



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA
PROVINCIA DI SASSARI
Comuni di:



Buddusò



Pattada

REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO NEI COMUNI DI
BUDDUSÒ E PATTADA COSTITUITO DA 12 AEROGENERATORI DI
6,6 MW CIASCUNO E POTENZA COMPLESSIVA PARI A 79,2 MW

VALUTAZIONE D'IMPATTO AMBIENTALE

TITOLO:

RELAZIONE IDROLOGICA E IDROGEOLOGICA

COMMITENTE:

AME ENERGY S.r.l.

Via Pietro Cossa, 5
29122 Milano (MI)

PROGETTISTI:

Studio di Ingegneria – Progettazione e coordinamento
Dott. Ing. Sandro Balloi
Via Monsignor Virgilio, 39
08040 Arzana (OG)

Prof. Geol. Alfonso Russi
Via Friuli, 5
06034 Foligno (PG)



PROFESSIONISTI:

Prof. Geol. Alfonso Russi



Dott. Geol. Raffaele Di Ceglie



Rev.	n. Documento	Fg/Fgg	Scala	Redatto	Verificato	Approvato	Data
00	2370A 60360	1/115	NA	Dott. Geol. Raffaele Di Ceglie	Prof. Geol. A. Russi	Dott. Ing. S. Balloi	MAG 2024

INDICE

1	PREMESSA	1
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	2
3	CARATTERISTICHE CLIMATICHE.....	5
3.1	Dati termopluviometrici	5
3.1.1	Comune di Pattada	5
3.1.2	Comune di Buddusò	8
3.2	Bilancio idrologico	11
3.2.1	Comune di Pattada	11
3.2.2	Comune di Buddusò	12
4	CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE	13
4.1	Aree esondabili.....	33
4.2	Dissesto idrogeologico	35
5	CARATTERISTICHE IDROLOGICHE	41
5.1	Calcolo della portata di massima piena	43
6	CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE	47
6.1	Vulnerabilità degli acquiferi.....	57
7	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	64
8	BIBLIOGRAFIA E WEBREFERENCE	65
8.1	BIBLIOGRAFIA	65
8.2	WEBREFERENCE	66

1 PREMESSA

La Ame Energy S.r.l., con sede a Milano (MI) in Via Cossa n.5, ha affidato agli scriventi l'incarico di eseguire delle analisi idrologiche e idrogeologiche nell'area d'intervento per la realizzazione di un impianto eolico nei Comuni di Pattada e Buddusò (SS).

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 dei progettisti, 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 ha portato alla redazione del Piano di Gestione delle Acque distrettuale con le azioni necessarie per il raggiungimento del buono stato ambientale dei corpi idrici, superficiali e sotterranei, previsto dalla direttiva al 2015. 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 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 provoca sulla circolazione idrica sotterranea.

Nelle NTC18 (Norme Tecniche per le Costruzioni – D.M. 17/01/2018), si fa riferimento anche alla componente idrogeologica, richiamando la necessità della ricostruzione dei caratteri idrogeologici del territorio. La circolare esplicativa specifica che la caratterizzazione e la modellazione geologica del sito devono fornire 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. Considerazioni conclusive.

Allegati:

- Analisi climatica.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La Sardegna è un'isola del mar Mediterraneo occidentale ed è lambita a Nord dalle acque delle Bocche di Bonifacio, che la separano dalla Corsica. Ad Ovest è bagnata dal Mar di Sardegna, mentre ad Est dal Mar Tirreno. A Sud, le acque del Canale di Sardegna si interpongono tra l'isola e le coste settentrionali del continente africano.

Il territorio si presenta prevalentemente collinare (67,9%). Le porzioni di pianura occupano una superficie del 18,5% rispetto all'estensione totale, con la massima pianura dell'isola che è rappresentata dalla piana del Campidano. Le montagne (13,6% dell'intero territorio) raggiungono le massime elevazioni tra le cime del Massiccio del Gennargentu.

L'altitudine media può essere calcolata intorno ai 380 m. s.l.m. e solo il 15% del territorio supera la quota dei 1.500 m. s.l.m. Nella porzione Nord dell'isola si erge il granitico monte Limbara che, con la punta Balistreri, raggiunge i 1.359 m. s.l.m. Le cime più elevate si trovano nel massiccio del Gennargentu, con punta La Marmora che raggiunge la quota di 1.834 m. s.l.m. Segue il Bruncu Spina con i suoi 1.829 m. s.l.m., il monte Spada (1.595 m. s.l.m.) e, più a Sud, il monte Serpeddì (1.069 m. s.l.m.). Nel Supramonte di Oliena la cima più elevata è rappresentata dal monte Corrasì, che raggiunge 1.463 m. s.l.m. Segue il monte Fumai, nel Supramonte di Orgosolo, con i suoi 1.316 m. s.l.m. e punta Solitta (1.206 m. s.l.m.).

I diversi caratteri, sia naturali che umani della Sardegna, formano un mosaico multicolore che visto da lontano appare come piuttosto uniforme, ma che a uno sguardo approfondito appare invece ricchissimo di particolari inaspettati.

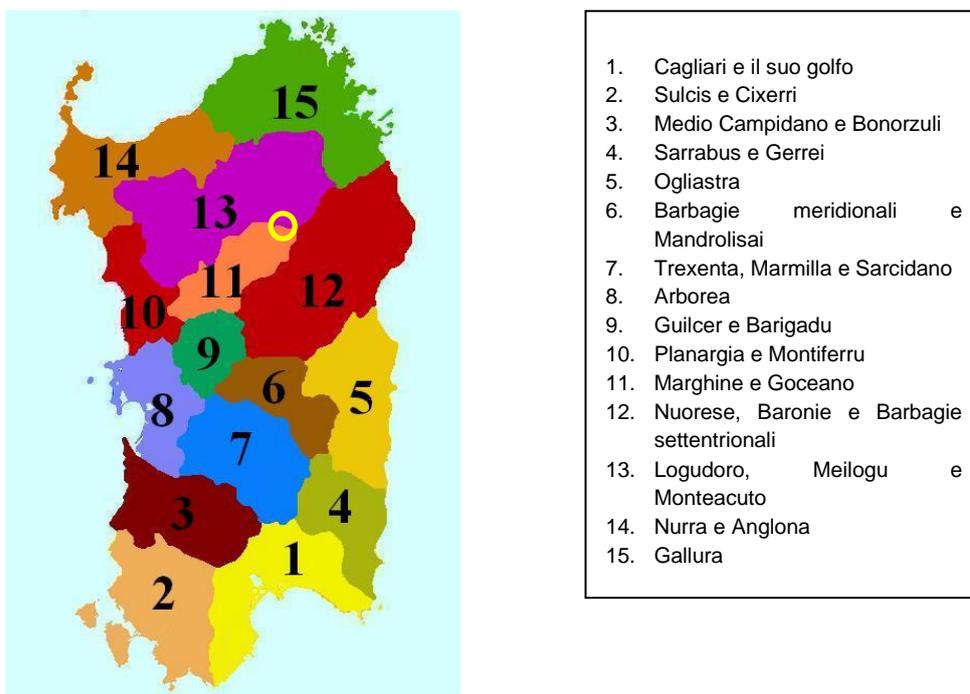


Figura 2-1. Regioni della Sardegna. In giallo, l'areale di studio.

I comuni di Buddusò (700 m. s.l.m.) e di Pattada (828 m. s.l.m.) si trovano al confine meridionale della provincia di Sassari ed hanno una superficie complessiva rispettivamente di 217 km² e 165 km². Dal punto di vista orografico, i paesi sono situati all'interno dell'omonimo altopiano di Buddusò che ingloba a Nord parte dei territori di Alà dei Sardi e si spinge verso il territorio di Oschiri, a Sud comprende parte dei più alti territori dell'agro di Bitti e di Osidda.

Essi appartengono all'antico territorio del Logudoro¹ e più precisamente alla regione storica del Monteacuto².

L'area che ospiterà l'impianto in progetto ricade nei territori dei Comuni di Pattada (SS) e Buddusò (SS), da cui dista rispettivamente circa 6 km a N-NO rispetto all'abitato di Pattada e 6 km a E-NE da Buddusò. Essa è posta a circa 2 km a SE di Osidda (NU), a circa 9 km a S-SO da Nule (SS) e Benetutti (SS) e a circa 17 km a SE da Bitti (NU).

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

- Lago di Lerno a N;
- S.S. 389 a E;
- S.P. 15 a S
- S.S. 128 a O.

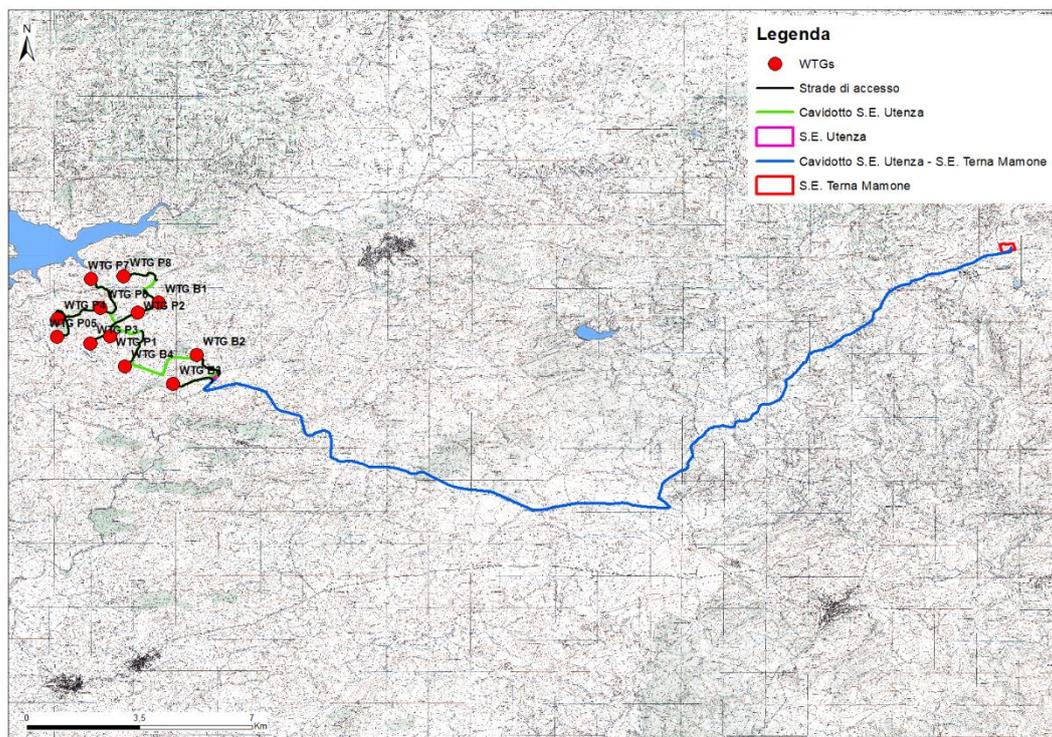


Figura 2-2. Inquadramento cartografico da CTR 1: 25.000.

¹ Il Logudoro (Logudòro/u in sardo, Loggudoru in sassarese, Logudor in algherese, Locudoru in gallurese) è un vasto territorio della Sardegna centro-settentrionale dai confini incerti. Oggi occupa buona parte di quello che, nel Medioevo, costituiva l'antico Giudicato di Torres.

² Il suo territorio corrisponde in massima parte ai territori pianeggianti che a partire dal monte Santo, che segna il confine col Meilogu, arrivano fin quasi ad Olbia (isola amministrativa di Berchiddeddu e parte del territorio di Loiri Porto San Paolo), comprendendo la vallata a sud del Limbara. L'unica zona realmente montuosa è quella a sud-est, corrispondente pressappoco al territorio di Pattada col monte Lerno e all'altopiano di Buddusò.

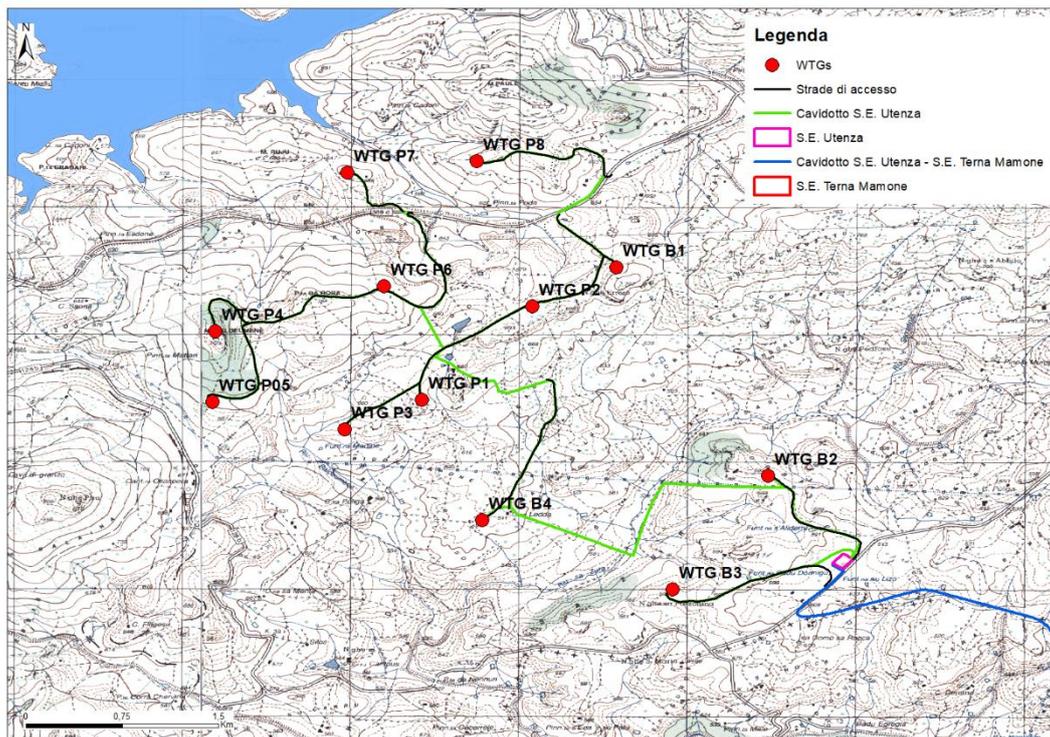


Figura 2-3. Inquadramento cartografico di dettaglio da CTR 1: 25.000.

Le Coordinate Geografiche, corrispondenti al centro degli aerogeneratori, e i rispettivi Fogli e Particelle sono riportati nella tabella sottostante.

n° Aerogeneratore	Latitudine	Longitudine	Altimetria (m. s.l.m.)	Comune	Foglio	Particella
WTG P1	40.554302	9.181172	656	PATTADA	55	18
WTG P2	40.560938	9.18892	680	PATTADA	55	6
WTG P3	40,552204	9,175775	639	PATTADA	55	54
WTG P4	40.559260	9.16696	792	PATTADA	50	78
WTG P5	40.554549	9.166149	715	PATTADA	55	14
WTG P6	40.562550	9.177981	733	PATTADA	51	53
WTG P7	40.570400	9.175946	660	PATTADA	51	12
WTG P8	40.571180	9.185017	703	PATTADA	51	9
WTG B1	40.563694	9.194829	689	BUDDUSO'	43	19
WTG B2	40.548919	9.205250	608	BUDDUSO'	56	147
WTG B3	40.540209	9.199312	590	BUDDUSO'	56	142
WTG B4	40.545827	9.185304	609	BUDDUSO'	56	70

Tabella 2-1. Localizzazione dei lotti.

La quota media dell'areale in studio è di 600 m. s.l.m.

3 CARATTERISTICHE CLIMATICHE

Il clima della Sardegna viene generalmente classificato come Mediterraneo Interno, caratterizzato da inverni miti e relativamente piovosi ed estati secche e calde. Le caratteristiche del clima sono determinate dalla presenza e disposizione dei sistemi orografici del bacino mediterraneo. La presenza di un mare chiuso relativamente poco profondo smorza gli eccessi di temperatura meno di quanto facciano gli Oceani Atlantico e Pacifico a latitudini analoghe e, allo stesso tempo, protegge parzialmente dalle intense perturbazioni tipiche di altre aree del Pianeta poste alle medesime latitudini, ma in zone continentali o lambite dagli oceani

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 ciclogenesi) 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 Pattada

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

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

G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
65	45	45	71	24	14	4	16	39	76	104	89

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	168	28
Ott-Mar	424	72

Tabella 3-2. Precipitazioni, ripartizione semestrale.

Le precipitazioni totali sono pari a 592 mm. Analizzando la distribuzione mensile delle piogge, si evidenzia un picco di piovosità in corrispondenza del mese di novembre, 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 22 °C ai minimi non inferiori ai 5°C.

G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
5,51	6,11	7,51	10,01	14,81	18,21	22,41	22,61	18,81	15,11	9,31	6,21

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.

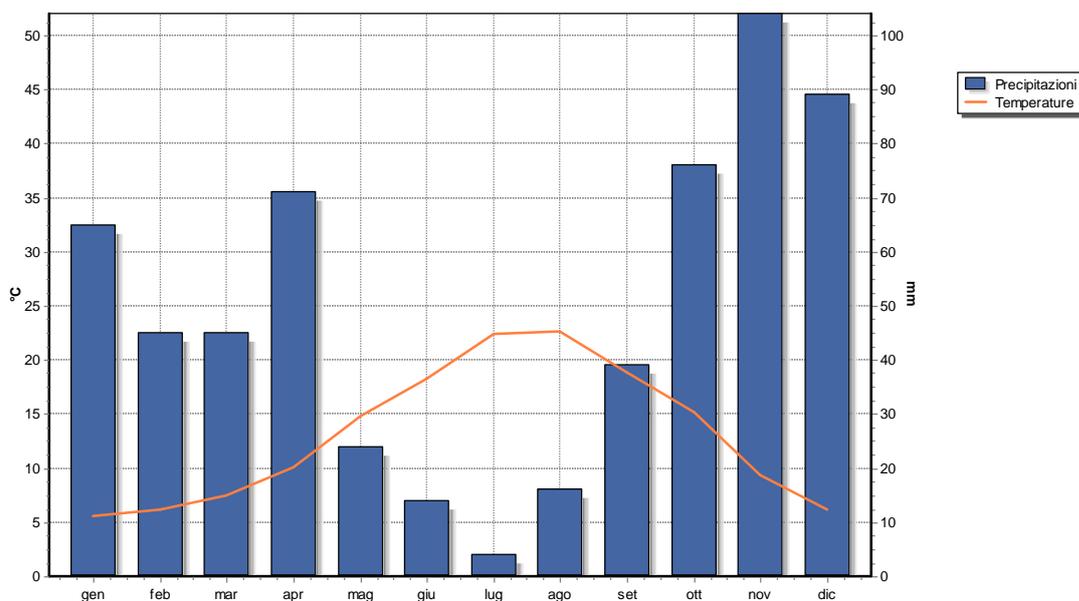


Figura 3-1. Diagramma Ombrotermico.

Dal diagramma ombrotermico si evince che i mesi definibili come "aridi" sono: maggio, 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 "caldi e aridi".

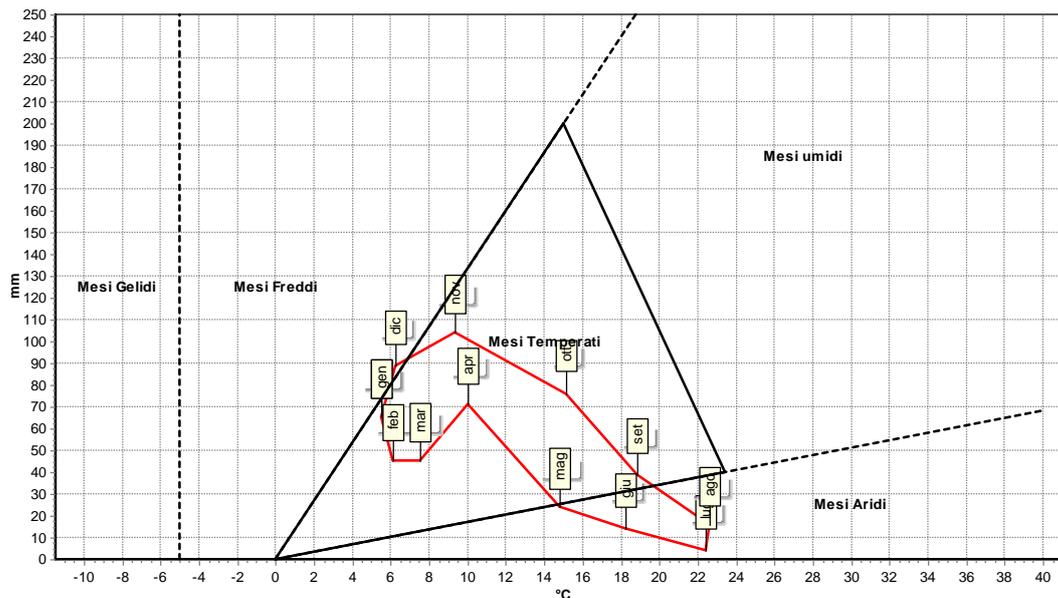


Figura 3-2. Climogramma di Peguy.

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	45,19
Indice di Fournier	18,27
Indice di Amann	453,52
Evaporazione Idrologica di Keller	528,67 mm
Mesi aridi secondo Köppen	Mag, Giu, Lug, Ago
Mesi aridi secondo Gaussen	Mag, Giu, Lug, Ago
Indice ombrotermico annuale	3,78
Indice ombrotermico estivo	0,54

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 Buddusò

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

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

G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
47	73	63	56	37	18	6	28	41	58	56	98

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	186	32
Ott-Mar	395	68

Tabella 3-6. Precipitazioni, ripartizione semestrale.

Le precipitazioni totali sono pari a 581 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 ai 5°C.

G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
5,91	6,51	7,91	10,41	15,21	18,61	22,81	23,01	19,21	15,51	9,71	6,61

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.

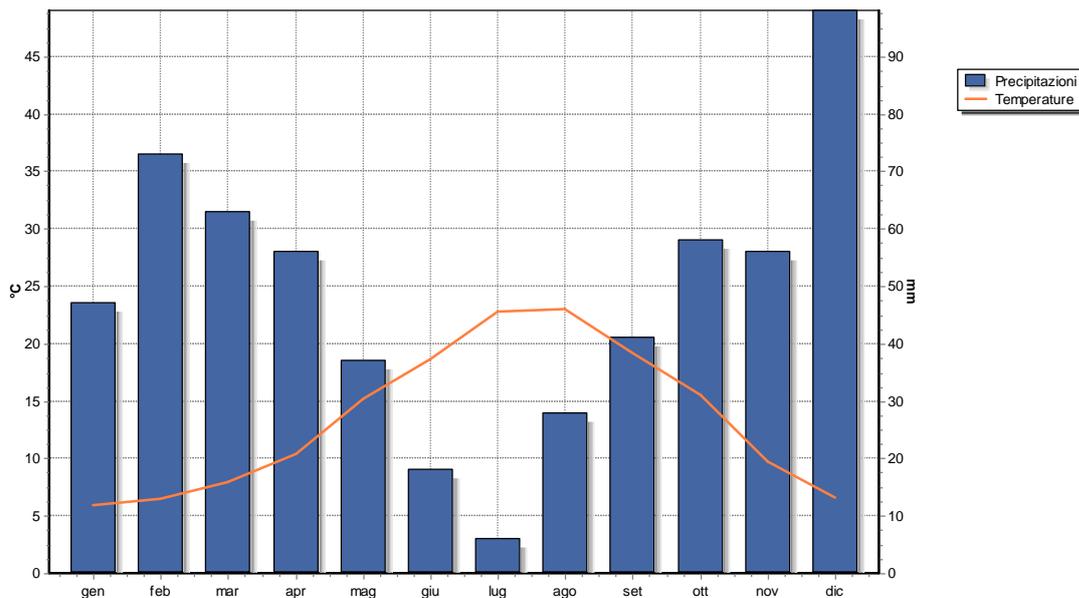


Figura 3-3. Diagramma Ombrotermico.

Dal diagramma ombrotermico si evince che i mesi definibili come “aridi” 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 “caldi e aridi”.

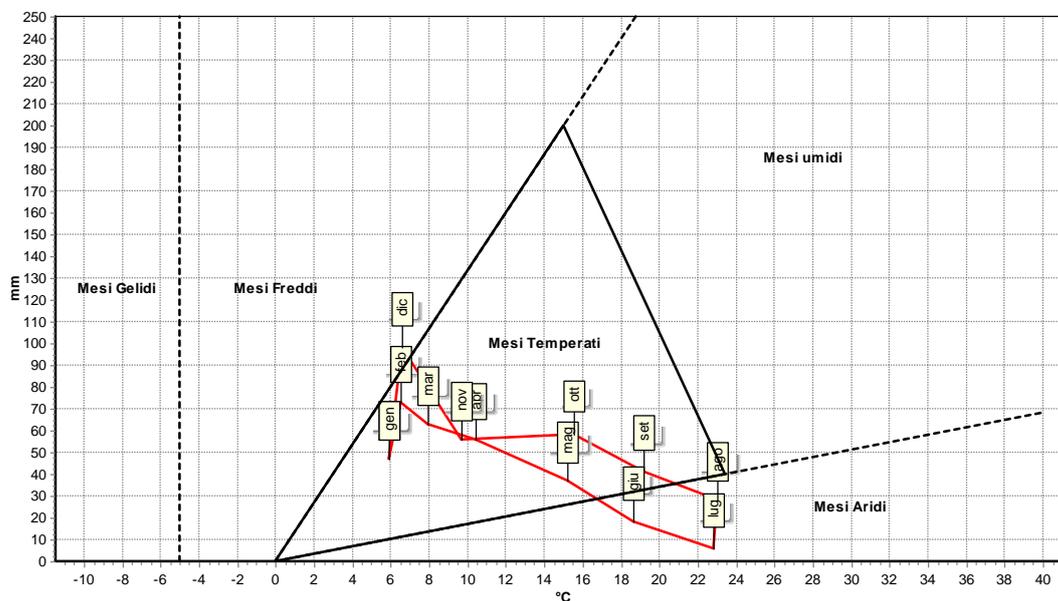


Figura 3-4. Climogramma di Peguy.

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	43,04
Indice di Fournier	16,53
Indice di Amann	458,68
Evaporazione Idrologica di Keller	527,40 mm
Mesi aridi secondo Köppen	Giu, Lug, Ago
Mesi aridi secondo Gaussen	Giu, Lug, Ago
Indice ombrotermico annuale	3,60
Indice ombrotermico estivo	0,81

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

Si rimanda agli Allegati per il report climatico completo.

3.2 Bilancio idrologico

3.2.1 Comune di Pattada

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 Pattada si evidenzia che, a fronte di 592 mm/anno di Precipitazioni, si registra un'evapotraspirazione potenziale (Etp) di ben 867,8 mm/anno. Ciò evidenzia una situazione di aridità alquanto marcata, infatti il deficit idrico (D) è di ben 459,1 mm/anno e si concentra nel periodo da aprile ad ottobre.

Anche i dati relativi all'acqua a disposizione delle piante nella zona radicale (PAW) sono d'interesse. Infatti, il quantitativo totale, che potrebbe apparire significativo con i suoi 440,8 mm/anno, è concentrato nei mesi da ottobre ad aprile, in netta contrapposizione con il marcato deficit. Il ruscellamento (R) risulta di 183,3 mm/anno.

Modello di Thornthwaite

Bilancio idrico mensile

z	0,6	m	Profondità apparato radicale
FC	0,3	m ³ /m ³	Capacità di ritenzione idrica
PWP	0,18	m ³ /m ³	Punto di appassimento
$m \times PAW = (FC - PWP) \times z$	72	mm	Acqua massima utilizzabile dalle piante

MESE	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Totale
Precipitazioni	65,0	45,0	45,0	71,0	24,0	14,0	4,0	16,0	39,0	76,0	104,0	89,0	592,0
Etp	16,7	18,9	30,8	49,1	90,9	120,4	160,9	151,3	104,6	72,3	33,0	18,9	867,8
dS	48,3	26,1	14,2	21,9	-66,9	-5,1	0,0	0,0	0,0	3,7	71,0	70,1	
PAW	72,0	72,0	72,0	72,0	5,1	0,0	0,0	0,0	0,0	3,7	72,0	72,0	440,8
AET	16,7	18,9	30,8	49,1	90,9	19,1	4,0	16,0	39,0	72,3	33,0	18,9	
R	48,3	26,1	14,2	21,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	70,1	183,3
D	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	101,4	156,9	135,3	65,6	0,0	0,0	0,0	459,1

Legenda

dS = ritenuta idrica del suolo, mm H₂O
 PAW = acqua a disposizione delle piante nella zona radicale (mm H₂O)
 AET = evapotraspirazione reale (mm H₂O)
 R = surplus; ruscellamento o drenaggio
 D = deficit idrico

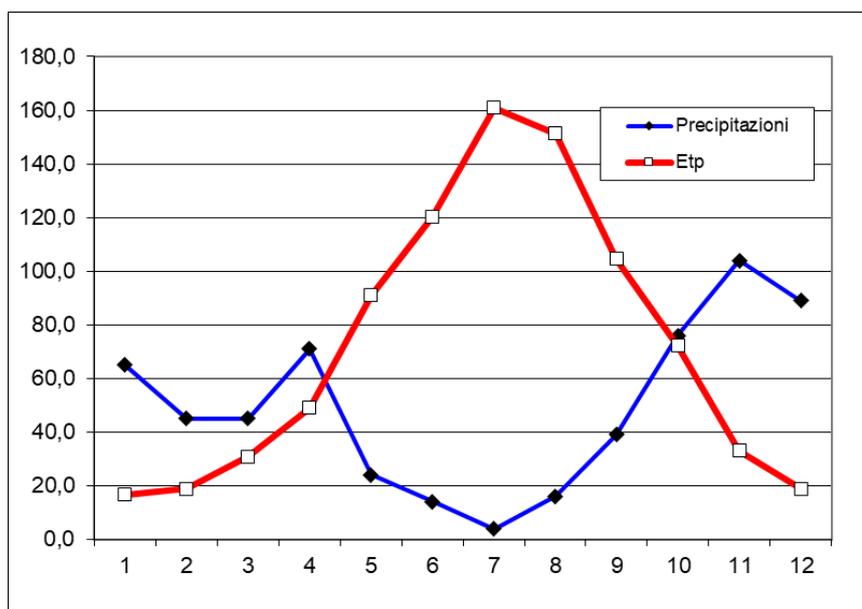


Figura 3-5. Grafico di Thornthwaite.

3.2.2 Comune di Buddusò

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 Buddusò si evidenzia che, a fronte di 581 mm/anno di Precipitazioni, si registra un'evapotraspirazione potenziale (Etp) di ben 889,3 mm/anno. Ciò evidenzia una situazione di aridità alquanto marcata, infatti il deficit idrico (D) è di ben 456,0 mm/anno e si concentra nel periodo da aprile ad ottobre.

Anche i dati relativi all'acqua a disposizione delle piante nella zona radicale (PAW) sono d'interesse. Infatti, il quantitativo totale, che potrebbe apparire significativo con i suoi 397,9 mm/anno, è concentrato nei mesi da ottobre ad aprile, in netta contrapposizione con il marcato deficit. Il ruscellamento (R) risulta di 456,0 mm/anno.

