



REGIONE SICILIA
ASSESSORATO REGIONALE ALL'ENERGIA E DEI SERVIZI DI PUBBLICA UTILITA'
Dipartimento Regionale dell'Acqua e dei Rifiuti

MESSA IN SICUREZZA DEL SITO MINERARIO DISMESSO DI PASQUASIA IN TERRITORIO DEL COMUNE DI ENNA

CUP: G71J16000000003

PROGETTO ESECUTIVO

Il Progettista
Dr.Agr. Lucio FERRIGNO

Visto: il Responsabile del procedimento
ing. Vito Cangemi



**N.
ELAB.**

**TITOLO
ELABORATO:**

A2

RELAZIONE IDRAULICO FORESTALE

CODICE ELABORATO:

02_PASQ.PE.01.ER.A2_00

Tav. lavoro fase lotto tipo doc. n.ro elab. Rev.

C	TERZA EMISSIONE				
B	SECONDA EMISSIONE				
A	PRIMA EMISSIONE				
00	PRIMA STESURA	22.02.2021			
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

1.PREMESSA	4
2.Caratterizzazione generale del territorio	6
2.1 generalità	6
2.2 analisi dello stato di fatto delle aree oggetto di intervento	11
3.Criteri di valutazione delle portate di progetto	15
3.1 elaborazione delle piogge intense	15
3.2 valutazione del coefficiente di deflusso	17
3.3 determinazione dei tempi di corrivazione	18
3.4 stima delle portate di piena la colmo	19
3.4.1 metodo empirico	19
3.4.2 metodo cinematico	21
3.5 confronto dei risultati	26
4.Caratterizzazione Floristico-Vegetazione	28
5.Indicazioni progettuali sulle opere di ingegneria naturalistica per la stabilizzazione dei versanti	31
6.Indicazioni sui costi di realizzazione degli interventi di stabilizzazione dei versanti	35

Elenco tabelle

- Tab. 1 Caratteristiche morfologiche dei bacini;
- Tab. 2 Precipitazioni di massima intensità - Stazione pluviografica di Caltanissetta;
- Tab. 3 Curve di probabilità pluviometrica per diversi tempi di ritorno – Staz. pluviografica di Caltanissetta;
- Tab. 4 Calcolo del tempo di corrivazione;
- Tab. 5 Valutazione delle portate massime al colmo - Metodo empirico;
- Tab. 6 Tempi di corrivazione e superfici delle fasce isocorrive;
- Tab. 7 Incrementi di precipitazione in ogni intervallo t_i ;
- Tab. 8 Volumi defluiti attraverso la sezione nei successivi intervalli di tempo;
- Tab. 9 Portate defluite attraverso la sezione nei successivi intervalli di tempo;

Elenco figure

- Fig. 1 Bacino significativo del F. Imera Meridionale
- Fig. 2 Corografia del sito;
- Fig. 3 Curva ipsografica;
- Fig. 4 Stazioni pluviometrografiche;
- Fig. 5 Istogramma altitudine-superficie;
- Fig. 6 Idrogramma di piena.

1. Premessa

La presente relazione si propone di definire le principali linee di intervento per la sistemazione idrogeologica ed idraulica per la messa in sicurezza delle aree oggetto di discarica di residui di lavorazione della ex miniera di Sali potassici di Pasquasia, poste a nord del sito di lavorazione.

Le finalità dell'intervento descritto nella presente relazione, che si inserisce nel quadro complessivo del risanamento ambientale e della messa in sicurezza della discarica di Pasquasia, consistono in:

- Bonifica ed allontanamento degli scarti di lavorazione della miniera e altri metalli dai piazzali e dai versanti del bacino considerato;
- Modellazione e parziale impermeabilizzazione della suddetta area e Regimazione delle acque superficiali
- Impermeabilizzazione tramite rivestimento dell'impluvio afferente al bacino;
- Stabilizzazione dei versanti tramite apposizione di rete a geocelle e rinverdimento;
- Realizzazione di stradella di servizio munita di canalette di scolo;
- Stabilizzazione tramite gabbionate dei versanti a monte della stradella;
- Apposizione di recinzione con rete metallica.

Tale relazione idraulica-idrologica ha l'obiettivo di caratterizzare il bacino idrografico afferente l'impluvio presente all'interno del sito minerario abbandonato di Pasquasia, stimare le portate massime prevedibili alla sua sezione terminale al fine di dimensionarne interventi di impermeabilizzazione e stabilizzazione delle sponde. Tali interventi infatti sono necessari per la corretta messa in sicurezza dell'intero sito minerario che prevede anche, dopo opportune risagomature dei terreni, la possibilità di raccogliere nel predetto impluvio le acque del deflusso superficiale ed ipodermico dei versanti afferenti al bacino idrografico di pertinenza.

Nel parag. 2.1 si sono individuate le caratteristiche morfologiche del bacino sotteso dalla sezione terminale dell'impluvio.

Successivamente si è passato al calcolo delle portate; sono stati adottati, per maggiore completezza, due metodi. Il metodo empirico, parag. 3.4.1, che si avvale dell'utilizzo di formule quali quella di Turazza. Il metodo cinematico, parag. 3.4.2, consente, individuate le fasce isocorive, di tracciare gli idrogrammi di piena relativamente al bacino considerato.

Per sviluppare tale trattazione si è presa in considerazione la stazione pluviografica di Caltanissetta, che si può ritenere rappresentativa della pluviometria della zona, e presenta una serie di dati significativa dal punto di vista statistico. (parag. 3.1).

Il tempo di corrivazione t_c è stato calcolato utilizzando diverse formule (parag. 3.3); per la valutazione della portata al colmo si è considerato il minimo tra i valori di t_c stimati. Il coefficiente di deflusso è stato valutato in relazione alle caratteristiche di uso del suolo, alla permeabilità e alla orografia del bacino. (vedi parag. 3.2).

In base ai risultati ottenuti è stato possibile, anche, fornire indicazioni sulle portate da utilizzare per il dimensionamento e la tipologia di rivestimento dell'impluvio (cap. 4).

Nel capitolo 5, dopo una breve disamina delle caratteristiche vegetazionali del sito sono stati descritti gli interventi di consolidamento e inerbimento dei versanti specificandone le specie vegetali idonee.

2. Caratterizzazione generale del territorio

2.1 Generalità

Il sito minerario di Pasquasia sito in C.daPasquasia in territorio comunale di Enna a circa Km da Enna e 22 da Caltanissetta tra la SS 122 Agrigentina a sud, il M.tePasquasia a nord e il Fiume Morello a est. Idrologicamente appartiene al bacino del fiume Imera Meridionale, sottobacino del F. Morello (vedi fig. 1). Detto fiume che ha una lunghezza di circa 31 Km ed un bacino di circa 178 Km², ha origine dalle pendici del M.teAltesina(1040 m s.l.m.) e confluisce nel F. Imera Maridionale in prossimità del ponte Capodarso.

Il fiume Morello, presenta un regime torrentizio con deflussi superficiali solo nella stagione invernale ed in coincidenza di eventi pluviometrici intensi e prolungati., è caratterizzato da un andamento meandriforme.

I deflussi idrici superficiali della zona sono condizionati soprattutto dall'eccedenza idrica e poco dall'infiltrazione nel sottosuolo.

Il territorio del bacino del Morello presenta caratteristiche climatiche di tipo supramediterraneo di tipo umido. Con temperature medie annue di circa 16-17 °C, massime nei mesi di Luglio e Agosto pari a circa 28-30 °C e minime nei mesi invernali di 6-8 °C. Le precipitazioni medie variano tra 600 e 700 mm, con minimi annuali pari a 300 mm e massimi di circa 800 mm annui.

Dal punto di vista litologico il bacino del Morello si presenta formato principalmente da depositi argillosi, soprattutto nella parte centrale, da rocce della serie gessoso-solfifera nella parte alta e da rocce silicee alla confluenza con il fiume Imera.

