Unical

Città di Olbia

Provincia di Sassari
Regione Sardegna

CAVA
"PISCOLVEI"

PRECISAZIONI OTTOBRE 2026
ALLEGATO 3 - RELAZIONE IDRAULICA

Ottobre 2026

Unical S.p.A.
Sede Legale - Via Luigi Buzzi, 6
15033 Casale Monferrato (AL)
Italia
Società soggetta all'attività di direzione
e coordinamento di Buzzi S.p.A.

Direzione Cave e Miniere
Via L. Buzzi, 6
15033 Casale Monferrato (AL)
Tel +39 0142 416484
Fax +39 0142 416537

Capitale Sociale
euro 130.235.000 i.v.
Partita IVA 07261250018

Codice Fiscale e
Registro Imprese di Alessandria
01303280067
R.E.A. Alessandria 202288

Sommario

1. *PREMESSA* 2
2. *STATO ATTUALE - ANALISI IDROLOGICA E CALCOLO DELLE PORTATE* 2
3. STATO ATTUALE - IL CALCOLO DEL VOLUME DELLE ACQUE METEORICHE 5
4. VERIFICA DEL DIMENSIONAMENTO DELLE VASCHE DI RACCOLTA 7
5. *STATO FINALE - ANALISI IDROLOGICA E CALCOLO DELLE PORTATE* 9
6. VERIFICA DELLA CAPACITÀ DI CONVOGLIAMENTO DELLA RETE DI REGIMAZIONE 10
7. CONCLUSIONI 14

ALLEGATI:

Allegato 3 -1 - Planimetria stato attuale regimazione acque con bacini idrografici

Allegato 3-2 - Planimetria stato finale regimazione acque con bacini idrografici

La presente Relazione è redatta dal Dott. For. Fulvio Anselmo di Anselmo associati – Chieri (to)

1. *PREMESSA*

Questo elaborato è parte integrante delle risposte alle richieste integrative da parte della Regione Sardegna in particolare intende rispondere in modo esastivo al Punto 3.1 delle richieste – *Gestione delle acque meteoriche*, lettera b del documento ARPAS – aprile 2026 - *Osservazioni sulle integrazioni*
Di seguito si riporta il testo del documento appena citato:

b) Per la gestione delle acque meteoriche ricadenti su tutte le altre aree (fronti delle aree estrattive, piste e aree verdi):

- Dimensionamento canali a monte delle aree lavorazione, o altro sistema in uso, di raccolta e allontanamento acque meteoriche funzionali ad evitare il dilavamento delle aree scolanti dei piazzali di lavorazione e il convogliamento nelle vasche di stoccaggio/sedimentazione di cui al precedente punto a) e relativo elaborato grafico quotato con identificazione del punto di scarico di dette reti/canali.

Per quanto riguarda la gestione delle acque meteoriche dovranno essere forniti i dati alla base dei calcoli idrologici (altezze e intensità di pioggia riferiti ad adeguati tempi di ritorno) sia degli impianti di gestione delle acque meteoriche sui piazzali (come definiti in precedenza al punto a) sia su tutte le altre aree (precedente punto b) e relativo elaborato grafico con indicazione delle aree scolanti afferenti a ogni singolo impianto.

Inoltre, con riferimento alla gestione delle acque di lavaggio e meteoriche di dilavamento dei piazzali di lavorazione e stoccaggio inerti, nel caso in cui l'attuale assetto degli impianti sia difforme da quanto autorizzato si evidenzia la necessità di dotarsi di autorizzazione allo scarico fuori fognatura conforme a quanto verrà trasmesso.

2. *STATO ATTUALE - ANALISI IDROLOGICA E CALCOLO DELLE PORTATE*

La situazione attuale del sito in oggetto rappresenta la condizione più gravosa dell'intero progetto in quanto le superfici denudate sono al massimo della loro estensione e pertanto è preso come riferimento per la verifica dell'intera rete di regimazione del progetto.
Le valutazioni idrologiche/idrauliche sono comunque state realizzate anche per lo stato finale per verifica dello stato in abbandono del sito.

Si precisa che di seguito saranno illustrati i risultati delle analisi mentre si rimanda all'Appendice 1 per lo sviluppo dei singoli passaggi metodologici e i relativi calcoli.

L'area oggetto di interesse è delimitata in tre bacini:

- Bacino 1 afferente principalmente all'area di impianto di lavorazione e commercializzazione inerti;
- Bacino 2 area di cava in fase di coltivazione
- Bacino 3 aree allo stato attuale naturali o a recupero ambientale consolidato (aree marginali)

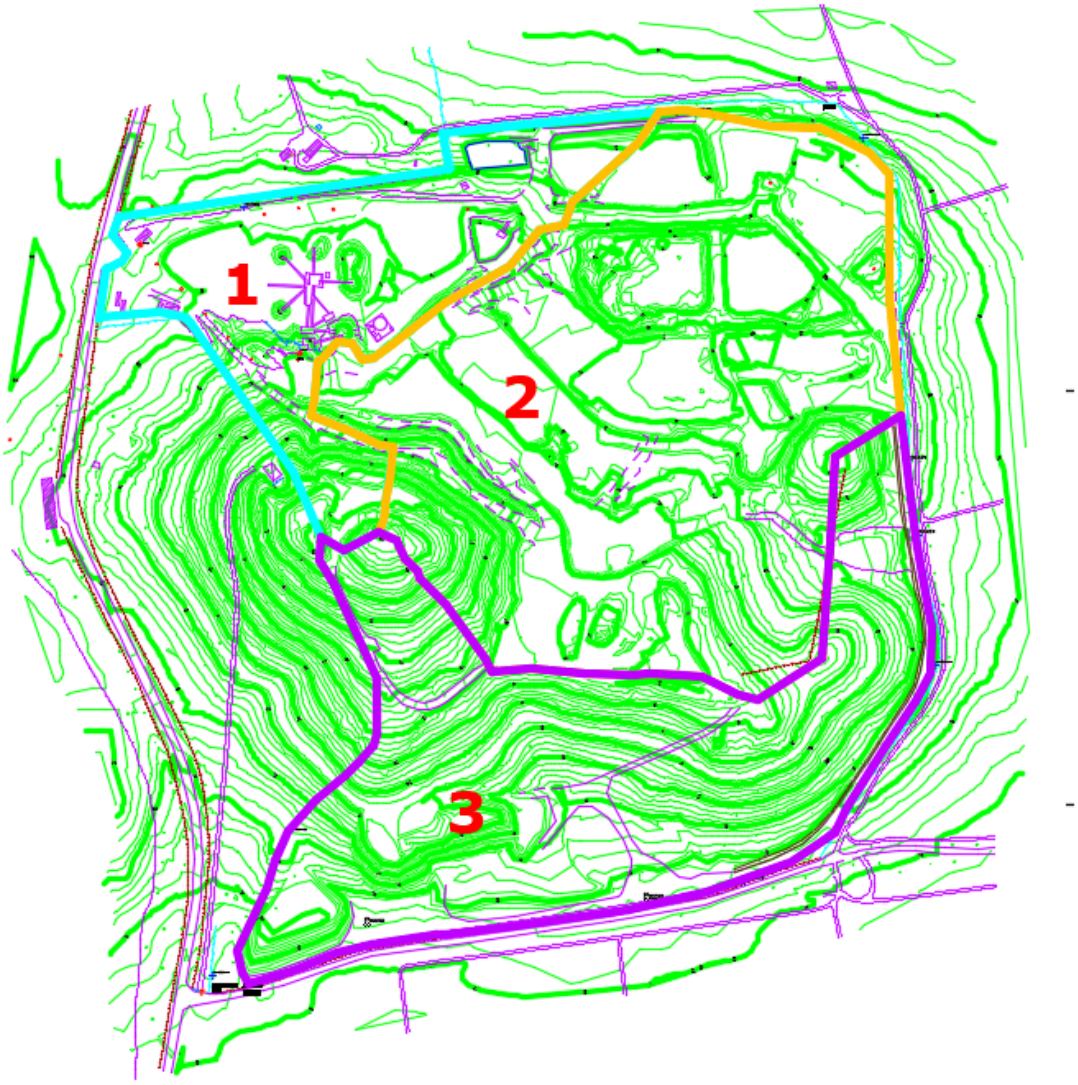


Figura 1 – Suddivisione in bacini idrografici dall'area in oggetto allo stato attuale