Modello di Thornthwaite

Bilancio idrico mensile

z	0,6 m	Profondità apparato radicale
FC	0,3 m ³ /m ³	Capacità di ritenzione idrica
PWP	0,18 m ³ /m ³	Punto di appassimento
mxPAW = (FC-PWP) * z	72 mm	Acqua massima utilizzabile dalle piante

MESE	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giù	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Totale
Precipitazioni	47,0	73,0	63,0	56,0	37,0	18,0	6,0	28,0	41,0	58,0	56,0	98,0	581,0
Etp	17,6	19,9	32,0	50,0	93,0	123,1	164,5	154,6	106,9	73,9	34,0	19,8	889,3
dS	29,4	53,1	31,0	6,0	-56,0	-16,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,0	78,2	
PAW	72,0	72,0	72,0	72,0	16,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,0	72,0	397,9
AET	17,6	19,9	32,0	50,0	93,0	34,0	6,0	28,0	41,0	58,0	34,0	19,8	
R	29,4	53,1	31,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	28,2	147,7
D	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	89,1	158,5	128,6	65,9	15,9	0,0	0,0	456,0

Legenda

dS = ritenuta idrica del suolo, mm H₂O
 PAW = acqua a disposizione delle piante nella zona radicale (mm H₂O)
 AET = evapotraspirazione reale (mm H₂O)
 R = surplus; ruscellamento o drenaggio
 D = deficit idrico

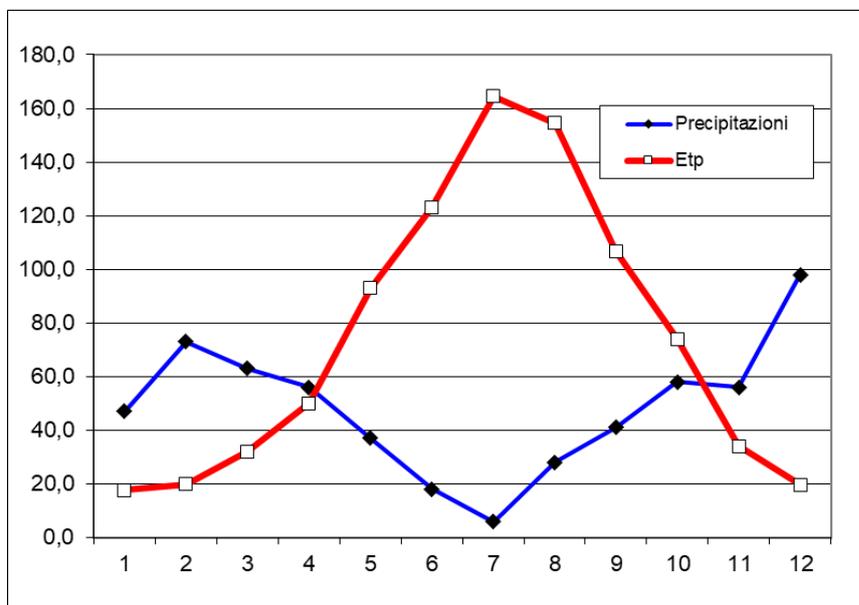


Figura 3-6. Grafico di Thornthwaite.

4 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

L'area vasta di studio rappresenta un territorio tra i più interni dell'isola; la sua stessa storia la pone in una condizione di grande inaccessibilità. La notorietà di questa zona deriva soprattutto dalla presenza delle acque termali di San Saturnino (Benetutti). L'isolamento del Logudoro, Meilogu e Monteacuto è conseguenza soprattutto della loro conformazione orografica. A meridione l'areale è circoscritto dalla catena montuosa del Monte Rasu (1259 m. s.l.m.) che si collega verso Sud-Ovest con quella del Margine, verso Nord-Est con i Monti di Alà. A meridione l'areale è separato dal Nuorese dai rilievi dell'altopiano di Nule-Bitti. Questa condizione geografica fa sì che sia aperto solamente verso sud-ovest, seguendo il corso del Fiume Tirso, poiché la valle si schiude successivamente nella piana di Ottana.

Le forme del territorio sono relativamente semplici e in esse si possono distinguere tre zone con caratteristiche differenti:

- A. zone montuose, accidentate e a forte pendio, elevatesi sia sulle zone di altopiano (M. Lerno, M. Rasu) e sia sulle maggiori depressioni vallive (la valle del Tirso e la valle dell'Isalle).
- B. zona di altopiano, con altitudini medie comprese tra i 600 e gli 800 m di quota, si estendono molto ampiamente tra Seddasa Ferula e Serra di Orotelli sul lato meridionale e la regione di Alà dei Sardi sul letto settentrionale, passando attraverso Orune, Bitti, Mamone, Buddusò, e collegandosi con la zona Pattada-Bultei.
La morfologia per lo più dolce è caratterizzata da un frequente susseguirsi di colline e depressioni. Numerose sono le vallecole a volte notevolmente incise. Le più ampie tra queste (a nord di Buddusò) sono modellate anche da depositi alluvionali.
- C. zone vallive, soprattutto l'ampia valle del Tirso con pendici molto ripide verso Ovest e lentamente degradanti verso Est. La valle ha andamento NNE-SSO sensibilmente parallela alla catena montuosa del Goceano.

Quasi tutti i centri abitati sono situati nella fascia pedemontana settentrionale, comunemente nota nel Goceano come "Costera", sufficientemente lontana dalla zona di "Su Campu" che doveva risultare paludosa e malsana.

Il paesaggio di questa zona è insolito nell'ambito dell'ambito del territorio sardo: l'ampia valle circondata, soprattutto a nord, da versanti molto acclivi che raggiungono quote elevate in brevi spazi ricorda un panorama quasi di tipo "alpino" piuttosto che insulare.

La scarpata nella parte occidentale dell'areale in esame è caratterizzata da un'ampia valle fluviale, separata da mesas e cuevas, sovradimensionate rispetto agli attuali corsi d'acqua. La piana di Chilivani è situata nella parte interna del sistema tributario del fiume Coghinas, che rappresenta il principale corso d'acqua della Sardina settentrionale.

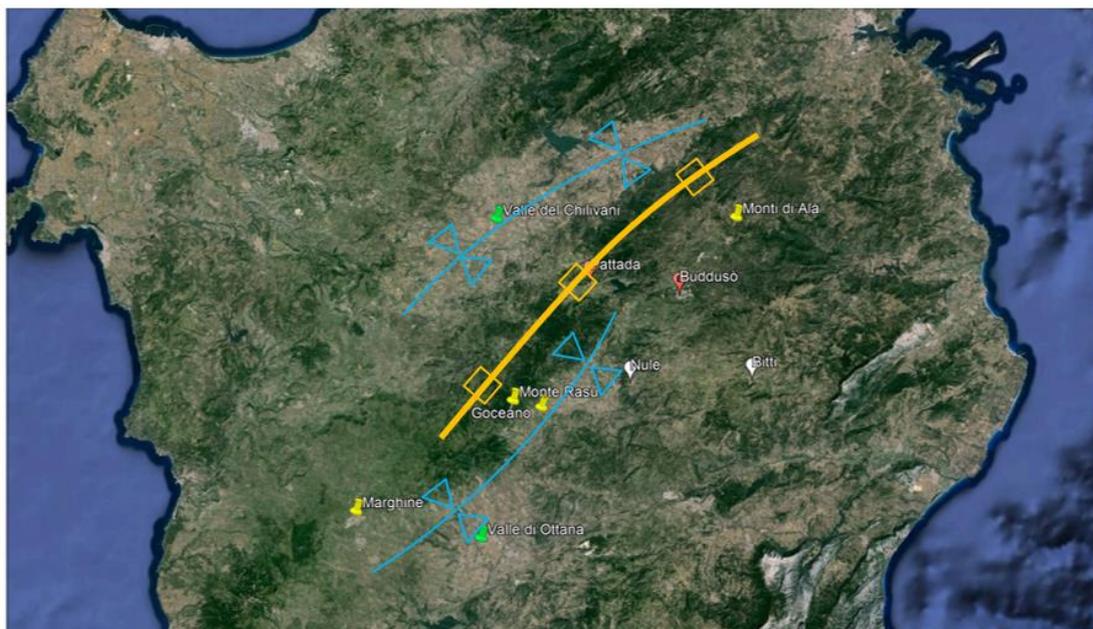


Figura 4-1. Macro zone morfologiche della macroarea di studio.

L'abitato di Pattada è diviso orograficamente da Buddusò da una dorsale (Goceano-Alà), originatasi dai movimenti differenziali dei principali blocchi tettonici.

Il reticolo idrografico delle porzioni occidentali del sistema tributario del fiume Coghinias ha subito lo sconvolgimento di periodiche emissioni vulcaniche di colate laviche basaltiche legate al ciclo anorogenico, favorendo un locale effetto di occlusione del sistema drenante.

L'area vasta rivela una sequenza piuttosto complessa di fasi morfogenetiche dal Miocene all'Olocene. Questi processi sono fortemente condizionati dai fattori climatici che modellano i bacini idrografici ed i rilievi, favorendo l'alternanza di fasi erosive e deposizionali delle valli e dei depositi alluvionali e colluviali.

La pianura chiliviana, quindi, mostra caratteri di "fossilizzazione" associati a forme di ringiovanimento. Quest'area presenta paleosuoli rubefatti, riferibili al Paleolitico e situati al di sotto della colata lavica basaltica, nonché meandri abbandonati riferibili alle ultime fasi evolutive del fiume Coghinias (OZER 1977; ULZEGA 1999).

I terrazzi fluviali sono ben sviluppati nel versante orientale del Chiliviani e testimoniano il progressivo cambiamento di direzione da nord-ovest a nord dovuto ai recenti movimenti tettonici.

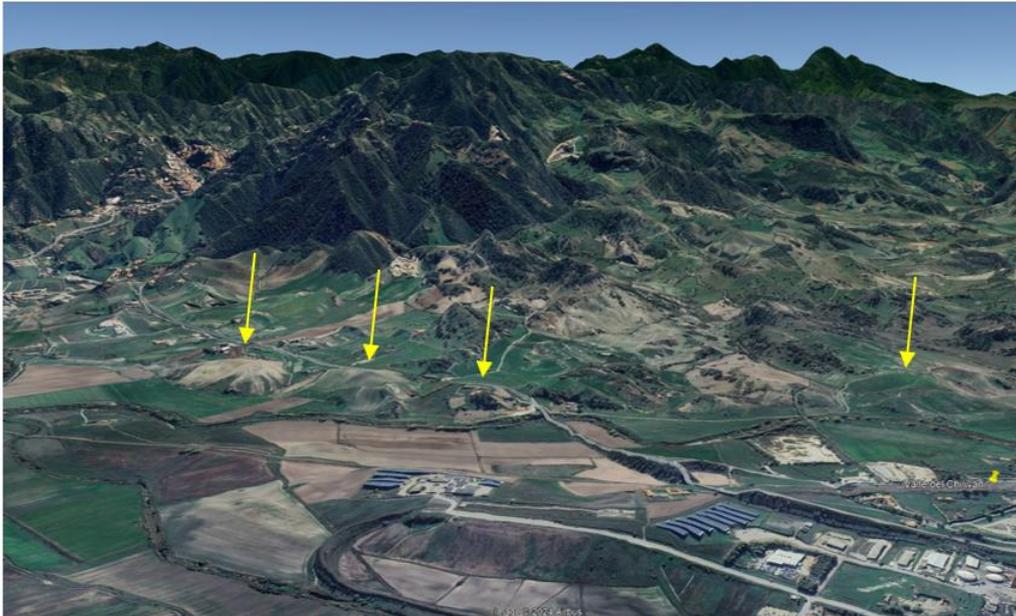


Figura 4-2. Foto satellitare con indicati alcuni terrazzi fluviali (freccie gialle) nel Chiliviani.

In particolare, i depositi plio-pleistocenici sono localmente costituiti da conglomerati con matrice argillosa e cemento siliceo o carbonatico dall'eolico all'ambiente fluviale, i suoli sviluppati su questi depositi mostrano localmente orizzonti di plintite legati a condizioni climatiche subtropicali.

I depositi fluviali pleistocenici originati dal rifacimento di coperture oligo-mioceniche come suggerito dall'elevato indice di maturità dei ciottoli conglomerati (OZER 1976, 1977).

La parte inferiore del sistema affluente del fiume Coghinas scorre su coperture mioceniche, che hanno consentito la formazione di un'ampia pianura localmente riempita da conoidi alluvionali olocenici.



Figura 4-3. Foto satellitare in cui è stata evidenziata una conoide alluvionale olocenica.

La configurazione della pianura del Goceano, fino agli inizi del Terziario, doveva risultare caratterizzata da superfici sub pianeggianti e leggermente ondulate che ben testimoniano i resti dell'antico penepiano ercinico.

Si tratta delle superfici di spianamento impostatesi sulle rocce del Paleozoico e meglio conservati sul basamento granitico che forma l'altopiano di Nule-Bitti. La superficie risulta continuamente interrotta dal reticolo idrografico impostatosi con il suo sollevamento, il penepiano è particolarmente evidente dalla sommità della catena del monte Rasu ed in prossimità degli abitati di Benetutti e Nule; tutte le cime presenti in questo settore sono chiaramente riconducibili ad un'unica ed uniforme superficie.

Nella parte pedemontana del versante orografico destro del corso del fiume Tirso, sono evidenti forme residuali tipo inselberg.



Figura 4-4. A sinistra, foto di un inselberg mammellonare (freccia rossa); a destra, foto di un inselberg piramidale.

Sono rappresentate da colline più o meno imponenti che spiccano nel paesaggio circostante per la loro forma solitamente mammellonare o piramidale; interessando unicamente le rocce del Paleozoico e risultano meglio scolpite nel basamento granitico-granodioritico. I vari inselberg, essendo situati a quote diverse, potrebbero indicare vari stadi di sollevamento del pilastro tettonico settentrionale del Goceano.

L'origine di queste forme è ascrivibile al tardo Terziario, ma forse un ulteriore modellamento si è dovuto durante il Pleistocene inferiore. Nel Pleistocene medio superiore esse devono aver subito un modellamento più modesto. L'inizio del modellamento degli inselberg al Terziario si deduce dal fatto che nei vicini altipiani nuoresi si nota una fitta incisione ed elaborazione da parte degli agenti esogeni, mentre nelle superfici riesumate dalle preesistenti coperture mesozoiche le superfici di spianamento ercinica è perfettamente conservata.

Il progredire dei processi erosivi permise l'apertura di un varco nello sbarramento vulcanico da parte delle acque del Tirso. È a questo che il Tirso iniziò a subire continue modificazioni del proprio corso, secondo uno schema abbastanza tipico, legato a motivi tettonici. La bibliografia scientifica ipotizza che il Tirso abbia ripetutamente migrato verso la parte meridionale della piana, a causa del continuo sollevamento dei versanti della catena del Monte Rasu.

Tale ipotesi è sostenuta anche dalla presenza, nel settore settentrionale della valle, di depositi di versante, che hanno obliterato le forme preesistenti, marcando il paesaggio. Infatti, importanti forme del Goceano sono i glacias d'accumulo prodotti per criopedimentazione. Sono costituiti da elementi spigolosi, eterometrici e caotici del complesso paleozoico; si trovano in una matrice brunastra e spesso pedogenizzata di materiale argilloso.



Figura 4-5. Foto satellitare ove si evincono elementi spigolosi e caotici.

Probabilmente il glacias è il prodotto di più episodi morfoclimatici, ma non è dato osservarne altri che quello più recente. Forse i prodotti precedenti l'ultimo sono stati erosi o rimaneggiati dalla forte ripresa di energia morfodinamica nelle fasi di sollevamento a loro successive.

Talvolta il deposito, sempre caratterizzato da una superficie a debole inclinazione, ha isolato delle piccole colline cupoliformi o rotondeggianti continue delle antiche alluvioni fluviali. Ciò potrebbe confortare la tesi di una preesistente superficie d'erosione su cui queste coltri possono essere scorse uniformando il paesaggio. Solo le alluvioni oloceniche non sono interessate dalla copertura del glacias.

L'età di questo glacias per analogia a quanto osservato in altre aree (FEDRICI et al., 1987; CREMASCHI & GINESU, 1990) potrebbero essere attribuito alle ultime fasi fredde che hanno interessato l'isola.

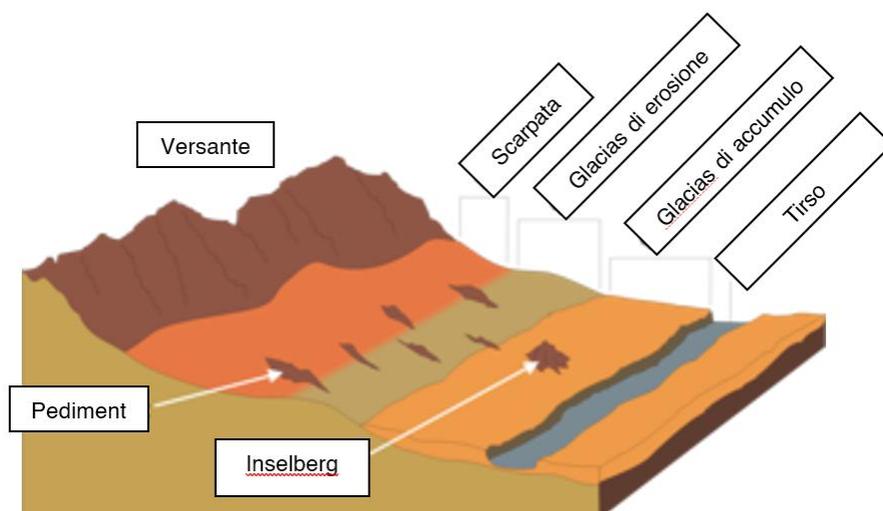


Figura 4-6. Schema geomorfologico del Goceano.

A proposito delle antiche alluvioni del fiume Tirso che sono state progressivamente abbandonate durante le fasi di migrazione del corso d'acqua verso la parte sudorientale della valle, esse sono visibili

nella parte inferiore dei versanti nordoccidentali dell'areale macroarea di studio, ove affiorano forme collinari e superfici sub-orizzontali costituite da depositi clastici e sabbioso argillosi di origine fluviale.

Nella bibliografia scientifica sono state individuate almeno quattro fasi di deposizione delle alluvioni a partire da un momento iniziale successivo all'ultima attività effusiva che ha prodotto il livello di cineriti bianche che chiude la serie lacustre del Miocene. Si trovano infatti orizzonti di clasti a bassa maturità immersi in paleocanali dentro le cineriti stesse.

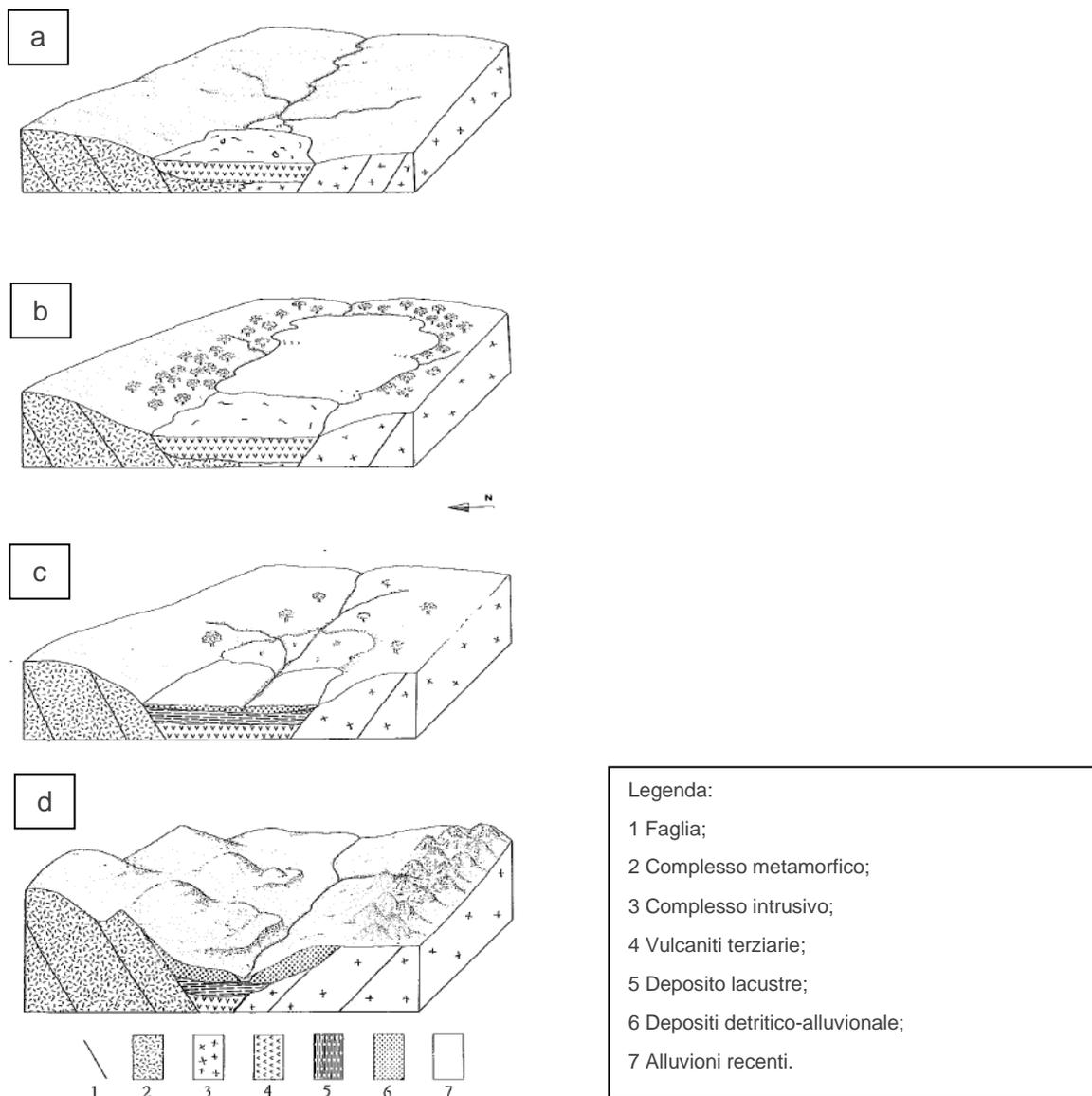


Figura 4-7. Evoluzione geomorfologica della piana dell'Alto Tirso: a) La piana nel tardo Terziario quando le vulcaniti riempiono il fondo valle, b) La formazione del bacino lacustre durante il Miocene, c) Nel tardo Miocene e nel Pliocene il lago viene colmato dalle coperture detritiche dei versanti, che cominciano a sollevarsi, d) La situazione nel Pleistocene medio-superiore.

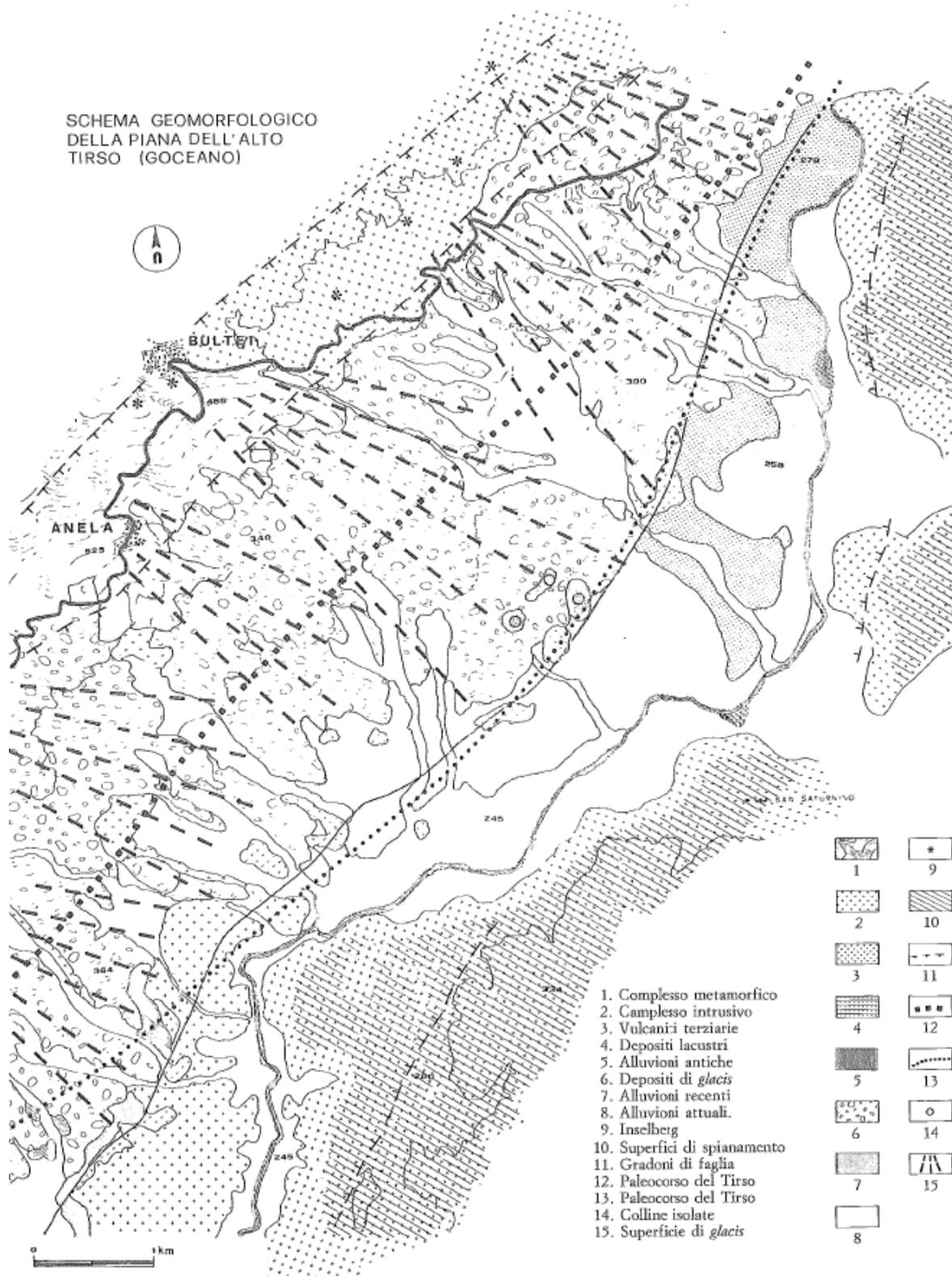


Figura 4-8. Schema geomorfologico dell'Alta Valle del Tirso.

Con una rappresentazione, in formato raster, è possibile migliorare la raffigurazione della distribuzione spaziale dei suoli e delle loro caratteristiche; infatti, seppur con le limitazioni che l'informazione digitale discreta permette, è possibile ottenere quella variabilità a toni sfumati che caratterizza il continuum tipico della variabilità delle componenti naturali.

Le variabili geomorfologiche (terrain attributes) possono fornire le migliori indicazioni per la variabilità spaziale delle proprietà dei suoli, specialmente in aree dove la variabilità dei fattori ambientali è piccola; pertanto, è di fondamentale interesse l'analisi della topografia (FLORINSKY 2012).

Il territorio di Pattada e Buddusò è caratterizzato da quote comprese tra circa 570 m. s.l.m. e circa 840 m. s.l.m.; sulla base del Digital Elevation Model (DEM), in ambiente Gis, è stato approntato il livello tematico di carattere morfometrico, ossia la carta rappresentante la zonizzazione del territorio in funzione della clivometria.

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.

HUDSON (1992) sostiene che l'interazione tra i fattori (clima, organismi, materiale parentale e topografia in un certo periodo di tempo) porta alla formazione di un unico suolo o gruppo di suoli in una determinata area della superficie terrestre. Si può supporre, quindi, che due siti con condizioni edafiche paragonabili abbiano suoli simili; inoltre, tanto più i siti presentano affinità tra loro, tanto maggiore sarà la probabilità che essi abbiano suoli simili. In altre parole, la somiglianza tra due suoli in due punti diversi può essere approssimata per astrazione al concetto di similitudine tra condizioni edafiche stazionali. Si suppone, pertanto, che il paesaggio (HUDSON sensu) possa essere descritto con una serie di variabili geomorfologiche costruite a partire dal DEM, le quali complessivamente danno origine a un iperspazio che è una approssimazione del corrispondente multidimensionale paesaggio reale.

Il paesaggio reale è frutto delle azioni che ricadono nel bacino idrografico. Quest'ultimo corrisponde all'unità territoriale principale di riferimento, nell'ambito della quale si sviluppano tutti i processi geomorfologici legati, in modo diretto o indiretto, all'azione delle acque, superficiali e sub-superficiali, senza particolari interazioni con le porzioni di territorio adiacenti. La scala del bacino idrografico va considerata relativamente a due aspetti cruciali:

- condizioni al contorno imposte (imposed boundary conditions): sono rappresentate dall'energia del rilievo, le pendenze, la topografia e la morfologia delle valli, ecc.;
- condizioni al contorno di flusso liquido e solido (flux boundary conditions), vale a dire le cosiddette variabili guida del sistema (portate liquide e solide).

La pendenza è l'aspetto più rilevante per i movimenti gravitativi in un territorio e concorre nei calcoli di molte variabili secondarie. L'analisi delle superfici a bassa pendenza o sub-orizzontali, estratte in automatico dal DEM per intervalli prestabiliti conforta l'interpretazione di tali elementi del paesaggio fisico come superfici pianeggianti. Le alte superfici, suddivise in tre ordini a seconda della loro quota, appaiono diffuse sull'intera area di studio.

La distribuzione delle classi di acclività è controllata, dalle zone di cresta a quelle di altopiano, dal complesso metamorfico affiorante e dalla loro relativa erosione.

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).

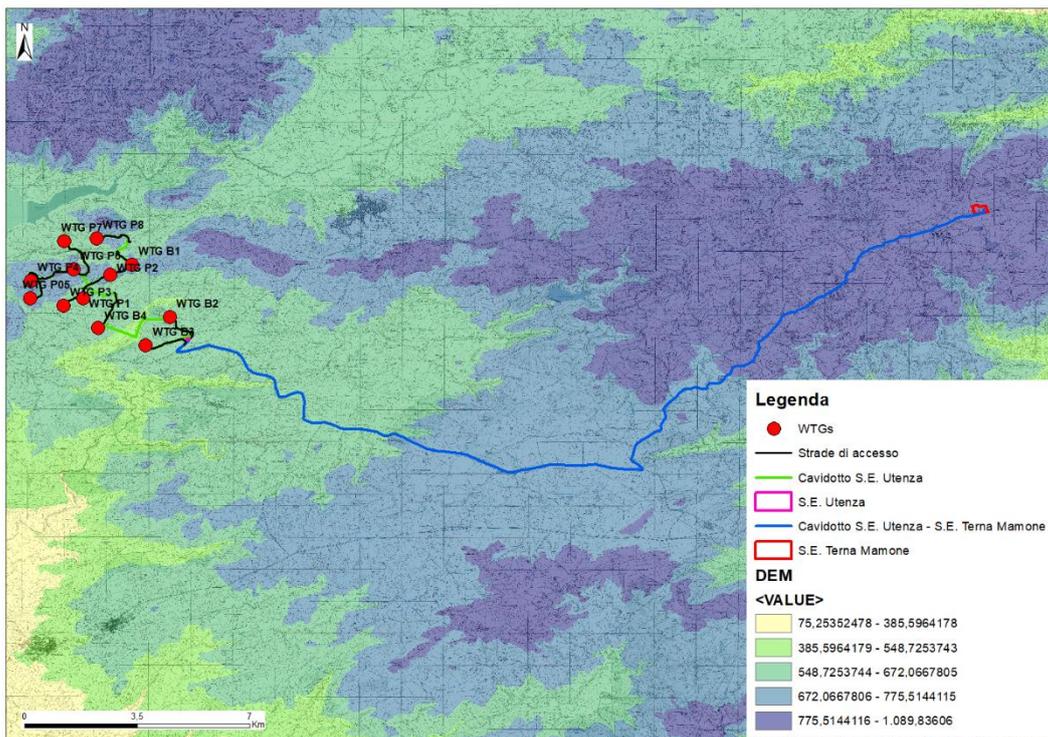


Figura 4-9. Condizioni al contorno imposte – Elaborazione delle quote topografiche, nonché dell’energia del rilievo.