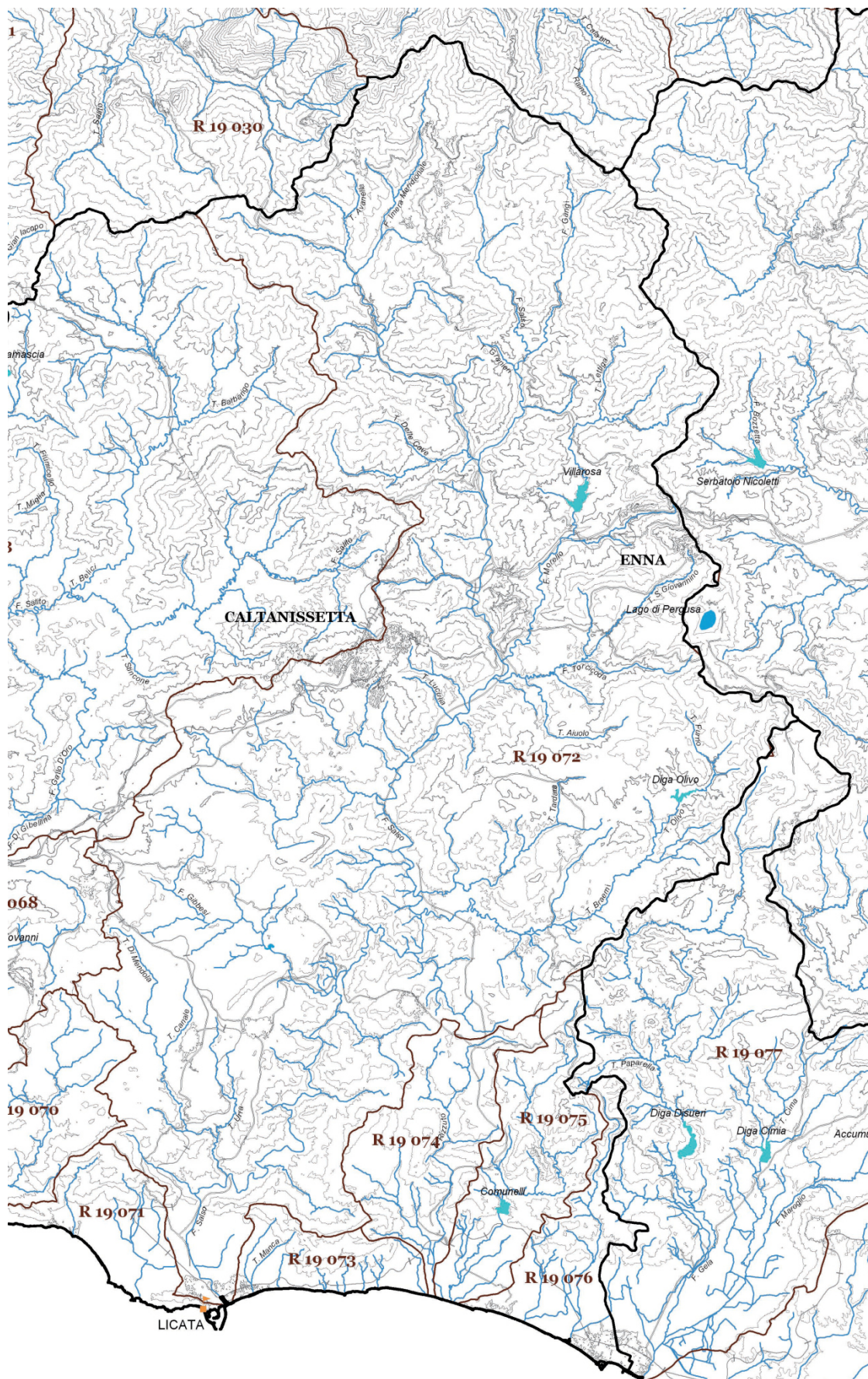


Figura 1 Bacino significativo F. Imera Meridionale

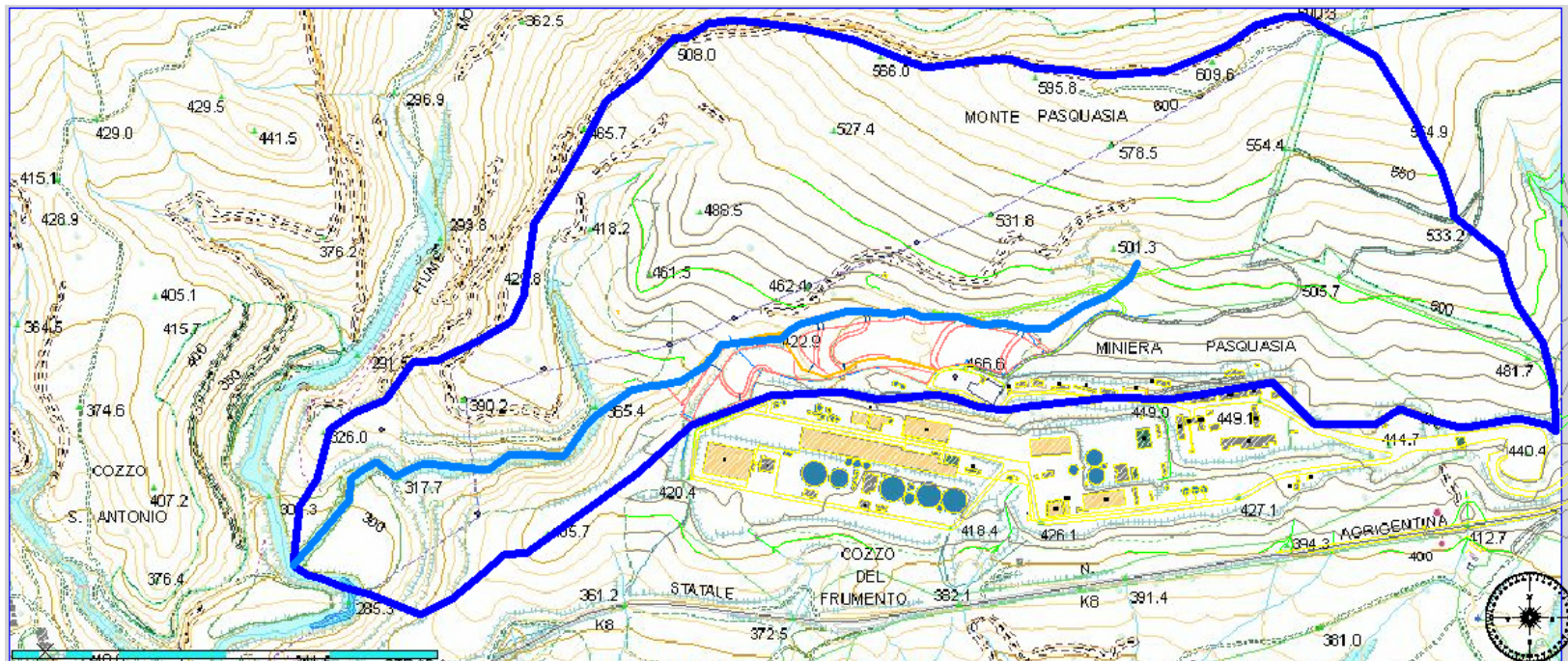
Il bacino preso in considerazione dalla presente relazione afferisce ad un impluvio di carattere torrentizio che sfocia nel F. Morello poco prima della sua confluenza con il Fiume Imera ad una quota pari a 290 m s.l.m..

Cartograficamente l'area è rappresentata nella Tavoletta "Borgo Cascino", Foglio 268 IV SE della Carta Ufficiale d'Italia IGM, mentre nella C.T.R. il sito è individuato nella sezione n. 631070 "MontePasquasia". (fig.2)

Ha un'estensione di circa 1,22 Km² (Tab.1), l'altitudine media, calcolata mediante la costruzione della curva ipsografica (vedi fig. 1), risulta pari a circa 478 m s.l.m. e l'altitudine massima è pari a 600 m s.l.m..

