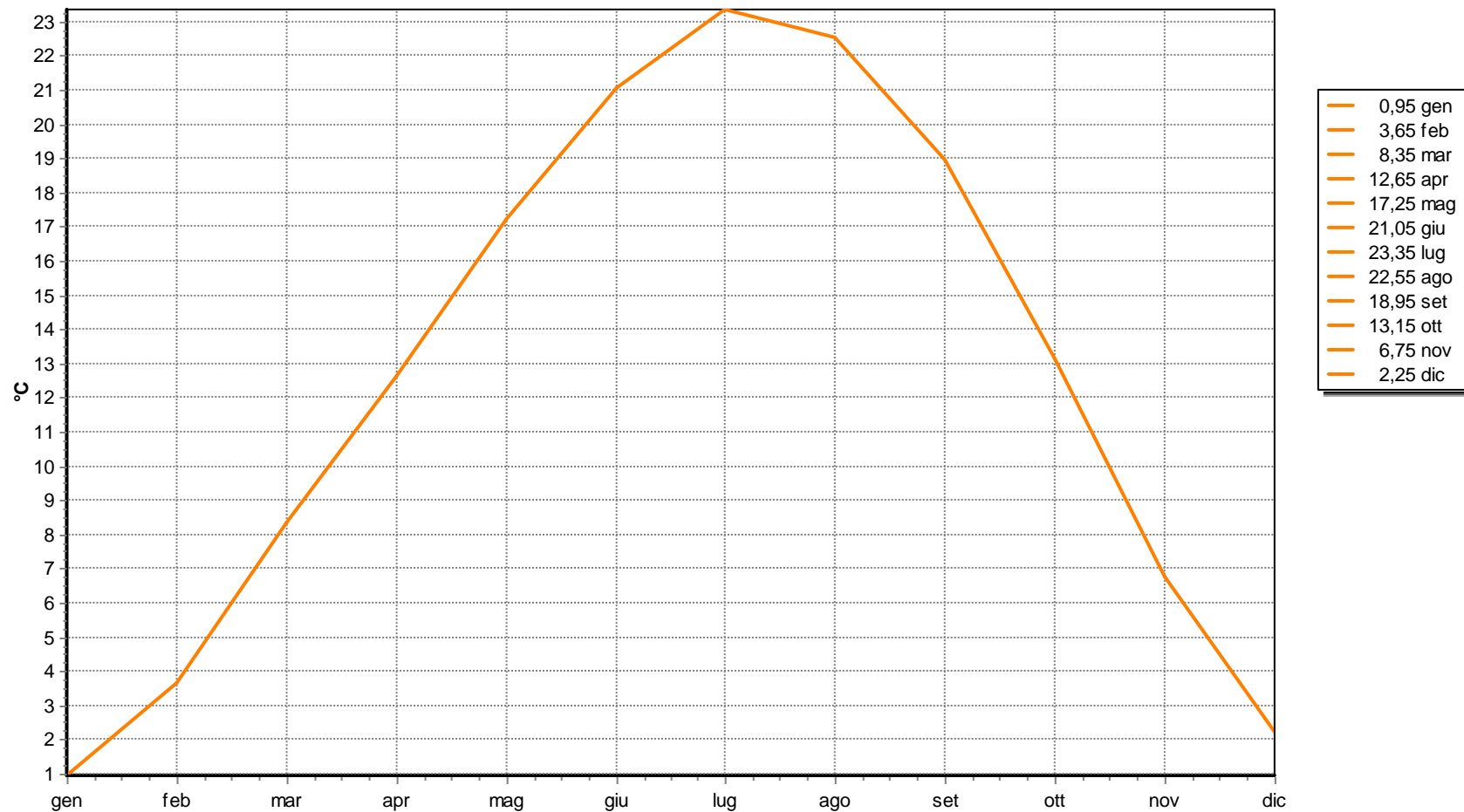
<b>Precipitazioni [mm]:</b>	Totale:	1156
	Media:	96,54
<b>Temperatura Media [°C]</b>	12,62	
<b>Indice di Continentalità di Gams</b>	4° 15'	
<b>Indice di Fournier</b>	14,40	
<b>Evaporazione Idrologica di Keller [mm]</b>	594,10	
<b>Pluviofattore di Lang</b>	91,60	
<b>Indice di Amann</b>	651,28	
<b>Mesi Aridi:</b>	Secondo Koppen:	
	Secondo Gaussen:	
<b>Indice di De Martonne</b>	51,11	
<b>Indice di De Martonne-Gottmann</b>	52,98	
<b>Indice di Aridità di Crowther</b>	73,95	
<b>Indice Bioclimatico di J.L. Vernet</b>	0,42	
<b>Indice FAO</b>	1,87	
<b>Evaporazione Media mensile [mm]</b>	100,87	
<b>Quoziente Pluviometrico di Emberger</b>	126,66	
<b>Indice di Continentalità di Currey</b>	1,40	
<b>Indice di Continentalità di Conrad</b>	39,73	
<b>Indice di Continentalità di Gorczynski</b>	33,33	
<b>Evapotraspirazione Reale di Turc [mm]</b>	530,88	
<b>Evapotraspirazione Reale di Coutagne [mm]</b>	635,38	
<b>Indici di Rivas-Martinez:</b>	Continentalità [°C]:	22,40
	Termicità:	144,20 ± 29,00
	Ombrotermico Annuale:	7,66
	Ombrotermico Estivo:	5,26
<b>Indici di Mitrakos:</b>	SDS (Summer Drought Stress):	100,95
	WCS (Winter Cold Stress):	-23,55
	YDS (Year Drought Stress):	287,50
	YCS (Year Cold Stress):	17,40

[C°]	gen	feb	mar	apr	mar	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Temperature	0,95	3,65	8,35	12,65	17,25	21,05	23,35	22,55	18,95	13,15	6,75	2,25
Massime	3,85	7,65	13,35	18,35	23,25	27,15	29,75	28,55	24,55	17,55	9,95	4,85
Minime	-2,05	-0,45	3,35	7,05	11,35	14,95	17,05	16,45	13,45	8,65	3,55	-0,35
Massime Estreme	11,15	15,95	21,25	25,05	30,05	32,65	34,55	33,75	30,55	24,55	16,75	11,25
Minime Estreme	-9,05	-8,05	-2,95	0,95	5,15	9,55	11,85	11,05	6,85	1,75	-3,25	-6,45
[mm]	gen	feb	mar	apr	mar	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Precipitazioni	71	64	83	89	127	113	110	129	94	109	111	56
Indice di Angot	8,66	8,64	10,12	11,22	15,49	14,24	13,42	15,73	11,85	13,29	13,99	6,83
Indice di De Martonne (mensile)	77,81	56,26	54,28	47,15	55,93	43,67	39,58	47,56	38,96	56,50	79,52	54,86
Stress di Mitrakos (idrico)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Stress di Mitrakos (termico)	96,40	83,60	53,20	23,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,80	51,60	82,80