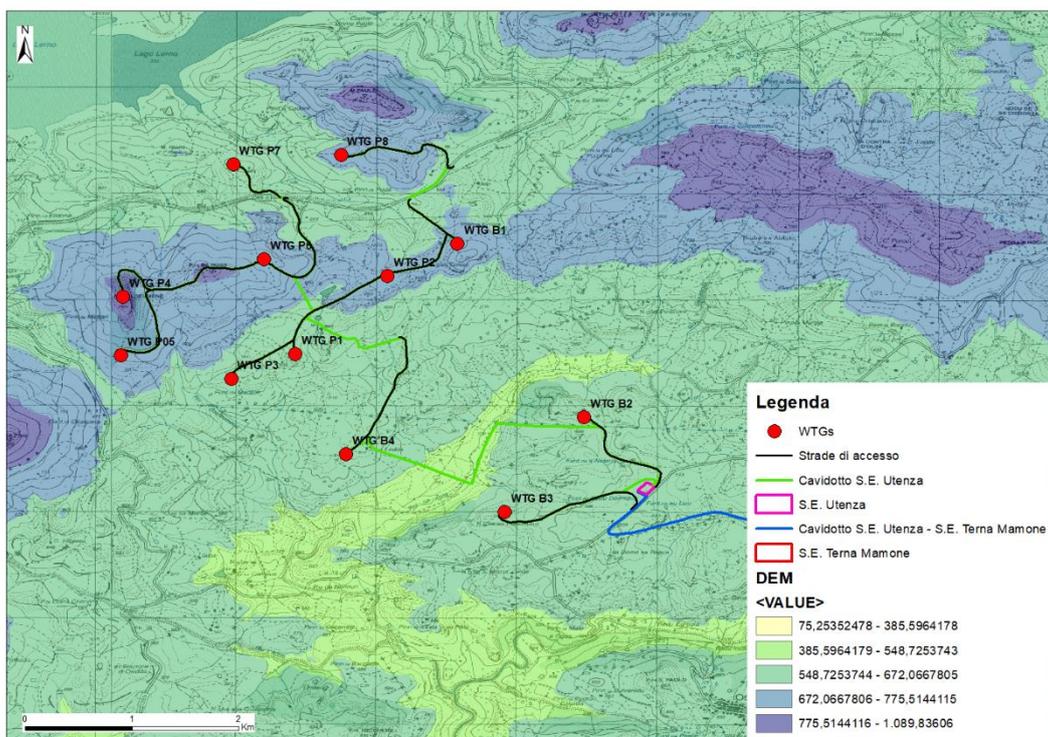


Figura 4-10. Condizioni al contorno imposte – Elaborazione delle quote topografiche di dettaglio, nonché dell’energia del rilievo.

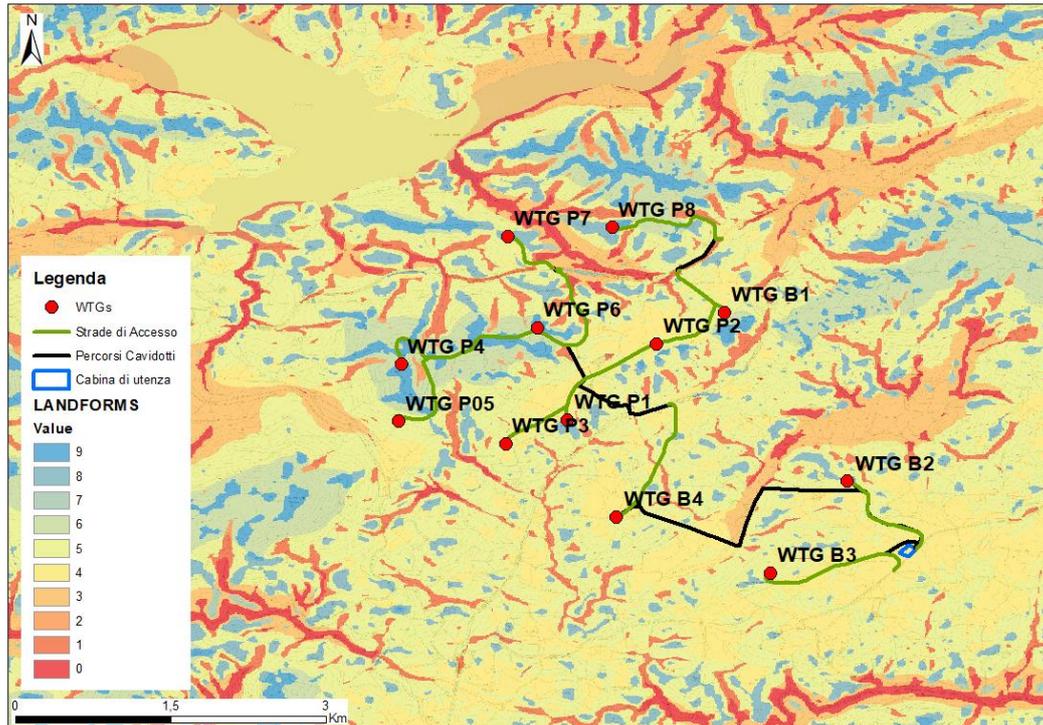


Figura 4-11. Condizioni al contorno imposte – Elaborazione della classificazione delle forme del paesaggio.

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.

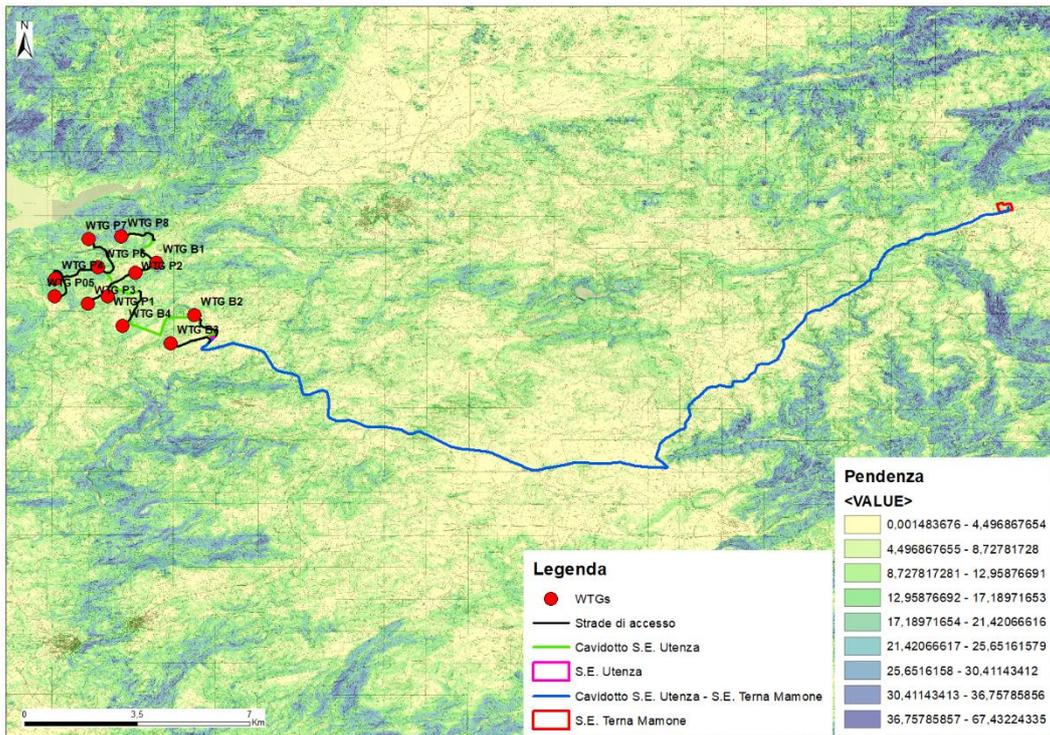


Figura 4-12. Condizioni al contorno imposte – Elaborazione delle pendenze.

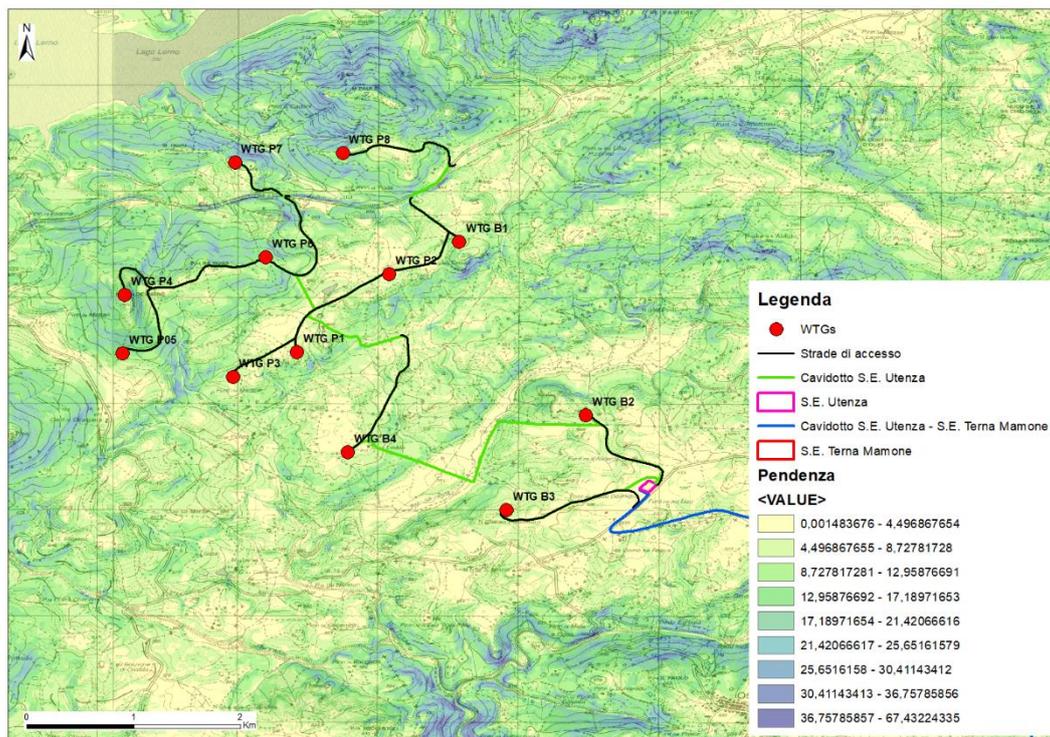


Figura 4-13. Condizioni al contorno imposte – Elaborazione delle pendenze di dettaglio.

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

Corsi d'acqua di tipo non confinato o semi-confinato (eccetto soglie rocciose intermedie), di dimensioni da intermedie a grandi con alveo alluvionale (a fondo mobile) libero di auto-modellarsi sia in senso altimetrico che planimetrico, a differenza degli alvei confinati (talvolta definiti semi-alluvionali).

La configurazione plano-altimetrica dell'alveo del Fiume Tirso e del Fiume Coghinias 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).

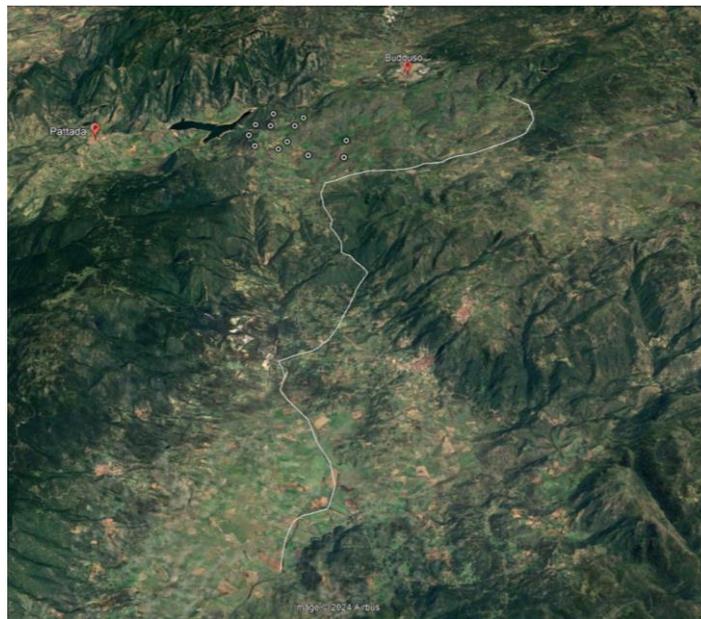


Figura 4-14. Foto satellitare in cui è stato evidenziato il corso del Fiume Tirso.

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

La classificazione si basa su tre livelli di conoscenza:

- Caratteristiche del fiume che 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.

I tipi di torrente "B" esistono principalmente su terreni da moderatamente ripidi a leggermente inclinati, con la morfologia predominante vista come un bacino stretto e moderatamente inclinato. Molti dei I tipi di flusso "B" sono il risultato dell'influenza integrata delle zone di controllo strutturale, faglie, giunti, depositi colluviali-alluvionali e versanti laterali della valle strutturalmente controllati che tendono a dar luogo a valli strette che limitano lo sviluppo di un'ampia pianura alluvionale.

I tipi di flusso "B" sono moderatamente radicati, mostrano una bassa sinuosità del canale e mostrano una dominanza di "rapida" morfologia del letto. La morfologia del fondo, che può essere influenzata dai detriti confinati localmente, si caratterizza da "rapide", prodotte da pozze di dilavamento.

I tassi di erosione sono normalmente bassi così come lo è il processo di aggradazione/degradazione. I rapporti di larghezza del meandro sono generalmente bassi e riflettono i bassi tassi di estensione laterale.

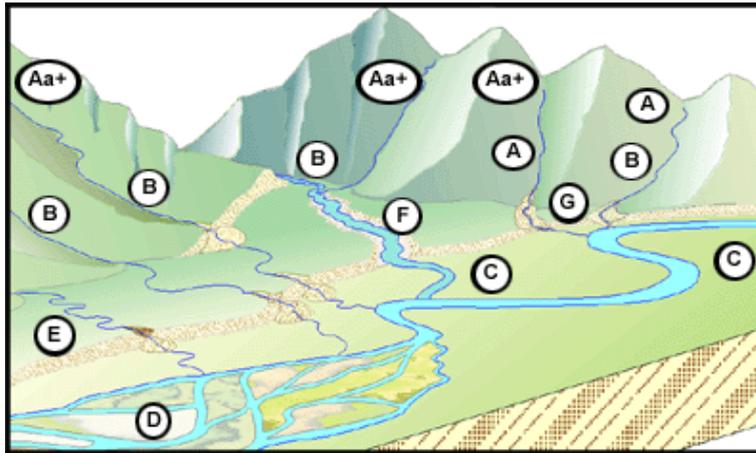


Figura 4-15. Condizioni al contorno imposte - Diversi tipi fluviali in diverse zone del paesaggio.

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 è basato sulla pendenza e su specific catchment area come sostituto della lunghezza del versante. Catchment area (recursive method), Catchment area (max flux method), convergence index sono variabili che forniscono informazioni riguardo il flusso idrologico superficiale (GRUBER e PECKHAM 2009). La legenda della figura sottostante mostra i valori delle celle dell'elaborazione, le quali si riferiscono all'ordine delle aste fluviali (in nero, è evidenziato il V ordine che corrisponde ai canali principali del Tirso).

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 sia della pendenza che dell'area contribuyente 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) che 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).

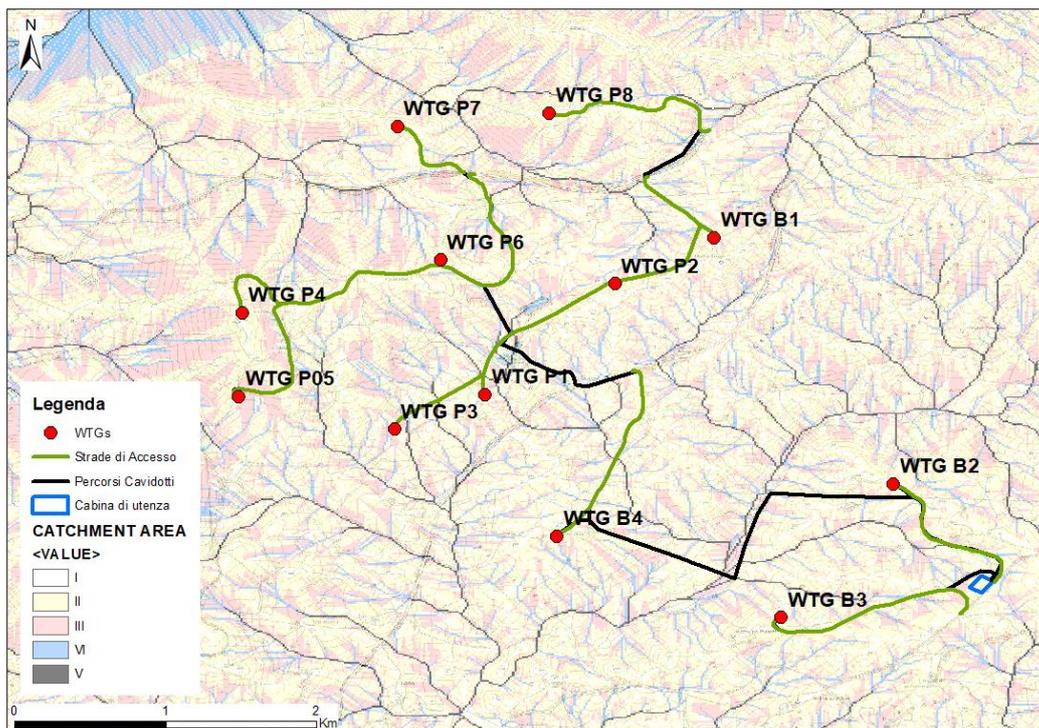


Figura 4-16. Condizioni al contorno di flusso liquido e solido - Elaborazione della classificazione catchment area.

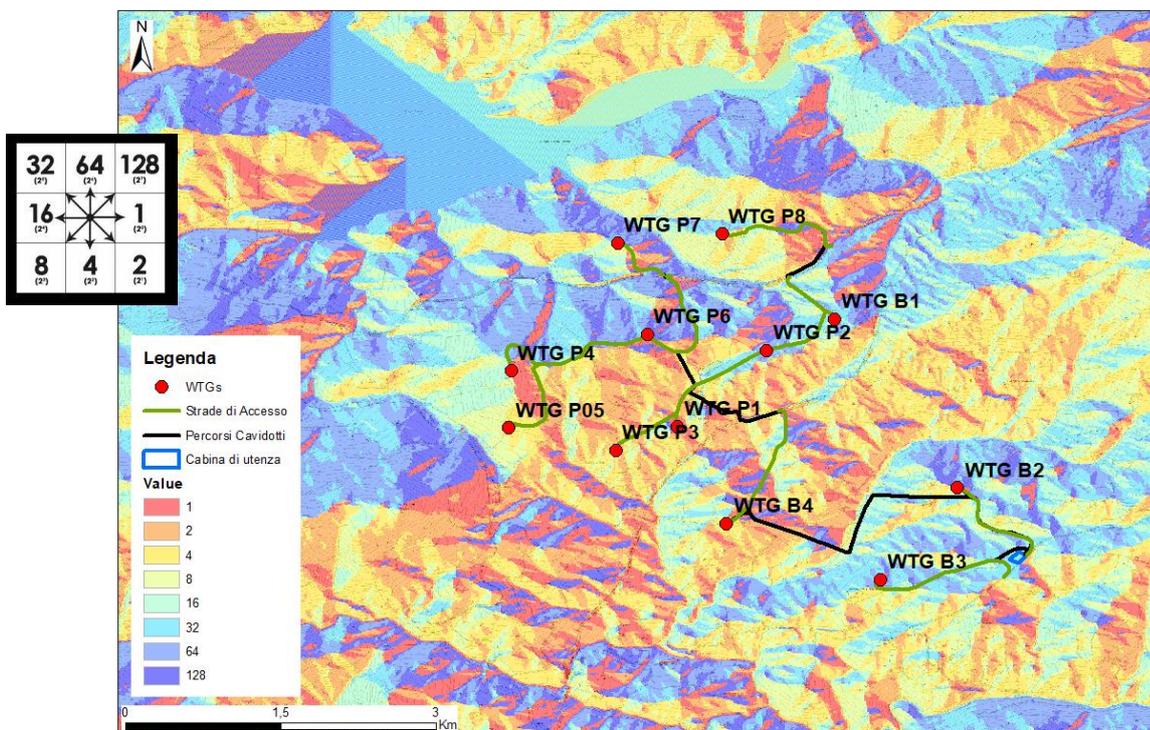


Figura 4-17. Condizioni al contorno di flusso liquido e solido – Elaborazione della Flow Direction.

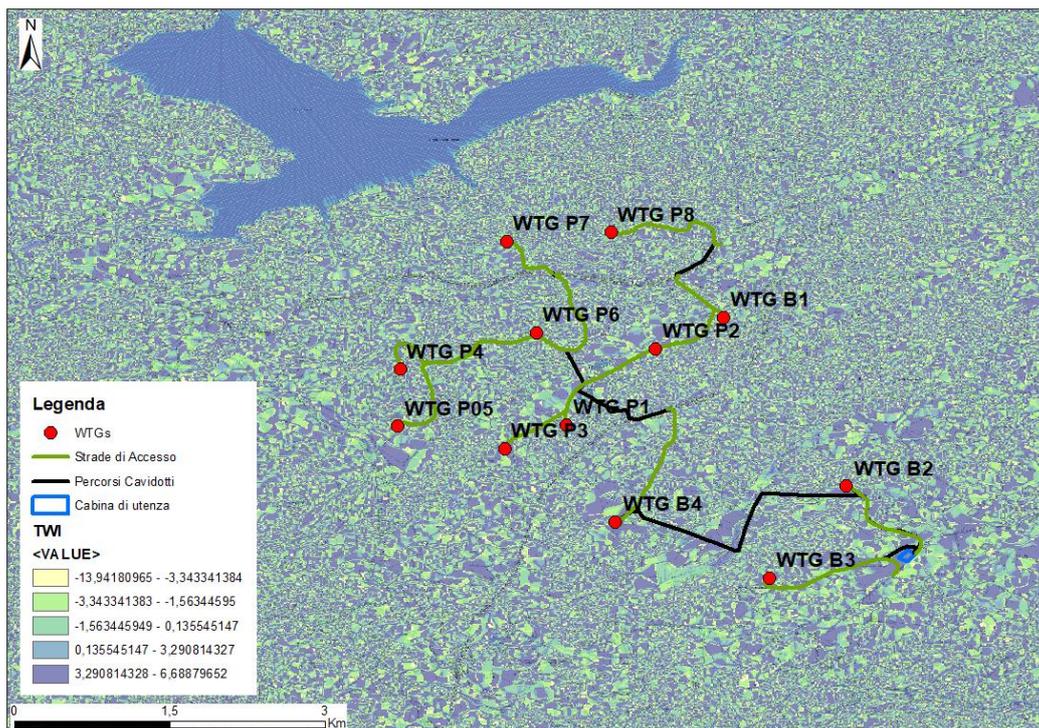


Figura 4-18. Condizioni al contorno di flusso liquido e solido – Elaborazione della classificazione TWI.

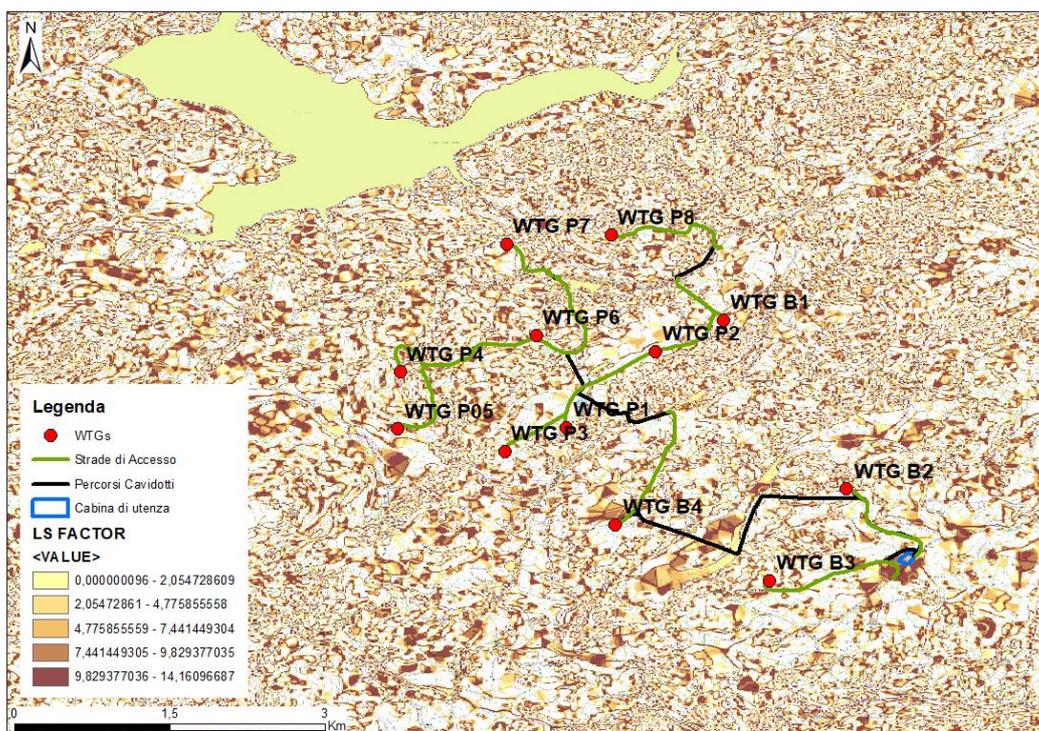


Figura 4-19. Condizioni al contorno di flusso liquido e solido – Elaborazione della classificazione LS factor.

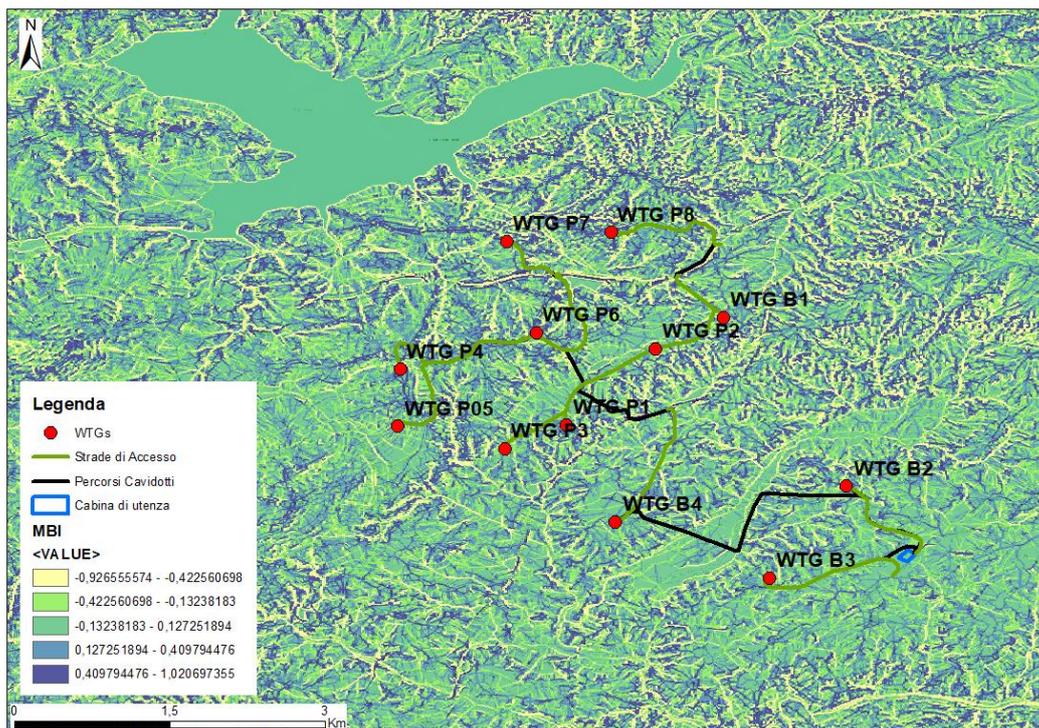


Figura 4-20. Condizioni al contorno di flusso liquido e solido – Elaborazione della MBI.

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 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.

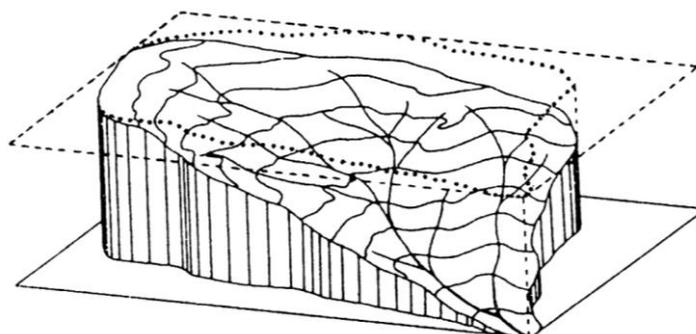


Figura 4-21. Schema generico di approfondimento di un bacino idrografico.

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”*.

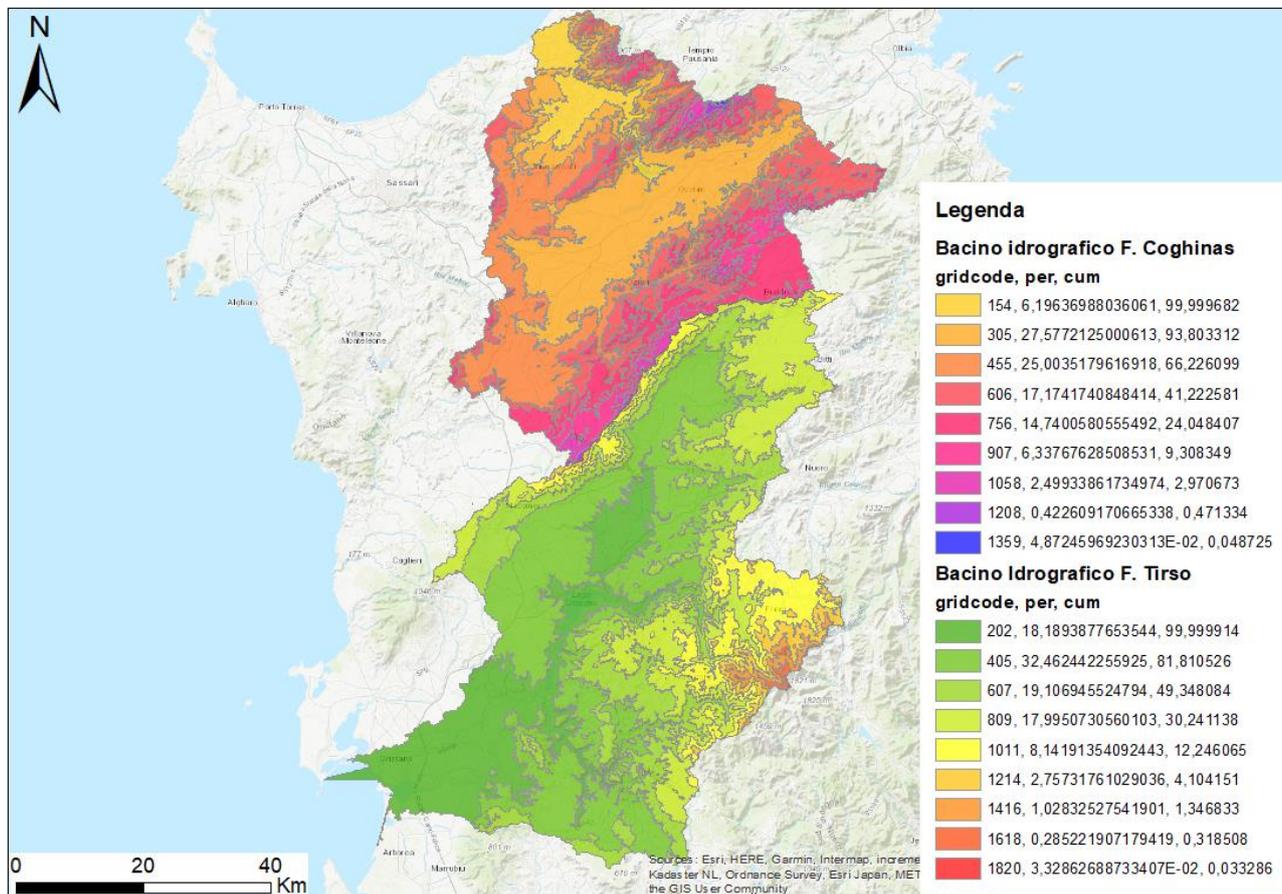


Figura 4-22. Altimetrie del bacino idrografico del Coghinas e del Tirso.