Le caratteristiche morfometriche utili per il calcolo delle portate sono state identificate mediante la misurazione dei parametri tramite i software commerciali Qgis e Autocad applicando per l'individuazione della pendenza dei versanti la formula di Alword-Horton si veda l'Appendice 1 per lo sviluppo dei calcoli.

La valutazione delle portate di piena è realizzata utilizzando il Metodo razionale applicato secondo la formulazione riportata nella documentazione tecnica allegata al Piano Stralcio delle Fasce Fluviali adottato con Delibera n.2 del 17.12.2015, che costituisce approfondimento ed integrazione al Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) [1] e pertanto un aggiornamento anche di quanto riportato come studio idraulico che si basava sulla documentazione originaria).

Il Tempo di ritorno prescelto per l'evento di riferimento è 20 anni, in quanto superiore alla durata delle lavorazioni (coltivazione + recupero ambientale della cava indicate in 15 anni) oltre al fatto che è un Tempo di ritorno tipico per il dimensionamento di opere di rgimazione in ambienti extraurbani privi di infrastrutture.

Le caratteristiche morfometriche utili per il calcolo delle portate sono state identificate mediante la misurazione dei parametri tramite i software commerciali Qgis e Autocad, applicando per l'individuazione della pendenza dei versanti la formula di Alword-Horton e le formule correlate al P.A.I. (si veda l'Appendice 1 per lo sviluppo dei calcoli).

Tabella 1 – Parametri morfometrici principali e valore di portata di riferimento allo stato attuale

	Unità di misura	Bacino 1	Bacino 2	Bacino 3
Area	m^2	43633	117399	86065
Pendenza dei versanti	%	16.26	13.82	25.28
Lunghezza asta	m	427	715	744
Curve number (CN)		87	88	74
Durata critica (Θ)	ore	0.21	0.32	0.39
Pioggia netta (hN)	mm	3.33	6.26	0.97
Portata (Tr 20 anni)	m^3/s	0.19	0.63	0.47

([1]) REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA (aprile 2013): *Studi, indagini, elaborazioni attinenti all'ingegneria integrata, necessari alla redazione dello studio denominato Progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) – Elaborato 1.1 METODOLOGIE DI ANALISI* (riferimento web per il download: https://oldautoritadibacino.regione.sardegna.it//index.php?xsl=509&s=77&v=9&c=9995&tb=8374&st=13&vs=2&na=1&ni=1&tb=8374&st=13.

Durante la fase di coltivazione e lavorazione del materiale le acque meteoriche non scaricano all'esterno, ma sono raccolte in due vasche di raccolta in quanto sono poi riutilizzate sia per gli impianti di lavorazione sia per la bagnatura di soccorso delle piante oggetto di recupero ambientale.

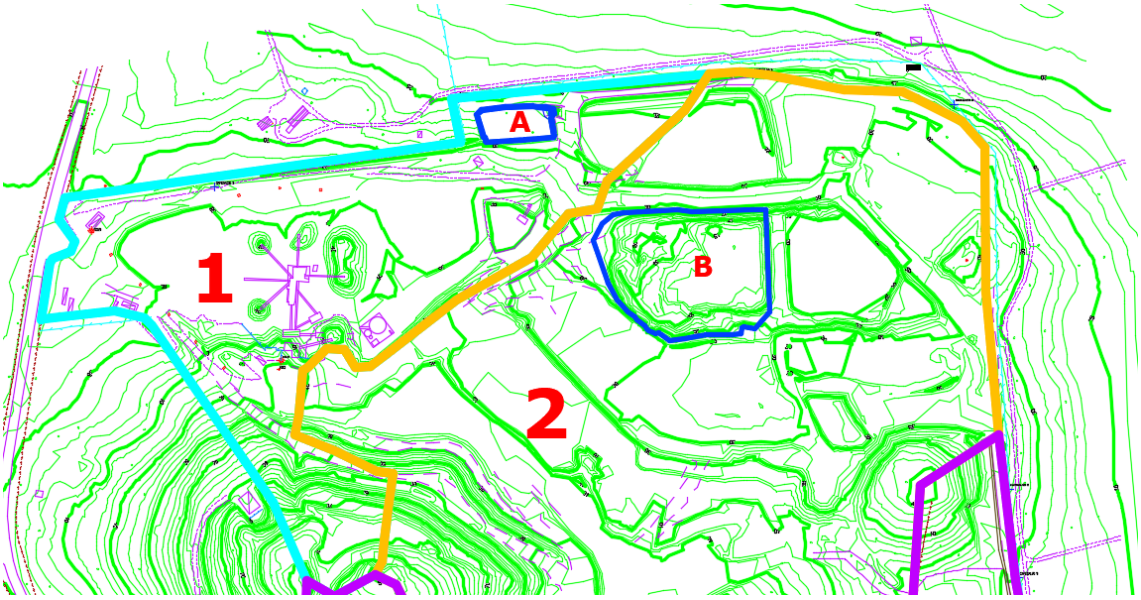


Figura 2 – Con le lettere A e B e il perimetro blu sono indicate le vasche di raccolta delle acque meteoriche

3. STATO ATTUALE - IL CALCOLO DEL VOLUME DELLE ACQUE METEORICHE

Il calcolo del volume delle acque meteoriche è riferito all'intero volume del deflusso superficiale che si origina nell'ambito del singolo bacino idrografico sotteso per un evento con Tr 20 anni.

Il metodo di calcolo impiegato per definire il volume delle acque meteoriche prevede quanto segue:

1) Definizione della portata al colmo per l'evento con Tr 20 anni. I calcoli mostrano che, applicando il metodo razionale, il valore di portata al colmo è per il bacino 1 pari a 0.19 m^3/s e per il bacino 2 0.63 m^3/s (riferimenti in Appendice 1).