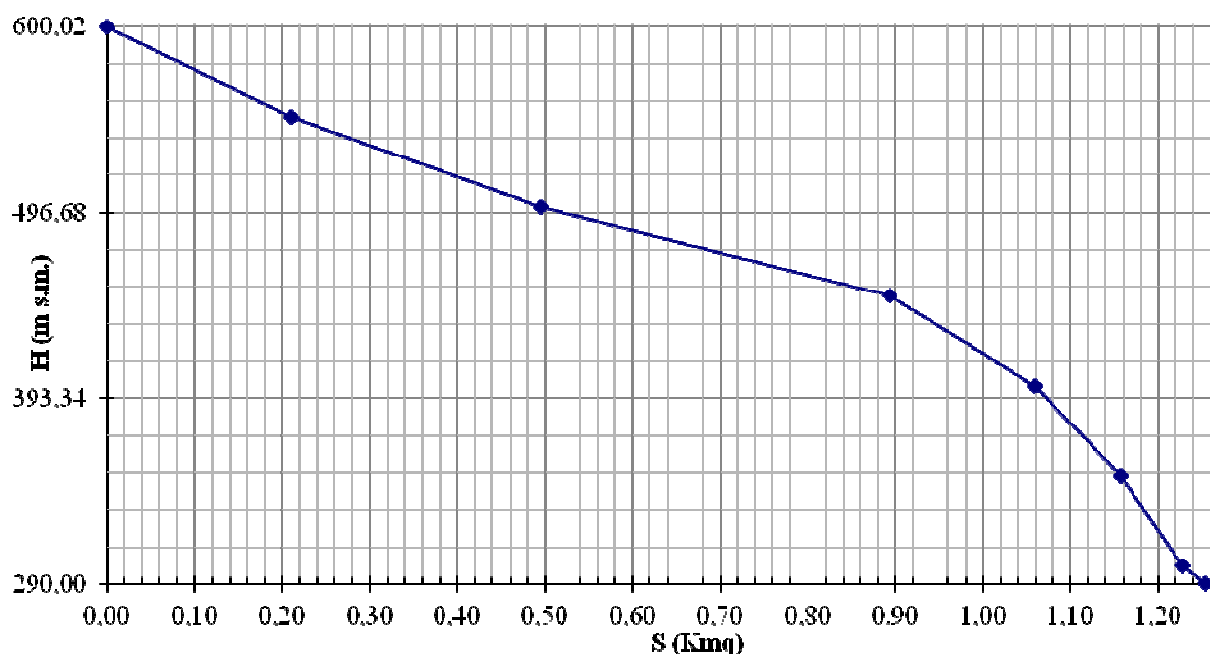
Tabella 1 Caratteristiche morfologiche dei bacini

Bacino	S	Lasta	Hmax asta	Hmaxbac	Hmin	Hmed	i asta
	(km ²)	(Km)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)
A	0,50	0,55	550,00	600,00	500,00	546,22	0,091
B	1,06	1,44	550,00	600,00	400,00	500,45	0,104
C	1,25	2,33	550,00	600,00	290,00	476,64	0,111



La morfologia è abbastanza varia in quanto la parte più a monte del bacino, risulta particolarmente ondulata, mentre la rimanente parte, si presenta molto accidentata con versanti con elevata pendenza e la linea di impluvio in posizione molto incassata.

Figura 3 Curva ipsografica



Nel bacino in studio non ricade nessuna stazione di rilevamento di dati climatici, pertanto è necessario fare riferimento ad una stazione posta comunque all'interno del bacino idrografico significativo (Imera Meridionale) e non troppo lontana, sia in termini di distanza che di altitudine. Due sono quindi le stazioni idrografiche da poter prendere in considerazione: Villarosa e Caltanissetta, la prima, posta ad una quota di 525 m s.l.m. e la seconda a 570 m s.l.m.. Secondo la Tavola A6 del Piano di Gestione del Distretto Idrografico della Sicilia che indica i "poligoni di Thiessen" per l'intero territorio siciliano il sito di interesse afferisce alla stazione di Villarosa (fig. 3).

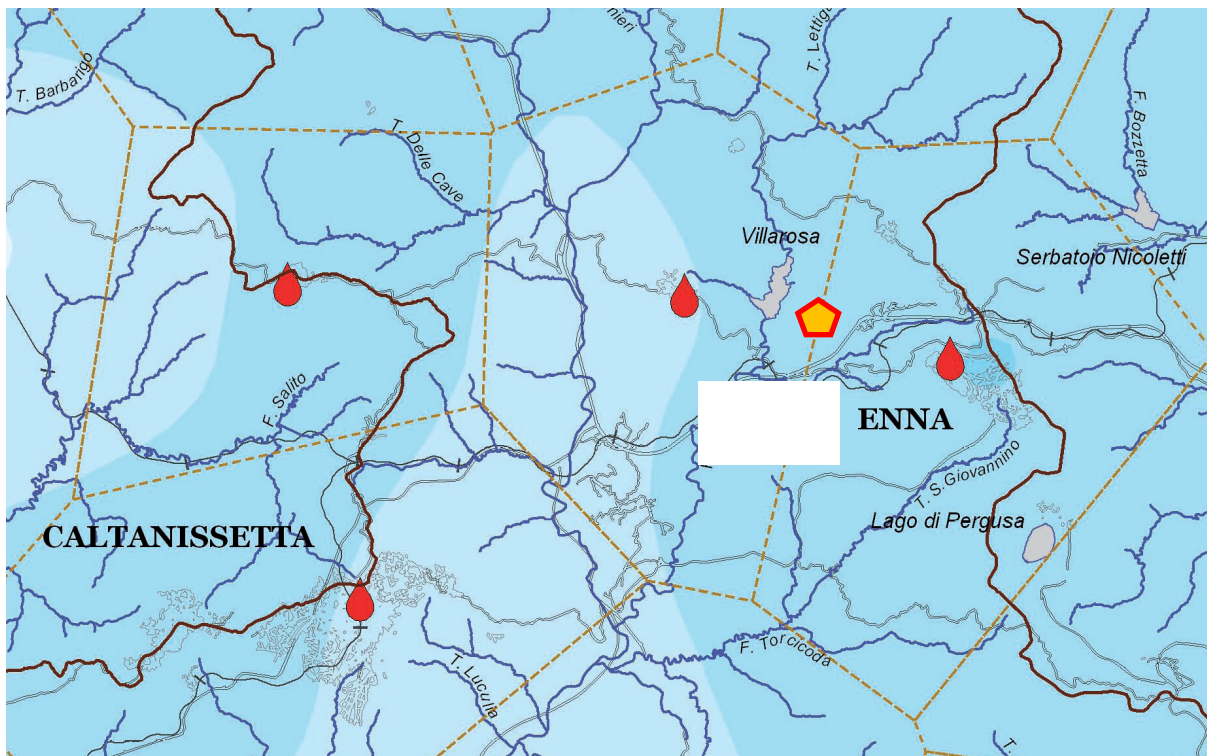


Figura 4. Stazioni pluviometriche

La circolazione idrica naturale, avviene prevalentemente nel sottosuolo a notevole profondità.

L'asta torrentizia lunga 2.33 Km presenta una sola ramificazione in prossimità della sua confluenza con il Fiume Morello. La sua pendenza media è pari al 11 %, essendo il punto più alto dell'asta posto a quota 550 m s.l.m.

2.2 Analisi dello stato di fatto delle aree oggetto di intervento

I versanti in destra idraulica del bacino sono caratterizzati da spazi aperti con poca vegetazione, soprattutto erbacea ed arbustiva, anche se in minima parte, con diffusi affioramenti rocciosi, tranne una piccola area a nord-est nella quale sono presenti resti di coltivazione di olivo.