### 3. Diagramma Pluviometrico

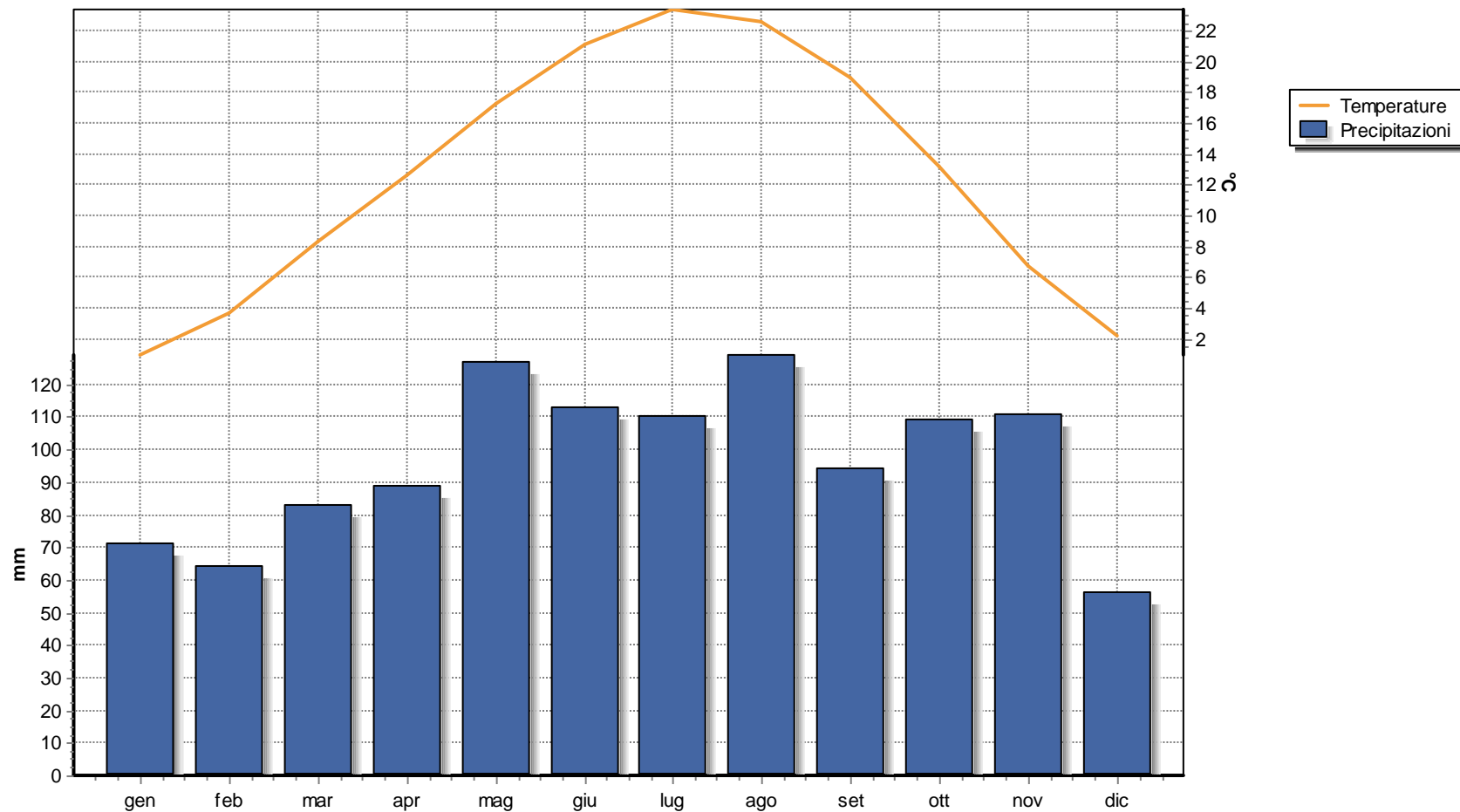


4. Diagramma Termometrico

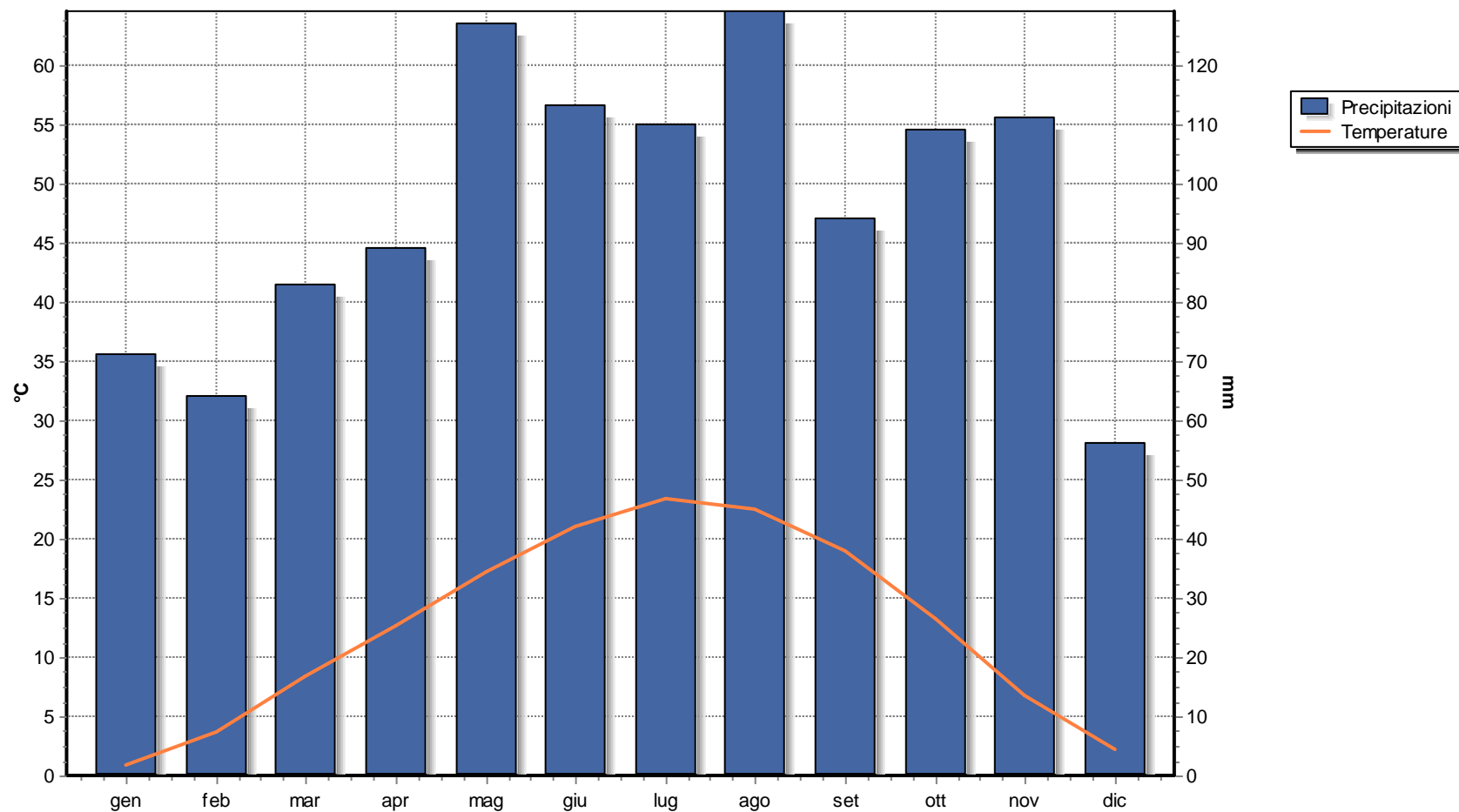




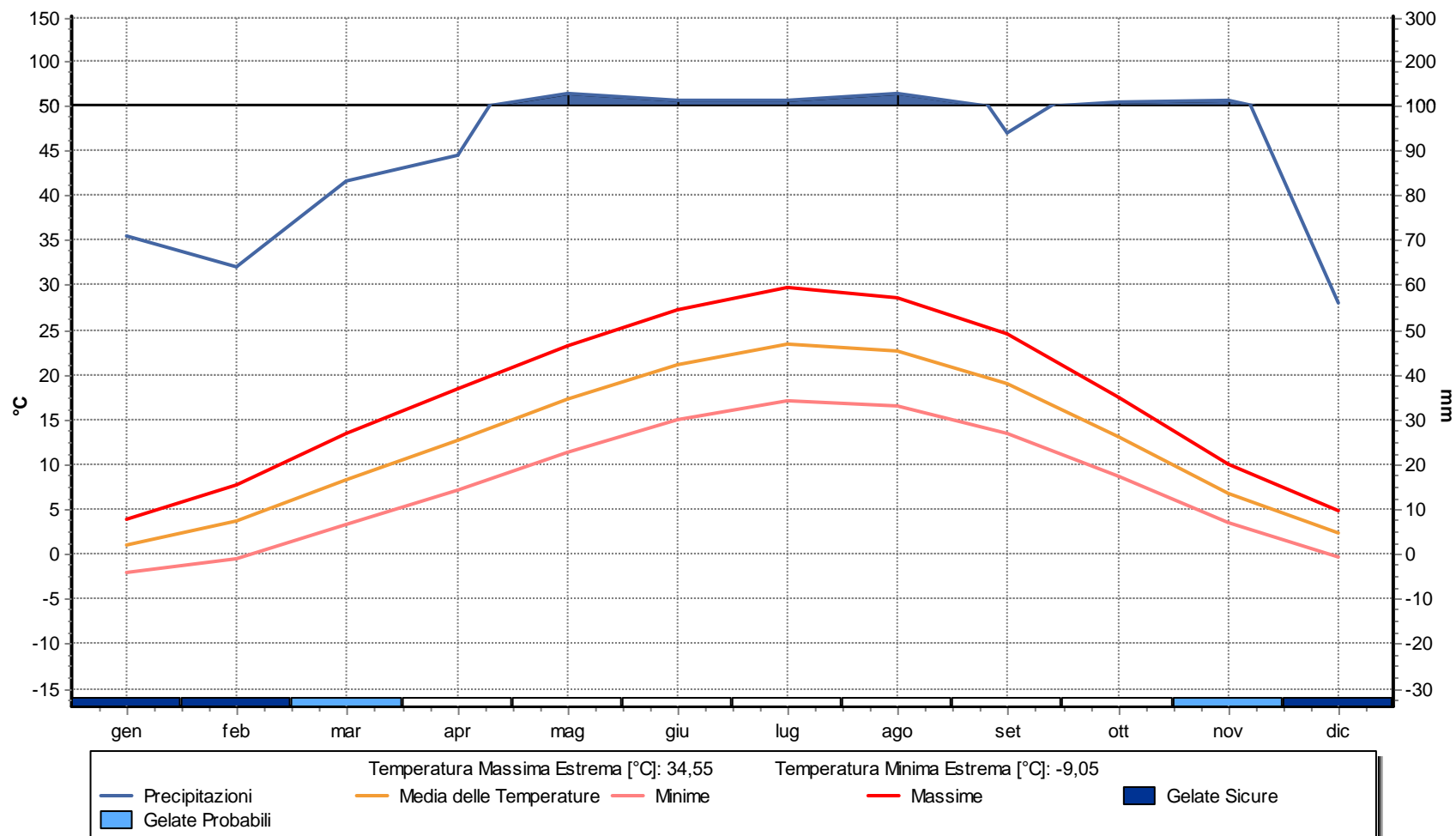
5. Diagramma Termopluviometrico



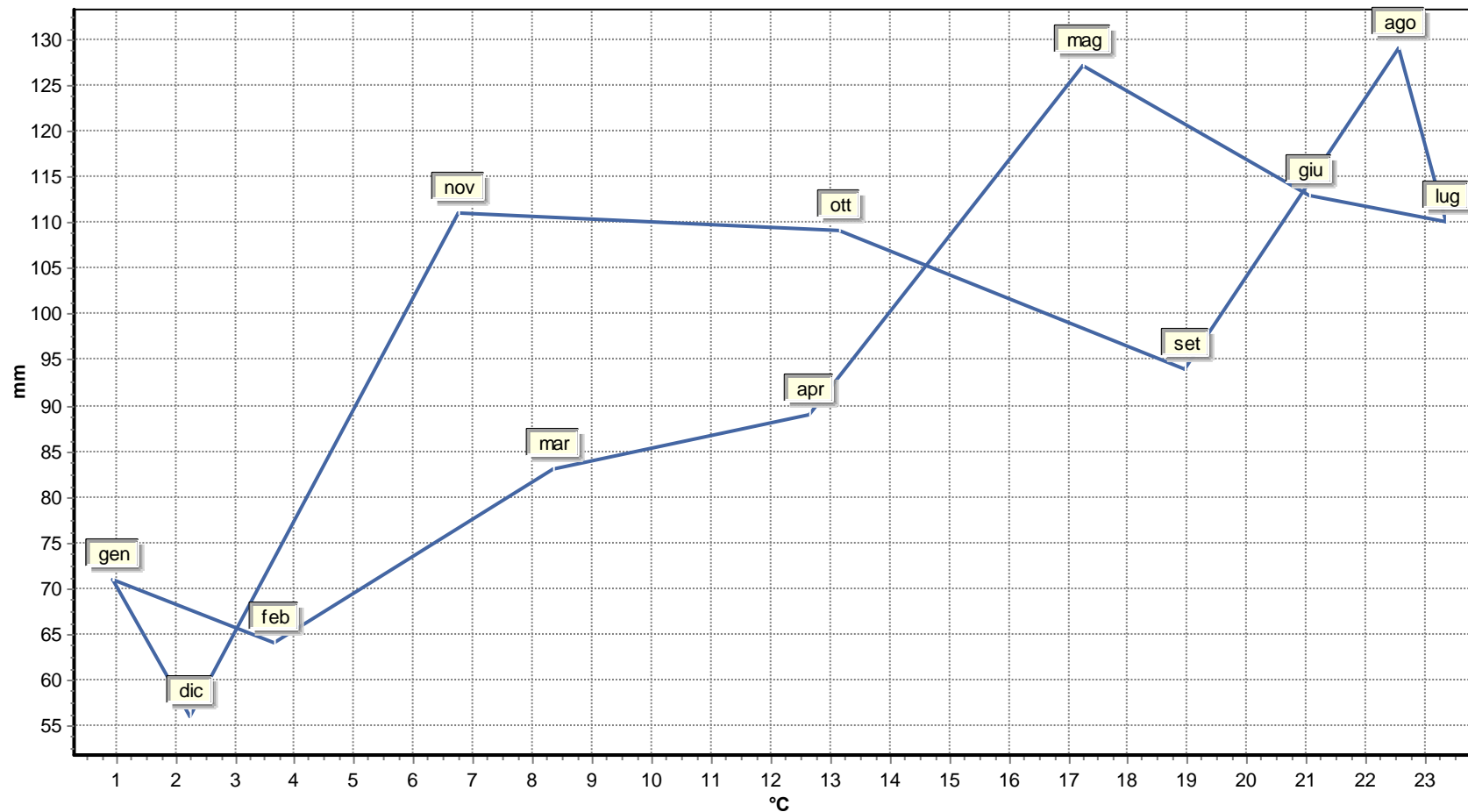
6. Diagramma Ombrotermico



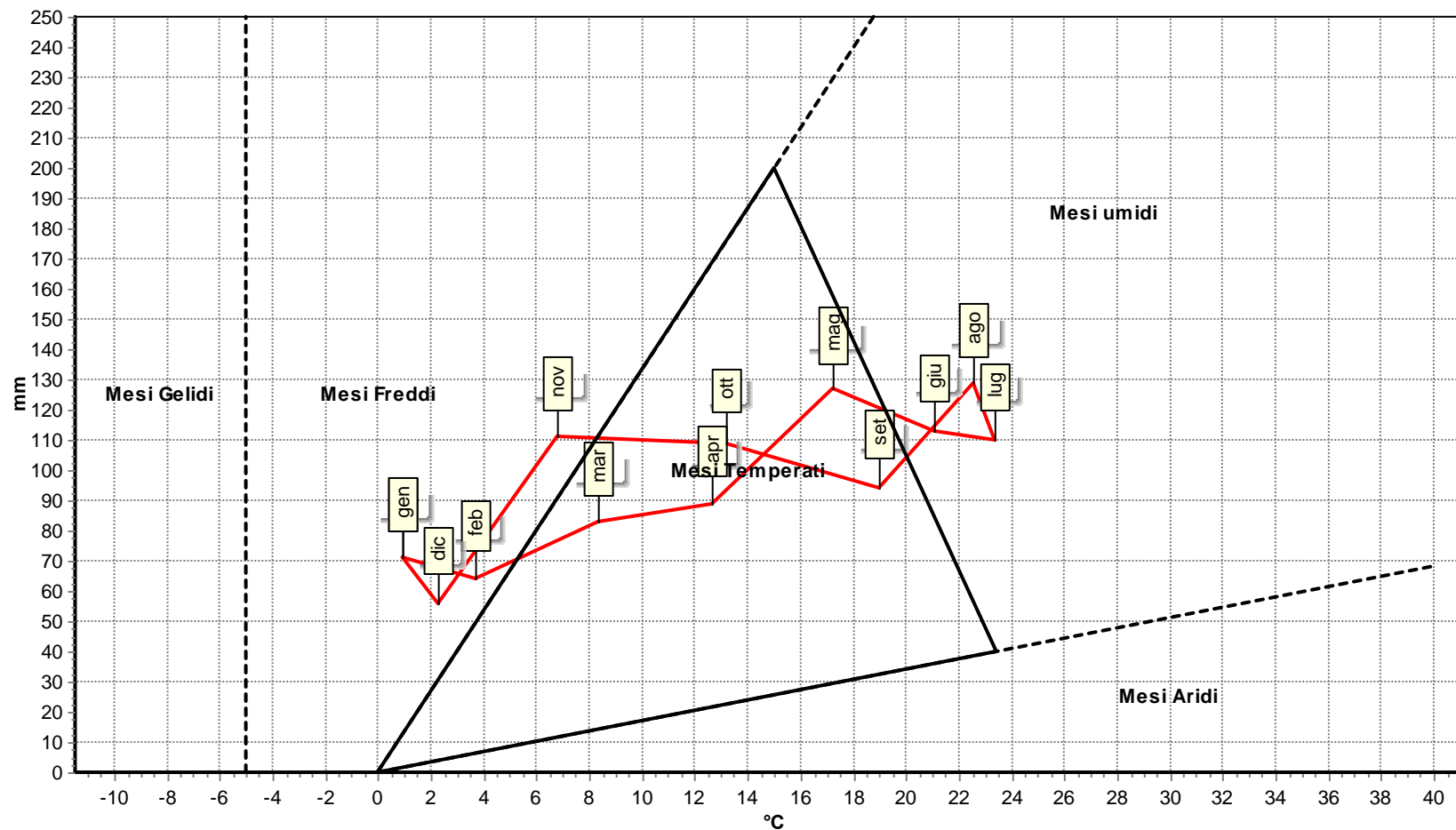
7. Diagramma Walter & Lieth



8. Climogramma Precipitazioni e Temperature



## 9. Climogramma di Peguy





**COMUNE:**  
Dorno

**PROVINCIA:**  
PV

## ***DIAGRAMMI CLIMATICI***

## Sommario

1. Dati del Comune.....	3
2. Indici.....	4
3. Diagramma Pluviometrico.....	6
4. Diagramma Termometrico.....	7
5. Diagramma Termopluviometrico.....	8
6. Diagramma Ombrotermico.....	9
7. Diagramma Walter & Lieth.....	10
8. Climogramma Precipitazioni e Temperature.....	11
9. Climogramma di Peguy.....	12

## 1. Dati del Comune

<b>Comune di</b>	Dorno
<b>Provincia</b>	PV
<b>Altitudine [m]</b>	90
<b>Latitudine</b>	45,1569
<b>Longitudine</b>	8,9538
<b>Temperatura Massima Annuale [°C]</b>	34,53
<b>Temperatura Minima Annuale [°C]</b>	-9,07

I dati climatici sono stati acquisiti dalla Norma UNI 10349 e sono relativi ad un periodo minimo di 30 anni.