2) Il metodo di calcolo impiegato si basa sull'ipotesi che la durata di pioggia critica (Θ), che determina la portata di piena, sia pari alla somma del tempo di formazione del deflusso superficiale (t_f) e del tempo di corrivazione (t_c) del bacino imbrifero (riferimenti in Appendice A), come illustrato nella figura seguente:

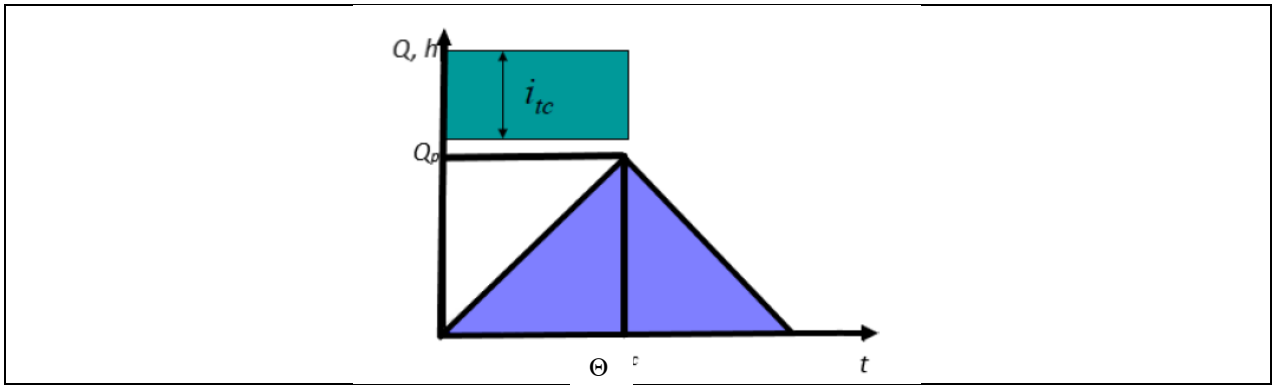


Figura 3 – Schema dell'idrogramma di progetto

Con riferimento ai bacini d'interesse, la durata di pioggia critica risulta pari a circa 0.21 ore per il bacino 1 e 0.32 ore per il bacino 2:

Bacino 1

$$\theta = t_c + t_f = 0.14 + 0.07 = 0.21\ ore$$

Bacino 2

$$\theta = t_c + t_f = 0.21 + 0.105 = 0.32\ ore$$

In ragione dei presupposti su cui è fondato il metodo razionale, impiegato per il calcolo della portata, si assume che l'idrogramma abbia forma triangolare con base pari a 2 volte la durata di pioggia critica (Θ) e pertanto per il Bacino 1 pari a 0. 42 ore e per il Bacino 2 pari a 0.62 ore

3) Il calcolo del volume complessivo dell'idrogramma di riferimento (Figura 3) è sintetizzato nelle seguenti tabelle. Il volume complessivo delle acque meteoriche, all'evento con Tr 20 anni, è per il Bacino 1 pari a 123 m^3 e per il Bacino 2 pari a 726 m^3;

Tabella 2 - Calcolo del volume dell'idrogramma con Tr 20 anni per il Bacino 1

Portata & volume totale				
Tempo		Portata		Volume (*)
[h:mm]	[h]	[mc/s]		[mc]
00:00	0.0	0.00		0
00:04	0.07	0.06		8
00:08	0.14	0.13		24
00:13	0.21	0.19	0.06	40
00:17	0.28	0.13		29
00:21	0.35	0.06		17
00:25	0.42	0.00		6
		TOTALE		123

Tabella 3 - Calcolo del volume dell'idrogramma con Tr 20 anni per il Bacino 2

Portata & volume totale				
Tempo		Portata		Volume (*)
[h:mm]	[h]	[mc/s]		[mc]
00:00	0.0	0.00		0
00:06	0.05	0.210		40
00:13	0.10	0.420		121
00:19	0.15	0.63	0.210	202
00:26	0.20	0.420		202
00:28	0.25	0.210		121
00:45	0.30	0.00		40
		TOTALE		726

Il Bacino 3 è, allo stato attuale, al di fuori delle aree oggetto di escavazione e di lavorazione e pertanto la portata calcolata 0.47 m^3/s, è regimata mediante una canaletta in corrispondenza della viabilità esterna senza stoccaggio (si veda i paragrafi successivi).

4. VERIFICA DEL DIMENSIONAMENTO DELLE VASCHE DI RACCOLTA

Come descritto nel paragrafo precedente il volume minimo necessario allo stoccaggio delle acque meteoriche per l'evento di riferimento è per il Bacino 1 123 m^3 e per il Bacino 726 m^3 .

Per il bacino 2 la superficie di 817 m^2 (quota 24 m) ,pari all'area blu indicata nella Figura 2, moltiplicata per una profondità di 0.6 m determina un volume di stoccaggio 4135 m^3 ([2]) pari a circa 4.2 volte il volume

([2]) cautelativamente nel calcolo la base maggiore è uguale alla base minore del tronco di piramide

minimo necessario per lo stoccaggio e pertando garantendo un significativo rapporto di sicurezza mantenedo, comunque, almeno 1 m di franco dal piano campagna.

Quota	SB	Sb	Altezza	Volume
m	m^2	m^2	m	m^3
24	817	817	0.6	490
Rapporto di sicurezza		4.2	volte	

Per il bacino 2 la superficie di 6891 m^2 ,pari all'area blu indicata nella Figura 2, moltiplicata per una profondità di 0.6 m determina un volume di stoccaggio 4135 m^3 ([3]) pari a circa 5.7 volte il volume minimo necessario per lo stoccaggio garantendo un significativo rapporto di sicurezza mantenedo, comunque, almeno 1 m di franco dal piano campagna.

Quota	SB	Sb	Altezza	Volume
m	m^2	m^2	m	m^3
27	6891	6891	0.6	4135
Rapporto di sicurezza		5.7	volte	

La formula utilizzata

Formula per il volume di un tronco di piramide

Indichiamo con V il volume, con S_B l'area della superficie di base maggiore, con S_b l'area della superficie di base minore e con h l'altezza del tronco.

Il volume del tronco di piramide è dato da:

$$V = \frac{\left(S_B + S_b + \sqrt{S_B \times S_b}\right) \times h}{3}$$

([3]) cautelativamente nel calcolo la base maggiore è uguale alla base minore del tronco di piramide

Il volume indicato sarà garantito fino alla fine della coltivazione e anche durante le operazioni di recupero ambientale.

Le acque così stoccate saranno riutizzate per la bagnature degli interventi forestali di recupero ambientale e per la gestione dell'impianto di lavorazione inerti.

Come troppo pieno può essere utilizzata la ponpa idraulica con portata di 130 m^3/ora già in dotazione all'impianto e con scarico già autorizzato nel Rio VenaFiorita come descritto negli atri documenti allegati.

5. *STATO FINALE - ANALISI IDROLOGICA E CALCOLO DELLE PORTATE*

Il metedo è il medesimo di quello descritto per lo stato attuale.