I versanti in sinistra idraulica dell'impluvio sono interessati, invece, a partire dalla isoipsa 470 fino a quota 350, dalla presenza di deposito degli scarti della lavorazione degli stabilimenti minerari (costituiti principalmente materiale proveniente dagli scaviminerari di preparazione e primo sviluppo della miniera e da sterili da flottazione contenenti probabilmente ammine aromatiche, rappresentate da cloruro di sodio) e da materiali di varia natura e tipologia quali recipienti di diversa capacità contenenti liquidi vari, fusti metallici vuoti, pneumatici, tubazioni di gomma e plastica, legname ed altri rifiuti riconducibili alla pregressa attività mineraria e da parti di coperture di amianto degli edifici dismessi. Tali materiali depositati, soprattutto gli scarti delle lavorazioni hanno, nel tempo, generato una crosta che ha reso impermeabile lo strato di terreno agli agenti atmosferici, creando però in alcune zone morfologicamente più irte le vie preferenziali per l'infiltrazione nello strato sottostante.

Sempre in sinistra idraulica i versanti non interessati dalla discarica sono caratterizzati da aree a vegetazione rada di carattere erbaceo.

Non sono presenti drenaggi o fossi di scolo pertanto attualmente l'impluvio riceve le acque di deflusso superficiale dei versanti afferenti che essendo costituiti principalmente da regosuoli con la presenza in alcune aree di rocce affioranti esercitano naturalmente un'azione drenante nei confronti del deflusso superficiale, prova ne sia che la linea di impluvio non appare interessata da portate costanti e solo a quota 300 m s.l.m. le acque di infiltrazione della zona sovrastante a causa di un brusco cambiamento di pendenza del versante riemergono in superficie.

INTERVENTI PREVISTI

Ci si riferisce soltanto degli interventi previsti dal progetto che direttamente o indirettamente agiscono sulla componente idraulica e idrologica del bacino. Direttamente perché sono tesi a ottenere la regimentazione delle acque e la stabilizzazione dei versanti sui cui si interviene con azioni di bonifica, indirettamente perché tali interventi generano modificazioni al deflusso superficiale e ipodermico. Alcuni interventi sono ipotizzati anche per avere la possibilità di eseguire, nel tempo, un monitoraggio qualitativo sulle acque che raggiungono il canale dopo essere percolate dai versanti interessati dalla discarica di materiali bonificata. Tale monitoraggio appare importante per dare utili informazioni sul possibile accumulo nel suolo di elementi (metalli, sali etc.) che per definizione o per concentrazione risultano essere inquinanti.

Il sistema di opere previste consiste essenzialmente in:

- ✓ **interventi stabilizzanti** che hanno come obiettivo il consolidamento dei versanti
- ✓ **interventi regimanti** che hanno la funzione di controllare e veicolare il deflusso superficiale ed ipodermico in sezioni opportune del corso d'acqua
- ✓ **interventi di controllo** che mirano all'accertamento della qualità delle acque (e indirettamente del suolo) prima dello sversamento di queste nel F. Morello.

Tra i primi possiamo annoverare:

- Modellazione del profilo della discarica tramite formazione di scarpate a pendenza variabile (max 25-30°);
- Apposizione di "capping" formato da:
 - uno strato impermeabile costituito da geocomposito bentonitico, telo HDPE (spessore 2 mm ad aderenza migliorata) e geostuoia di protezione e rinforzo (solo nelle scarpate);
 - uno strato di drenaggio delle acque di infiltrazione (**spessore 0.50 m**) superficiale (pezzatura 5÷10 cm);
 - uno strato di copertura (spessore 1.0 m), costituito da terreno vegetale;
- rinverdimento mediante idrosemina della scarpata oggetto di modellazione, La scelta dell'idrosemina con miscela di semente, concime, additivi e collanti organici in luogo della semina semplice, in tutti gli interventi sopra descritti, è stata motivata con il fine di evitare gli scarsi attecchimenti dovuti alle difficili condizioni stagionali (terreno minerale e superficiale, xericità per esposizione, ventosità e deficit idrico estivo).

Gli interventi di regimazione consistono nella realizzazione di:

- un sistema di canalette prefabbricate e pozzetti di raccordo che consentirà di convogliare tutte le acque superficiali provenienti dalla porzione sommitale dell'area di concessione della miniera, limitando in tal modo il libero deflusso di dette acque verso la rete idrica sotterranea e sverseranno le acque nel canale di guardia garantendone l'allontanamento delle acque meteoriche dalle scarpate;
- un sistema di drenaggi (in PEAD del Ø 250 mm) posti al piede della scarpata, al di sopra dello strato impermeabilizzante, che convoglierà le acque nel canale di guardia perimetrale al fine di assicurare l'allontanamento dei deflussi ipodermici;

Gli interventi di controllo prevedono il rivestimento dell'impluvio (canale di guardia) con elementi prefabbricati (blockflex) per tutta la sua lunghezza, fino alla confluenza con il F. Morello. Viene realizzato assemblando blocchi in calcestruzzo vibrati aventi una forma ed una superficie di contatto tale da massimizzare gli sforzi d'attrito tra blocchi adiacenti. Il rivestimento è caratterizzato da una dimensione dei vuoti pari a circa il 18 % in modo da consentire l'intasamento con terreno vegetale

migliorando nel tempo la stabilità del rivestimento stesso e contribuendo a limitare, con la scabrezza indotta e le velocità sulla superficie.

Tale sistema di opere in pratica regimenterà le acque superficiali e ipodermiche convogliandole nell'impluvio a valle. Tale impluvio, quindi oltre che raccogliere le acque meteoriche del bacino di pertinenza dovrà ricevere le acque provenienti dal deflusso ipodermico dei versanti stabilizzati, acque che presumibilmente saranno ricche di sali e di altre sostanze inquinanti.

Anche la vasca di dissipazione posta prima della confluenza con il Morello risponde alla esigenza di controllo della quantità e qualità delle acque. La presenza eventuali di metalli o di particelle residue di altri materiali inquinanti (amianto, gomma etc.) sarà depositato nella vasca per essere rimosso periodicamente. Certamente la concentrazione elevata di cloruri potassici (misurata con opportune campagne di analisi) non sarà risolta dalla decantazione delle acque se pure l'effetto della diluizione dovuta allo sversamento nella vasca dei deflussi provenienti dai versanti in destra idraulica, raccolti dalle canalette che corrono parallelamente alla stradella di servizio realizzata a monte dell'impluvio in destra idraulica, potrebbe, per concentrazioni non elevate, e in periodi piovosi caratterizzati da eventi non particolarmente intensi, apportare buoni correttivi.

3. Criteri di valutazione delle portate di progetto

La portata di progetto è stata stimata in tre diverse sezioni dell'asta torrentizia. La più a monte all'inizio dell'incisione che raccoglie i deflussi provenienti dalla parte nord-est del bacino dalla isoipsa 600 alla 500 (sezione A), la seconda dalla quota 500 alla 400 tratto a valle delle aree interessate dagli interventi di bonifica e regimazione (sezione B), e la terza sezione in prossimità della confluenza con il fiume Morello (sezione C terminale del bacino).

Nel presente studio si sono adottati due differenti metodi di calcolo delle portate di piena che hanno fornito una serie di valutazioni dal cui raffronto critico si è pervenuti alla stima dei valori da assumere a base del dimensionamento delle opere descritte precedentemente.

Il primo metodo consiste nella valutazione delle portate di piena mediante l'uso di formule empiriche, che determinano il valore della portata in transito, in una prefissata sezione d'interesse, in funzione delle caratteristiche fisiche e topografiche del bacino sotteso e di un'opportuna altezza di pioggia.

Il secondo metodo prevede la costruzione degli idrogrammi di piena mediante l'elaborazione dei dati di pioggia intensa registrati da una stazione pluviografica ricadente nelle immediate vicinanze dei bacini imbriferi considerati.

Tale ricostruzione è stata effettuata tramite un modello matematico di tipo deterministico di trasformazione afflussi - deflussi, basato sull'individuazione delle fasce isocorve.

3.1 Elaborazione delle piogge intense

La stima indiretta delle portate di piena in funzione dei dati di pioggia richiede l'elaborazione statistica di una serie sufficientemente lunga di tali dati.

Nelle zone limitrofe ai bacini attenzionati ricadono le seguenti stazioni pluviografiche del Servizio Idrografico: Villarosa (525 m s.l.m.) e Caltanissetta (570 m s.l.m.).