Figura 4-23. Curva Ipsometrica del bacino idrografico del Coghinas.

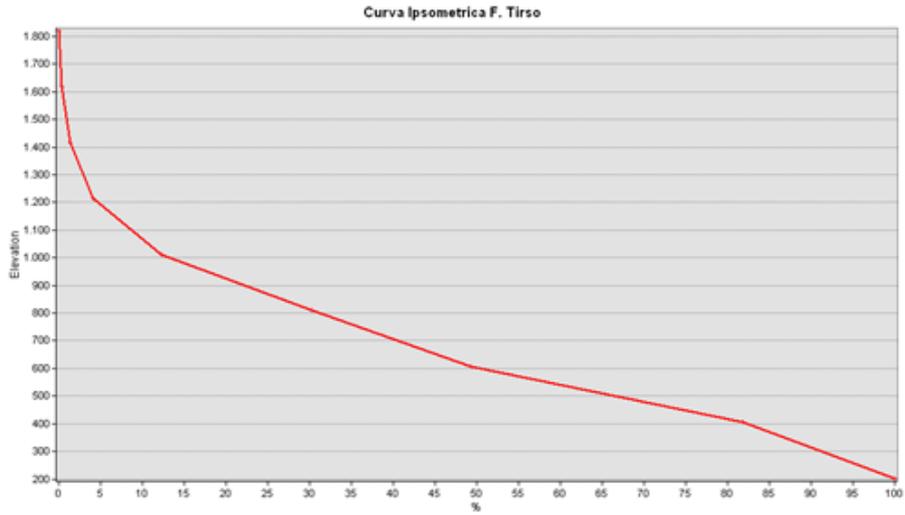
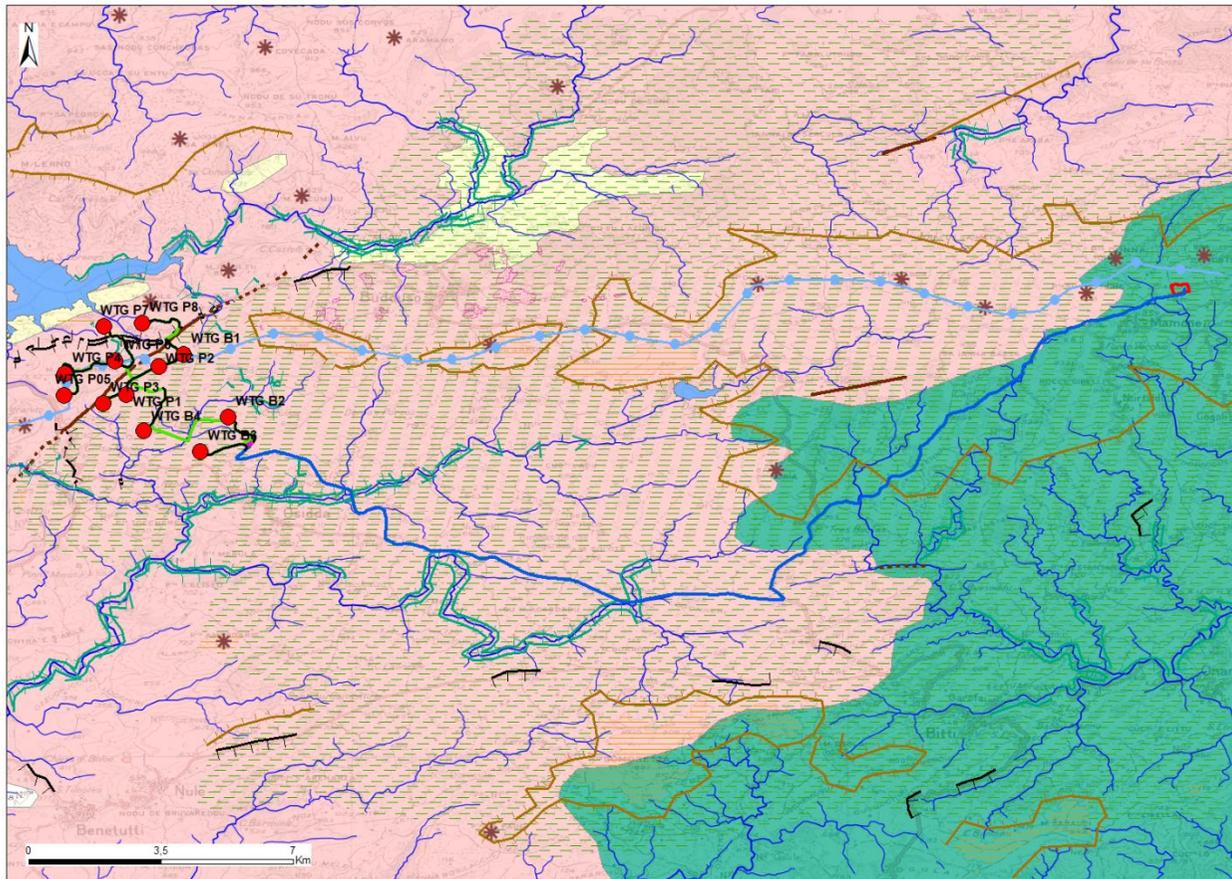


Figura 4-24. Curva Ipsometrica del bacino idrografico Tirso.



Legenda

- WTGs
- Strade di accesso
- Cavidotto S.E. Utenza
- S.E. Utenza
- Cavidotto S.E. Utenza - S.E. Tema Mamone
- S.E. Tema Mamone

Forme e depositi di dilavamento e fluviali

- spariacque
- Orlo di scarpata fluviale
- > Valle incassata
- Paleo superficie di erosione
- Alluvioni (Pleistocene)
- Reticolo idrografico

Forme strutturali

- * Picco
- Superficie pianeggiante
- Orlo di scarpata morfologico
- Scarpata di linea di faglia presunta
- Scarpata di linea di faglia certa

Elementi antropici

- Scarpata antropica
- Cave attive
- Invaso di Lerno

Litologia

- Rocce intrusive
- Scisti, scisti arenacei, argilloscisti, metamorfiti

Figura 4-25. Carta geomorfologica.

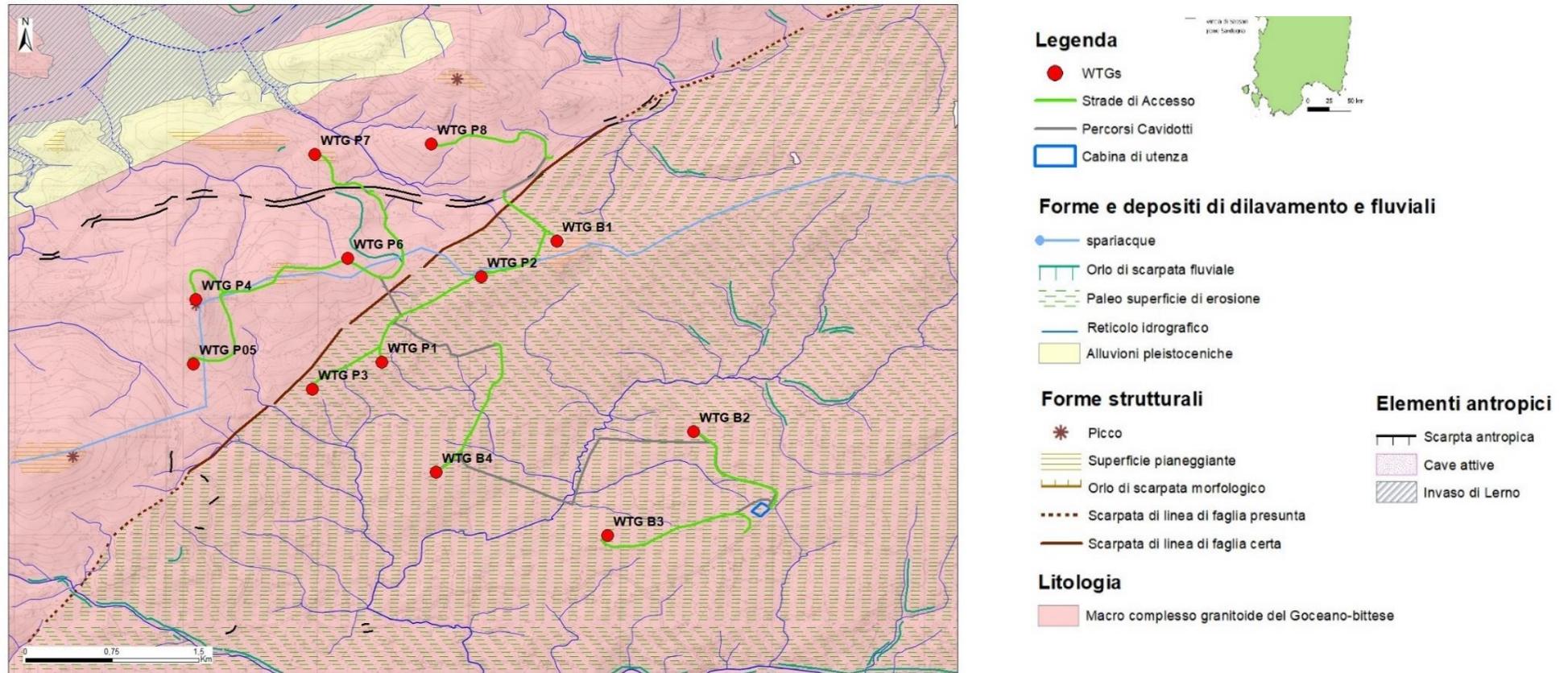


Figura 4-26. Carta geomorfologica di dettaglio.

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 (APSR), nonché delle zone costiere soggette ad erosione.

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

- l'unità geografica di riferimento caratterizzata da un'ampia porzione di territorio raggruppante più bacini individuata come distretto idrografico;
- la 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);
- l'individuazione dei soggetti a cui è demandata la redazione dei piani.

Il secondo ciclo di pianificazione del PGRA è stato approvato con la Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 14 del 21/12/2021 e con Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 1/12/2022, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n. 43 del 20/02/2023, della cui emanazione è stata data notizia sul Bollettino Ufficiale della Regione Sardegna n. 12 del 2 marzo 2023.

Di seguito si riportano gli elaborati grafici del PGRA relativi a pericolosità, rischio e Areas of Potential Significant Flood Risk con la sovrapposizione delle aree di impianto in esame.

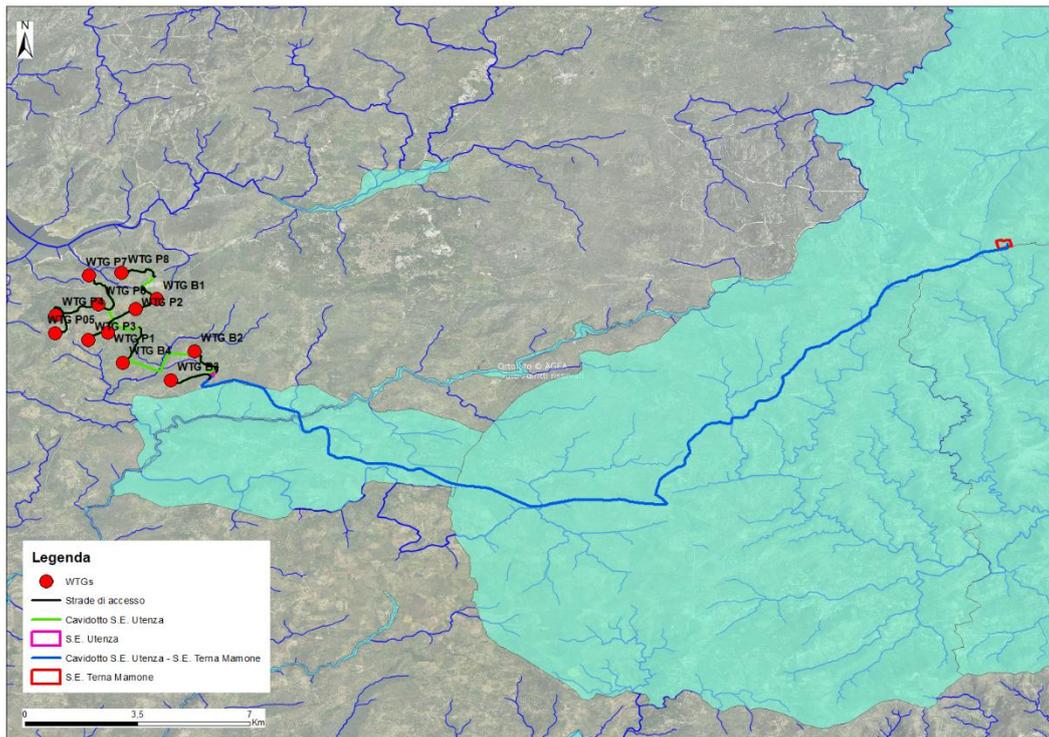


Figura 4-27. Stralcio del Areas of Potential Significant Flood Risk.

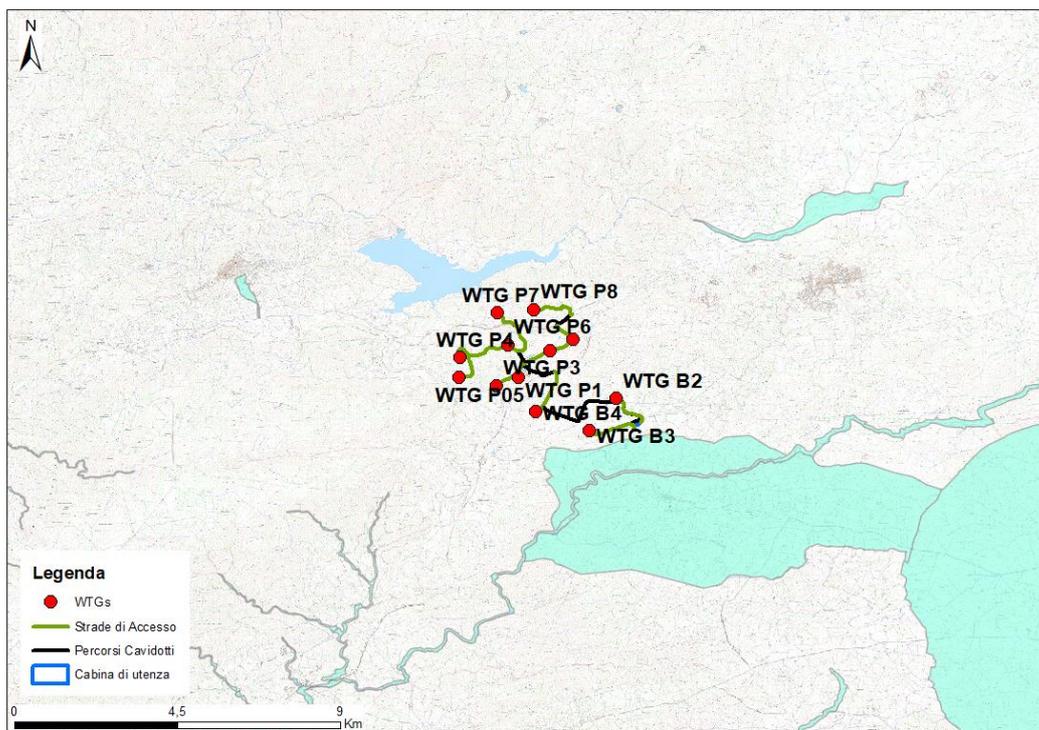


Figura 4-28. Stralcio del Areas of Potential Significant Flood Risk.

4.2 Dissesto idrogeologico

Il Piano di gestione del rischio di alluvioni individua tre tipologie di aree in funzione della pericolosità, P0-P1-P2-P3, associate rispettivamente a tratto nel quale la piena risulta contenuta all'interno delle sponde:

- pericolosità moderata (probabilità che l'evento si ripeta in un periodo compreso tra 200 e 500 anni),
- pericolosità media (probabilità che l'evento si ripeta in un periodo compreso tra 100 e 200 anni),
- pericolosità elevata (probabilità che l'evento si ripeta in un periodo compreso tra 30 e 50 anni) e pericolosità molto elevata.

La Sardegna ha un territorio propenso ai fenomeni di “dissesto geologico-idraulico”, con particolare riguardo ai fenomeni alluvionali (ISPRA, 2013). Come evidente dalla seguente figura, che riporta la distribuzione degli eventi alluvionali principali più recenti, relativi al periodo 1992-2014 (RAS, 2015a), gli eventi alluvionali interessano in maniera preponderante il centro-meridionale e la fascia orientale dell'isola; nell'arco temporale esaminato (di circa 25 anni), nel settore centro-settentrionale e occidentale della Sardegna (interessato dal tracciato Centro-Nord oggetto della presente relazione), si sono verificati eventi sporadici, sebbene di natura significativa.

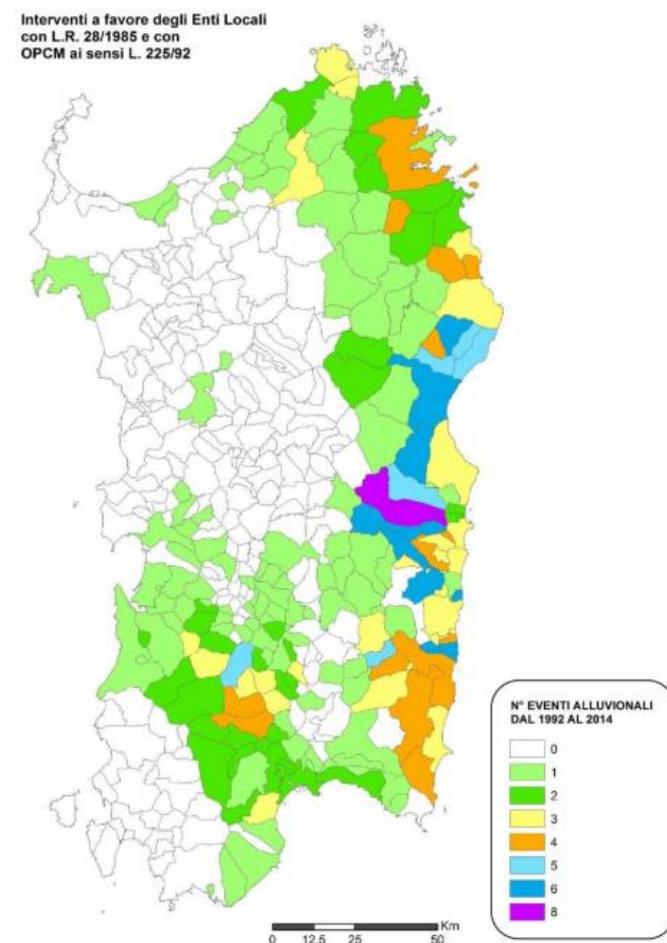
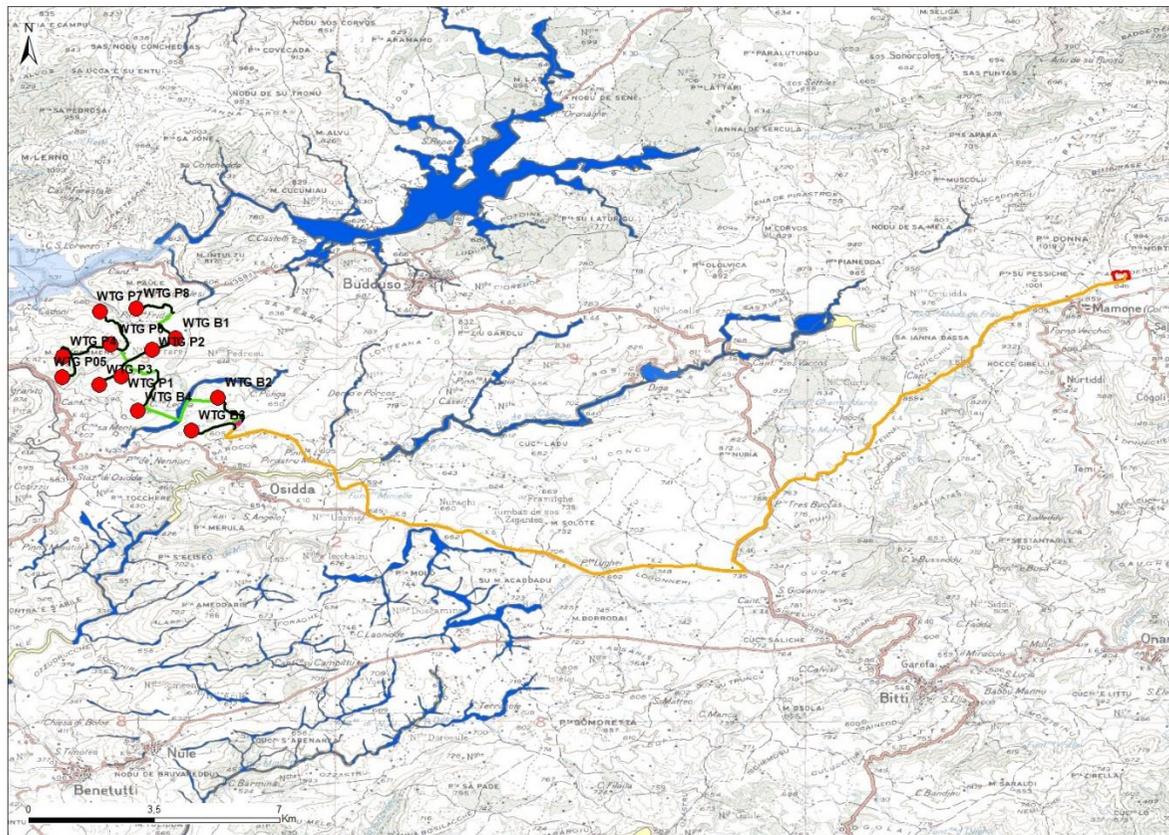


Figura 4-29. Distribuzione degli eventi alluvionali nel periodo 1992-2014 (RAS, 2015a)

Analogamente, individua quattro tipologie di aree in funzione della pericolosità, Hg0, Hg1, Hg2, Hg3, Hg4, associate rispettivamente a pericolosità di aree non soggette a potenziali fenomeni franosi, aree a pericolosità da frana moderata, aree a pericolosità da frana media, aree a pericolosità da frana elevata, aree a pericolosità da frana molto elevata.



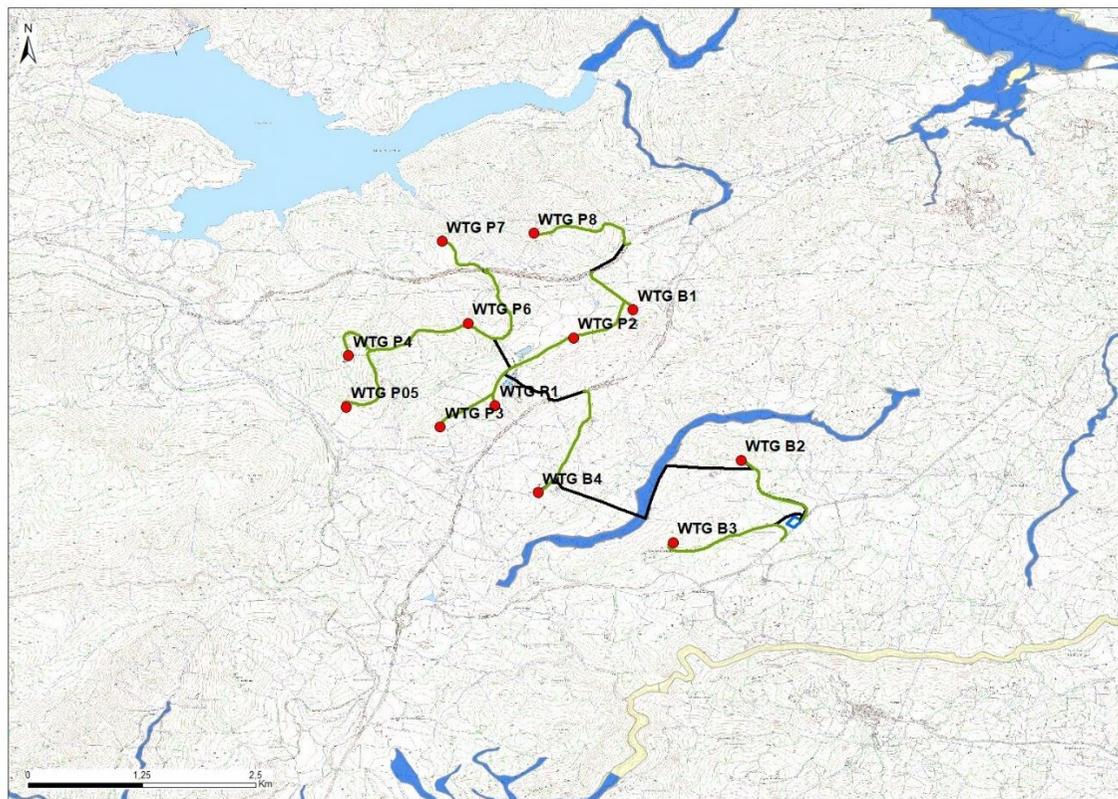
Legenda

- WTGs
- Strade di accesso
- Cavidotto S.E. Utenza
- S.E. Utenza
- Cavidotto S.E. Utenza - S.E. Terna Mamone
- S.E. Terna Mamone

Pericolosità idraulica (Fonte: PAI rev. Dic_2023)

- Hi1 - P1 - Aree a pericolosità idraulica moderata o fascia geomorfologica
- Hi4 - P3 - Aree a pericolosità idraulica molto elevata

Figura 4-30. Cartografia delle aree interessate da pericolosità idraulica.



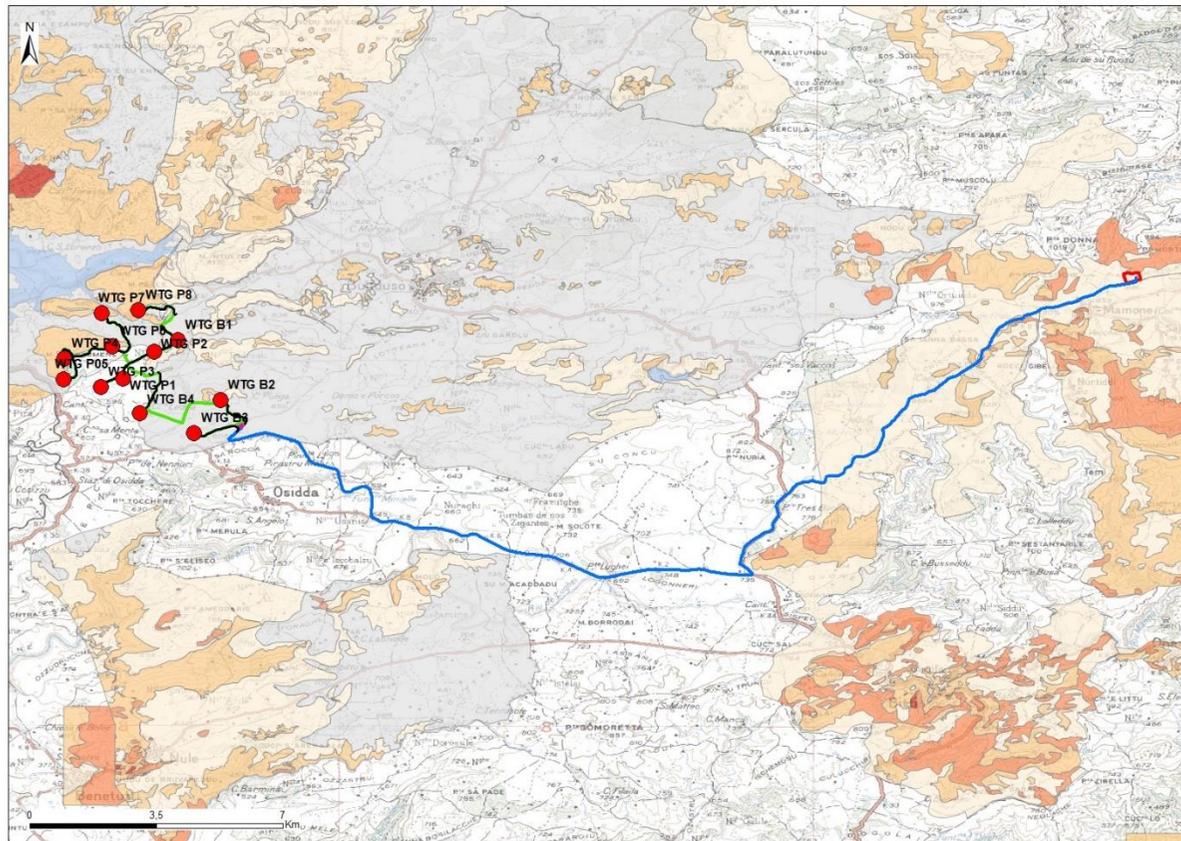
Legenda

- WTGs
- Strade di accesso
- Cavidotto S.E. Utenza
- S.E. Utenza
- Cavidotto S.E. Utenza - S.E. Terna Mamone
- S.E. Terna Mamone

Pericolosità idraulica (Fonte: PAI rev. Dic_2023)

- Hi1 - P1 - Aree a pericolosità idraulica moderata o fascia geomorfologica
- Hi4 - P3 - Aree a pericolosità idraulica molto elevata

Figura 4-31. Cartografia delle aree interessate da pericolosità idraulica di dettaglio.