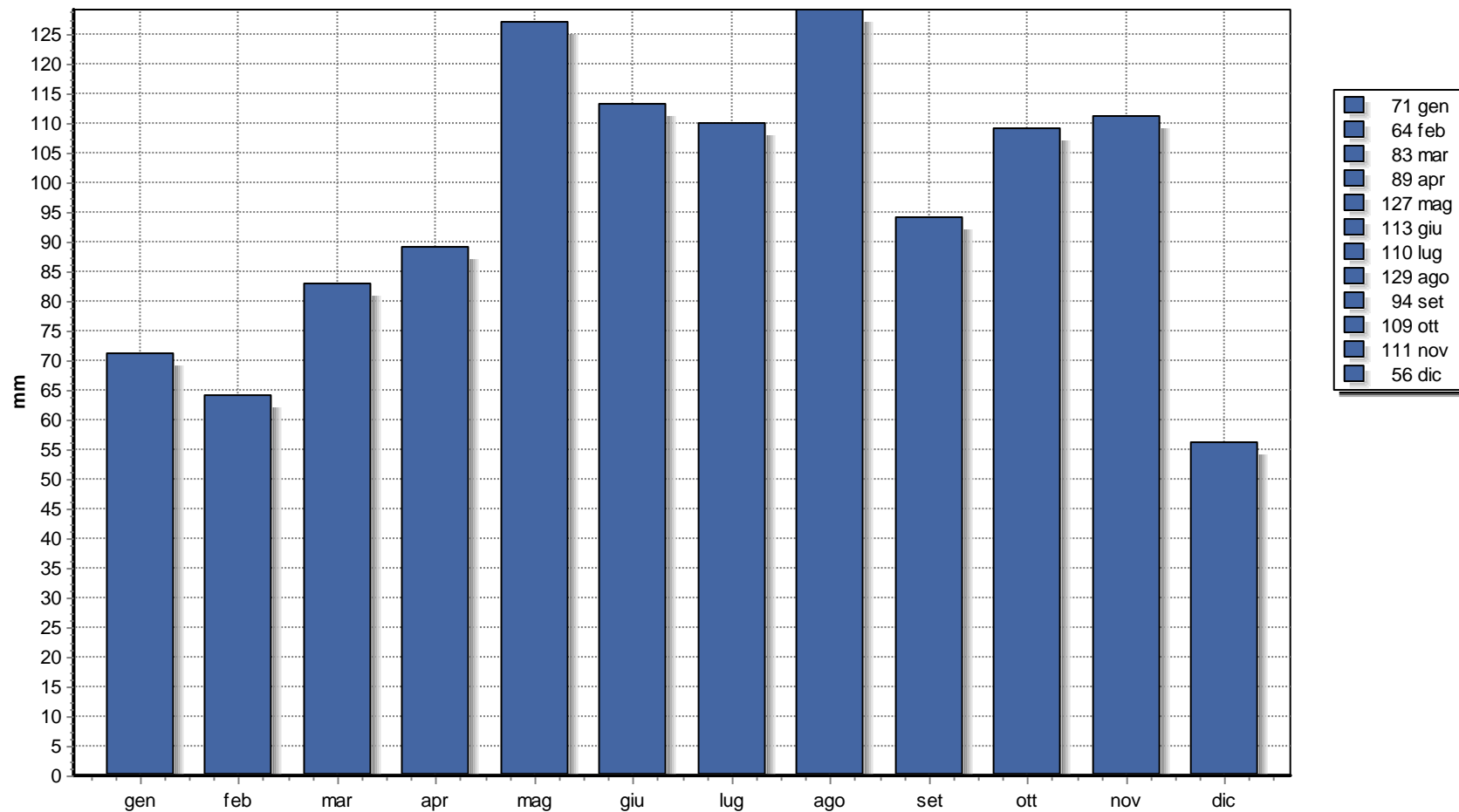


## 2. Indici

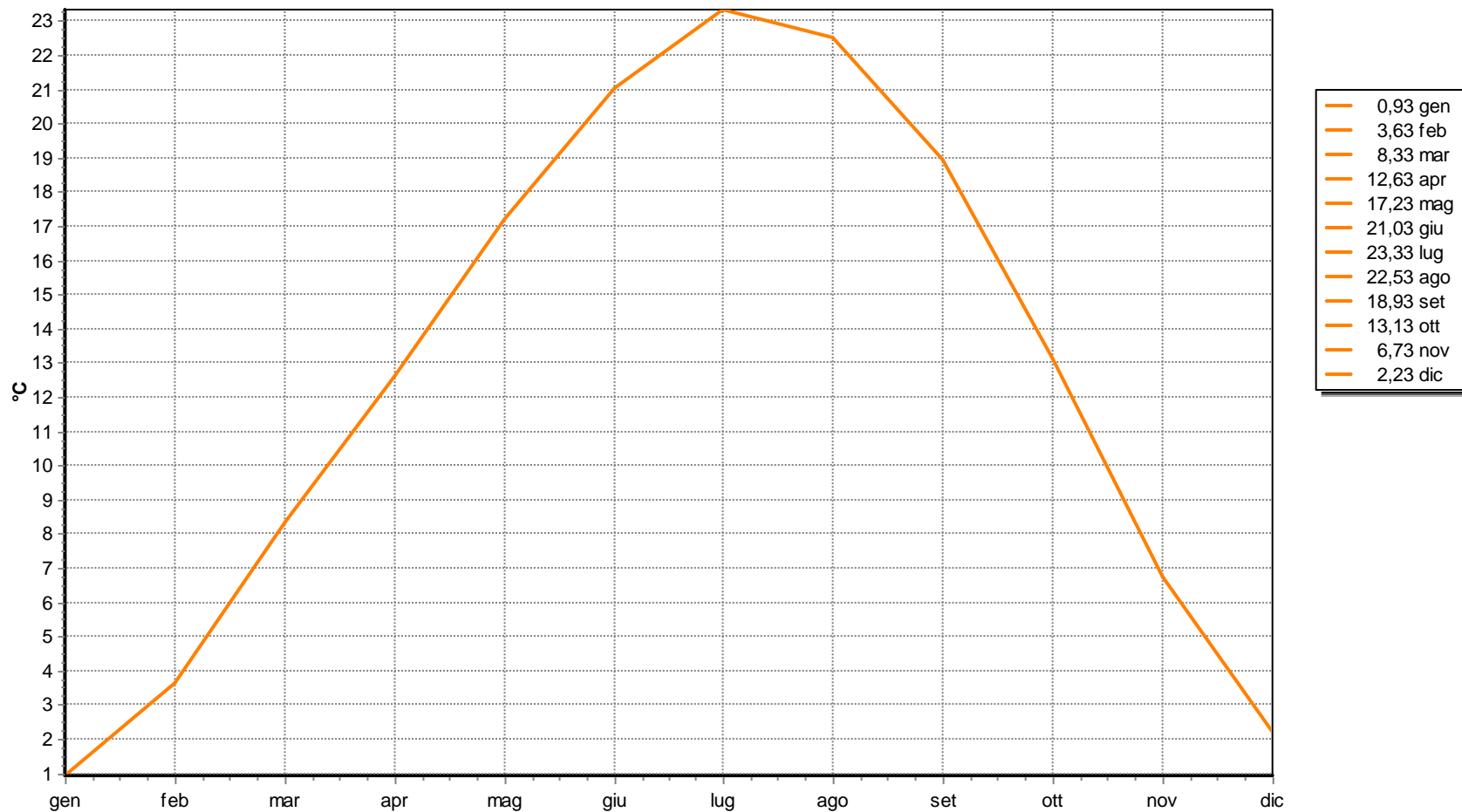
<b>Precipitazioni [mm]:</b>	Totale:	1156
	Media:	96,54
<b>Temperatura Media [°C]</b>	12,60	
<b>Indice di Continentalità di Gams</b>	4° 27'	
<b>Indice di Fournier</b>	14,40	
<b>Evaporazione Idrologica di Keller [mm]</b>	594,10	
<b>Pluviofattore di Lang</b>	91,75	
<b>Indice di Amann</b>	650,25	
<b>Mesi Aridi:</b>	Secondo Koppen:	
	Secondo Gaussen:	
<b>Indice di De Martonne</b>	51,15	
<b>Indice di De Martonne-Gottmann</b>	53,05	
<b>Indice di Aridità di Crowther</b>	74,02	
<b>Indice Bioclimatico di J.L. Vernet</b>	0,42	
<b>Indice FAO</b>	1,87	
<b>Evaporazione Media mensile [mm]</b>	100,63	
<b>Quoziente Pluviometrico di Emberger</b>	126,67	
<b>Indice di Continentalità di Currey</b>	1,40	
<b>Indice di Continentalità di Conrad</b>	39,71	
<b>Indice di Continentalità di Gorczynski</b>	33,31	
<b>Evapotraspirazione Reale di Turc [mm]</b>	530,31	
<b>Evapotraspirazione Reale di Coutagne [mm]</b>	634,81	
<b>Indici di Rivas-Martinez:</b>	Continentalità [°C]:	22,40
	Termicità:	143,60 ± 29,00
	Ombrotermico Annuale:	7,67
	Ombrotermico Estivo:	5,26