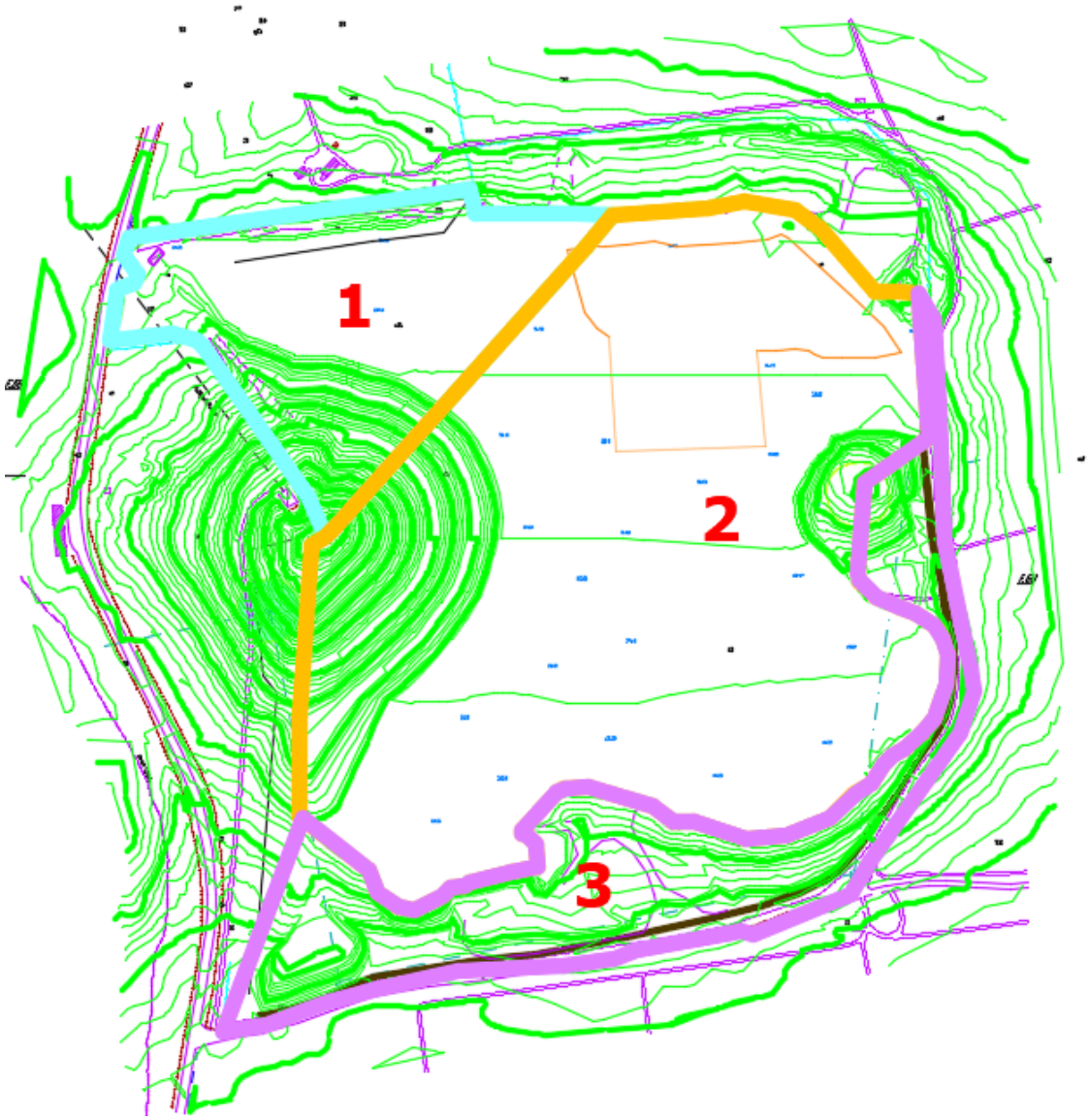


Figura 4 - Suddivisione in bacini idrografici dall'area in oggetto allo stato finale

I bacini di riferimento sono sempre tre e sono quelli dello stato attuale ridotti o ampliati a seconda dell'aanzamento della coltivazione.

Nella tabella seguente i risultati dell'analisi

Tabella 4 - Parametri morfometrici principali e valore di portata di riferimento allo stato finale

	Unità di misura	Bacino 1	Bacino 2	Bacino 3
Area	m^2	41311	155266	47192
Pendenza dei versanti	%	11.45	5.38	18.65
Lunghezza asta	m	360	773	847
Curve number (CN)		81	79	74
Durata critica (Θ)	ore	0.255	0.75	0.5
Pioggia netta (hN)	mm	1.29	6.31	1.74
Portata (Tr 20 anni)	m^3/s	0.06	0.36	0.05

Le portate rispetto allo stato attuale si sono ridotte grazie alla morfologia meno acclive e agli interventi di ricostruzione vegetazionale e sono facilmente convogliabili nella rete di regimazione esistente.

Si veda l'Appendice 1 per i dettagli dei calcoli.

6. VERIFICA DELLA CAPACITÀ DI CONVOGLIAMENTO DELLA RETE DI REGIMAZIONE

Come indicato nei paragrafi precedenti lo stato attuale rappresenta lo stato più gravoso in merito alla regimazione delle acque sia per le portate da gestire sia per le superfici denudate.

I fronti gradonati saranno dotati di padate con contropendenza verso monte e dente di valle in modo tale da evitare flussi incontrollati sulle scarpate e canaletta su lato di monte.

Nel piazzale ogni sbancata sarà dotata di dente di valle che farà anche di contenimento delle acque.

La rete dei regimazione è indicata nella planimetria – Allegato 3-1 per lo stato attuale e Allegato 3-2 per lo stato finale tenendo conto che in tale condizione nel piazzale le frecce indicato le direzioni di deflusso preferenziale, ma non rappresentano direzioni di flussi concentrati.

Nello stato finale la regimazione principale è data dalla canaletta terminale del bacino 1, 2 e 3 (Allegato 3.2).

Per individuare portate di riferimento per il dimensionamento delle canalette del fronte gradonato e delle aree a piazzale si sono presi come riferimento porzioni di cava significative.

Per i fronti gradonati il sottobacino I mentre per i settori di piazzale il sottobacino II si veda la Figura 5.

Le caratteristiche morfometriche dei due settori sono riassunte nella tabella seguente.

Si tenga conto che a livello cautelativo sono stati considerati settori completamente denudati.

Tabella 5 – Caratteristiche morfometriche e di portata dei settori di cava

	Unità di misura	I a	IIa
Area	m^2	4946	11292
Pendenza dei versanti	%	39.22	19
Lunghezza asta	m	173	170
Curve number (CN)		91	91
Durata critica (Θ)	ore	0.06	0.08
Pioggia netta (hN)	mm	1.37	1.98
Portata (Tr 20 anni)	m^3/s	0.03	0.08

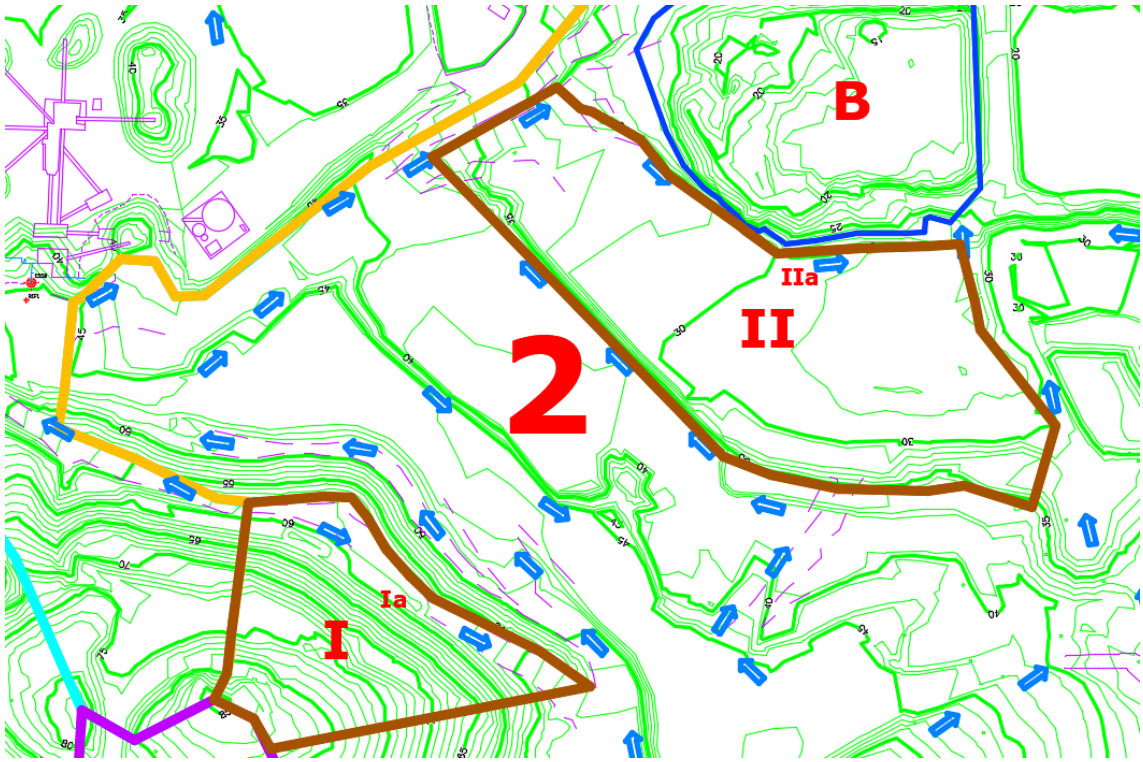


Figura 5 – Con il graficismo marrone (I e II) sono indicati i sottobacini presi come riferimento per il dimensionamento delle canalette interne le frecce indicano la direzione del flusso dell'acqua e la conseguente canaletta