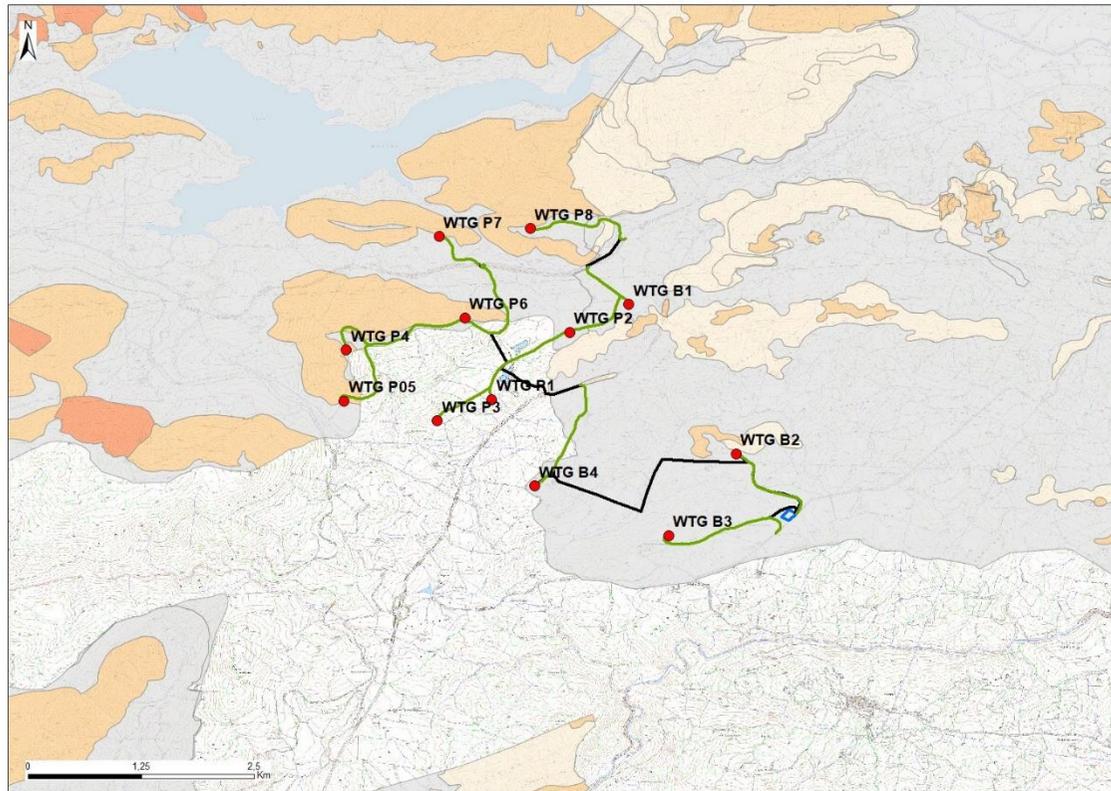
Legenda

- WTGs
- Strade di accesso
- Cavidotto S.E. Utenza
- S.E. Utenza
- Cavidotto S.E. Utenza - S.E. Terna Mamone
- S.E. Terna Mamone

Pericolosità geomorfologica (Fonte: PAI rev. Dic_2023)

- Hg0 - Aree studiate non soggette a potenziali fenomeni franosi
- Hg1 - Aree a pericolosità da frana moderata
- Hg2 - Aree a pericolosità da frana media
- Hg3 - Aree a pericolosità da frana elevata
- Hg4 - Aree a pericolosità da frana molto elevata

Figura 4-32. Cartografia delle aree interessate da pericolosità geomorfologica.



LEGENDA

- WTGs
- Strade di Accesso
- Percorsi Cavidotti
- Cabina di utenza

Pericolarità geomorfologica (Fonte: PAI rev. Dic_2023)

- Hg0 - Aree studiate non soggette a potenziali fenomeni franosi
- Hg1 . Aree a pericolosità da frana moderata
- Hg2 - Aree a pericolosità da frana media
- Hg3 - Aree a pericolosità da frana elevata

Figura 4-33. Cartografia delle aree interessate da pericolosità geomorfologica di dettaglio.

5 CARATTERISTICHE IDROLOGICHE

La particolare conformazione orografica della Sardegna centro-settentrionale, costituita in prevalenza da settori con elevata altimetria, condiziona fortemente l'evoluzione del reticolo idrografico, fondamentalmente caratterizzato dalla presenza di aste fluviali del primo, secondo e terzo ordine gerarchico.

L'area di indagine ricade in corrispondenza dello spartiacque del Fiume Coghinas, verso Nord, e del fiume Tirso, verso Sud.

Spesso i corsi d'acqua tendono a formare una serie di gomiti e di meandri incassati in roccia tra cui i più evidenti sono quelli del Fiume Coghinas.

Il Coghinas è il più importante fiume della provincia di Sassari e, con una lunghezza di 116 km, è il terzo fiume della Sardegna dopo il Tirso e il Flumendosa.

Il reticolo idrografico del bacino ha uno sviluppo complessivo di 5171 km e l'asta idrografica principale si estende nella direttrice N-S per circa 102 km. Il maggiore affluente è il rio Mannu di Berchidda il quale, con il bacino del sub affluente rio Mannu di Oschiri-Pattada, si estende per circa 780 km².

Ha un corso molto tortuoso e presenta numerosi meandri che lo rendono particolarmente suggestivo. Lungo il suo percorso, esso riceve le acque di numerosi affluenti, tra i quali il Rio Mannu, il Rio Mannena, il Rio Casteldoria e il Rio San Giovanni.

È un fiume di regime torrentizio, che si alimenta principalmente dalle piogge e dalle nevicate delle montagne circostanti.

I sottobacini drenanti i versanti occidentali hanno una rete idrografica piuttosto lineare, mantenendosi inizialmente paralleli alla linea di costa per poi richiudersi nel Rio Giabbaduras che corre parallelo alla linea di costa. I corsi d'acqua drenanti le pendici montuose ad est si mantengono paralleli alla linea di costa andando a gettarsi direttamente nel fiume Coghinas.

Il Tirso (in sardo Tirsu) è il fiume più importante della Sardegna per lunghezza e ampiezza (3365,78 km²) di bacino idrografico.

Il bacino idrografico del Tirso è caratterizzato da un'intensa idrografia con sviluppo prevalentemente dendritico, dovuto alle varie tipologie rocciose attraversate lungo la parte centrale, ed è delimitata a Ovest dal massiccio del Montiferru, a Nord-Ovest dalle Catene del Marghine e del Goceano, a Nord dall'altopiano di Buddusò, a Est dal massiccio del Gennargentu, a Sud dall'altopiano della Giara di Gesturi e dal Monte Arci. L'altimetria è notevolmente varia: sono presenti aree pianeggianti, collinari, e montuose che culminano con le vette del versante settentrionale del Gennargentu (Bruncu Spina 1829 m s.l.m.).

Esso nasce sull'altopiano di Buddusò, alle pendici della punta Pianedda (985 m. s.l.m.). Il Tirso attraversa l'isola da est verso ovest e, dopo 159 km, sfocia nel golfo di Oristano.

L'andamento del reticolo idrografico principale è influenzato dai lineamenti strutturali sicuramente attivi durante il Terziario, che caratterizzano sia il basamento cristallino che la copertura mesozoica.

L'andamento del suo corso si differenzia notevolmente procedendo dalla sorgente alla foce, anche se è possibile individuare tre tratti connotati nella maniera seguente:

- nel primo tratto, compreso tra le sorgenti e la confluenza col Rio Liscoi, il corso del fiume presenta un percorso tortuoso con notevoli pendenze;
- nel secondo, tra la confluenza con il Rio Liscoi e il lago Omodeo, la pendenza si fa via via più dolce e il corso del fiume assume un'andamento regolare;
- nell'ultimo, attraverso la piana di Oristano, il corso del fiume presenta pendenze minime ed è caratterizzato dalla presenza di grossi meandri.

I principali affluenti del fiume ricadono tutti nella parte alta e media del corso, e drenano talvolta dei sottobacini particolarmente significativi tra cui possono citarsi:

- Fiume Massari (840 km²);

- Fiume Taloro (505 km²);
- Rio Mannu di Benetutti (bacino 193 km²);
- Rio Liscoi (204 km²);
- Rio Murtazzolu (267 km²).

Affluenti di minore importanza sono quelli che drenano i versanti occidentali del Monte Arci, caratterizzati da una rete idrografica piuttosto lineare, poco ramificata e quasi perpendicolare alla linea di costa.

Anche sulle pendici meridionali del Monti Ferru sono intestati alcuni affluenti minori, caratterizzati dapprima da aste fluviali ad andamento lineare parallelo alla linea di costa che poi ripiegano bruscamente nella piana quasi ad angolo retto.

Il regime dei corsi d'acqua è prevalentemente torrentizio, fortemente influenzato dalle notevoli variazioni stagionali delle precipitazioni: a punte massime invernali corrispondono forti minimi estivi. In conseguenza di ciò quasi tutti i corsi d'acqua minori che compaiono nella macroarea di studio vanno in secca, almeno in superficie, nella stagione estiva. I corsi d'acqua maggiori, in quanto collettori, hanno regime più costante.

Il Fiume Tirso e i suoi affluenti, in particolare il Taloro, hanno una notevole importanza non solo per l'ampiezza dei bacini drenati, ma anche per i numerosi invasi artificiali che vi sono stati realizzati a partire dalla fine dell'800. L'elenco di questi invasi è riportato di seguito:

- Tirso a Sos Canales;
- Lago Omodeo (Tirso a Cantoniera);
- Tirso a Nuraghe Pranu Antoni;
- Invaso Olai;
- Diga Govoassi;
- Taloro a Gausana;
- Lago Torrei;
- Taloro a Cucchinadorza;
- Talora a Benzzone;
- Tirso a Cantoniera;
- Tirso a Sili;
- Tirso a Santa Vittoria.

5.1 Calcolo della portata di massima piena

Lo studio idrologico ha lo scopo di definire una stima, la più attendibile possibile, della portata al colmo di piena, che può verificarsi nel bacino di raccolta sotteso all'area in corso di studio una volta ogni "T" anni, essendo "T" il Tempo di Ritorno prefissato, da stabilire a priori. Tale stima viene ricavata per via indiretta, considerando le piogge che cadono all'interno del bacino, mediante la metodologia di tipo statistico. Il bacino idrico può essere considerato come elemento che trasforma gli afflussi in deflussi, con la conseguente formazione di piene. Il modello utilizzato per studiare il complesso fenomeno della formazione dei deflussi è quello cinematico o razionale, fondato sul concetto di corrivazione.

Utilizzando la formula del Giandotti si ricava il tempo di corrivazione, ovvero il tempo necessario affinché tutto il bacino imbrifero contribuisca al deflusso superficiale nella sezione di chiusura.

Infine, per il calcolo della portata massima riferita a vari tempi di ritorno, è stato assegnato un coefficiente di deflusso pari a 0,50. In seguito, viene riportato lo schema informativo del sottobacino considerato.

DATI MORFOMETRICI DEL BACINO IDROGRAFICO SOTTESO ALLA SEZIONE DI CHIUSURA CONSIDERATA		TEMPO DI CORRIVAZIONE t_c (ore)
Superficie del Bacino	$S = 2475,79$ Km ²	Giandotti $\Rightarrow t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m - H_0}} = 24,42$
Lunghezza percorso idraulico principale	$L = 116,00$ Km	
Altitudine max percorso idraulic	$H_{max} = 1359,00$ m (s.l.m.)	{ Kirpich, Watt- Chow, Pezzoli $\Rightarrow t_c = 0.02221 \left(\frac{L}{\sqrt{P}} \right)^{0.8}$
Altitudine min percorso idraulic	$H_0 = 4,00$ m (s.l.m.)	
Pendenza media percorso idraul	$P = 0,01$ (m/m)	
Altitudine max bacino	$H_{max} = 1359,33$ m (s.l.m.)	<input checked="" type="radio"/> Giandotti <input type="radio"/> Kirpich, Watt-Chow, Pezzoli...
Altitudine sezione considerata	$H_0 = 630,00$ m (s.l.m.)	
Altitudine media bacino	$H_m = 994,67$ m (s.l.m.)	
Dislivello medio bacino	$H_m - H_0 = 364,67$ m	
Software freeware distribuito da geologi.it		
CALCOLO DELLA PORTATA DI MASSIMA PIENA PER UN ASSEGNATO TEMPO DI RITORNO (FORMULA del METODO RAZIONALE)		
$Q_{max} = \frac{C \cdot h_c \cdot S}{3,6 \cdot t_c}$ <div style="display: flex; align-items: center;"> <div> con : <ul style="list-style-type: none"> C = coefficiente di deflusso h_c = altezza critica di pioggia (mm/h) S = superficie del bacino (km²) t_c = tempo di corrivazione (ore) 3,6 = fattore di conversione che permette di ottenere la Q_{max} in m³/sec </div> </div>		

Tr (assegnato)	a	n	tc	hc	Q _{max} (m ³ /sec)
10 anni	43.71	0.39	24.42	151.91	1283.56
20 anni	50.92	0.41	24.42	187.58	1584.91
50 anni	60.27	0.42	24.42	233.80	1975.47
100 anni	67.29	0.43	24.42	268.46	2268.37
200 anni	74.29	0.44	24.42	303.02	2560.34

Tabella 5-1. Calcolo della portata di massima piena riferita al Bacino del Coghinias, considerando vari tempi di ritorno (Software geologi.it creato da G. PILLA).

DATI MORFOMETRICI DEL BACINO IDROGRAFICO SOTTESO ALLA SEZIONE DI CHIUSURA CONSIDERATA		TEMPO DI CORRIVAZIONE tc (ore)
Superficie del Bacino	S = 3529,75 Km ²	Giandotti ⇒ $tc = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m - H_0}} = 23,75$
Lunghezza percorso idraulico principale	L = 152,00 Km	
Altitudine max percorso idraulic	H _{max} = 1820,00 m (s.l.m.)	Kirpich, Watt- Chow, Pezzoli ⇒ $tc = 0.02221 \left(\frac{L}{\sqrt{P}} \right)^{0.8}$
Altitudine min percorso idraulic	H ₀ = 0,43 m (s.l.m.)	
Pendenza media percorso idraul	P = 0,01 (m/m)	<input checked="" type="radio"/> Giandotti <input type="radio"/> Kirpich, Watt-Chow, Pezzoli...
Altitudine max bacino	H _{max} = 1820,98 m (s.l.m.)	
Altitudine sezione considerata	H ₀ = 620,00 m (s.l.m.)	
Altitudine media bacino	H _m = 1220,49 m (s.l.m.)	
Dislivello medio bacino	H _m - H ₀ = 600,49 m	
CALCOLO DELLA PORTATA DI MASSIMA PIENA PER UN ASSEGNATO TEMPO DI RITORNO (FORMULA del METODO RAZIONALE)		
$Q_{max} = \frac{C \cdot hc \cdot S}{3,6 \cdot tc}$ <div style="display: flex; align-items: center;"> <div> con : <ul style="list-style-type: none"> C = coefficiente di deflusso hc = altezza critica di pioggia (mm/h) S = superficie del bacino (km²) tc = tempo di corrivazione (ore) 3,6 = fattore di conversione che permette di ottenere la Q_{max} in m³/sec </div> </div>		

Software freeware distribuito da geologi.it

Tr (assegnato)	a	n	tc	hc	Q _{max} (m ³ /sec)
10 anni	43.71	0.39	23.75	150.28	1861.06
20 anni	50.92	0.41	23.75	185.47	2296.85
50 anni	60.27	0.42	23.75	231.08	2861.57
100 anni	67.29	0.43	23.75	265.27	3285.05
200 anni	74.29	0.44	23.75	299.36	3707.17

Tabella 5-2. Calcolo della portata di massima piena riferita al Bacino del Tirso, considerando vari tempi di ritorno (Software geologi.it creato da G. PILLA).

Come si evince dal calcolo della portata di massima piena, l'attribuzione delle portate massime in riferimento ai tempi di ritorno sono riferite all'altitudine della sezione considerata, ovvero all'altezza topografica media del parco eolico in progetto.

Verosimilmente, le portate di massima piena risultano più significative laddove le quote topografiche sono minori e meno significative, dove l'azione dell'acqua inizia ad incidere a monte il reticolo idrografico.

La Carta delle isoiete di seguito riportata (Figura sottostante) non è rappresentativa del solo areale all'intorno delle stazioni meteorologiche di Pattada e Buddusò, ma la sua valenza è estensibile a un areale più ampio basato su diverse stazioni di misurazione. In tal modo, la suddetta carta fornisce un quadro d'insieme di più chiara interpretazione e, allo stesso tempo e per quanto possibile, una migliore definizione del particolare.

Per realizzare un'analisi meteorologica affidabile e significativa, soprattutto se estesa a scala territoriale, è necessario disporre di dati meteorologici attendibili, adeguatamente distribuiti sul territorio, appartenenti a serie storiche sufficientemente lunghe, omogenee e complete.

L'acquisizione delle osservazioni pluviometriche è stata possibile grazie ai dati disponibili sul periodo di tempo considerato (30 anni), che caratterizzano il bacino idrografico di interesse. La stazione pluviometrica di riferimento sarà scelta tra quelle più significative, individuata in funzione della quantità di osservazioni disponibili e della sua capacità di rappresentare i fenomeni idrologici dell'area di studio, in base alle peculiarità geografiche e climatiche (Fonte: dati pluviometrici Diacli, vedi capitolo sulle caratteristiche climatiche).

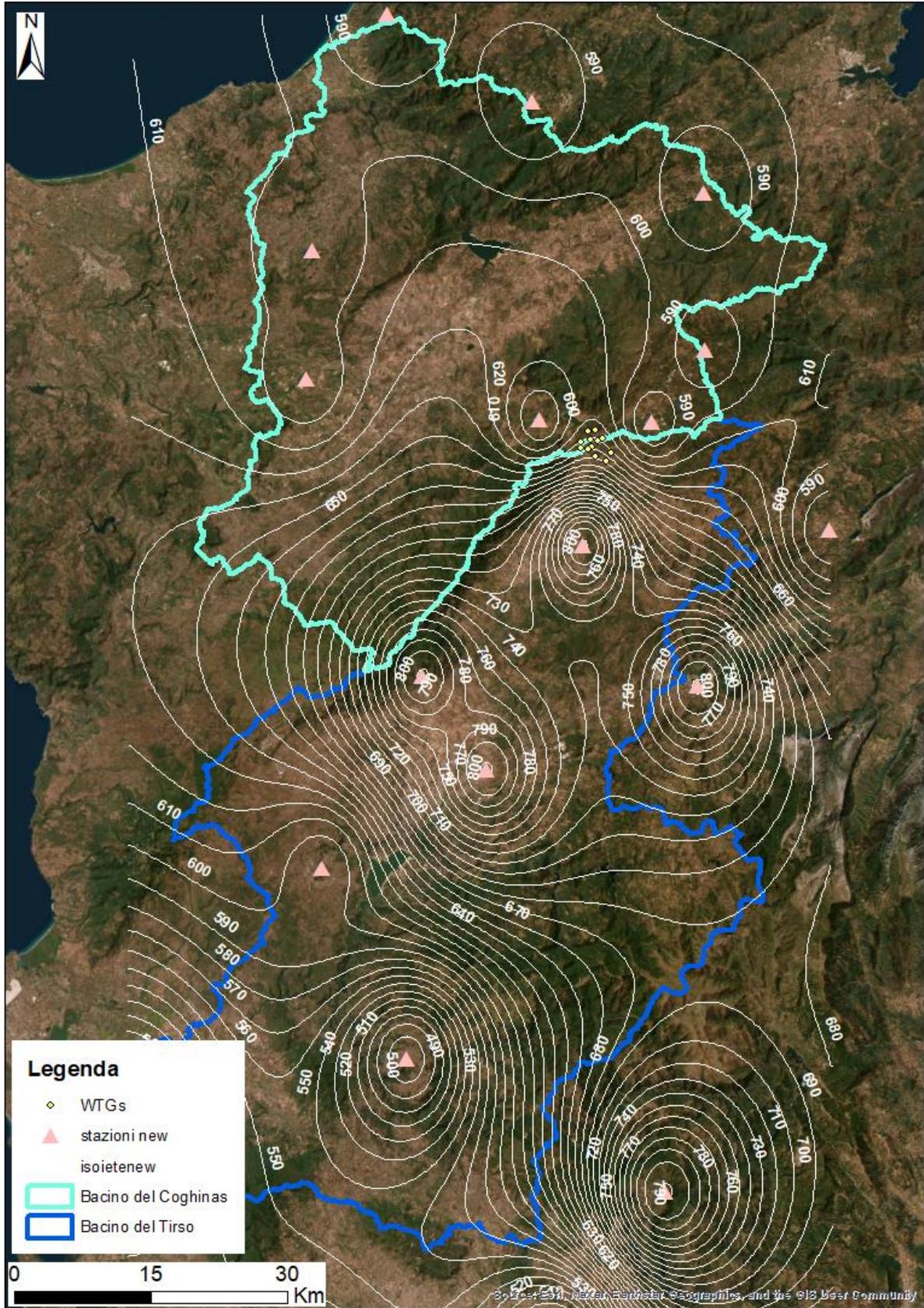


Figura 5-1. Elaborazione cartografica della carte delle carta isoiete.

6 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

La strutturazione tettonica influenza notevolmente anche la geometria degli acquiferi. I principali contatti di faglie tendono a mettere in contatto idrogeologico complessi differenti, quali ad esempio il basamento paleozoico con la successione carbonatica mesozoica.

Nell'intera Sardegna possono essere distinti sei complessi idrogeologici:

1. Corpi idrici sotterranei degli acquiferi alluvionali plio-quadernari:

I litotipi di questi corpi idrici sono molto variabili, dalle ghiaie grossolane con scarsa matrice alle sabbie medio-fini, talvolta con lenti di argille e siltiti che isolano piccole falde sospese. L'alimentazione avviene sia per precipitazione meteorica, sia per alimentazione delle fratture degli acquiferi granitoidi. Le acque circolanti nei sedimenti quadernari hanno un pH tra il neutro e debolmente alcalino, presentato un certo grado di vulnerabilità sia della salinità che del chimismo ed una conducibilità tra 0,2 e 1,5 mS/cm. Il PTA (RAS, 2009) ha stimato un coefficiente di evapotraspirazione di 0,75% ed un coefficiente di infiltrazione di 0,06%.

2. Corpi idrici sotterranei degli acquiferi vulcanici plio-quadernari.

Il complesso è litologicamente costituito da una successione di colate sovrapposte di lave basaltiche, che presenta alla base o intercalati ridotti spessori di sedimenti clastici, mediamente permeabili. La permeabilità per fratturazione è molto bassa, raramente si osserva una circolazione nelle parti clastiche basali delle singole colate, nonché all'interno delle frazioni più permeabili. Le portate di emungimento hanno valori massimi inferiori a 1 l/s. nel complesso basaltico circolano acque con valori del pH da neutri a leggermente alcalini e con valori di conducibilità generalmente compresi tra 0,3 e 1 mS/cm. Il PTA (RAS, 2009) ha stimato un coefficiente di evapotraspirazione di 0,75% ed un coefficiente di infiltrazione di 0,07%.

3. Corpi idrici sotterranei degli acquiferi sedimentari terziari

Permeabilità complessiva medio-alta per porosità e subordinatamente per fessurazione e/o carsismo (calcarei); localmente medio bassa in corrispondenza dei termini marnosi e vulcanici.

4. Corpi idrici sotterranei degli acquiferi vulcanici terziari

Permeabilità per fessurazione complessiva medio-bassa, più alta nei termini con sistemi di fratturazione marcati (espandimenti ignimbrici e lavici) e più bassa in quelli meno fratturati (cupole di ristagno) e nei livelli piroclastici ed epiclastici.

5. Corpi idrici sotterranei degli acquiferi carbonatici mesozoici e paleozoici

L'idrogeologia di questi corpi idrici si sviluppa nel sistema carsico della successione carbonatica mesozoica. Le acque ospitate in questi nel complesso carsici hanno valori di pH decisamente basici. La vulnerabilità secondo il PTA (RAS, 2009) è estremamente alta a causa dell'elevata permeabilità e dell'assenza di una copertura pedologica o anche di coperture quadernarie. Nelle zone dove il corpo idrico è contenuto in un acquifero al disotto della coltre quadernaria e/o delle vulcaniti plioceniche, questa vulnerabilità viene ridotta. Secondo il PTA (RAS, 2009) è stato stimato un coefficiente di infiltrazione dello 0,32% a fronte di un coefficiente di evapotraspirazione di 0,47%.

6. Corpi idrici sotterranei degli acquiferi granitoidi paleozoici.

La permeabilità è legata al grado di fratturazione e tiene conto che frequentemente i sistemi di fratture hanno riempimenti limoso-argillosi che ne favoriscono il ricircolo delle acque. Spesso le fratture si chiudono a bassa profondità. Cosicché si hanno acquiferi superficiali, con una direzione di deflusso influenzata direttamente dalla topografia. Talvolta si individuano zone più ricche d'acqua in prossimità di fasce cataclastiche lungo le principali faglie ad orientazione NO-SE ed E-O. in questo complesso la permeabilità è molto bassa ($> 10^{-7}$ m/s) nella roccia sana mentre aumenta notevolmente, fino a valori di 10^{-5} m/s, nelle zone intensamente fratturate o nelle fasce arenizzate. La trasmissività può avere valori compresi tra 10^{-3} e 10^{-4} mq/s e coefficiente di immagazzinamento compreso tra 10^{-1} e 10^{-4} (RAS, 2009). Le acque di circolazione hanno un pH variabile da 6,1 a 8,3. Secondo il PTA (RAS, 2009) i

valori medi di conducibilità e salinità sono pari rispettivamente a 0,64 mS/cm e 380 mg/l. da questi dati si è calcolato un coefficiente di evapotraspirazione pari a 0,55% ed un coefficiente di infiltrazione pari a 0,1%.

Box n. 1 – Litotipi dei corpi idrici

1. Corpi idrici sotterranei degli acquiferi alluvionali plio-quadernari, comprendono:
 - Depositi alluvionali;
 - Depositi alluvionali terrazzati;
 - Coltri eluvio-colluviali;
 - Depositi palustri e lacustri;
 - Depositi travertinosi;
 - Depositi di spiaggia;
 - Depositi di spiaggia antichi;
 - Depositi eolici.
2. Corpi idrici sotterranei degli acquiferi vulcanici plio-quadernari comprendono:
 - Lave basaltiche e hawaistiche in colate;
 - Lave basaltiche, trachibasaltiche, andesitico basaltiche;
 - Lave basaltiche, trachibasaltiche e hawaistiche con intercalazioni scoriacee;
 - Lave basaltiche;
 - Lave trachitiche in colata;
 - Lave basaltiche e trachibasaltiche in colate, porfiriche per fenocristalli;
 - Lave trachitiche, trachitico-fonolitiche in cupole di ristagno e colate; depositi piroclastici;
 - Lave tefritico-fonolitiche e fonolito-tefritiche ad analcime;
 - Lave basaltiche fortemente porfidiche;
 - Lave riolitiche e riodacitiche in colate ed ammassi. Facies perlitico-ossidianece;
 - Lave basaltiche, andesitico-basaltiche, trachibasaltiche in colata;
 - Lave dacitico e riodatiche in colata;
 - Filoni alcalini a composizione trachibasaltica, basaltica e hawaistica con noduli peridotitici;
3. Corpi idrici sotterranei degli acquiferi sedimentari terziari comprendono:
 - Argille arrosate con lenti di conglomerato a ciottoli di basamento paleozoici;
 - Calcari bioclastici;
 - Sabbie quarzoso-feldspatiche;
 - Marne;
 - Calcareniti;
 - Depositi epiclastici con intercalazioni di selci;
 - Arenarie e sabbie;
 - Arenarie marnose e/o siltose;
 - Conglomerati a brecce;
 - Brecce poligeniche.
4. Corpi idrici sotterranei degli acquiferi vulcanici terziari comprendono:
 - Flussi piroclastici prevalenti;
 - Depositi di flusso piroclastico;
 - Lave andesitiche e dacitiche in colate ed ammassi.
5. Corpi idrici sotterranei degli acquiferi carbonatici mesozoici e paleozoici comprendono:
 - Calcari biosparitici;
 - Calcari organogeni a rudiste;
 - Livelli di bauxite ed argille residuali in tasche carsiche;
 - Calcari dolomitici;
 - Marne e calcari marnosi;
 - Calcari micritici;
 - Dolomie e arenarie quarzose;
 - Alternanza di arenarie;
 - Calcari bioclastici;
 - Calcareniti e calciruditi;
 - Calcareniti e calcilutiti;
 - Conglomerati, livelli carboniosi e argille;
 - Metacalcari.
6. Corpi idrici sotterranei degli acquiferi granitoidi paleozoici comprendono:
 - Filoni e ammassi aplitici;
 - Gabbro-tonaliti;
 - Gabbri;
 - Granodioriti biotitici;
 - Gabbroidi;

- Gabbro-dioriti;
- Granodioriti monzogranitiche;
- Prfidi quarziferi;
- Tonaliti;
- Leucograniti.

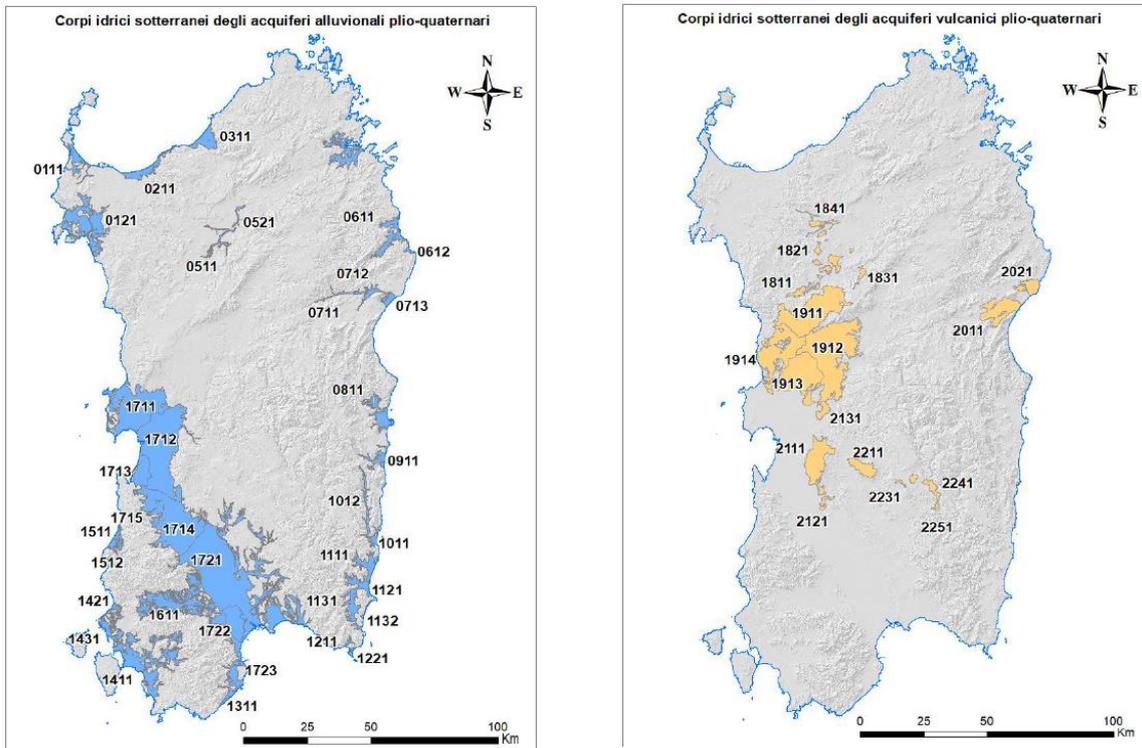


Figura 6-1. A sinistra, corpi idrici sotterranei degli acquiferi alluvionali plio-quadernari; a destra, corpi idrici sotterranei degli acquiferi vulcanici plio-quadernari.