<b>Indici di Mitrakos:</b>	SDS (Summer Drought Stress):	100,89
	WCS (Winter Cold Stress):	-23,61
	YDS (Year Drought Stress):	287,26
	YCS (Year Cold Stress):	17,16

[C°]	gen	feb	mar	apr	mar	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Temperature	0,93	3,63	8,33	12,63	17,23	21,03	23,33	22,53	18,93	13,13	6,73	2,23
Massime	3,83	7,63	13,33	18,33	23,23	27,13	29,73	28,53	24,53	17,53	9,93	4,83
Minime	-2,07	-0,47	3,33	7,03	11,33	14,93	17,03	16,43	13,43	8,63	3,53	-0,37
Massime Estreme	11,13	15,93	21,23	25,03	30,03	32,63	34,53	33,73	30,53	24,53	16,73	11,23
Minime Estreme	-9,07	-8,07	-2,97	0,93	5,13	9,53	11,83	11,03	6,83	1,73	-3,27	-6,47
[mm]	gen	feb	mar	apr	mar	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Precipitazioni	71	64	83	89	127	113	110	129	94	109	111	56
Indice di Angot	8,66	8,64	10,12	11,22	15,49	14,24	13,42	15,73	11,85	13,29	13,99	6,83
Indice di De Martonne (mensile)	77,95	56,35	54,34	47,19	55,97	43,70	39,60	47,59	38,99	56,55	79,62	54,95
Stress di Mitrakos (idrico)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Stress di Mitrakos (termico)	96,56	83,76	53,36	23,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,96	51,76	82,96