Ai fini dell'individuazione del regime pluviometrico che interessa i bacini in esame, nonché allo scopo di pervenire ai dati necessari alla determinazione delle portate di massima piena e degli idrogrammi di piena, si è fatto ricorso alle registrazioni della stazione pluviografica di Caltanissetta che dispone di registrazioni di precipitazioni di massima intensità per un periodo di 29 anni (dal 1970 al 2006), mentre la stazione di Villarosa, se pure più rappresentativa delle condizioni del bacino in studio dispone solo di un ventennio di registrazioni che però si fermano al 1998.

Utilizzando i dati di precipitazione di massima intensità si sono determinate le curve di probabilità pluviometrica per diversi tempi di ritorno (2, 5, 10, 20, 25, 50, 100, 200 e 500 anni).

Nelle tabb.2 e 3 sono riportati i dati di precipitazione di massima intensità e le curve di probabilità pluviometrica per vari tempi di ritorno relativamente alla stazione di Caltanissetta.

Tabella 2 Precipitazione di massima intensità – stazione di Caltanissetta

PLUVIOMETRIA - PRECIPITAZ. DI MAX INTENSITA' (mm)											TAB.2
Codice Denominazione Staz.	Anno	Pioggia Altezza	1 h Data	Pioggia Altezza	3 h Data	Pioggia Altezza	a 6 h a Data	Pioggia Altezza	a 12 h a Data	Pioggia Altezza	a 24 h a Data
ST119 CALTANISSETTA	1970	20.6	16/10	31.79	16/10	37,00	16/10	37,00	16/10	37,00	16/10
	1972	20.2	31/12	47,00	31/12	60.20	31/12	63.20	31/12	82,00	31/12
	1973	20.2	1/1	40.40	1/1	52.20	1/1	57.40	1/1	99.19	1/1
	1974	20,0	6/11	24.60	6/11	26.79	6/11	34.59	6/11	48.40	5/11
	1975	16,0	11/12	24.39	15/10	33.59	15/10	33.59	15/10	35.59	15/10
	1976	63,0	7/7	68,00	7/7	68,00	7/7	77,00	25/10	105.4	25/10
	1978	7,0	25/1	14.60	16/1	21.20	16/1	24.60	16/1	25.39	16/1
	1980	26.39	9/10	28.39	9/10	28.39	9/10	28.39	9/10	38.40	9/10
	1981	15.19	19/9	18.39	19/9	22,00	20/1	25.20	20/1	33.79	3/12
	1982	61.6	22/10	85.8	22/10	86.4	22/10	86.4	22/10	91.4	21/10
	1983	32.2	2/9	32.2	2/9	39.6	27/9	42.0	27/9	49.8	22/11
	1984	19.8	12/11	25.6	12/11	45.2	12/11	69.6	12/11	73.2	12/11
	1985	25.4	16/1	42.8	16/1	56.4	16/1	78.2	16/1	93.2	16/1
	1986	12.2	25/1	14.2	9/10	14.2	9/10	14.2	9/10	18.2	8/10
	1987	15.8	10/11	30.0	12/10	35.2	12/10	37.4	12/10	37.4	12/10
	1988	47.8	15/9	48.0	15/9	59.4	1/12	103.4	1/12	125.8	1/12
	1989	12.4	22/9	12.4	22/9	20.0	13/10	29.8	13/10	45.2	13/10
	1990	21.8	20/10	22.2	20/10	24.0	24/11	25.4	24/10	26.8	24/10
	1991	75.0	12/10	94.0	12/10	162.0	12/10	207.8	12/10	221.8	12/10
	1994	38.4	3/7	46.6	3/7	46.6	3/7	46.6	3/7	46.6	3/7
	1997	32.4	12/8	48.2	8/10	81.6	8/10	82.0	8/10	99.8	8/10
	1998	12.6	17/5	23.0	19/11	35.4	19/11	40.6	19/11	40.6	19/11
	1999	24.4	3/9	24.4	3/9	24.4	3/9	25.0	30/11	38.6	28/11
	2000	59.4	30/9	85.6	30/9	86.2	30/9	86.2	30/9	86.2	30/9
	2001	9.8	28/2	20.2	28/2	29.8	28/2	31.8	28/2	39.2	28/2
	2002	11.0	11/10	13.6	8/5	19.8	8/5	21.6	11/10	26.0	26/11
	2003	22.0	21/11	32.0	26/11	51.0	26/11	54.6	25/11	59.2	25/11
	2004	20.2	18/9	23.4	9/12	29.0	16/12	38.6	16/12	51.4	16/12
	2006	25.0	21/9	28.0	21/9	29.4	7/12	32.4	7/12	35.0	07/12

Tabella 3 Curve di probabilità pluviometrica – stazione di Caltanissetta

TAB.3							
CURVE DI PROBABILITA' PLUVIOMETRICA							
STAZIONE DI CALTANISSETTA (ST119)							
Tempi di ritorno (anni)	Curva di regressione						Coefficiente di correlazione
	$h = a * t ^ n$						
	h (mm); t (ore)						
2	h =	26.44 *	t ^	0.24			0.9970
5	h =	42.56 *	t ^	0.23			0.9920
10	h =	53.20 *	t ^	0.23			0.9880
20	h =	63.43 *	t ^	0.23			0.9850
25	h =	66.69 *	t ^	0.23			0.9840
50	h =	76.63 *	t ^	0.22			0.9820
100	h =	86.57 *	t ^	0.22			0.9800
200	h =	96.45 *	t ^	0.22			0.9790
500	h =	109.5 *	t ^	0.22			0.9770
1000	h =	119.3 *	t ^	0.22			0.9760

Ai fini del calcolo delle portate di piena al colmo si è fatto riferimento a vari tempi di ritorno, e specificatamente a 10, 25, 50, 100, 200 e 500 anni.

Le relazioni tra altezza di pioggia e la relativa durata t sono state interpolate utilizzando equazioni di regressione monomie del tipo:

$$h = a t^n$$

I parametri a e n vengono ricavati con il metodo dei minimi quadrati, dopo aver proceduto all'analisi probabilistica secondo il metodo di Gumbel, dei citati valori di altezza di pioggia.

3.2 Valutazione del coefficiente di deflusso

Dal punto di vista geomorfologico l'area è caratterizzata da un substrato rappresentato da terreni argillo-sabbiosi di età differente che affiorano estesamente e, in minor misura, da affioramenti lapidei, costituiti da rocce ascrivibili alla Serie Evaporitica del Messiniano, e da sedimenti calcarenitico-sabbiosi di età tardo pliocenica.

In particolare nel bacino oggetto di studio è presente un esteso affioramento di calcareniti fossilifere giallastre, a tratti sottilmente stratificate passanti a sabbie sciolte o debolmente cementate ed in eteropia di facies con argille sabbiose, presenti nella zona meridionale dell'area mineraria. Tale complesso calcarenitico - sabbioso risulta essere mediamente permeabile.

Per la stima del coefficiente di deflusso si è ipotizzata una permeabilità media per l'intero bacino ad eccezione di quelle aree ad affioramenti rocciosi che ovviamente hanno permeabilità bassa.

In particolare è stato utilizzato il metodo di Kennessey (1930) che stima il coefficiente di deflusso medio annuo in funzione di tre caratteristiche: l'acclività dei versanti, permeabilità dei terreni affioranti e la copertura vegetale.

Ognuno di questi parametri deve essere ricondotto a classi qualitative, che intervengono con un contributo numerico a definire un coefficiente di deflusso risultante.

Il valore del coefficiente di deflusso medio annuo di Kennessey risulta quindi, la somma delle tre variabili:

$$CK = CA + CP + CV$$

I coefficienti numerici relativi ad ogni classe sono stati stabiliti dallo stesso autore e sono stati raccolti in tre serie differenti la cui applicazione è subordinata al regime climatico; tuttavia nel lavoro originale manca ogni riferimento ad una discriminante pratica che ne regoli la scelta. Il problema è stato risolto da Tardi e Vittorini (1977) che ritengono l'indice di aridità medio annuo I_a una buona determinante per stabilire il campo di validità di ogni serie. Questo parametro può essere determinato dalla seguente formula:

$$I_a = \frac{\left[\frac{P}{T+10} + \frac{12p}{t} \right]}{2}$$

Dove P = afflusso medio annuo

T = temperatura media annua

P,t= precipitazione e temperatura de mese più arido

Per il bacino considerato, nelle diverse sezioni di calcolo, il CK è risultato pari a 0,35 per il bacino alla sezione A, 0,43 per il bacino alla sezione B e 0,46 per il bacino con sezione terminale alla confluenza con il fiume Morello.