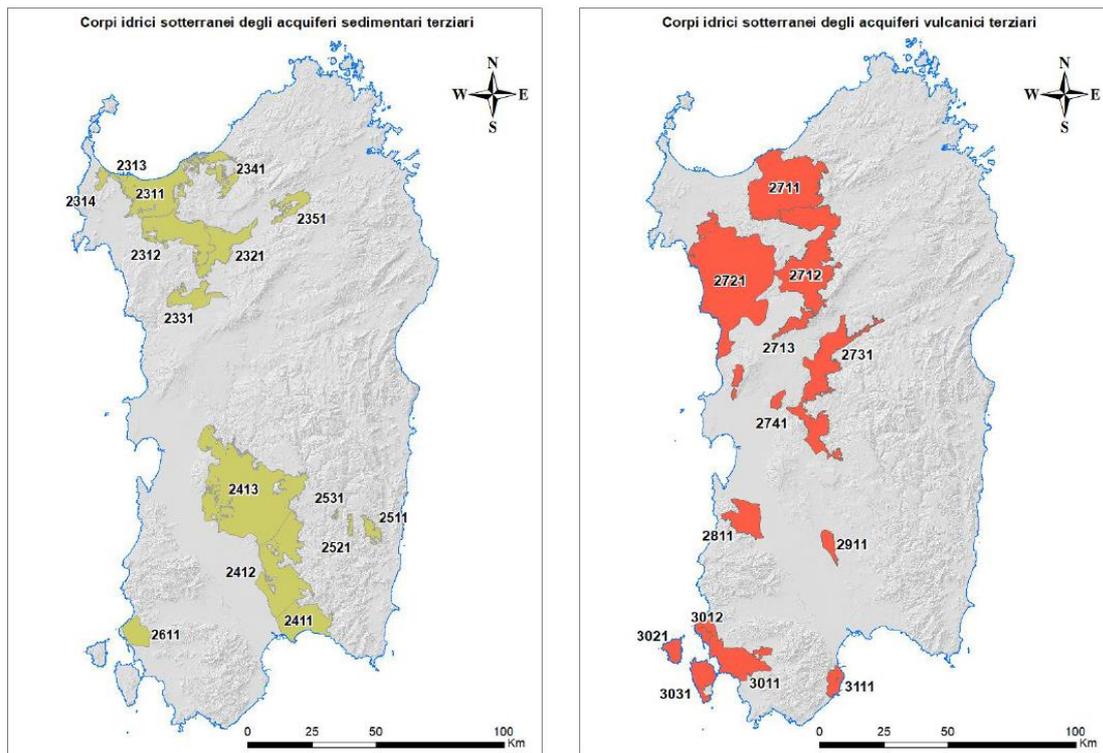


Figura 6-2. A sinistra, corpi idrici sotterranei degli acquiferi sedimentari terziari; a destra, corpi idrici sotterranei degli acquiferi vulcanici terziari.

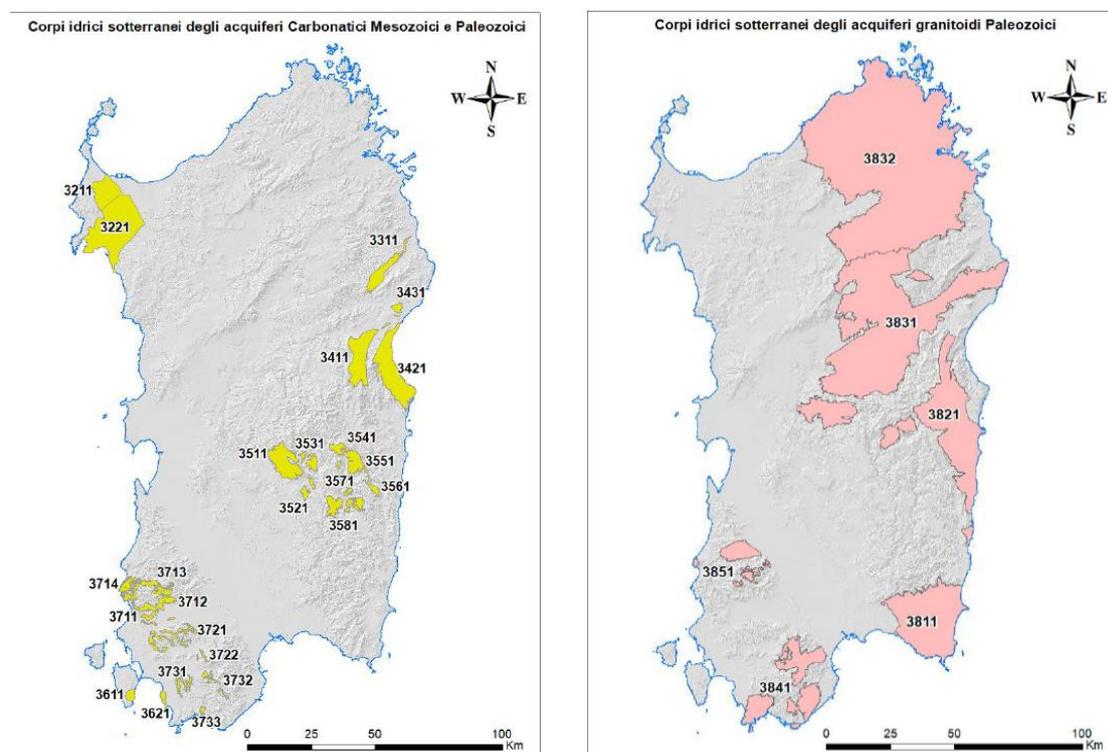


Figura 6-3. A sinistra, corpi idrici sotterranei degli acquiferi carbonatici mesozoici e paleozoici; a destra, corpi idrici sotterranei degli acquiferi granitoidi paleozoici.

L'areale di indagine ricade nel complesso dei corpi idrici sotterranei degli acquiferi granitoidi paleozoici.

Le rocce granitiche affioranti nella Sardegna centro-settentrionale costituiscono un substrato moderatamente permeabile per fessurazione: le acque meteoriche vengono direttamente raccolte e trattenute all'interno di un fitto sistema di fratture.

L'alimentazione di queste unità idrogeologiche avviene principalmente per le precipitazioni che si infiltrano lungo le fratture. Sporadicamente queste precipitazioni vengono raccolte dai depositi detritici quaternari.

Non è mai possibile collegare direttamente e semplicemente l'estensione delle acque sotterranee e la venuta a giorno delle sorgenti con le variazioni e le successioni litologiche, dato che tutte le principali rocce affioranti, tranne in parte i tufi, sono permeabili soltanto per fratturazione.

Poiché vari sistemi di fratture sono diffusi ovunque, lo schema di circolazione delle acque è assai complesso. Le sorgenti sono diversamente abbondanti da zona a zona e sono per lo più di entità modesta e soggette fortemente alle variazioni stagionali. Le condizioni più favorevoli si hanno alla base di incisioni naturali profonde entro roccia a tessitura compatta e fratturazione diffusa.

Nelle dolci conche di alcune zone di altopiano (tra Bultei e Pattada, a S e SW di Bitti) a costituzione granitica o scistoso-cristallina, possono comparire zone paludose dovute alla saturazione dei materiali eluviali di copertura entro i quali sono normalmente presenti modeste falde acquifere, anch'esse notevolmente sensibili alle forti variazioni stagionali delle precipitazioni.

Di seguito si riporta lo stralcio della Carta della Permeabilità delle litologie affioranti nella porzione più superficiale di esse, relativamente all'area del parco eolico.

Legenda

- WTGs
- Strade di accesso
- Cavidotto S.E. Utenza
- S.E. Utenza
- Cavidotto S.E. Utenza - S.E. Terna Mamone

Classi di permeabilità

- Lg - Laghi e canali
- MAP - Permeabilità medio alta per porosità
 $10^{-2} \text{ m/s} > K > 10^{-6} \text{ m/s}$
- AP - Permeabilità alta per porosità
 $K > 10^{-2} \text{ m/s}$
- BF - Permeabilità bassa per fratturazione
 $10^{-6} \text{ m/s} > K > 10^{-9} \text{ m/s}$
- MB - Permeabilità medio bassa per fratturazione
 $10^{-2} \text{ m/s} > K > 10^{-6} \text{ m/s}$

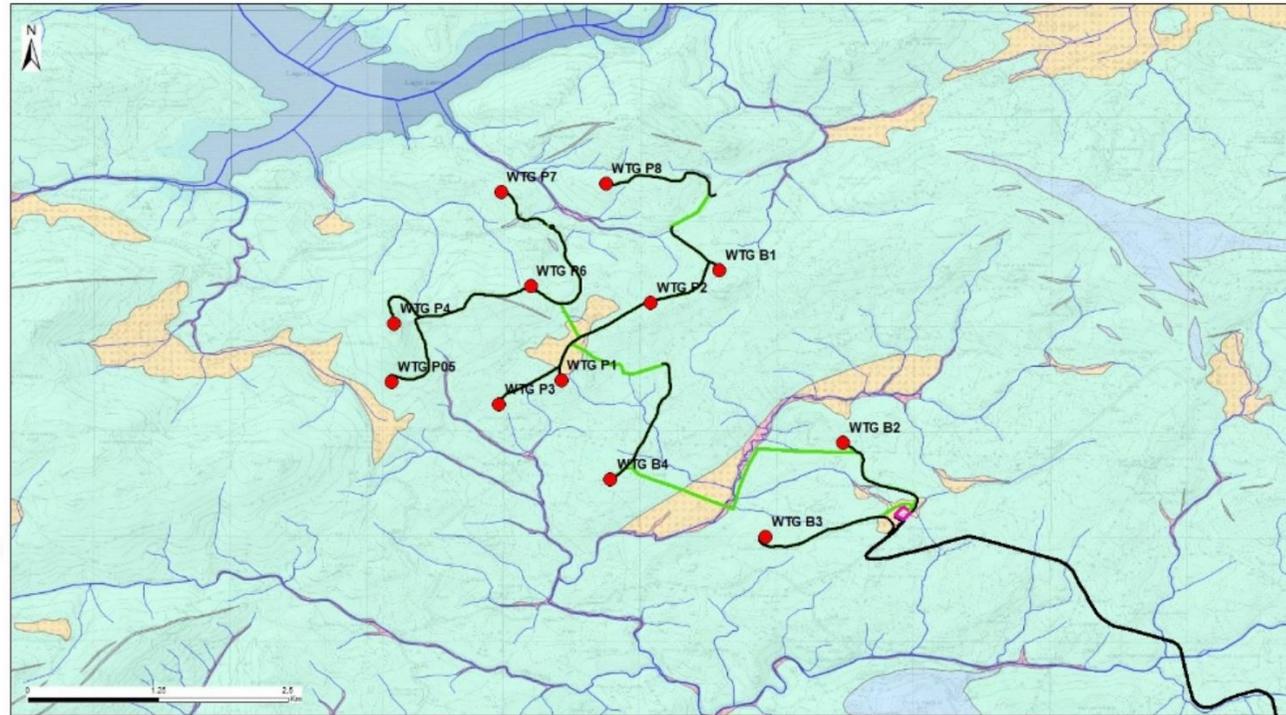


Figura 6-4. Carta della permeabilità.

La Regione Sardegna ha individuato gli acquiferi sulla base della definizione della Direttiva 2000/60/CE, che si basa sui concetti di “flusso significativo” e di “estrazione di quantità significative”. Il D.Lgs. 30/2009, coerentemente con il WFD CIS Guidance document n. 2, prevede che l’identificazione degli acquiferi debba soddisfare due criteri: flusso significativo e quantità significativa.

Da tale individuazione, l’area di indagine ricade a cavallo tra due importanti complessi idrogeologici:

- il complesso granitoide del Nuorese;
- il complesso granitoide della Gallura.

Lo studio delle acque sotterranee nelle rocce granitiche comporta la definizione di un modello strutturale di difficile ricostruzione, soprattutto nel caso in cui i corpi granitici sono stati interessati da più fasi di deformazione post-cristallina.

In quasi tutte le aree di affioramento i graniti sardi presentano evidenti sistemi di fratture e fessurazioni; le direzioni principali dei piani verticali di fessurazione sembrano essere quelle NS e EO. Queste, unitamente al piano orizzontale che le interseca, fanno sì che la roccia tenda a dividersi in prismi o in blocchi più o meno regolari.

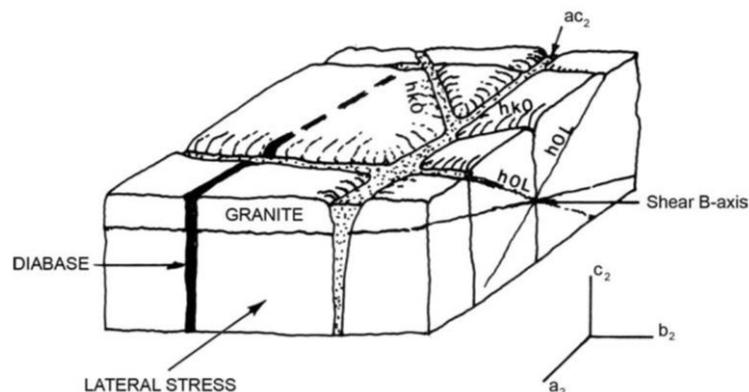


Figura 6-5. Modello di deformazione del granito che rappresenta fratture da tensione (ac_2), tagli (hk_0) e sovrascorrimenti (h_0l) (LARSSON 1972, leggermente modificato).

La circolazione idrica sotterranea del complesso granitoide avviene principalmente nelle aree maggiormente tettonizzate, in presenza di faglie e fratture a diversa scala, in parte nell’affioramento alterato più superficiale e nelle coltri alluvionali, dando luogo a riserve idriche sotterranee anche di discreta entità.

Nella macroarea di studio sono presenti numerosi pozzi trivellati, attingenti ad una falda confinata o semiconfinata e caratterizzati da una discreta produttività.

Nella zona di Nuoro, nella Sardegna centrale, che fa registrare una piovosità media annua di 800 mm, l’andamento tettonico è dominato da fratture di taglio piuttosto strette. Il lavoro di ROSÉN (1974) ha determinato una conservabilità dello 0,05%. Questa cifra corrisponderebbe ad una capacità di immagazzinamento di circa $4.000 \div 7.000 \text{ m}^3/\text{km}^2$. La resa di un certo numero di pozzi perforati variava da 0,10 a 0,86 m^3/h , le capacità specifiche andavano da $4,1 \cdot 10^{-2}$ a $2,9 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{h}$. Applicando i metodi Theis, Jacob e Cooper e Chow, le fratture grossolane hanno mostrato una trasmissività (T) compresa tra $8 \cdot 10^{-6}$ e $3 \cdot 10^{-5}$ m^2/s e un immagazzinamento (S) compreso tra 0,3 e 2,2%. Nelle fratture fini la trasmissività variava tra $1,5 \cdot 10^{-6}$ e $4,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, e l’immagazzinamento tra 0,15 e 0,8%.

Il modello di frattura aveva una conservabilità media (S) pari a 0,5%. Supponendo una profondità di frattura grossolana generale di $10 \div 15 \text{ m}$, si può ottenere una capacità di stoccaggio di $27.000 \div 40.000 \text{ m}^3$.

Calcoli molto approssimativi forniscono una capacità di immagazzinamento di circa $50.000 \div 80.000 \text{ m}^3/\text{km}^2$ per il modello di frattura del granito.

È stato osservato che l'effetto ritardato delle precipitazioni sul prelievo, durante la ricarica dopo la rimozione dell'acqua mediante pompaggio dai pozzi, era molto basso e variava in relazione al contenuto di umidità del suolo, indotto dall'entità e intensità delle piogge.

Una resa di $0,3 \div 0,5$ l/s ($2,6 \div 4,3$ m³/giorno) può essere sufficiente a soddisfare la domanda di acqua potabile umana e animale e a fornire l'irrigazione di alcuni ettari sulla base di una domanda annua stimata in 5 m³/ha.

Generalmente, per l'Italia meridionale, CELICO et al. (2000) e ALLOCCA et al. (2007) riportano portate significative ad altitudini elevate, dove affiorano le rocce metamorfiche e anche alla base dei massicci granitoidi incisi dai corsi d'acqua.

Nelle zone più fratturate, il flusso delle acque sotterranee è più attivo e può verificarsi a una profondità maggiore. Le acque sotterranee defluiscono nelle valli, alimentando i torrenti, numerose sorgenti a bassa portata e falde acquifere circostanti.

Le fratture tensionali, essendo ben sviluppate sia longitudinalmente che in profondità, tendono a creare spazi vuoti che consentono l'intrusione di dicchi lamprofiri, apliti e micrograniti e quindi indicano generalmente forze tensionali nella crosta terrestre.

Le fratture sono spesso accompagnate da slickensides e fenomeni cataclastici e la loro porosità effettiva è costituita da spazi vuoti chiaramente dovuti all'erosione di frattura prodotta dal flusso delle acque sotterranee. Le dimensioni dell'acquifero possono essere limitate dalla presenza di dicchi lamprofiri, costituiti da orneblenda-plagioclasio-spessartite con ortoclasio interstiziale minore e quarzo. Nella bibliografia scientifica si è riscontrato che, di solito, agiscono come barriere sotterranee tra settori granitici contigui. L'effetto sbarramento sembra essere causato dalla sigillatura di fratture aperte per l'intrusione di magma lamprofirico e, soprattutto, dall'intensa alterazione delle lamprofire, che sono generalmente molto più argillificate dei graniti della roccia di parete.

Nelle aree in cui si trovano questi argini, le falde acquifere granitiche tra di loro possono avere una buona conduttività idraulica ma la loro capacità di stoccaggio è scarsa, a seconda delle dimensioni della zona granitica fratturata. Quanto più gli argini sono ravvicinati, tanto minori sono le possibilità di trovare una buona falda acquifera (BARROCU e VERNIER, 1975). Le acque sotterranee nelle rocce granitiche della Sardegna possono essere trovate in zone di frattura, parti alterate della roccia e dicchi di microgranito. Può essere difficile determinare la relazione reciproca tra i diversi tipi di falde acquifere perché i serbatoi sotterranei e i bacini idrografici spesso non coincidono (BARROCU, 2005).

LARSSON (1968) ha dimostrato che le fessure tensionali formatesi in fase plastica, a causa della loro brevità e dello sviluppo "en-echelon", rappresentano acquiferi poveri a meno che il loro disegno originario non sia stato disturbato da deformazioni successive. D'altro canto, le fratture tensionali post-cristalline, che sono molto più lunghe, sono potenzialmente buoni serbatoi di falda e collettori dell'acqua immagazzinata nelle fratture più piccole comunicanti con esse.

Non trascurabile e del tutto usuale, nelle masse rocciose cristalline e metamorfiche vi è anche la presenza di acque sotterranee in corrispondenza dei filoni più acidi intersecanti tali formazioni rocciose, a causa di una loro maggiore tettonizzazione (GHIGLIERI, 2001).

Attraverso questi sistemi di fessurazioni le acque piovane hanno la possibilità di raggiungere livelli abbastanza profondi, causando o comunque accelerando i processi di alterazione.

Tali processi si sviluppano in base a meccanismi di tipo fisico e chimico. Tra i fattori che regolano i primi ricordiamo la termoclastia, la penetrazione delle acque meteoriche e la formazione di cristalli di sostanze solubili. Naturalmente le azioni del gelo assumono notevole intensità solo in quelle località aventi quote sufficienti per garantire temperature invernali inferiori allo zero; ciò senza trascurare il ruolo particolarmente importante svolto dal gelo durante le fasi fredde del Pleistocene nei processi di alterazione delle rocce granitiche.

L'alterazione chimica agisce (unitamente a quella fisica) e si sviluppa mediante processi di idrolisi dei vari complessi silicatici; come è ben noto, i minerali fessili sono quelli più soggetti agli attacchi chimici; i plagioclasti e i feldspati alcalini, pur offrendo maggiore resistenza, appaiono comunque sempre ricoperti da prodotti di alterazione; il quarzo e la muscovite, infine, rimangono intatti.

Tale alterazione riporta un processo di arenizzazione delle rocce paleozoiche (BARROCCU et al., 1999).

L'elemento più rilevante evidenziato dalla carta idrogeologica è l'andamento tortuoso delle isopieze e la forte concavità verso l'alto delle curve lungo l'asse del reticolo idrografico che ne evidenzia la condizione di drenaggio.

La superficie piezometrica è alquanto regolare, ma le portate dei pozzi sono variabili in funzione dello stato di alterazione del granito e della loro distanza dalle lineazioni tettoniche.

Si vuole sottolineare come, in generale, non esiste un codificato schema predisposto di cartografia idrogeologica, soprattutto per questa area di studio ove le indagini idrogeologiche sono assai carenti.

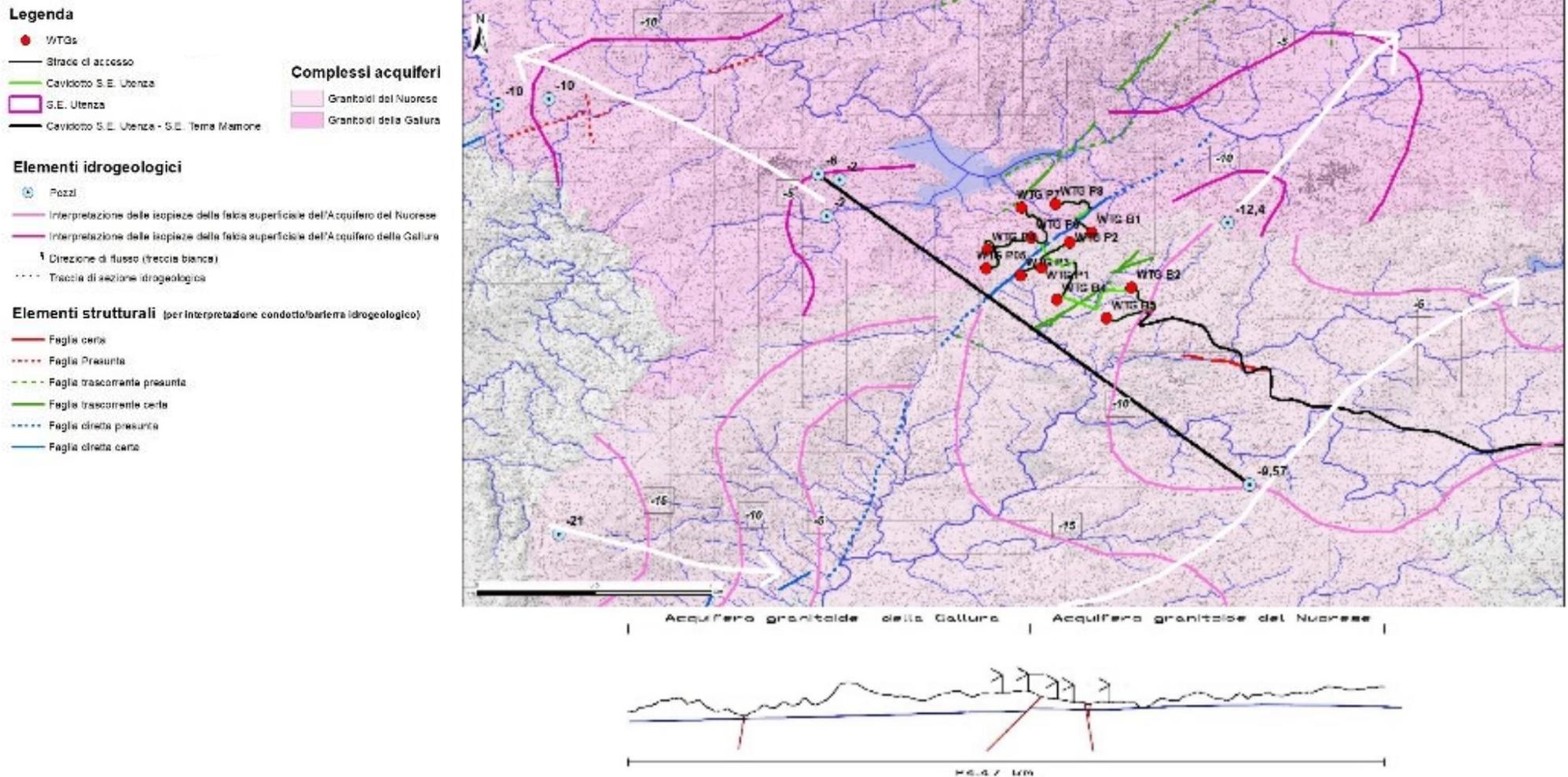


Figura 6-6. Carta idrogeologica.

6.1 Vulnerabilità degli acquiferi

La vulnerabilità intrinseca o naturale degli acquiferi si definisce come la suscettibilità specifica dei sistemi acquiferi, nelle loro diverse parti componenti e nelle diverse situazioni geometriche ed idrodinamiche, ad ingerire e diffondere, anche mitigandone gli effetti, un inquinante fluido od idroveicolato tale da produrre impatto sulla qualità dell'acqua sotterranea, nello spazio e nel tempo (CIVITA, 1987).

La conoscenza della vulnerabilità concorre all'analisi del rischio derivante dalle pressioni rilevate su ciascun corpo idrico sotterraneo.

All'interno di ciascun corpo idrico possono ricadere aree a diversa vulnerabilità; qualora tali aree siano significative dal punto di vista spaziale, al corpo idrico è stato attribuito il range di vulnerabilità corrispondente.

Per la stima della vulnerabilità intrinseca dell'acquifero nell'area in oggetto si è fatto ricorso al modello Drastic Index, un indice ponderale aggregato realizzato da ALLER et al. (1987) per conto dell'EPA (Environmental Protection Agency).

Il modello Drastic Index è attualmente diffuso in tutto il mondo, esso 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:

$$Dix = (Dp \cdot Dv) + (Rp \cdot Rv) + (Ap \cdot Av) + (Sp \cdot Sv) + (Tp \cdot Tv) + (Ip \cdot Iv) + (Cp \cdot Cv)$$

Dove:

p = peso dei fattori;

v = valori di intensità.

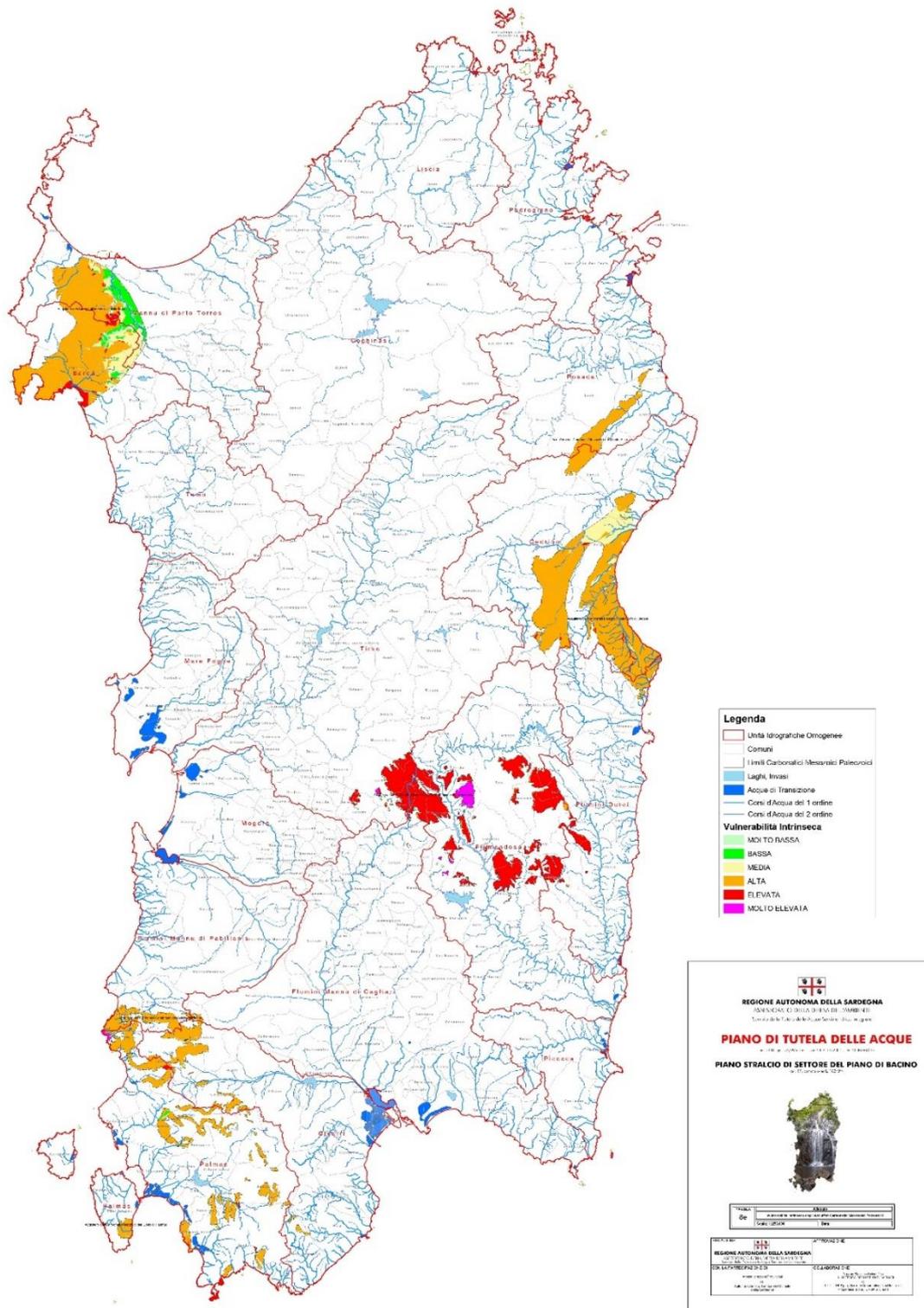


Figura 6-7. Carta della vulnerabilità degli acquiferi carbonatici mesozoici paleozoici (Fonte: Piano di Tutela delle Acque, Regione Sardegna)

Come si evince dalla figura soprastante, l'area di progetto non è interessata da nessun tipo di vulnerabilità degli acquiferi.

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:

Dp =	5	(p = 3)
Rp =	4	(p = 3)
Ap =	3	(p = 4)
Sp =	2	(p = 5)
Tp =	1	(p = 9)
lp =	5	(p = 3)
Cp =	3	(p = 2)

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

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

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

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

Tabella 6-1. Pesi dei fattori Drastic Index (ALLER et alii, 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 = 79, che – come atteso – corrisponde come atteso ad una Vulnerabilità “B - Bassa”

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)

Per meglio definire il livello di assorbimento e permeabilità, nella parte più superficiale del suolo, sono state eseguite delle prove di permeabilità a carico variabile in pozzetto superficiale, secondo lo standard A.G.I. 1977:

$$\text{Permeabilità } (K) = h_1 - \frac{h_2}{t_2} - t_1 * 1 + \frac{\left(\frac{2h_m}{b}\right)}{27 * \left(\frac{h_m}{b}\right) + 3}$$

La prova è stata effettuata per tre volte nei minipit dei saggi pedologici (vedi capitolo sulle caratteristiche pedologiche nella Relazione geologica e sismica) e i risultati sono stati mediati per ottenere un valore di permeabilità più attendibile.

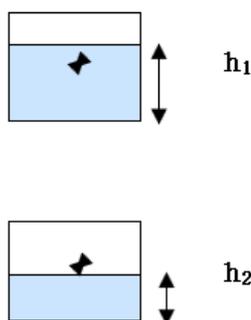


Figura 6-8. Prova di permeabilità a carico variabile in pozzetto superficiale (standard AGI, 1977).

DATI	Unità di misura	Misura 1	Misura 2	Misura 3	Media
h_1 = altezza iniziale del livello dell'acqua	cm	175	174	173	
h_2 = altezza finale del livello dell'acqua	cm	174	173	172	
$t_2 - t_1$ = tempo trascorso per il raggiungimento di h_2	min	1,3	3,9	5,8	
h_m = altezza media tra h_1 e h_2	cm	174,5	173,5	172,5	
b = lato della base del pozzetto	cm	25,0	25,0	25,0	
K = coefficiente di permeabilità	cm/sec	0,0010	0,0003	0,0002	0,0005

Tabella 6-1. Prova di permeabilità a carico variabile in pozzetto S1.

DATI	Unità di misura	Misura 1	Misura 2	Misura 3	Media
h_1 = altezza iniziale del livello dell'acqua	cm	55	54	53	
h_2 = altezza finale del livello dell'acqua	cm	54	53	52	
$t_2 - t_1$ = tempo trascorso per il raggiungimento di h_2	min	,54	1,4	3,1	
h_m = altezza media tra h_1 e h_2	cm	54,5	53,5	52,5	
b = lato della base del pozzetto	cm	25,0	25,0	25,0	
K = coefficiente di permeabilità	cm/sec	0,0027	0,0010	0,0005	0,0014

Tabella 6-2. Prova di permeabilità a carico variabile in pozzetto S2.