La capacità di convogliamento della rete di regimazione è stata verificata attraverso la formula del moto uniforme

Per completezza la formula del moto uniforme è la seguente:

$$Q = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times i^{\frac{1}{2}} \times A$$

in cui:

Q = portata convogliabile (m^3/s)

A = area della sezione (m^2)

n = indice di scabrezza secondo Manning ($m^{-1/3\ s}$)

R = raggio idraulico (m) ricavabile dal rapporto R=A/C (C= perimetro o contorno bagnato)

i = pendenza del fondo (adimensionale)

Sintesi portate di riferimento

Bacino 1 attuale	0.19	m^3/s
Bacino 2 attuale	0.63	m^3/s
Bacino 3 attuale	0.47	m^3/s
Bacino 1 progetto	0.06	m^3/s
Bacino 2 progetto	0.36	m^3/s
Bacino 3progetto	0.05	m^3/s
Settore/sottob I	0.03	m^3/s
Settore/sottob II	0.08	m^3/s

Canalette dimensionate per Tr20 anni																
Sezione	Q. prog.	Forma	Dimen.	b	h	z	Area	C	R	n	i	Q	V	B. mag.	Franco	Verificato
u.m.	m^3/s		m	m	m		m^2	m	m	Mannig		m^3/s	m/s	m		
Bacino 1 attuale canaletta di fondo piazzale (1a)	0.19	trapezia	0.5x0.4	0.5	0.4	1	0.36	1.6	0.22	0.025	0.003	0.26	0.73	1.30	28%	SI
Settore/Sottobacino I - attuale e progetto (Ia) - canaletta su pedata	0.03	trapezia	02x0.3	0.2	0.3	0.5	0.11	0.9	0.12	0.025	0.003	0.05	0.49	0.50	42%	SI
Settore/Sottobacino I attuale e progetto (Ia) - canaletta su scarpata	0.03	rettangolare	0.2x0.1	0.2	0.1		0.02	0.4	0.05	0.04	0.714	0.06	2.87	0.20	48%	SI
Settore/Sottobacino II attuale e progetto (IIa) canaletta su piazzale	0.08	trapezia	02x05	0.2	0.5	0.5	0.23	1.3	0.17	0.025	0.003	0.14	0.62	0.70	43%	SI
Bacino 3 - attuale e progetto -canaletta tratto preggiore (3a)	0.47	trapezia	0.5x0.4	0.5	0.4	2	0.52	2.3	0.23	0.032	0.02	0.86	1.65	2.10	45%	SI
Bacino 1 progetto (1p)	0.06	trapezia	0.4x0.4	0.4	0.4	1	0.32	1.5	0.21	0.025	0.003	0.23	0.71	1.20	74%	SI
Bacino 2 progetto (2p)	0.36	trapezia	0.4x0.4	0.6	0.5	1	0.55	2	0.27	0.025	0.003	0.47	0.85	1.60	23%	SI
Bacino 3 progetto (3p) tratto peggiore	0.05	trapezia	0.5x0.4	0.5	0.4	2	0.52	2.3	0.23	0.032	0.02	0.86	1.65	2.10	94%	SI
Bacino 2 + 3 progetto (3p) tratto peggiore	0.41	trapezia	0.5x0.4	0.5	0.4	2	0.52	2.3	0.23	0.032	0.02	0.86	1.65	2.10	52%	SI

Legenda

Q prog.	portata di progetto (portata di rifermento)
b	base minore
h	altezza
z	scarpa (rapporto orizzontale/altezza delle sponde)
Area	area della sezione
C	contorno bagnato
R	raggio idraulico
n	scabrezza secondo Mannig
i	pendenza del tratto
Q	portata
V	velocità della corrente
B mag.	Base maggiore
Franco	Differenza percentuale tra la capacità di convogliamento della sezione e la portata di progetto

Come si può notare dalla tabella tutte le verifiche sono soddistatte con significativi franchi. Le dimensioni indicate nella tabella sono da considerarsi dimensioni minime.

7. CONCLUSIONI

Tutte le verifiche idrauliche risultano soddisfatte sia in merito alla regimazione delle acque allo stato attuale sia quelle di progetto comprese le verifiche sulle vasche di raccolta. Le planimetrie allegate mostrano la rete di regimazione nella fase attuale e quella nella fase finale.

Allegato 3 -1 - Planimetria stato attuale regimazione acque con bacini idrografici
Allegato 3-2 - Planimetria stato finale regimazione acque con bacini idrografici

APPENDICE 1

Nel seguito si richiama il metodo per la valutazione delle portate al colmo riportato in REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA (aprile 2013): *Studi, indagini, elaborazioni attinenti all'ingegneria integrata, necessari alla redazione dello studio denominato Progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) – Elaborato 1.1 METODOLOGIE DI ANALISI*.

Per la stima delle portate al colmo dei bacini di superficie inferiore a 60 km^2, si fa riferimento alla Formula Razionale, secondo le indicazioni contenute nelle "*Linee guida per l'attività di individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia*" che si richiama nel seguito.

La portata di piena è espressa come prodotto tra l'intensità di precipitazione (i), di assegnata durata e periodo di ritorno (Tr), il coefficiente di assorbimento (Φ), la superficie del bacino (A), il coefficiente di laminazione ε(t):

$$Q = i\,[\Theta, Tr, r\,(\Theta, A)\,]\cdot\Phi\cdot A\cdot\varepsilon\,(\Theta)$$

dove con Θ si è indicato il valore di durata critica, mentre r(Θ, A), rappresenta il fattore di ragguaglio della precipitazione all'area del bacino, espresso in funzione della durata Θ e della superficie del bacino A.

Esplicitando i termini della formula si ottiene:

$$Q = \frac{h_N}{\theta} \times A \times \frac{1}{3.6}$$

dove:
Q = portata al colmo [m^3/s]
h_N = altezza di pioggia netta [mm]
Θ = durata di pioggia critica [h]
A = area [km^2]

Nel seguito vengono descritte le metodologie per il calcolo dei suddetti parametri.