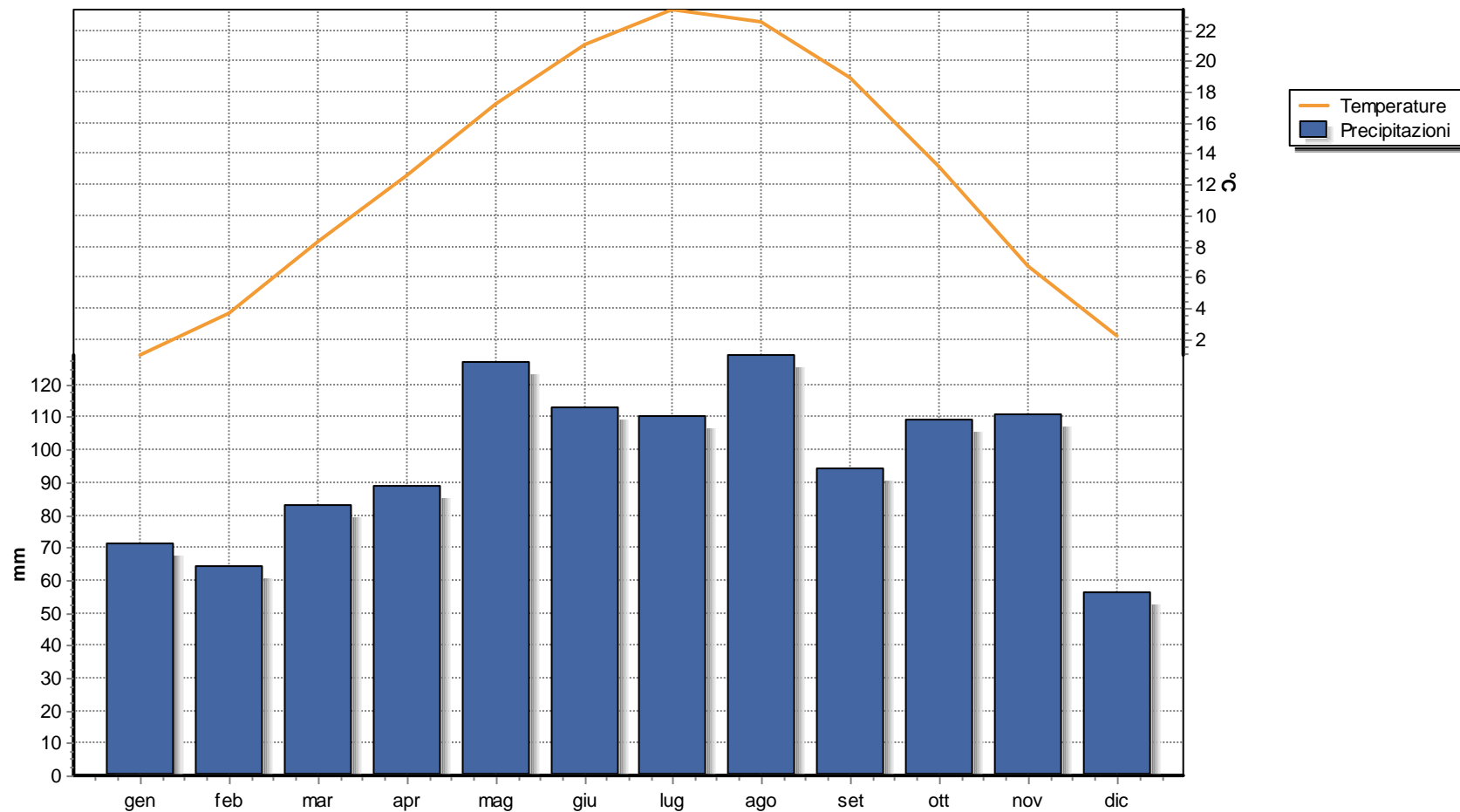
### 3. Diagramma Pluviometrico



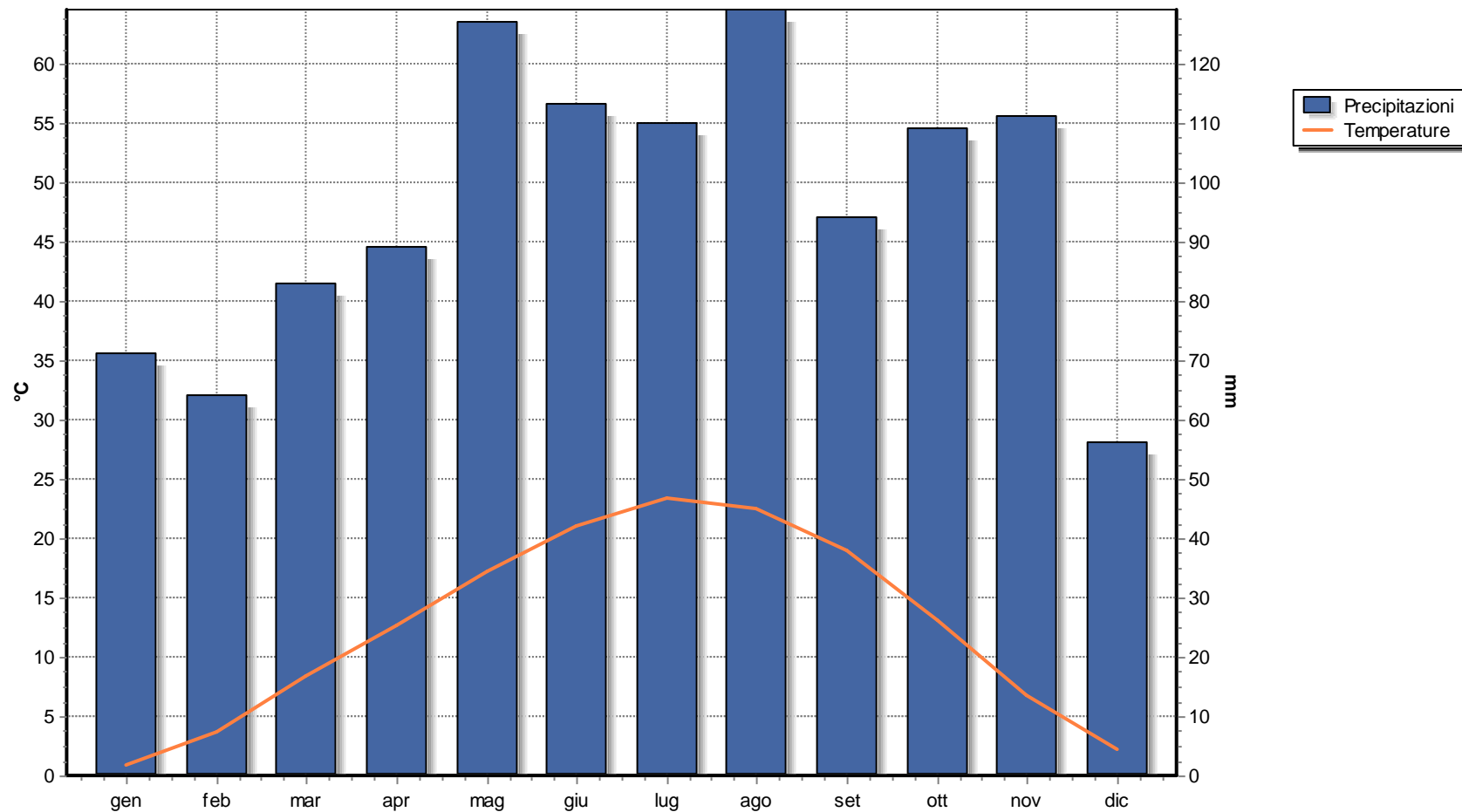
4. Diagramma Termometrico



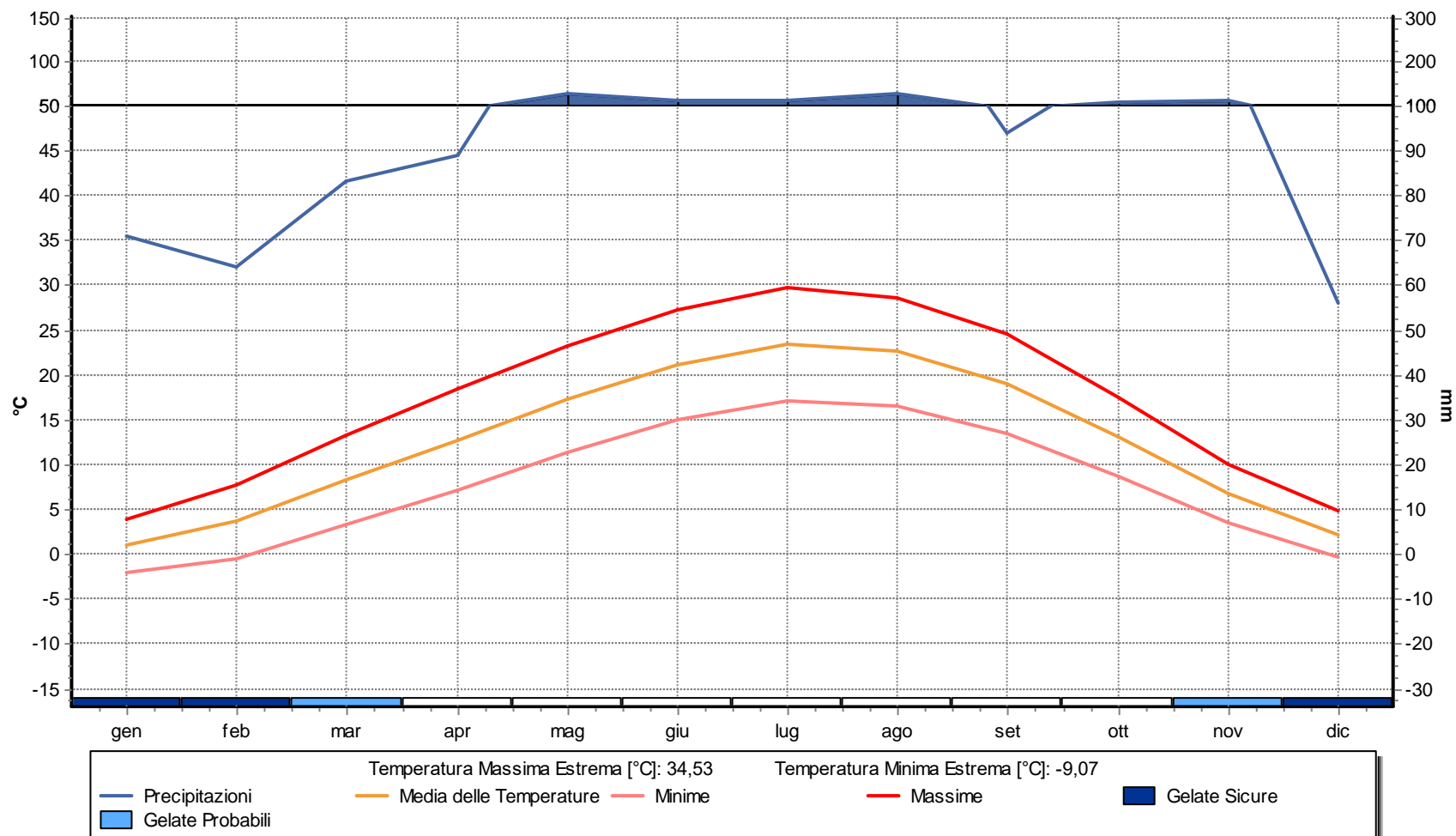