DATI	Unità di misura	Misura 1	Misura 2	Misura 3	Media
h_1 = altezza iniziale del livello dell'acqua	cm	173	172	171	
h_2 = altezza finale del livello dell'acqua	cm	172	171	170	
$t_2 - t_1$ = tempo trascorso per il raggiungimento di h_2	min	1,4	4,3	6,1	
h_m = altezza media tra h_1 e h_2	cm	172,5	171,5	170,5	
b = lato della base del pozzetto	cm	25,0	25,0	25,0	
K = coefficiente di permeabilità	cm/sec	0,0009	0,0003	0,0002	0,0005

Tabella 6-3. Prova di permeabilità a carico variabile in pozzetto S3.

DATI	Unità di misura	Misura 1	Misura 2	Misura 3	Media
h_1 = altezza iniziale del livello dell'acqua	cm	177	176	175	
h_2 = altezza finale del livello dell'acqua	cm	176	175	174	
$t_2 - t_1$ = tempo trascorso per il raggiungimento di h_2	min	1,3	3,1	5,2	
h_m = altezza media tra h_1 e h_2	cm	176,5	175,5	174,5	
b = lato della base del pozzetto	cm	25,0	25,0	25,0	
K = coefficiente di permeabilità	cm/sec	0,0010	0,0004	0,0003	0,0006

Tabella 6-4. Prova di permeabilità a carico variabile in pozzetto S4.

k (m/s)	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}
GRADO DI PERMEABILITÀ	alto			medio		basso		molto basso		impermeabile		
DRENAGGIO	buono					povero			praticamente impermeabile			

Tabella 6-5. Schema sintetico dei rapporti tra il coefficiente di permeabilità e il drenaggio.

Come si evince dal risultato delle Prove di permeabilità a carico variabile in pozzetto superficiale (standard A.G.I. 1977), il grado di permeabilità è “Medio” e, di conseguenza, il drenaggio è “Buono”.

Ciò è imputabile, prevalentemente, alla percentuale delle frazioni fini, in quanto le caratteristiche granulometriche del suolo, come si evince dalle prove di laboratorio eseguite, presentano una componente argillosa e limosa nel loro complesso significativa.

Si rimanda al capitolo dedicato alle “Caratteristiche pedologiche” nella “Relazione geologica e sismica” per gli approfondimenti del caso.

7 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

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, 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.

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, 13 maggio 2024

Prof. Geol. Alfonso Russi



Dott. Geol. Raffaele Di Ceglie



8 BIBLIOGRAFIA E WEBREFERENCE

8.1 BIBLIOGRAFIA

ALLER, L., BENNET, T., LEHR, J. H., PETTY, R. J., HACKETT, G., (1987) - "DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings," US EPA Report 600/287/035, U.S. Environmental Protection Agency.

ALLOCCA V., CELICO F., CELICO P., DE VITA P., FABBROCINO S., MATTIA S., MONACELLI G., MUSILLI I., PISCOPO V., SCALISE A.R., SUMMA G., TRANFAGLIA G. (2007) - "Note illustrative della Carta idrogeologica dell'Italia meridionale", Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, ISBN 88-448-0215-5, p. 211, con carte allegate, ISBN 88-448-0223-6 (3 tavole fuori testo), 2007.

BARROCU G (2005) – Groundwater investigation planning and management in fissured rocks. Keynote, Proc 7th Hellenic Hydrogeol Conf on Fissured Rocks Hydrology. Athens 2005, Oct. 4–6, II, 55–68, ISBN 960-88816-2-5.

BARROCU G., GHIGLIERI G. & URAS G. (1999) – Il GIS per la vulnerabilità degli acquiferi nella pianificazione per la Protezione Civile. La Regione Sardegna. 3° Convegno Nazionale sulla protezione delle acque sotterranee per il III millennio. Parma 13-14-15 ottobre. Supplemento Speciale della Rivista "Quaderni di Geologia Applicata" Pitagora Editrice (Pubbl. GNDICI-CNR n.2000), 1342-1348, Parma.

BARROCU G, Vernier A (1975) - Notizie preliminari sulla idrogeologia di alcuni filoni di porfido in rocce granitiche della Sardegna. III Conv Int Acque Sott Palermo Nov 1975. In: "Atti Cattedra di Geologia Applicata Fac Ing Univ Cagliari", 1–9.

CIVITA M. (1987) - "La previsione e la prevenzione del rischio di inquinamento delle acque sotterranee a livello regionale mediante le carte di vulnerabilità. Atti del Convegno "Inquinamento delle Acque Sotterranee: Previsione e Prevenzione", Mantova, Prov. MN, Ass. Amb. e Ecol., pp. 9-18.

CELICO F., HABETSWALLNER F (2000) - L'uso di acquiferi fluvio-lacustri quali serbatoi naturali di compenso. L'esempio della piana di Oricola (Abruzzo) L'Acqua, 6/2000, Roma, 2000, pp. 53-58.

CREMASCHI M. & GINESU S. (199) - Morfogenesi e pedogenesi tardo terziaria e pleistocenica antica nella Nurra occidentale (Sardegna). nota preliminare. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 13 (1990), 81-82. 1 fig

FEDERICI P.R., GINESU S. & OGGIANO G. (1987) - Genesi ed evoluzione della pianura costiera turritana (Sardegna settentrionale). Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 10, 133-121.

FLORINSKY I. (2012) - Digital Terrain Analysis in Soil Science and Geology. Elsevier, The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford.

GHIGLIERI G. (2001) – Valutazione delle Risorse idriche Sotterranee della Sardegna. Assegno di Ricerca MURST (D.R. 11.03.1999 n.1036). Dipartimento di Ingegneria del Territorio, Università degli Studi di Cagliari. Tutor scientifico Prof. Giulio Barbieri (1999) Inedito, Cagliari.

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.

HUDSON N.W. (1992) - Soil Conservation. B.T. Batsford Limited, London.

LARSSON I. (1968) - Groundwater in Precambrian rocks in Southern Sweden. Proceedings of the International Symposium on Groundwater Problems. October, 1966, Stockholm.

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]

OZER A. (1976) - Geomorphologie du versant septentrional de la Sardaigne. Etude des fonds sous-marins, de la morphologie cotiere et des terrasses fluviales. These Doct. Univ. Liegi, 630 pp.

OZER A. (1977) – Les terrasses du Coghinas (Sardaigne septentrionale). Proposition de chronologie. Studi Sassaesi, 25, 78 pp.

ROSÉN B (1974) - Subsurface hydrology. In: Geohydrological Investigations of Groundwater in Granite Rocks in Sardinia, Dept Land Impr Drain, R Inst Techn, Stockholm, II, 3:21A: 69–82.

ROSGEN D.L. (1994) – A classification of natural rivers. Wildland Hydrology, 157649 U.S. Highway 160, Pagosa Spings, CO 81147. Catena 22 1669-199

ULZEGA, A. 1999, Lineamenti geomorfologici, in SARDEGNA L'ALEOLITICA, pp. 25-34.

ZHAO G.J. (2009) - Water Science and Engineering, Dec. 2009, Vol. 2, No. 4, 1-15.

8.2 WEBREFERENCE

https://www.regione.sardegna.it/documenti/1_839_20191209131300.pdf

[GeoServer Web Map Service su webgis.regione.sardegna.it](http://geoserver.webgis.regione.sardegna.it)

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



COMUNE:
Buddusò

PROVINCIA:
SS

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

Comune di	Buddusò
Provincia	SS
Altitudine [m]	700
Latitudine	40,5791
Longitudine	9,2591
Temperatura Massima Annuale [°C]	37,21
Temperatura Minima Annuale [°C]	-3,79

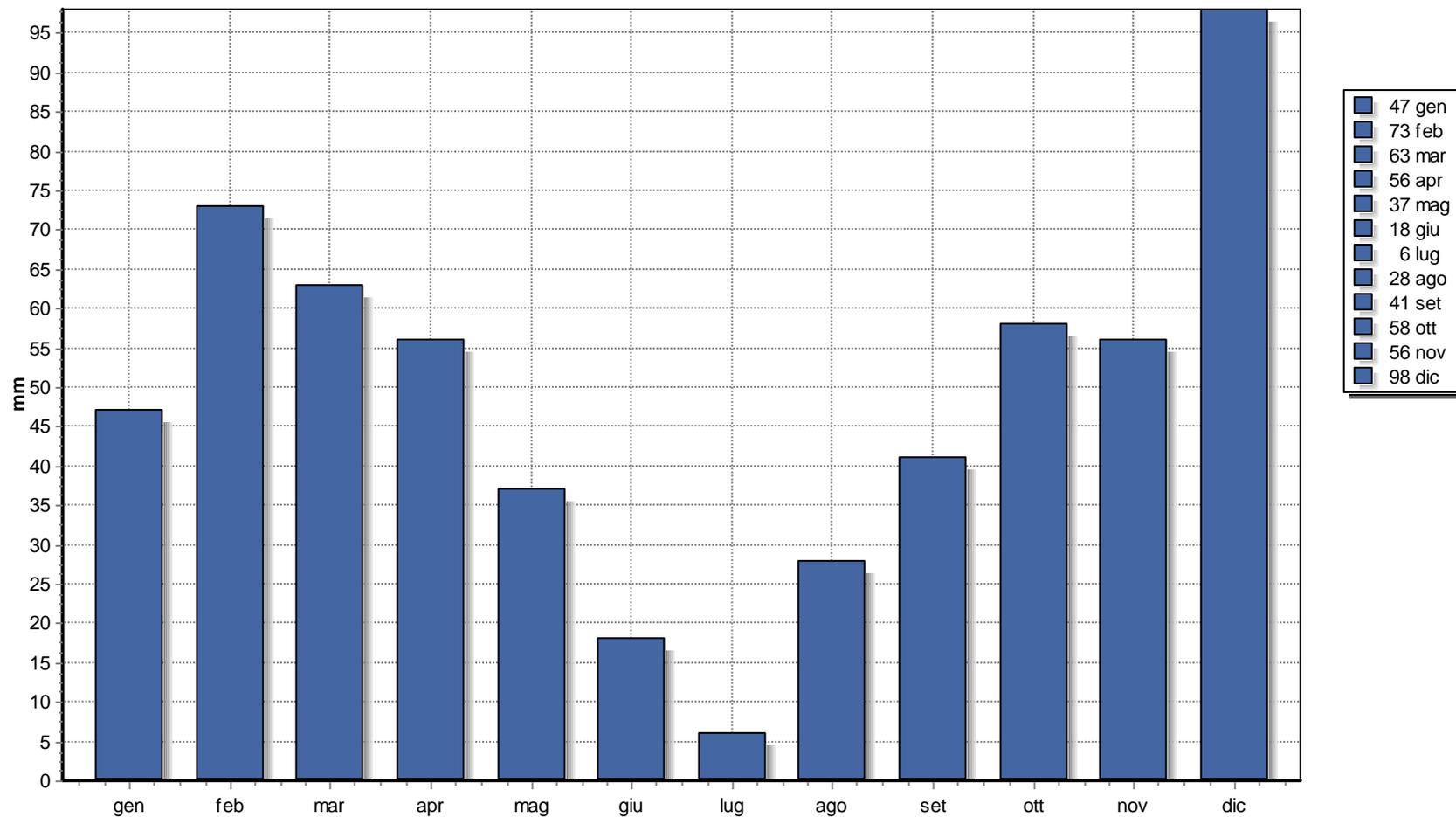
I dati climatici sono stati acquisiti dalla Norma UNI 10349 e sono relativi ad un periodo minimo di 30 anni.

2. Indici

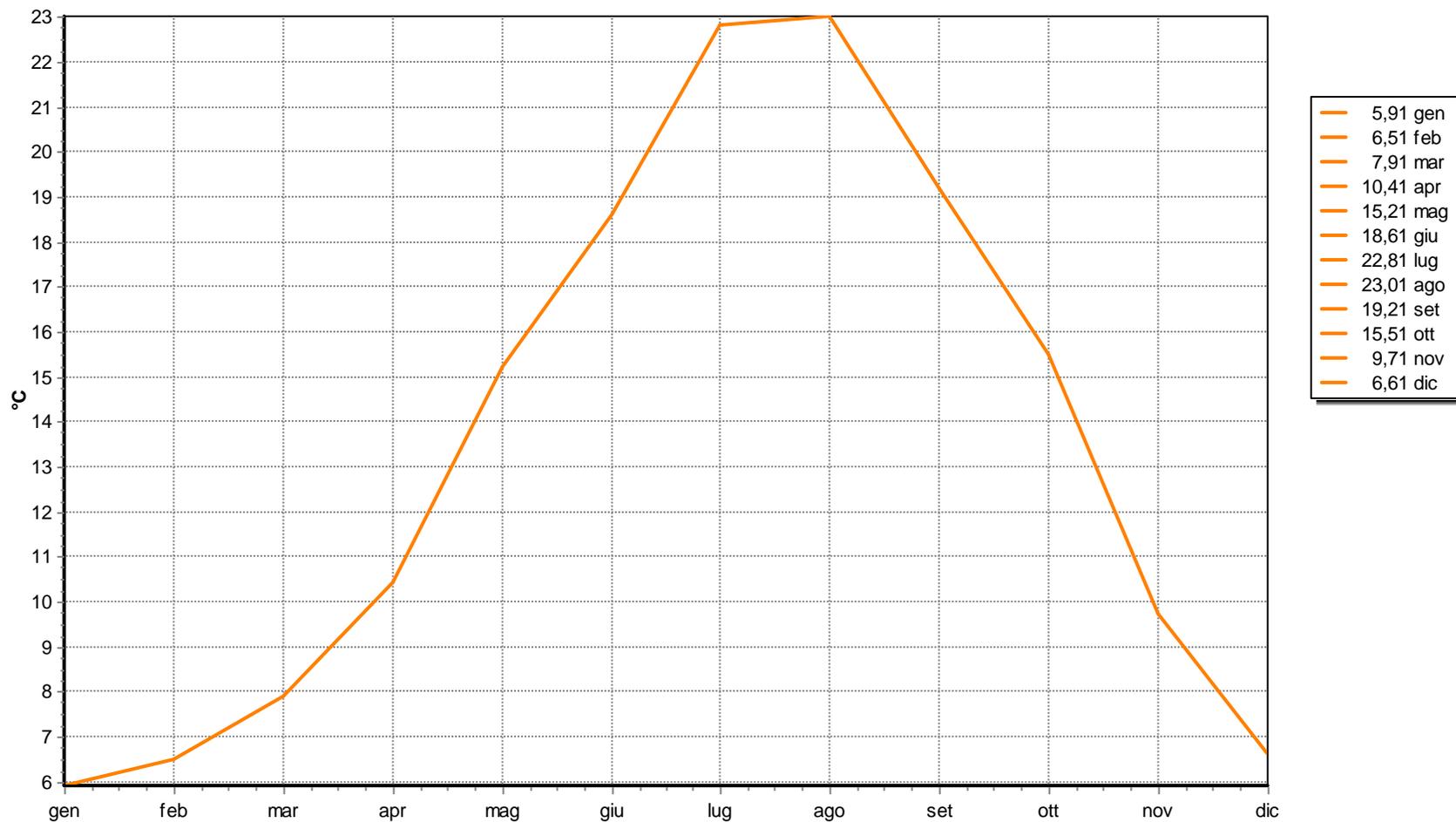
Precipitazioni [mm]:	Totale:	581
	Media:	48,28
Temperatura Media [°C]	13,50	
Indice di Continentalità di Gams	50° 18'	
Indice di Fournier	16,53	
Evaporazione Idrologica di Keller [mm]	527,40	
Pluviofattore di Lang	43,04	
Indice di Amann	458,68	
Mesi Aridi:	Secondo Koppen:	giu lug ago
	Secondo Gaussen:	giu lug ago
Indice di De Martonne	24,72	
Indice di De Martonne-Gottmann	13,46	
Indice di Aridità di Crowther	13,55	
Indice Bioclimatico di J.L. Vernet	7,01	
Indice FAO	1,22	
Evaporazione Media mensile [mm]	111,60	
Quoziente Pluviometrico di Emberger	74,13	
Indice di Continentalità di Currey	1,18	
Indice di Continentalità di Conrad	30,69	
Indice di Continentalità di Gorczynski	24,29	
Evapotraspirazione Reale di Turc [mm]	437,61	
Evapotraspirazione Reale di Coutagne [mm]	455,51	
Indici di Rivas-Martinez:	Continentalità [°C]:	17,10
	Termicità:	253,20 ± 0,00
	Ombrotermico Annuale:	3,60
	Ombrotermico Estivo:	0,81
Indici di Mitrakos:	SDS (Summer Drought Stress):	106,63
	WCS (Winter Cold Stress):	-9,57
	YDS (Year Drought Stress):	305,12
	YCS (Year Cold Stress):	37,32

[C°]	gen	feb	mar	apr	mar	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Temperature	5,91	6,51	7,91	10,41	15,21	18,61	22,81	23,01	19,21	15,51	9,71	6,61
Massime	9,31	10,11	12,21	15,01	20,91	24,91	29,61	29,61	24,81	20,31	13,51	10,31
Minime	2,51	2,91	3,61	5,81	9,51	12,31	16,01	16,31	13,61	10,61	5,91	3,01
Massime Estreme	14,21	16,71	19,21	24,21	28,71	32,21	37,21	37,21	31,21	27,81	21,21	15,21
Minime Estreme	-3,79	-2,99	-2,29	1,21	4,21	7,21	10,71	12,21	9,21	5,21	-0,79	-2,79
[mm]	gen	feb	mar	apr	mar	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Precipitazioni	47	73	63	56	37	18	6	28	41	58	56	98
Indice di Angot	11,46	19,71	15,36	14,11	9,02	4,54	1,46	6,83	10,33	14,14	14,11	23,90
Indice di De Martonne (mensile)	35,45	53,06	42,21	32,93	17,61	7,55	2,19	10,18	16,84	27,28	34,09	70,80
Stress di Mitrakos (idrico)	6	0	0	0	26	64	88	44	18	0	0	0
Stress di Mitrakos (termico)	59,92	56,72	51,12	33,52	3,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32,72	55,92