3.3 Determinazione dei tempi di corrivazione

La valutazione del tempo di corrivazione t_c è stata effettuata tenendo conto delle stime ottenute rispettivamente tramite l'applicazione delle formule di Giandotti, Puglisi e Pezzoli.

In particolare:

Formula di Giandotti:

$$T_c = \frac{\left(4S^{\frac{1}{2}} + 1.5L \right)}{\left(0.8(H_{bac} - H_{min})^{\frac{1}{2}} \right)}$$

dove:

L è la lunghezza dell'astapprincipale (Km);

S è la superficie totale del bacino (Kmq);

H_{bac} è l'altitudine media del bacino s.l.m. (m), calcolata con la curva ipsografica del bacino;

H_{min} è l'altitudine minima del bacino s.l.m. (m).

Formula di Puglisi:

$$T_c = \frac{6L^{0.67}}{(H_{max} - H_{min})^{0.32}}$$

dove:

L è la lunghezza dell'asta principale (Km);

H_{max} è l'altitudine massima del bacino s.l.m. (m);

H_{min} è la quota d'imposta s.l.m. (m).

Formula di Pezzoli:

$$Tc = \frac{0.055L}{i^{0.5}}$$

con:

i pendenza media dell'asta.

Nella tab. 4 sono riportati i risultati. Per il calcolo delle portate al colmo, sono stati utilizzati i valori calcolati con la formula di Giandotti che appaiono come medi tra i tre valori stimati.

Tabella 4 Calcolo del tempo di corrivazione

Bacino	S	Lasta	Hmax asta	Hmaxbac	Hmin	Hmed	i asta	tc Giandotti	tc Puglisi	tc Pezzoli
	(kmq)	(Km)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(ore)	(ore)	(ore)
A	0,5	0,547	550	600	500	546,22	0,091	0,67	1,09	0,10
B	1,06	1,44	550	600	400	500,45	0,104	0,78	1,44	0,25
C	1,25	2,334	550	600	290	476,64	0,111	0,73	1,66	0,38

3.4 Stima delle portate di piena la colmo

3.4.1 Metodo empirico

La valutazione è stata effettuata, per diversi tempi di ritorno $T_r = 10, 25, 50, 100$ e 200 anni, utilizzando le seguenti formule:

Formula di Turazza

Si ipotizza che la portata di massima piena al colmo sia prodotta da un evento di pioggia intensa, distribuita uniformemente su tutto il bacino imbrifero sotteso da una sezione di interesse e che abbia una durata pari al tempo di corrivazione del bacino stesso.

In particolare

$$Q = \frac{C * h * S * K}{(t_p + t_c) * 3.6}$$

dove:

Q = portata (m^3/s);

C = coefficiente di deflusso;

h = altezza di pioggia di durata pari al t_c e di tempo di ritorno $T_r = 100$ anni, calcolata con la curva di probabilità pluviometrica relativa alla stazione pluviografica di Caltanissetta (mm);

S = superficie del bacino (Kmq),

K = coefficiente di piena (Q_{max}/Q_{media});

t_p = durata di piena (ore);

t_c = tempo di corrivazione (ore).

Posto $t_p = t_c$ e $K = 2$ si ottiene:

$$Q = \frac{C * h * S}{t_c * 3.6} = \frac{C * I * S}{3.6}$$

dove:

I = intensità di pioggia (mm/h)

Per tenere conto, inoltre, della disomogeneità della distribuzione dell'evento piovoso all'interno del bacino si sono moltiplicati i valori di portata, stimati con le due formule prima descritte, per il coefficiente di ragguaglio di Fornari:

$$\phi = 1/(1+(0.0015 * A/(t_c)^{0.20}))$$

stimato, per ciascuna sezione, in funzione della superficie di ciascun bacino nonché del tempo di corrivazione relativo alla sezione per la quale si effettua il calcolo.

I valori trovati sono raccolti nella tab.5 e in particolare per tempi di ritorno di 100 anni (comunemente utilizzati per la progettazione di manufatti):

-il bacino A $Q = 3.42$ mc/sec;

-il bacino B $Q = 10.42$ mc/sec.

-il bacino C $Q = 12.90$ mc/sec.

Tabella 5 Valutazione delle portate di piena al colmo – metodo empirico

BACINO Pasquasia								
A								
S	tc	Tr	a	n	h	C	ϕ	Q
[kmq]	[ore]	[anni]	[mm]		[mm]			[mc/s]

0,50	0,67	10	53,2	0,23	48,52	0,35	0,999	2,34
0,50	0,67	25	66,69	0,23	60,82	0,35	0,999	2,93
0,50	0,67	50	76,63	0,22	70,17	0,35	0,999	3,38
0,50	0,67	100	86,57	0,22	79,27	0,35	0,999	3,82
0,50	0,67	200	96,45	0,22	88,32	0,35	0,999	4,25
0,50	0,67	500	109,51	0,22	100,27	0,35	0,999	4,83

BACINO Pasquasia B								
S	tc	Tr	a	n	h	C	$\square$	Q
[kmq]	[ore]	[anni]	[mm]		[mm]			[mc/s]
1,06	0,78	10	53,2	0,23	50,25	0,43	0,998	6,39
1,06	0,78	25	66,69	0,23	62,99	0,43	0,998	8,01
1,06	0,78	50	76,63	0,22	72,55	0,43	0,998	9,22
1,06	0,78	100	86,57	0,22	81,96	0,43	0,998	10,42
1,06	0,78	200	96,45	0,22	91,32	0,43	0,998	11,61
1,06	0,78	500	109,51	0,22	103,68	0,43	0,998	13,18

BACINO Pasquasia C								
S	tc	Tr	a	n	h	C	$\square$	Q
[kmq]	[ore]	[anni]	[mm]		[mm]			[mc/s]
1,25	0,73	10	53,2	0,23	49,49	0,46	0,998	7,90
1,25	0,73	25	66,69	0,23	62,03	0,46	0,998	9,91
1,25	0,73	50	76,63	0,22	71,50	0,46	0,998	11,42
1,25	0,73	100	86,57	0,22	80,78	0,46	0,998	12,90
1,25	0,73	200	96,45	0,22	90,00	0,46	0,998	14,38
1,25	0,73	500	109,51	0,22	102,18	0,46	0,998	16,32

3.4.2 Metodo cinematico

Il metodo cinematico o della corrivazione si basa sull'ipotesi che il comportamento del bacino idrografico sia assimilabile a quello di un canale lineare e che quindi la formazione dell'onda di piena sia interamente causata dalla traslazione delle particelle di pioggia dal punto di caduta alla sezione di chiusura del bacino.

Tale criterio consente di determinare l'andamento delle portate nel tempo, relativo a sezioni sprovviste di strumenti per la misura delle altezze idrometriche, mediante l'elaborazione dei dati di precipitazione.

Per la costruzione di tali diagrammi (idrogrammi di piena) occorre tracciare le linee isocorive del bacino relativo al corso d'acqua in esame; cioè quelle che sono individuate dalla congiungente i punti del bacino caratterizzati dallo stesso tempo di corrivazione.

Il tracciamento delle linee isocorive risulta notevolmente semplificato se si esegue il criterio, suggerito da C. Viparelli, secondo il quale il tempo di traslazione da un generico punto del bacino è

direttamente proporzionale alla differenza tra la quota del punto e la quota della sezione di chiusura: ciò implica la coincidenza delle linee isocorrive con le linee isoipse.

È sufficiente, per l'individuazione delle linee isocorrive, pertanto costruire la curva ipsografica del bacino, che rappresenta l'andamento cumulato delle aree in funzione dell'altitudine relativa alla sezione di chiusura.