1 - Durata di pioggia critica: tempo di corrivazione

Il tempo di corrivazione è stato calcolato con la seguente formula

Il tempo di corrivazione (t_c) è ottenuto con la formula del Soil Conservation Service

$$t_c = \frac{100\,L^{0.8}}{1900\,s^{0.5}}\left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0.7} \text{ [minuti]}$$

dove
s = pendenza media del bacino (di versante, non dell'asta fluviale) [%];
L = lunghezza dell'asta [ft] (piedi); [MEMO: 1 metro = 3.28084 x 1 ft]
La stessa formula è usualmente espressa come:

$$t_c = 1.67 * 2.587\,\frac{L^{0.8}}{1900\,s^{0.5}}\left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0.7} \text{ [ore]}$$

dove
s = pendenza media del bacino (di versante, non dell'asta fluviale) [%];
L = lunghezza dell'asta [m]

La durata di pioggia critica (Θ) è assunta pari alla somma del tempo di formazione del deflusso superficiale (t_f) e del tempo di corrivazione (t_c).

$$\Theta = t_c + t_f \text{ [ore]}$$

Il tempo di formazione del deflusso (t_f) esprime il tempo in cui si forma il deflusso superficiale prima che inizi a scorrere sul bacino e dipende dalla capacità di assorbimento del suolo e dall'intensità e durata della pioggia lorda. La sua determinazione avviene in modo iterativo. Per i bacini di piccole dimensioni esaminati si è verificato che tale tempo non sia mai superiore al 50% del tempo di corrivazione, valore che è stato assunto per la sua stima sistematica.

Il tempo di corrivazione (t_c) può essere calcolato con diverse formulazioni.
Nel caso specifico, per uniformità con quanto realizzato nell'ambito del progetto autorizzato, viene impiegata la formula di Aronica e Paltrinieri che modifica la formula di Giandotti adattandola a bacini di superficie inferiore a 10 km^2, secondo la seguente:

2 – Altezze di pioggia: curve segnalatrici di possibilità pluviometriche in Sardegna

Il calcolo delle precipitazioni per l'area di interesse fa riferimento alle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica, realizzate impiegando il metodo TCEV ([4]).

Per l'area di interesse si fa riferimento alla sottozona omogenea SZO 2 della Regione Sardegna (riferimenti in Figura A- 1).

L'altezza di pioggia $h_T(t)$ di durata t (in ore) con assegnato tempo di ritorno T (in anni) si ottiene moltiplicando la pioggia indice μ(t) per un coefficiente di crescita $K_T(t)$:

$$h_T(d)=\mu(d)\cdot K_T(d)=a_1\cdot a_2\cdot d^{(n_1+n_2)}$$

I coefficienti a_1 e n_1 vengono determinati in funzione della pioggia indice giornaliera $\mu_g(t)$ secondo la formulazione seguente:

$$a_1=\mu_g/(0{,}886\cdot 24^{n_1})$$
$$n_1=-0{,}493+0{,}476\cdot \log_{10}\mu_g$$

Il valore di pioggia indice giornaliera, stimata sulla base della carta delle isoiete riportata in Figura A- 2, **è pari a 75 mm**.

([4]) REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA (2000) "*Attività di individuazione e di perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia – Linee Guida"* (Cfr. par. 1.7).

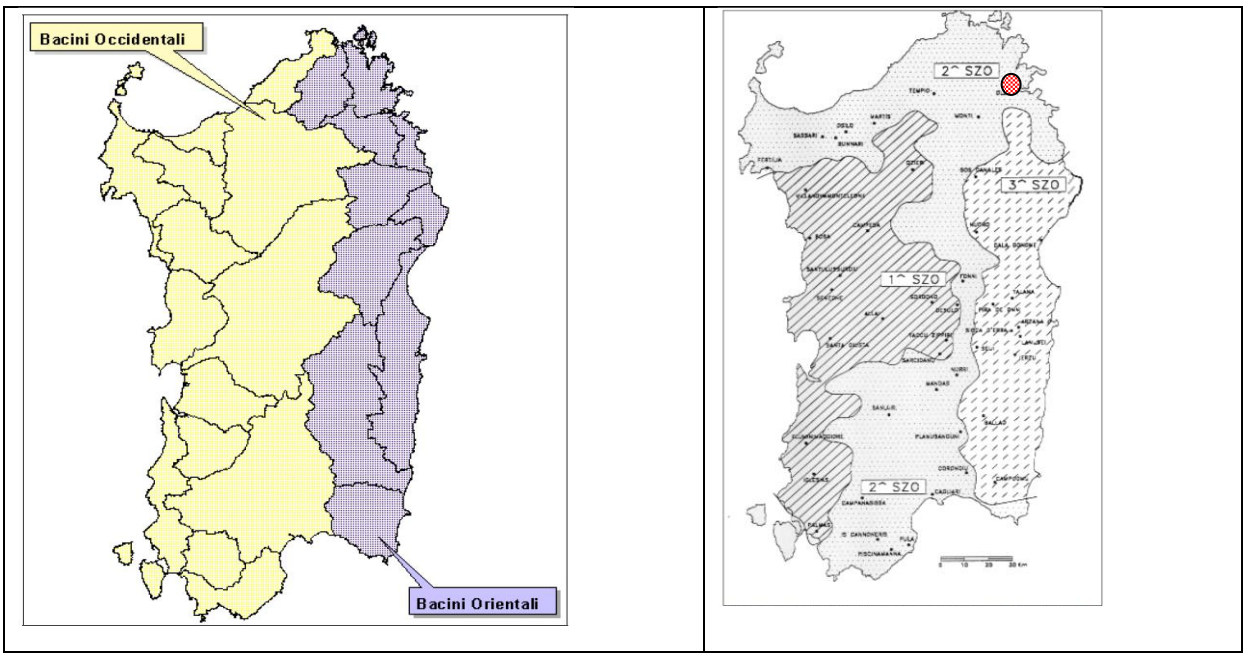


Figura A- 1. Rappresentazione delle Sotto Zone Omogenee della Sardegna (SZO) impiegate per la definizione dei coefficienti pluviometrici (il pallino rosso mostra l'area di intervento)

I coefficienti a_2 e b_2, per la sottozona SZO 3, vengono definiti secondo la formulazione seguente:

b) per tempi di ritorno T > 10 ANNI

SZO 1 $a_2 = 0{,}46378 + 1{,}0386 \, \mathrm{Log}_{10} T$

$n_2 = -0{,}18449 + 0{,}23032 \, \mathrm{Log}_{10} T - 3{,}3330 \, 10^{-2} (\mathrm{Log}_{10} T)^2$ (per τ <= 1 ora)

$n_2 = -1{,}0563 \, 10^{-2} - 7{,}9034 \, 10^{-3} \, \mathrm{Log}_{10} T$ (per τ >= 1 ora)

SZO 2 $a_2 = 0{,}44182 + 1{,}0817 \, \mathrm{Log}_{10} T$

$n_2 = -0{,}18676 + 0{,}24310 \, \mathrm{Log}_{10} T - 3{,}5453 \, 10^{-2} (\mathrm{Log}_{10} T)^2$ (per τ <= 1 ora)

$n_2 = -5{,}6593 \, 10^{-3} - 4{,}0872 \, 10^{-3} \, \mathrm{Log}_{10} T$ (per τ>= 1 ora)

SZO 3 $a_2 = 0{,}41273 + 1{,}1370 \, \mathrm{Log}_{10} T$

$n_2 = -0{,}19055 + 0{,}25937 \, \mathrm{Log}_{10} T - 3{,}8160 \, 10^{-2} (\mathrm{Log}_{10} T)^2$ (per τ <= 1 ora)

$n_2 = 1{,}5878 \, 10^{-2} + 7{,}6250 \, 10^{-3} \, \mathrm{Log}_{10} T$ (per τ >= 1 ora)