5. Diagramma Termopluviometrico



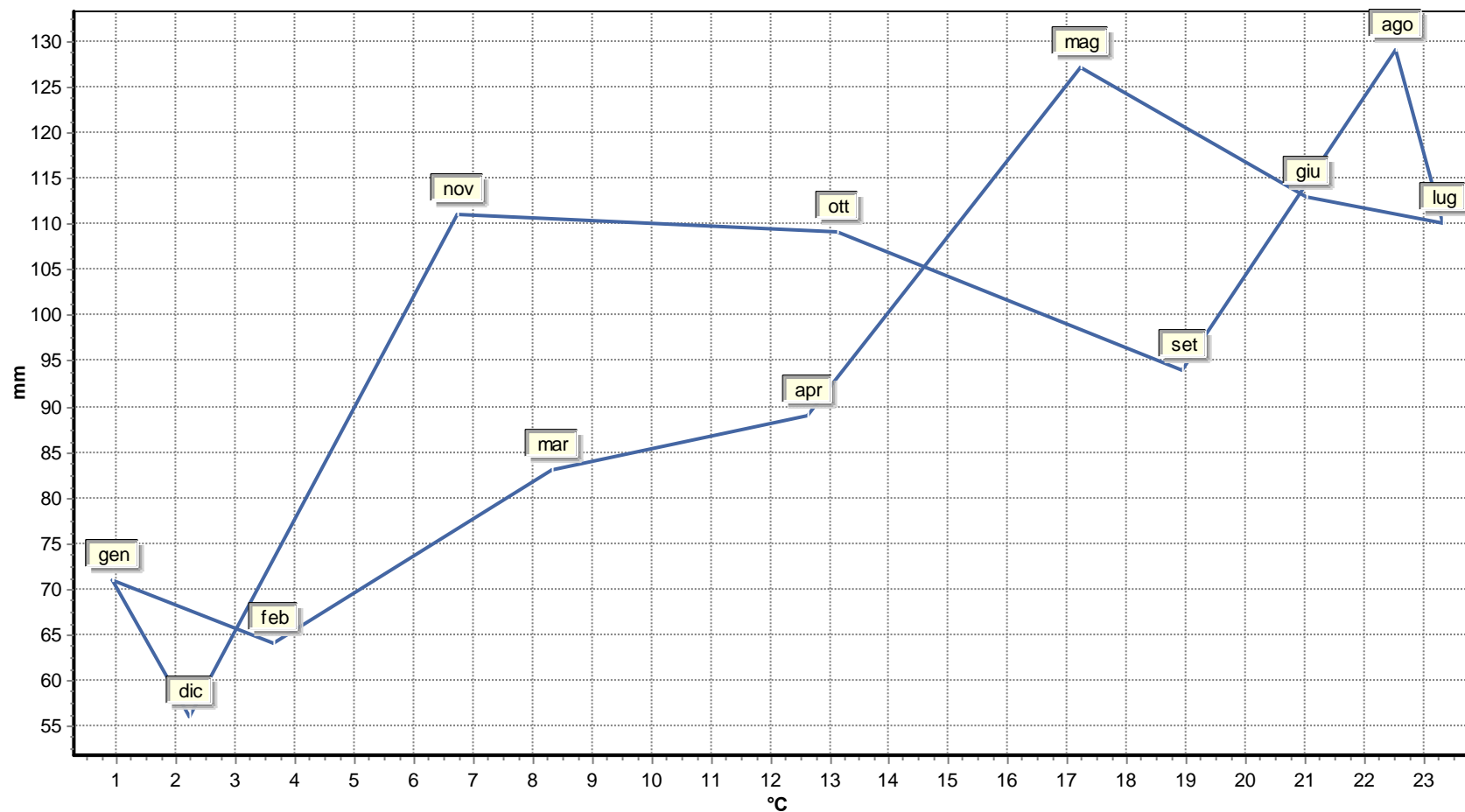
6. Diagramma Ombrotermico



7. Diagramma Walter & Lieth



## 8. Climogramma Precipitazioni e Temperature





## 9. Climogramma di Peguy