Fissato, quindi, il numero di fasce isocorrive n in cui si vuole suddividere il bacino si ricava, tramite la relazione:

$$\Delta H = (H_{\max} - H_{\min})/n$$

L'intervallo tra due isoipse successive e, mediante la curva ipsografica, l'area S_i tra esse comprese.

Ottenuti tali valori si costruisce un istogramma altitudine - superficie ($H + \Delta H - S_i$).

Quindi, nell'ipotesi che la pioggia sia, istante per istante, uniformemente distribuita sul bacino, si ricava, tramite la curva di probabilità pluviometrica di tempo di ritorno prefissato (nel nostro caso $T_r = 100$ anni), l'altezza di precipitazione corrispondente ad una durata pari al tempo di corrivazione $n\Delta t$ (con $\Delta t = t_c/n$) di ogni fascia e quindi l'incremento di precipitazione h_i :

$$h_i = h(t_i) - h(t_{i-1})$$

con $h(t_i) = a t_i^n$

È possibile dimostrare che l'evento di massima piena è quello dovuto ad una pioggia di durata pari al tempo di corrivazione t_c del bacino, calcolato precedentemente (vedi parag. 3.3).

Occorre costruire, pertanto, uno ietogramma di durata complessiva pari a t_c costituito da un certo numero di elementi di durata t_i ed altezze h_i .

L'ordine con cui vengono disposte le altezze di pioggia può essere il più vario a testimonianza dell'aleatorietà dell'evento, però occorre considerare solo sequenze che rispettino l'equazione della curva di probabilità pluviometrica corrispondente al prescelto tempo di ritorno, cioè che siano ad essa congruenti.

Atteso che ad ogni ietogramma o pioggia di progetto, di stessa durata ma di diverso ordine di composizione, corrisponde un idrogramma con portata al colmo diversa, si è cercato lo ietogramma più efficace, da cui trarre la portata massima al colmo per fissato tempo di ritorno.

Si dimostra che l'evento più gravoso è quello dato da un ietogramma (ietogramma di progetto), in cui nel momento in cui tutte le fasce n contribuiscono contemporaneamente alla piena si ha che la fascia S_i più piccola contribuisce con l'altezza di pioggia h_i più piccola e la superficie S_i più grande con l'altezza h_i più grande.

Tale diagramma è lo speculare dell'istogramma $H + \Delta H - S$ in cui sono riportate le superfici ad altitudine compresa tra i valori H e $H + \Delta H$.

In conclusione, acquisiti tutti gli elementi da utilizzare per il calcolo delle portate, quest'ultime sono state ricavate con il noto procedimento del prodotto composto tra le successioni dei dati di precipitazione $C \cdot h_i$ (con C = coefficiente di deflusso) e di superficie S_i per ciascun intervallo di tempo fino all'esaurimento dell'evento.

Precisamente la portata risulta pari a:

$$Q_i = \frac{W_i}{\Delta t}$$

con $\Delta t = t_c / n$ (h);

n = numero di curve isocorrive;

W_i = volume (mc).

Il volume W_i risulta pari :

per il primo intervallo: $W_1 = C * h_1 * S_1$

per il secondo intervallo: $W_2 = C (h_2 * S_1 + h_1 * S_2)$

per il terzo intervallo: $W_3 = C (h_3 * S_1 + h_2 * S_2 + h_1 * S_3)$

e così via per gli istanti susseguenti.

I valori di portata Q_i sono stati, inoltre, moltiplicati per il coefficiente ϕ di Fornari, precedentemente definito, per tenere conto della disomogeneità della distribuzione dell'evento piovoso.

Infine, i punti di coordinate (t_i, Q_i) riportati in un sistema di assi cartesiani ed interpolati, consentono il tracciamento dell'idrogramma di piena.

Bisogna sottolineare che tale metodo conduce a stime molto gravose, in quanto è evidente che la portata di piena così ottenuta non ha lo stesso tempo di ritorno relativo alla pioggia che si è supposto l'abbia generata, poiché l'evento piovoso dovrebbe manifestarsi con una distribuzione che corrisponda, sia nel tempo che nello spazio, a quella supposta.

È evidente che tale evenienza dipende dalla probabilità composta dei singoli eventi e pertanto la frequenza del valore di portata stimato è estremamente minore di quella associata alla curva di possibilità pluviometrica da cui si sono ricavate le altezze di pioggia.

Tali considerazioni permettono di asserire che fare riferimento ai valori così ottenuti è sicuramente a vantaggio di sicurezza.

3.4.2.1 Elaborazioni effettuate

L'applicazione del metodo cinematico è stata effettuata all'intero bacino (sezione di chiusura alla confluenza nel F. Morello).

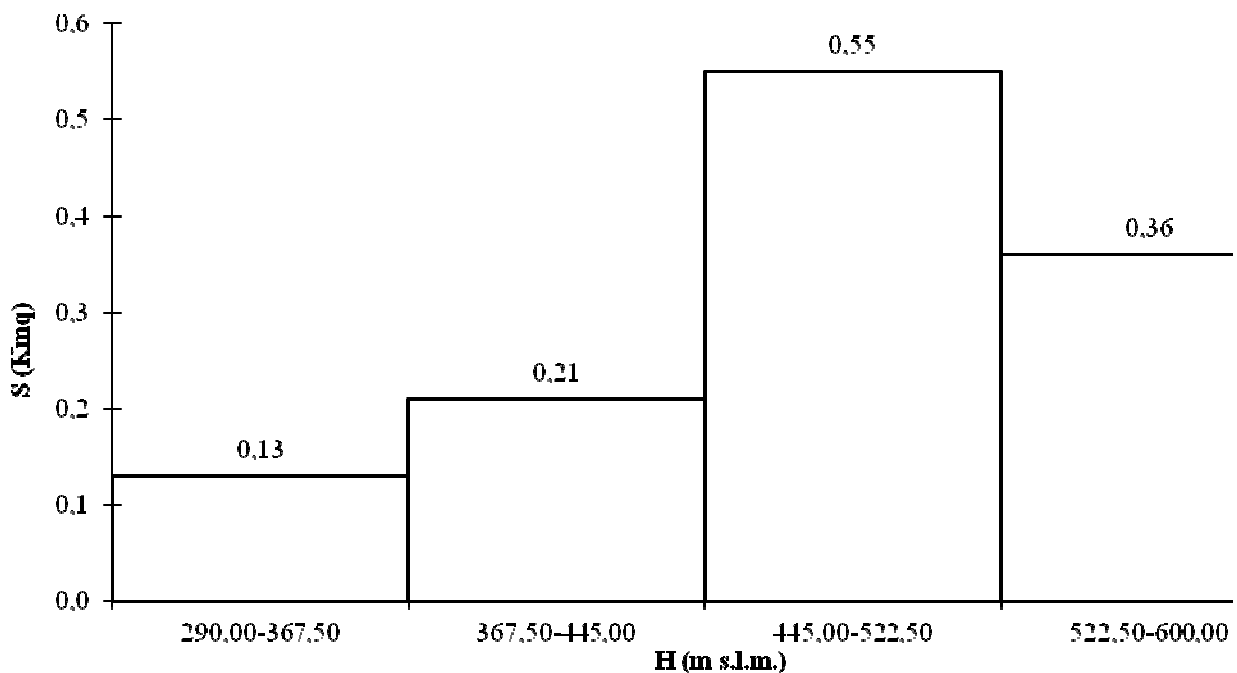
Si è scelto di dividere l'area in quattro fasce isocorrive.

Nell'ipotesi che le isocorrive coincidano con le isoipse si è calcolato innanzitutto l'intervallo altitudinale ΔH fra due fasce successive:

$$\Delta H = H_{\max} - H_{\min} / n = (600.00 - 290.00) / 4 = 77,50 \text{ m}$$

Quindi tramite la curva ipsografica, riportata in fig. 1, è stata calcolata l'area di ogni fascia in cui è stato suddiviso il bacino; i risultati riportati nella tab. 6 consentono di costruire l'istogramma $H + \Delta H - S_i$ (vedi fig. 3) dove in ascissa si hanno i valori di altitudine $H + \Delta H$ ed in ordinata i corrispondenti valori di superficie S_i .