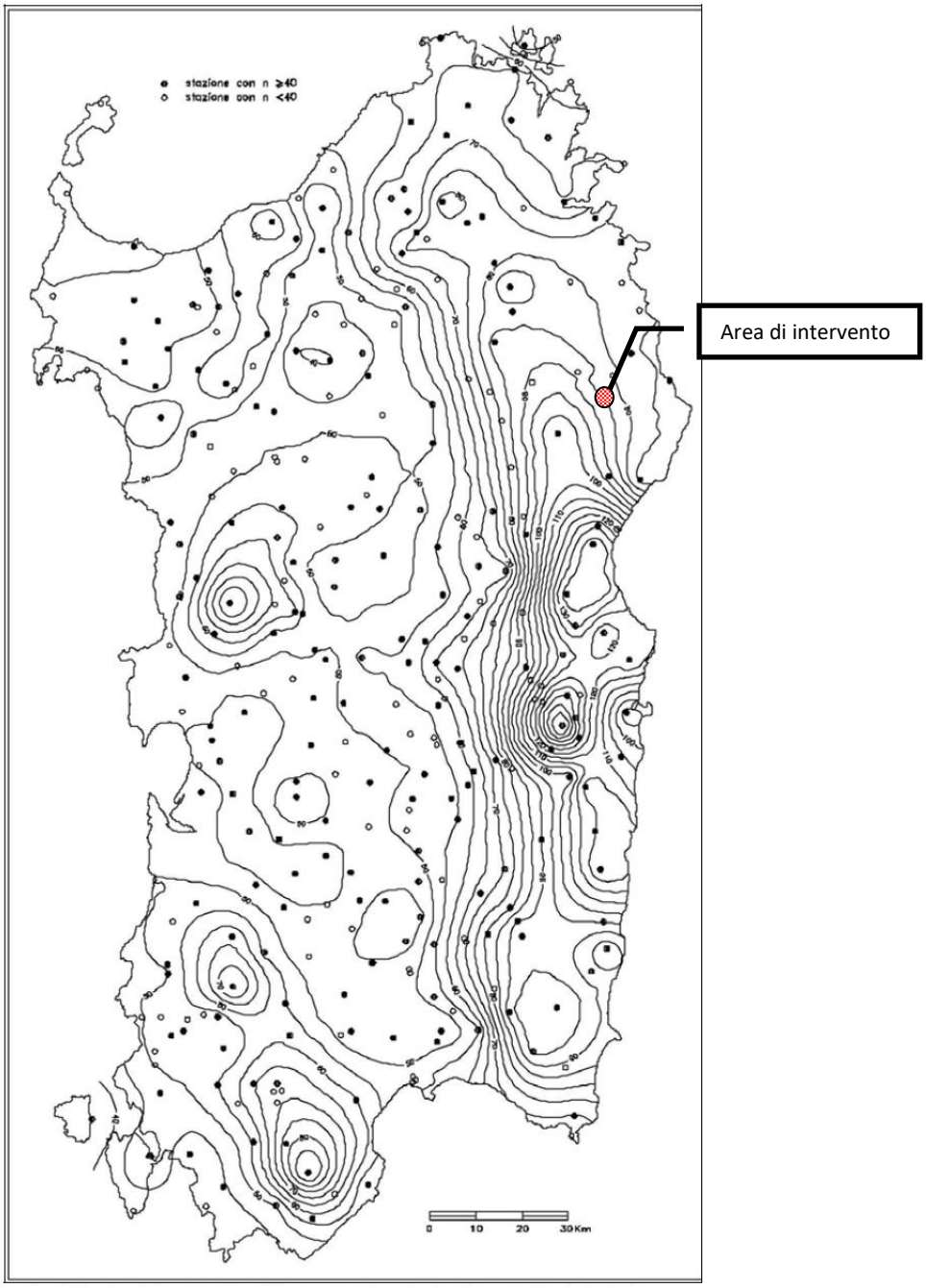


Figura A- 2. Carta delle isoiete impiegate per definire la pioggia indice giornaliera $\mu_g(t)$ espressa in mm (tratto da REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA 2013: *Elaborato 1.1 METODOLOGIE DI ANALISI* pag. 6).

2.1 – Altezza di pioggia ragguagliata (h_r)

La pioggia ottenuta calcolata per la durata critica Θ di ogni bacino viene quindi ragguagliata all'area tramite il parametro r, secondo la formulazione utilizzata nel VAPI, che fa riferimento al Flood Studies Report:

$r = 1 - (0{,}0394\ A^{0.354})\ \Theta^{(-0.40+0.0208\ \ln(4.6-\ln(A)))}$ per $A < 20\ km^2$

$r = 1 - (0{,}0394\ A^{0.354})\ \Theta^{(-0.40+0.003832\ (4.6-\ln(A)))}$ per $A > 20\ km^2$

dove:

Θ è la durata critica della precipitazione;

A è la superficie del bacino (espressa in km^2).

2.2 – Altezza di pioggia netta (h_N)

Il valore del coefficiente di afflusso si può calcolare con il metodo SCS-Curve Number che permette di ricavare la pioggia netta h_N in base all'espressione:

$$h_N = (h_r(\theta) - 0{,}2\ S)^2 / (h_r(\theta) + 0{,}8\ S) \quad (mm)$$

dove:

h_r = precipitazione meteorica ragguagliata (mm);

S = massima capacità di assorbimento del bacino per infiltrazione (mm).

Il valore S è calcolato dall'equazione:

$$S = 254\ ((100/CN)-1) \quad (mm)$$

2.3 – Definizione del Curve Number (CN)

Il metodo SCS (Soil Conservation Service) sintetizza i caratteri geo-pedologici e vegetazionali del bacino (ovvero le caratteristiche idrologiche) attraverso il parametro CN (Curve Number).

Ai fini del presente studio viene impiagata la Carta del Curve Number della Regione Sardegna (AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE DELLA SARDEGNA, 2019 "*Carta del Curve Number Regionale*") scaricabile il formato shapefile dal Geoportale regionale ([5]).