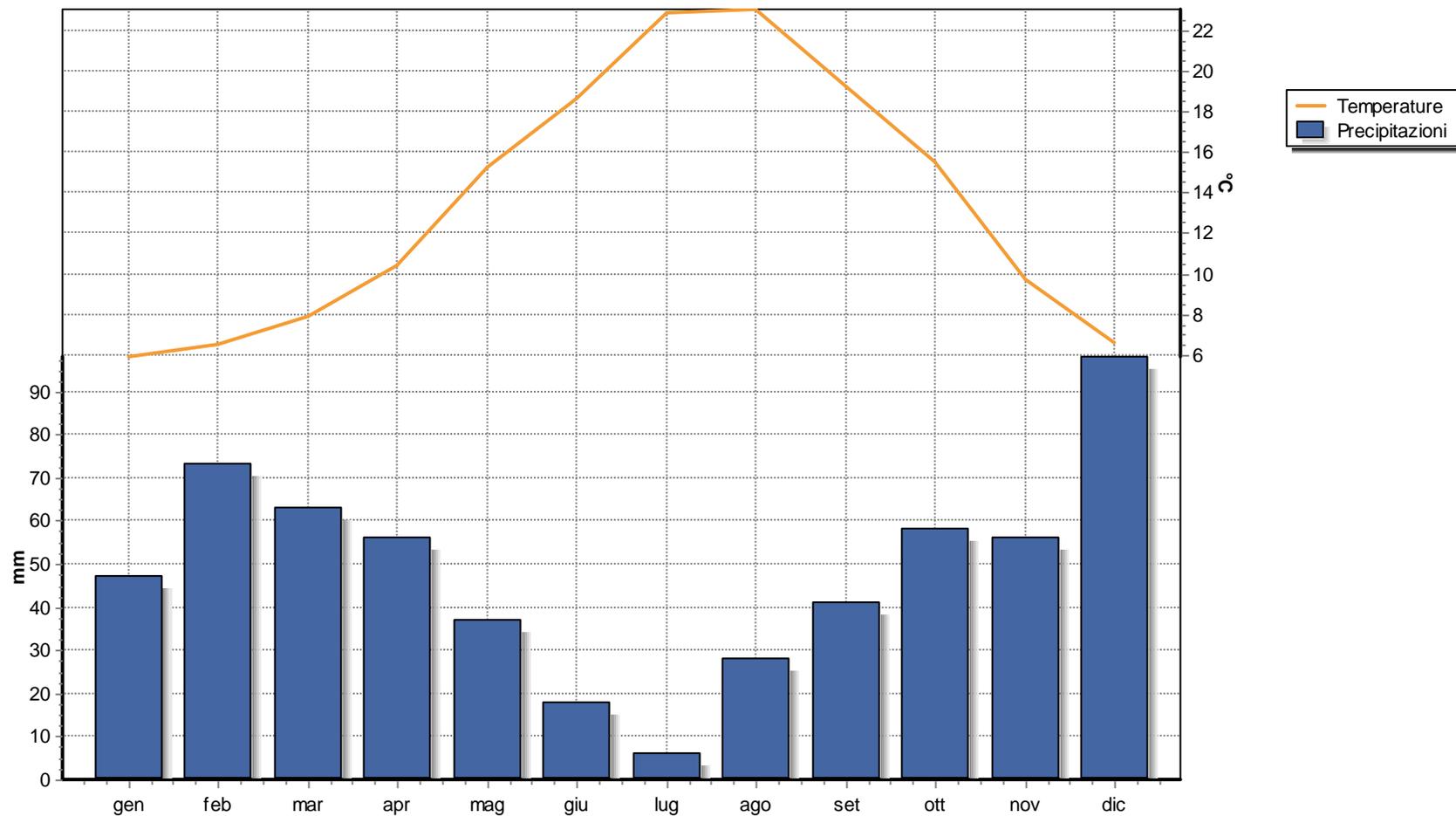
3. Diagramma Pluviometrico



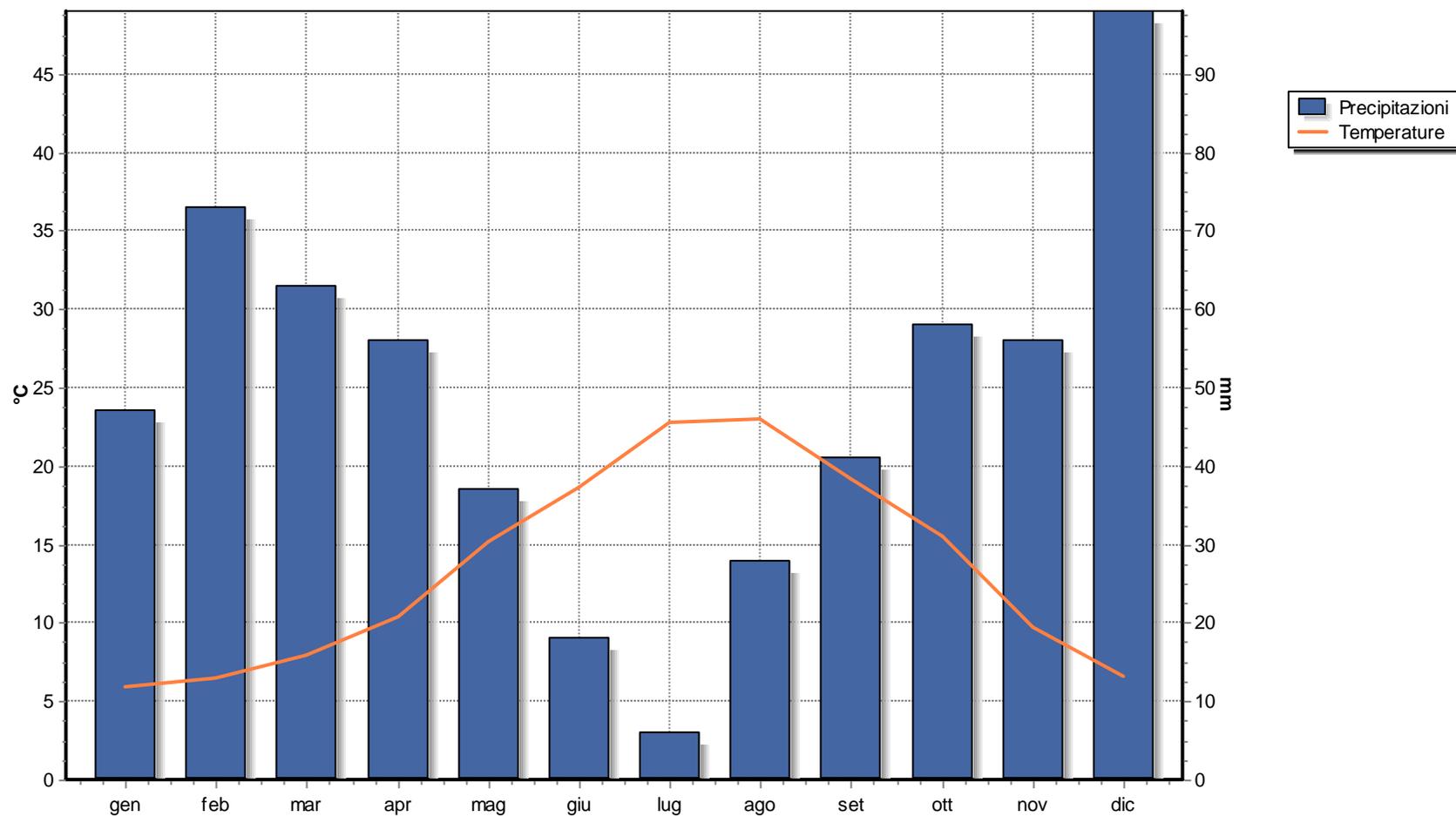
4. Diagramma Termometrico



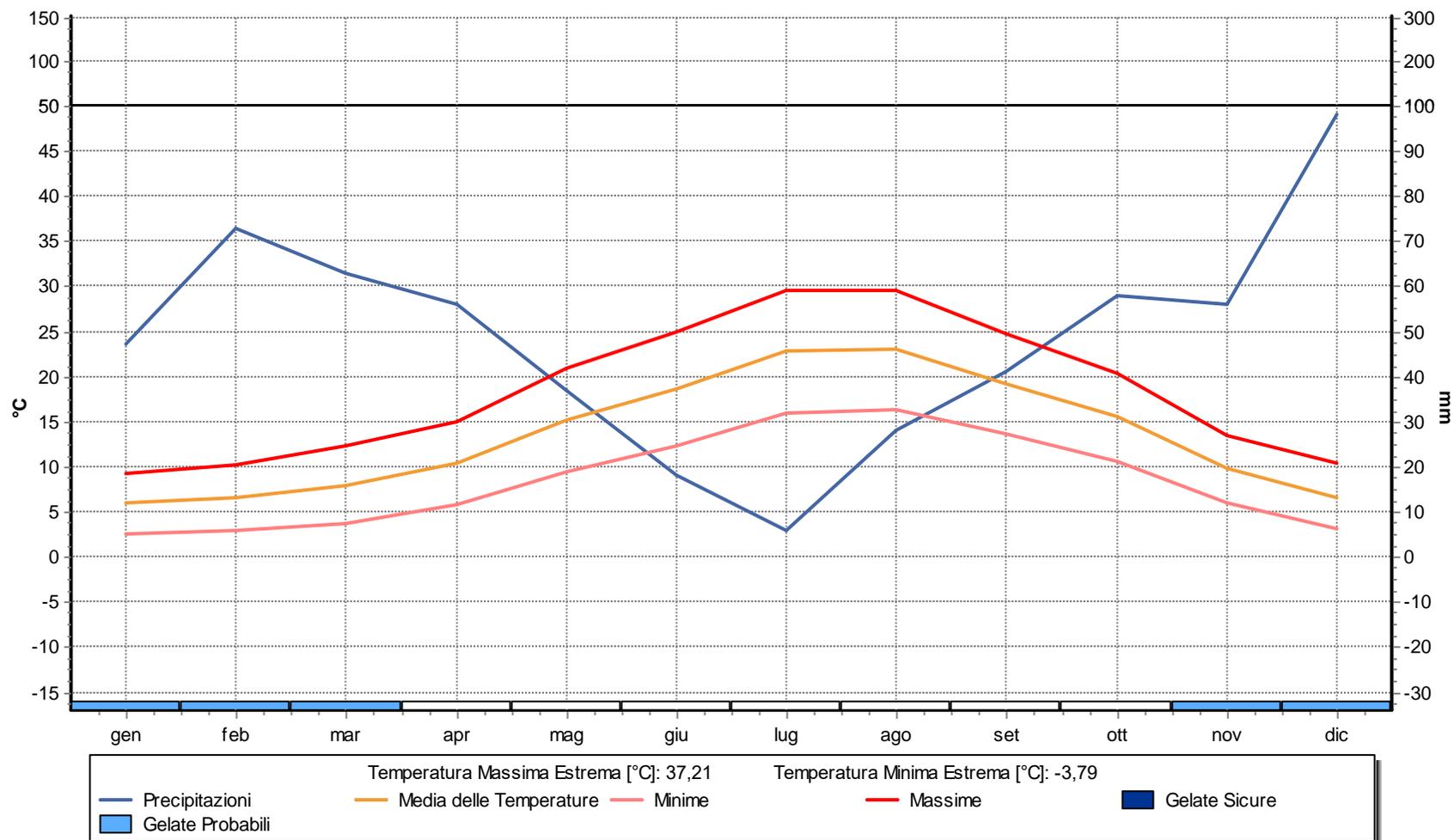
5. Diagramma Termopluviometrico



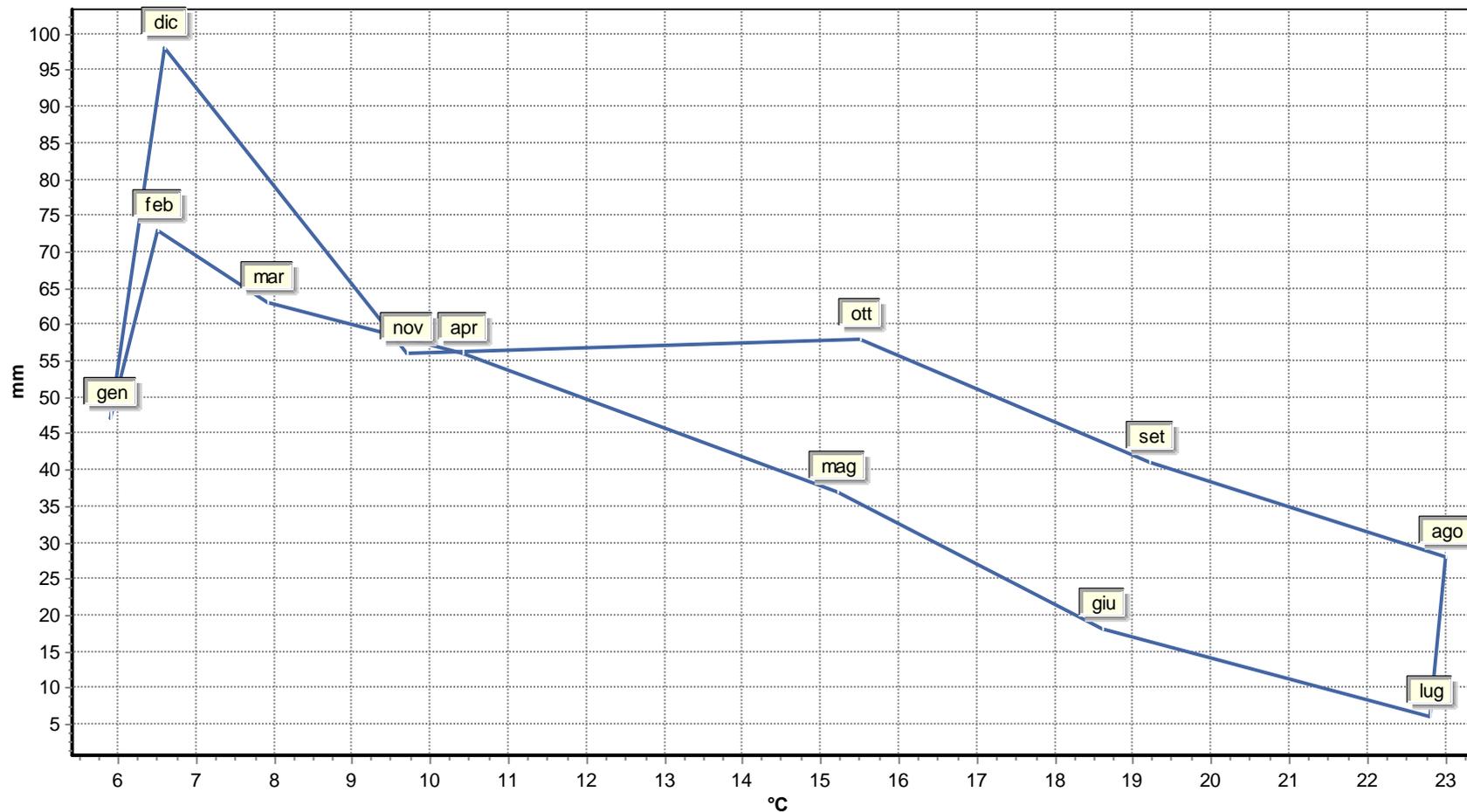
6. Diagramma Ombrotermico



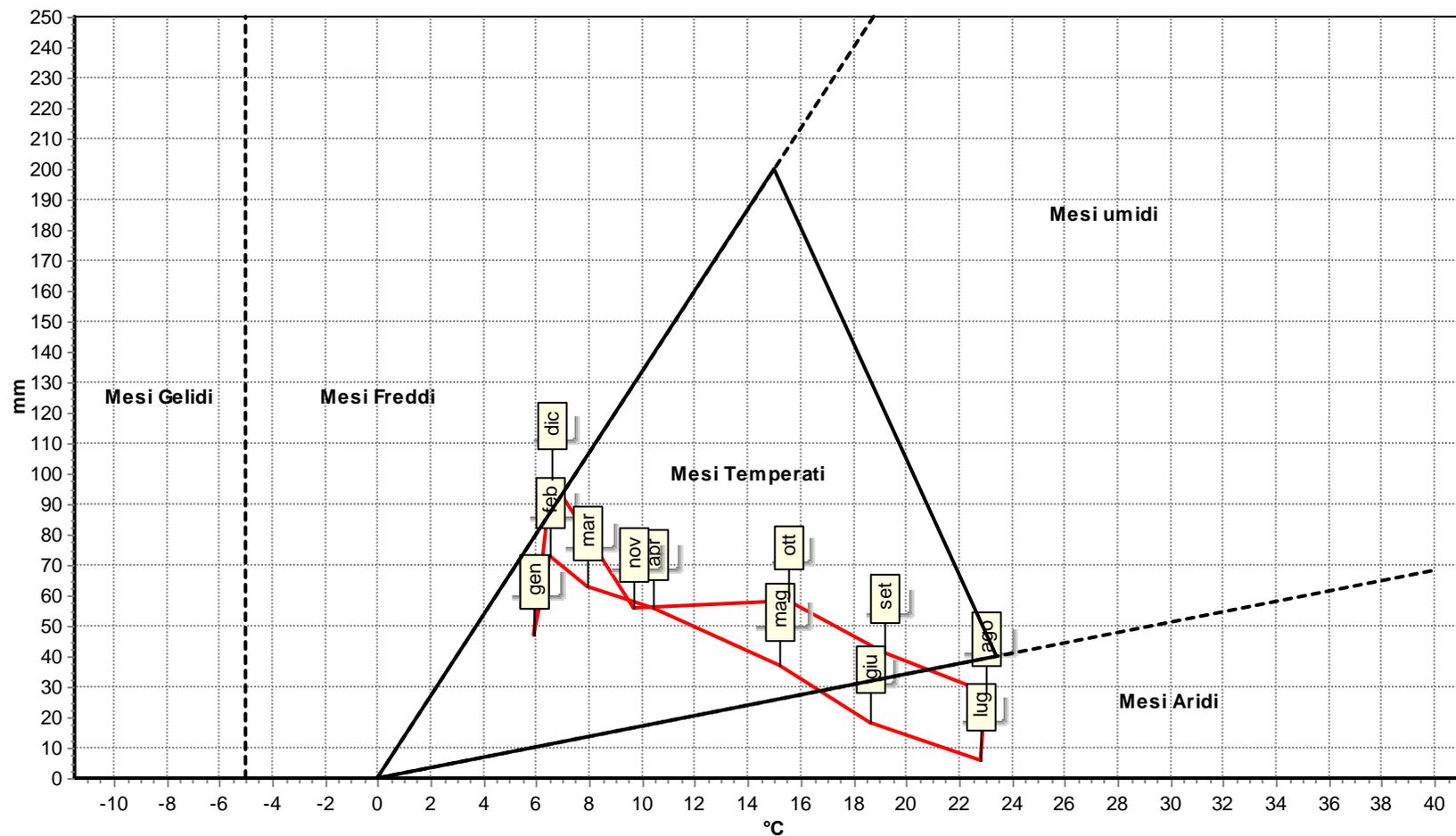
7. Diagramma Walter & Lieth



8. Climogramma Precipitazioni e Temperature



9. Climogramma di Peguy





COMUNE:
Pattada

PROVINCIA:
SS

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

Comune di	Pattada
Provincia	SS
Altitudine [m]	778
Latitudine	40,5828
Longitudine	9,1139
Temperatura Massima Annuale [°C]	36,81
Temperatura Minima Annuale [°C]	-4,19

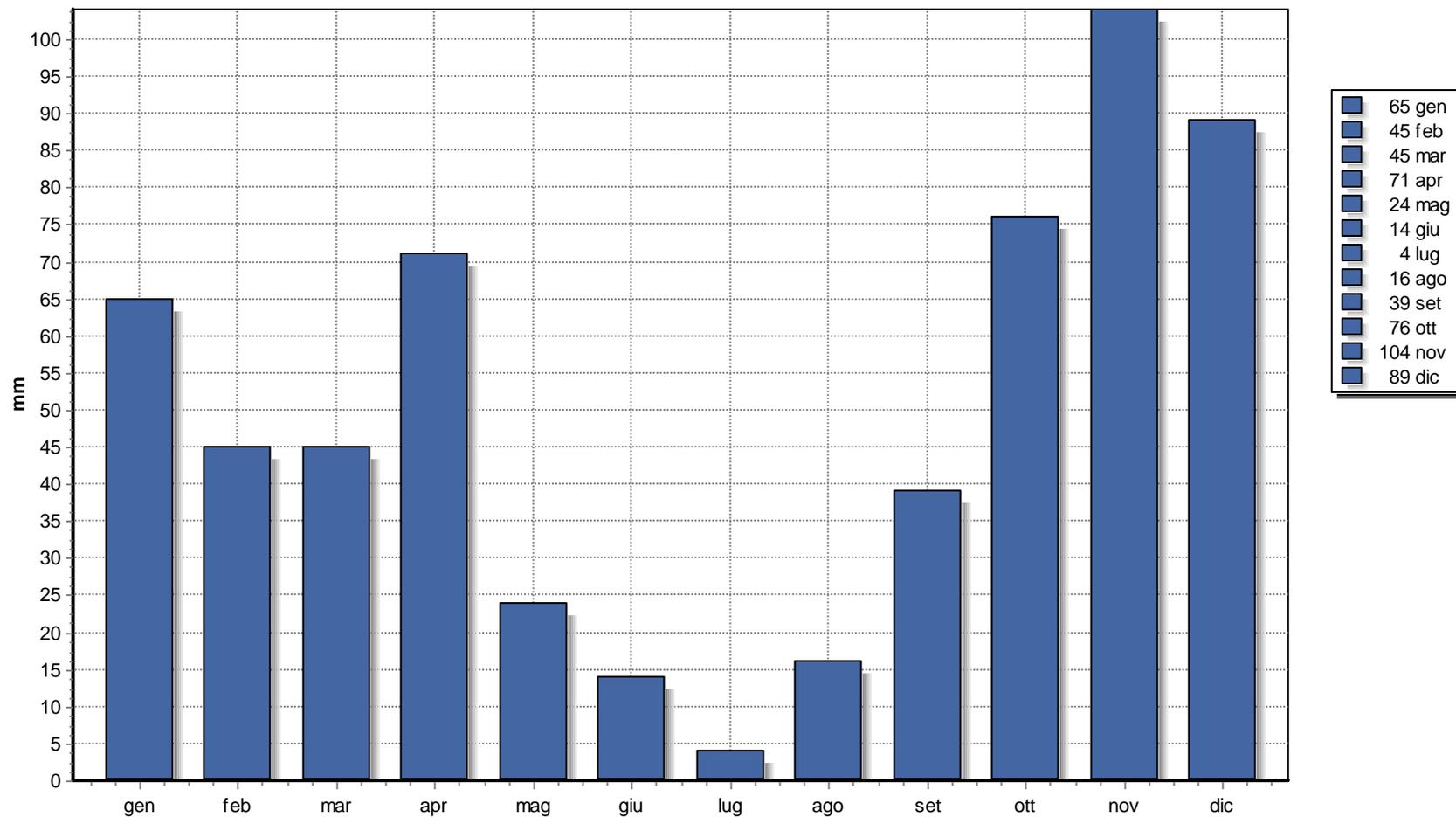
I dati climatici sono stati acquisiti dalla Norma UNI 10349 e sono relativi ad un periodo minimo di 30 anni.

2. Indici

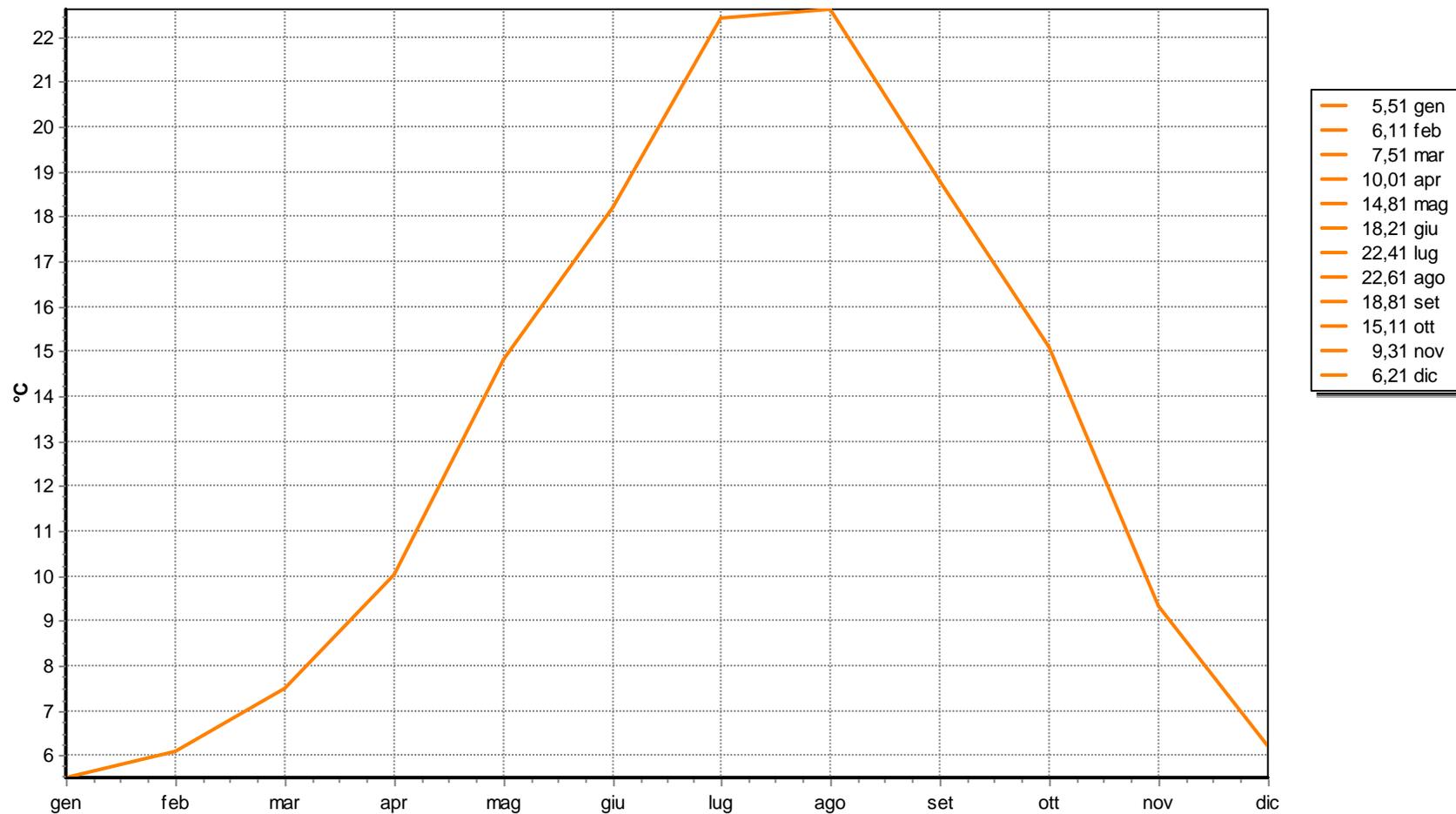
Precipitazioni [mm]:	Totale:	592
	Media:	49,28
Temperatura Media [°C]	13,10	
Indice di Continentalità di Gams	52° 43'	
Indice di Fournier	18,27	
Evaporazione Idrologica di Keller [mm]	528,67	
Pluviofattore di Lang	45,19	
Indice di Amann	453,52	
Mesi Aridi:	Secondo Koppen:	mag giu lug ago
	Secondo Gaussen:	mag giu lug ago
Indice di De Martonne	25,63	
Indice di De Martonne-Gottmann	13,56	
Indice di Aridità di Crowther	15,97	
Indice Bioclimatico di J.L. Vernet	11,23	
Indice FAO	1,24	
Evaporazione Media mensile [mm]	106,68	
Quoziente Pluviometrico di Emberger	75,64	
Indice di Continentalità di Currey	1,18	
Indice di Continentalità di Conrad	30,69	
Indice di Continentalità di Gorczynski	24,29	
Evapotraspirazione Reale di Turc [mm]	435,81	
Evapotraspirazione Reale di Coutagne [mm]	458,95	
Indici di Rivas-Martinez:	Continentalità [°C]:	17,10
	Termicità:	241,20 ± 0,00
	Ombrotermico Annuale:	3,78
	Ombrotermico Estivo:	0,54
Indici di Mitrakos:	SDS (Summer Drought Stress):	105,43
	WCS (Winter Cold Stress):	-10,77
	YDS (Year Drought Stress):	300,32
	YCS (Year Cold Stress):	32,52

[C°]	gen	feb	mar	apr	mar	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Temperature	5,51	6,11	7,51	10,01	14,81	18,21	22,41	22,61	18,81	15,11	9,31	6,21
Massime	8,91	9,71	11,81	14,61	20,51	24,51	29,21	29,21	24,41	19,91	13,11	9,91
Minime	2,11	2,51	3,21	5,41	9,11	11,91	15,61	15,91	13,21	10,21	5,51	2,61
Massime Estreme	13,81	16,31	18,81	23,81	28,31	31,81	36,81	36,81	30,81	27,41	20,81	14,81
Minime Estreme	-4,19	-3,39	-2,69	0,81	3,81	6,81	10,31	11,81	8,81	4,81	-1,19	-3,19
[mm]	gen	feb	mar	apr	mar	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Precipitazioni	65	45	45	71	24	14	4	16	39	76	104	89
Indice di Angot	15,53	11,90	10,75	17,53	5,73	3,46	0,96	3,82	9,63	18,16	25,68	21,26
Indice di De Martonne (mensile)	50,29	33,52	30,84	42,58	11,61	5,96	1,48	5,89	16,24	36,32	64,63	65,89
Stress di Mitrakos (idrico)	0	10	10	0	52	72	92	68	22	0	0	0
Stress di Mitrakos (termico)	63,12	59,92	54,32	36,72	7,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,92	59,12

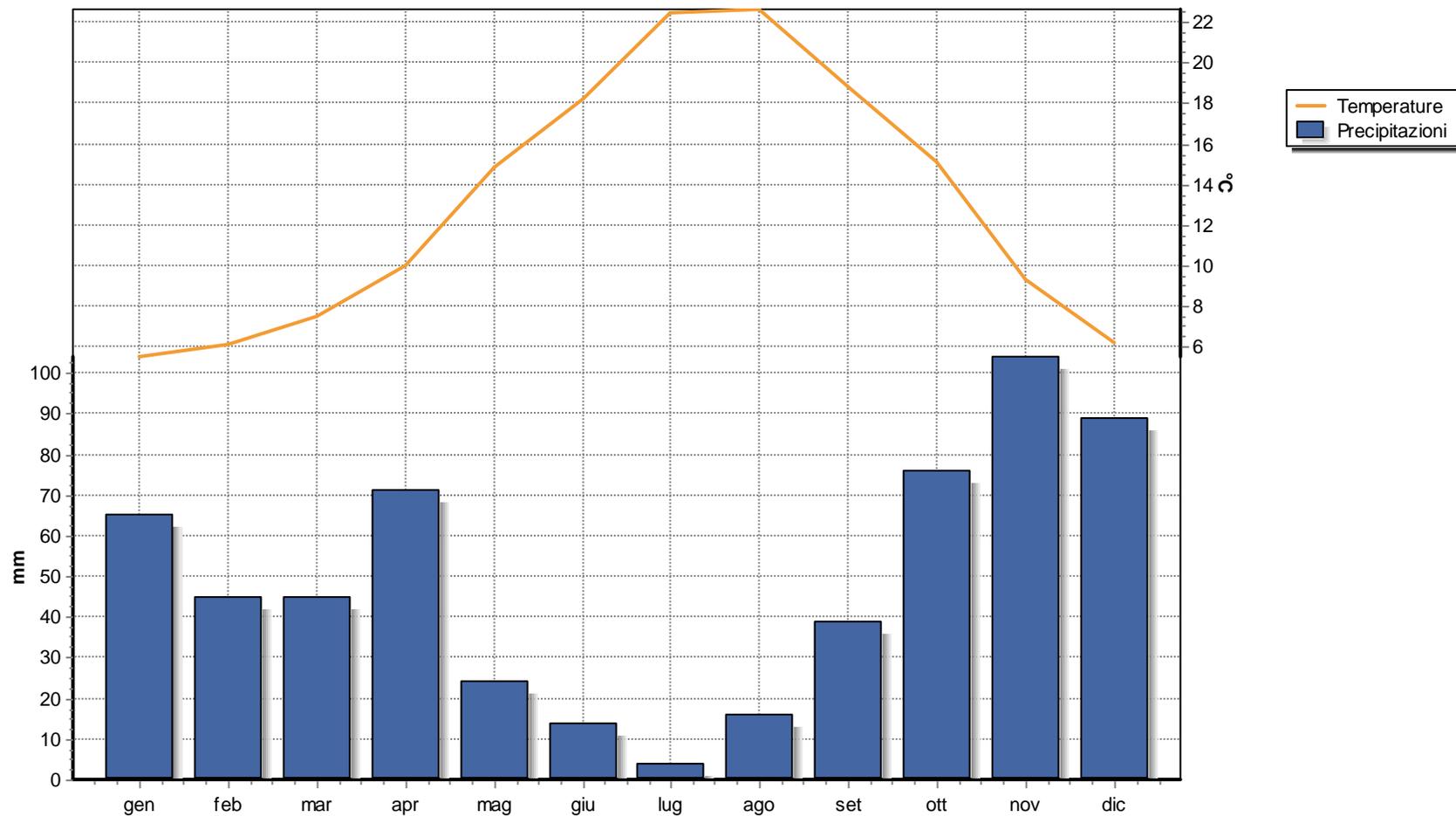
3. Diagramma Pluviometrico



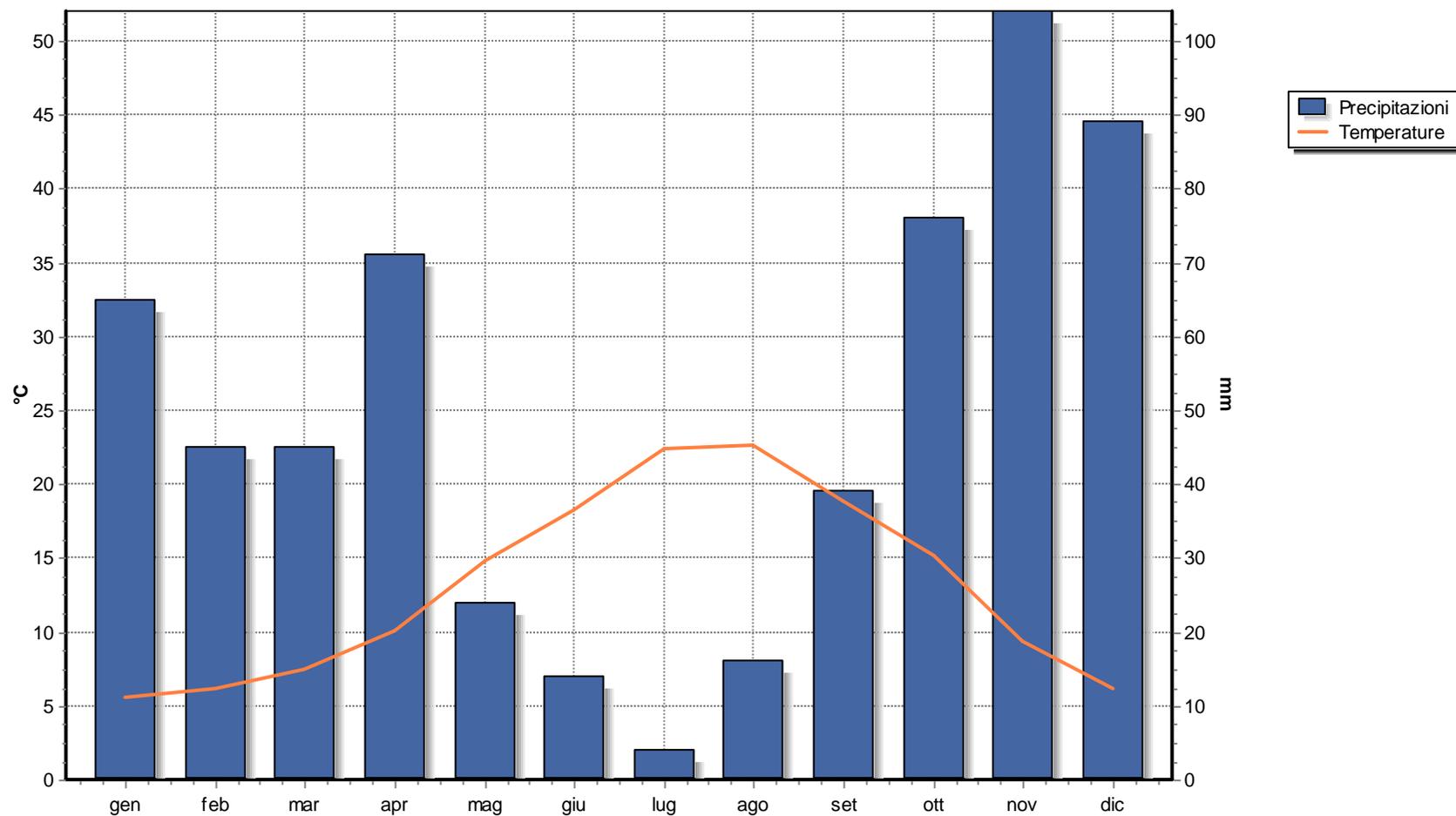
4. Diagramma Termometrico



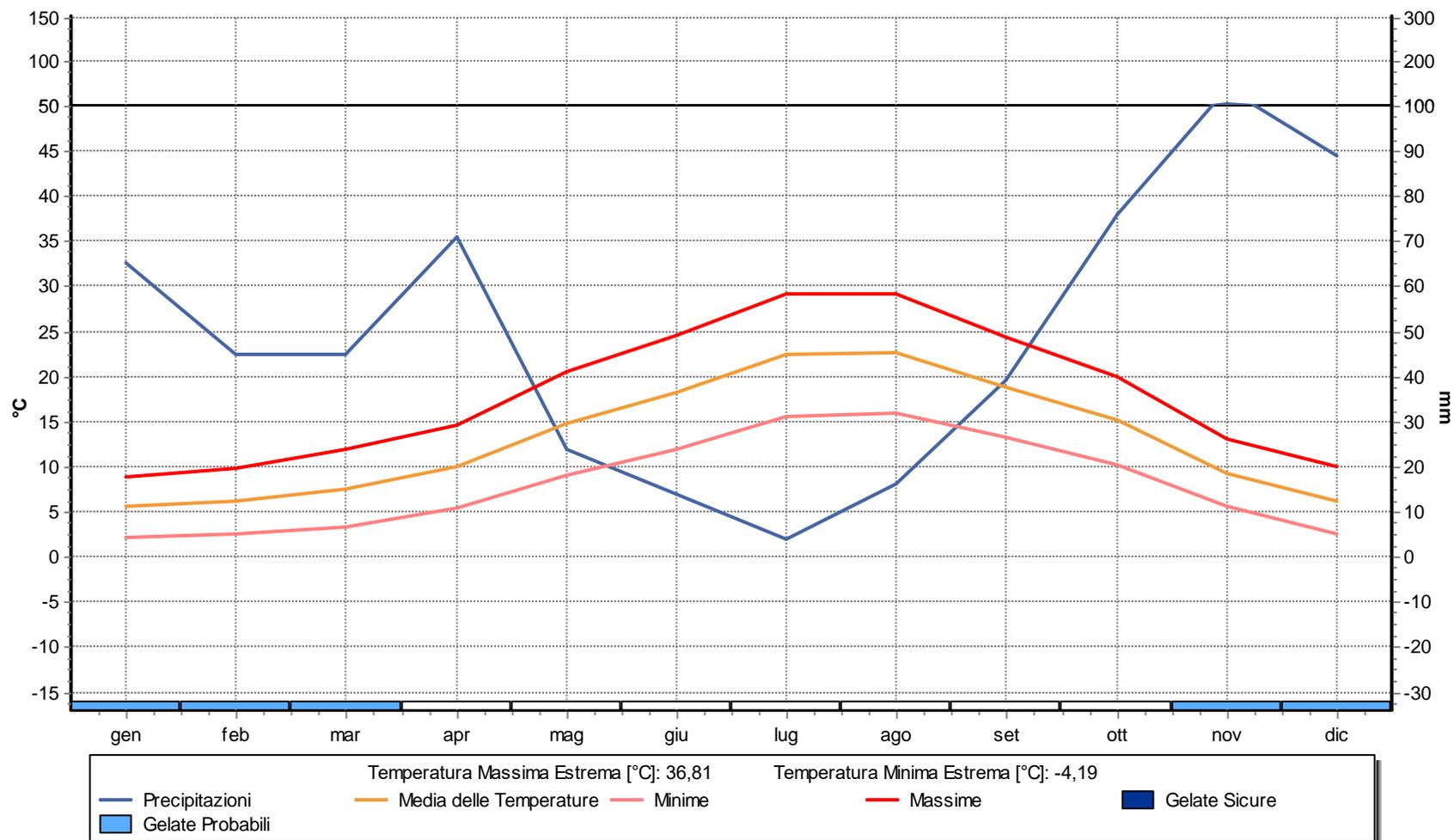
5. Diagramma Termopluviometrico



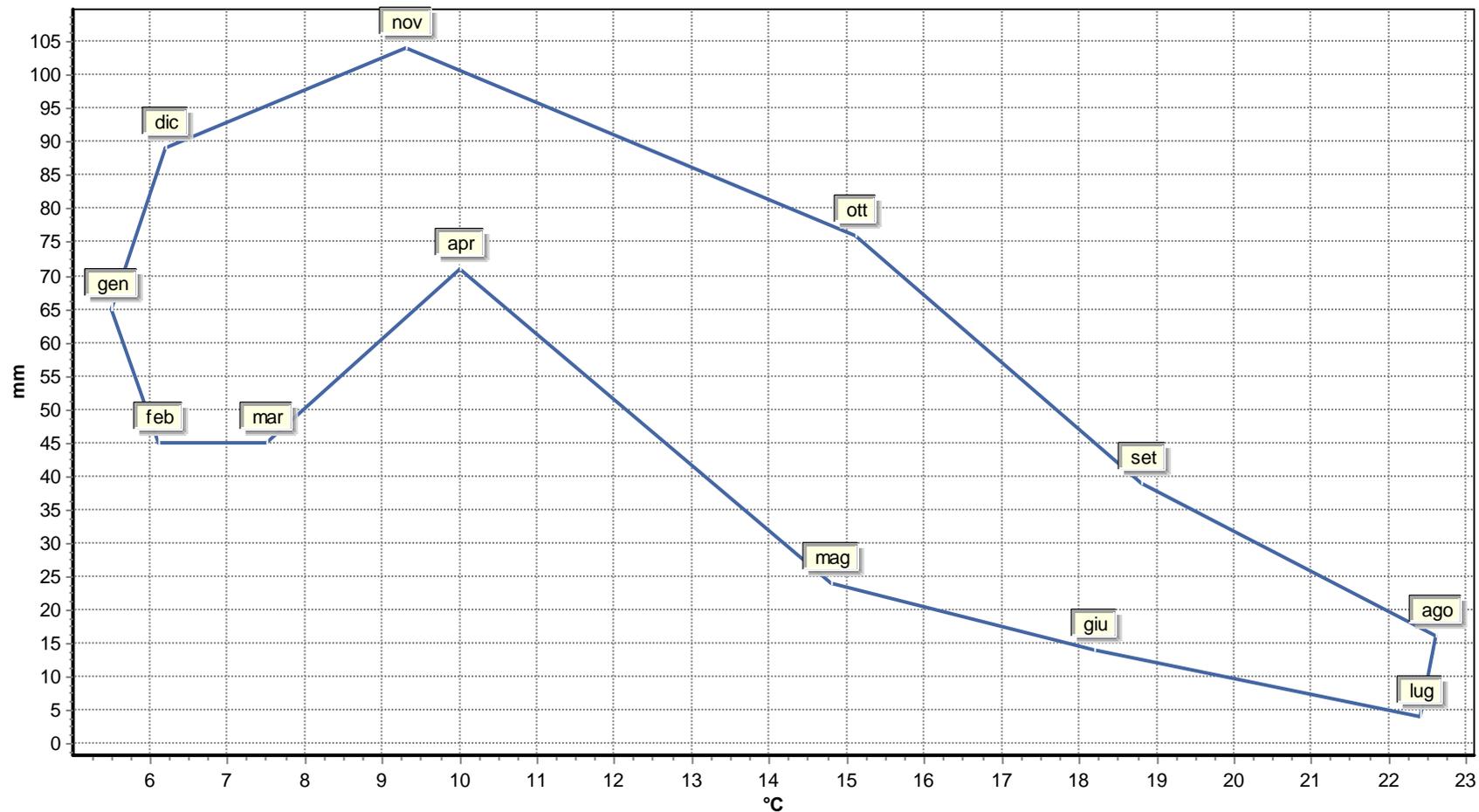
6. Diagramma Ombrotermico



7. Diagramma Walter & Lieth



8. Climogramma Precipitazioni e Temperature



9. Climogramma di Peguy