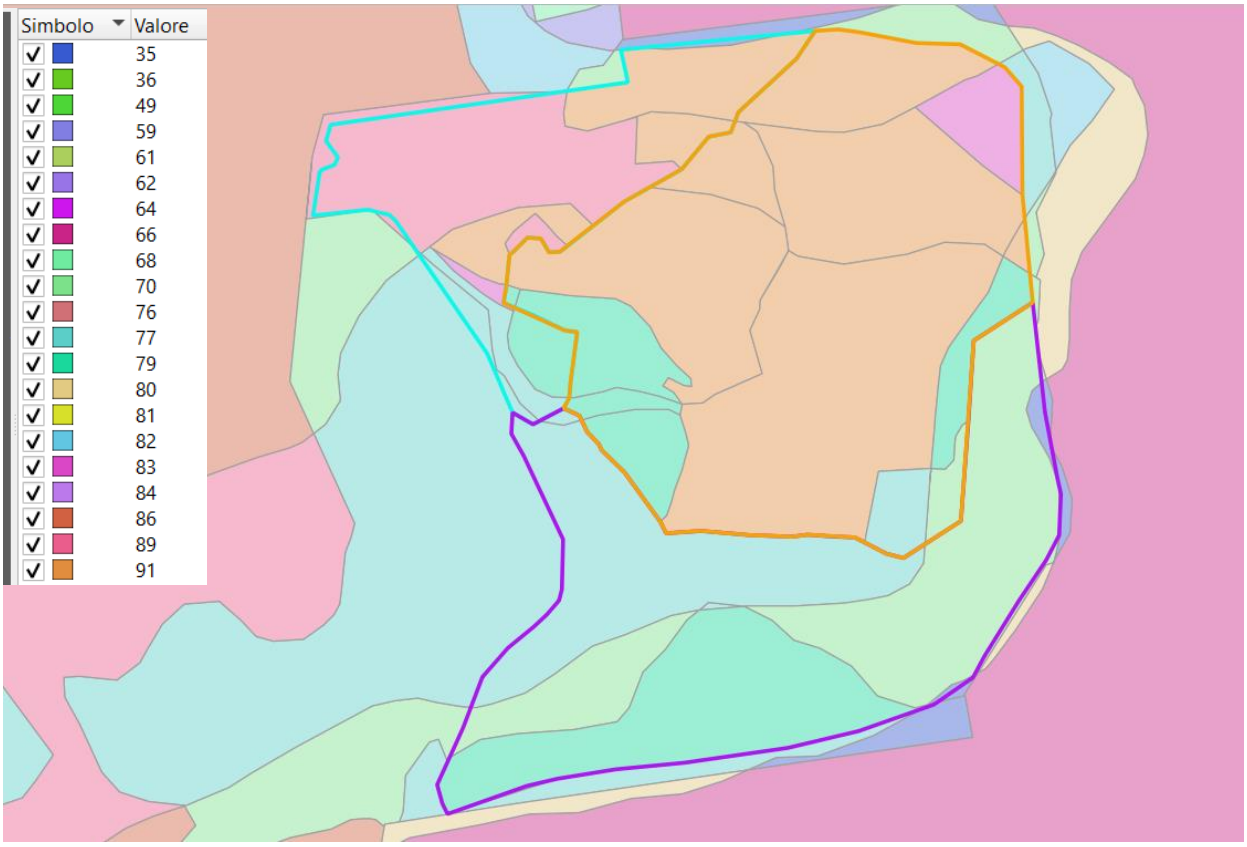
Il CN è un parametro dell'equazione del modello di formazione di deflusso superficiale SCS-CN (Soil Conservation Service - Curve Number) sviluppato dal Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti (USDA) del Natural Resources Conservation Service. Il CN teoricamente può variare tra 0 e 100: valori alti del parametro CN rappresentano le caratteristiche di assorbimento di superfici poco permeabili, mentre valori bassi indicano terreni ad alta permeabilità. Il CN è funzione della tipologia di uso-copertura del suolo, della tipologia geo-pedologica del suolo e delle condizioni di umidità del suolo all'inizio dell'evento meteorico. Per riprodurre la mappa del CN a scala regionale sono state utilizzate le tabelle dell'USDA che associano a ciascuna tipologia di uso del suolo (ossia copertura vegetale e grado di antropizzazione) i valori del CN funzione anche dalle caratteristiche idrologiche del suolo, in relazione alla maggiore o minore permeabilità del substrato (tipi idrologici A-B-C-D in ordine di permeabilità decrescente).

In sintesi il CN definisce la relazione precipitazione-volume di deflusso e rappresenta l'attitudine di una porzione di territorio di produrre deflusso.

A scopo cautelativo la determinazione delle portate viene effettuata considerando l'ipotesi di stato di imbibizione iniziale del terreno elevato (AMC-III) ovvero di terreno saturo.

([5])https://www.sardegnageoportale.it/index.php?xsl=2420&s=40&v=9&c=93953&es=6603&na=1&n=100&esp=1&tb=14401

La carta del CN riferita all'area di intervento è riportata in Figura A- 3. Si specifica che l'informazione riferita al CN, tratta a partire dalla Carta del Curve Number della Regione Sardegna ed è stata settorializzata per lo stato attuale e per lo stato di progetto



I settori di recupero ambientale nuovo è stato dato un valore di 83
I settori dil recupero ambientale consolidato è stato dato un valore di 79

In merito allo stato finale
Il bacino 1 ha un valore di CN 81
Il bacino 2 ha un valore di CN 79
Il bacino 3 ha un valore di CN 74

Figura A- 3. Carta del Curve Number (CN-II) riferita all'area di intervento – stato attuale

L'applicazione delle formule esposte porta ai seguenti risultati hanno determinato i risultati esposti nella relazione come esempio si esplicitano i passaggi per il bacino 1 – stato attuale:

1) Pendenza dei versanti

Bacino	**1**	
Pendenza media dei versanti		
Delta z	5	m
Lliv	1419	m
A	43633	m^2
Culva di livello	Lunghezza	
25	154	
30	101	
35	432	
40	102	
45	97	
50	50	
55	79	
60	99	
65	83	
70	75	
75	92	
80	55	
im	16.26	%

2) **Tempo di corrivazione** (t_c)

Coef.	1.67	
Coef.	2.587	
L	437	m
s	16.26	%
CN	87	
numeratore	129.534	
denominatore	7661.501	
II addendo	1.896	
tc	0.14	ore

:

3) **Tempo di formazione del deflusso** (t_f):

Il tempo di formazione del deflusso (t_f) esprime il tempo in cui si forma il deflusso superficiale prima che inizi a scorrere sul bacino e dipende dalla capacità di assorbimento del suolo e dall'intensità e durata della pioggia lorda. La sua determinazione avviene in modo iterativo. Per i bacini di piccole dimensioni esaminati si è verificato che tale tempo non sia mai superiore al 50% del tempo di corrivazione, valore che è stato assunto per la sua stima sistematica.

Tc (ore)	0.140
tf (ore)	0.070

4) **Durata di pioggia critica** (Θ):

$$\theta = t_c + t_f$$

Tc (minuti)	
Tc (ore)	0.140
tf (ore)	0.070
Durata critica	0.210

5) **Altezza di pioggia** (h_T)

hT(d) =a1 x a2 x d (n1+n2)

Altezza di pioggia <1h (mm)	Durata <1h (h)	Tr (anni)
21.1	0.210	20
Output	Input	Input

Altezza di pioggia >=1h (mm)	Durata >=1h (h)	Tr (anni)
0.00		20
Output	Input	Input

Dove a_1 e n_1 si possono determinare in funzione della pioggia media dei massimi annui giornalieri o pioggia indice giornaliera μ_g:

$$a_1=\mu_g/(0{,}886\cdot 24^{n_1})$$

$$n_1=-0{,}493+0{,}476\cdot \log_{10}\mu_g$$

Pioggia indice giornaliera		
Gallura (Olbia)	75	mm
Vedi foglio pioggia indice		

Coefficienti		componenti			
a1	23.78	75			
n1	0.400	1.875			
Per zona pluviometrica 2 SZO		**Tr >= 10**			
a2	1.849	20	1.30103		
per durate <= 1h					
n2 (<=1h)	0.0695	20	1.30103	0.01	1.69267905
per durate > 1h					
n2 (>1h)	-0.0109769	20	0.001	1.301029996	

6) **Altezza di pioggia ragguagliata** con Tr 20 anni (h_r):

A	0.043633	km^2
Durata critica (SCS)	0.210	ore
componente 1	0.0130014	
componente 2	7.7319415	
	2.04536	
	0.0425435	
componente 3	1.7469365	
r (SCS)	0.9772873	
Pioggia indice (tr 20) Linee Guida	21.10	mm
Pioggia ragguagliata (tr 20)	20.62	mm

7) **Altezza di pioggia netta** (h_N):

	Bacino 01	
Pioggia ragguagliata (tr 20)	20.62	mm
S	37.95	
componente 1	169.7599	
componente 2	50.98322	
Pioggia netta (hN)	3.33	mm

8) **Portata al colmo** con Tr 20 anni (Q_{20}):

	Bacino 01	
Pioggia netta (hN)	3.33	mm
Durata critica (SCS)	0.21	ore
Intensità (netta)	15.857	mm/ore
Coefficiente di conversione	0.278	
Area	0.043633	km^2
Portata (tr 20)	**0.19**	**m^3/s**