Figura 5 Iistogramma altitudine - superficie



Noto il tempo di corrivazione $t_c = 0.73$ h (vedi parag. 3.3) dell'intero bacino è stato calcolato l'intervallo Δt tra due fasce isocorrive successive:

$$\Delta t = t_c / n = 0.18 \text{ h.}$$

e quindi il tempo di corrivazione di ogni fascia (vedi tab. 6).

Tabella 6 Tempi di corrvazione e superfici delle fasce isocorrive

	tc (ore)	Hi - Hi+DHi (m)	Si (Kmq)
1° fascia	t1=0,18	290,00-367,50	0,13
2° fascia	t2=0,36	367,50-445,00	0,21
3° fascia	t3=0,55	445,00-522,50	0,55
4° fascia	t4=0,73	522,50-600,00	0,36

Dall'equazione della curva di probabilità pluviometrica per $T_r = 100$ anni sono state calcolate le altezze di pioggia $h(t)$ relative ai tempi di corrvazione t_1, t_2, t_3, t_4 e gli incrementi di precipitazione h_i relativi ad ogni intervallo Δt fra due fasce isocorrive (vedi tab. 7).

Tabella 7 Incrementi di precipitazione in ogni intervallo ti

	ti (ore)	h(t) (mm)	hi (mm)
1° fascia	0,18	59,54	59,54
2° fascia	0,37	69,35	9,81
3° fascia	0,55	75,82	6,47
4° fascia	0,73	80,78	4,95

Note, pertanto, le altezze di pioggia cadute in ognuno degli intervalli di tempo Δt può costruirsi lo ietogramma di progetto (speculare dell'istogramma $H+\Delta H - S_i$) relativo alla precipitazione di durata complessiva t_c (vedi fig.4).

Tabella 8 Volumi defluiti attraverso la sezione nei successivi intervalli di tempo

ti (ore)	Volume Wi (mc)	Wi (10 ³ mc)
0,18	ch1S1	0,30
0,37	ch2S1+ch1S2	0,87
0,55	ch3S1+ch2S2+ch1S3	2,46
0,73	ch4S1+ch3S2+ch2S3+ch1S4	3,70
0,91	ch4S2+ch3S3+ch2S4	4,03
1,1	ch4S3+ch3S4	2,88
1,28	ch4S4	0,82

Quindi tramite lo schema della tab. 8 si calcolano i volumi W_i defluiti nei successivi intervalli di tempo alla sezione di interesse e successivamente si dividono per l'intervallo Δt , durante il quale essi transitano attraverso la sezione di interesse, e si moltiplicano per il coefficiente di Fornari ϕ .

Si ottengono, così, i valori di portata Q_i , riassunti nella tab. 9.

Tabella 9 Portate defluite attraverso la sezione nei successivi intervalli di tempo

ti (ore)	ϕ	Qi (mc/s)
0,18	0,99	0,45
0,37	0,99	1,30
0,55	0,99	3,71
0,73	0,99	5,58

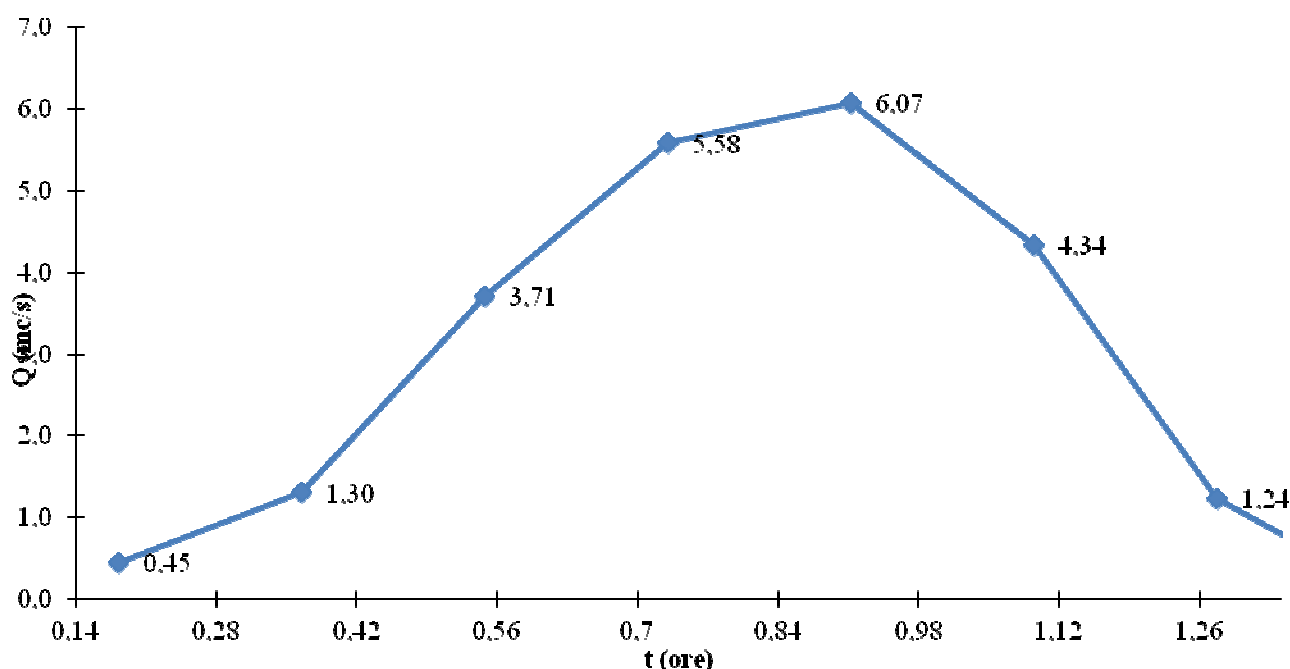
0,91	0,99	6,07
1,1	0,99	4,34
1,28	0,99	1,24

Infine, congiungendo i punti di coordinate (t_i, Q_i) si traccia l'idrogramma di piena causato dall'evento di pioggia considerato per un tempo di ritorno pari a 100 anni (vedi fig. 5).

La portata al colmo risulta pari a:

$$Q_{\max} = Q_5 = 6.07 \text{ mc/sec.}$$

Figura 6 Idrogramma di piena



Analizzando i risultati si nota come il bacino, contraddistinto da un andamento morfologico abbastanza uniforme, ha, un istogramma delle superfici formato da rettangoli di altezze gradualmente crescenti al crescere dell'altitudine e comunque mostra che la parte del bacino più ampia si approssima alla sua quota media. Inoltre l'evento piovoso, descritto dall'idrogramma di piena, non si esaurisce rapidamente, perché le superfici comprese tra due fasce isocorive, che concorrono alla formazione della piena, hanno tutte lo stesso ordine di grandezza e oltre a ciò la portata massima descritta dall'idrogramma unitario non si verifica in corrispondenza del tempo di corrivazione ma per un tempo successivo.

3.5 Confronto dei risultati

Nei paragrafi 3.4.1 e 3.4.2 sono stati adottati due metodi differenti per il calcolo della portata massima che forniscono risultati diversi fra loro. In particolare per il bacino A si ha:

- metodo di Turazza $Q = 12.90 \text{ mc/s}$
- metodo cinematico $Q = 5.70 \text{ mc/s}$

Confrontando i risultati ottenuti con i due metodi si nota che, a parità di tempo di corrivazione, altitudine media e coefficiente di deflusso, il metodo della corrivazione fornisce valori di portata meno gravosi; ciò è dovuto al fatto che esso tiene conto delle caratteristiche morfologiche dell'intero bacino e la pioggia è uniformemente distribuita su ogni fascia isocorriva, mentre il metodo di Turazza considera la pioggia uniformemente distribuita su tutto il bacino e non tiene conto dell'altimetria della zona.

Le differenze riscontrate possono essere giustificate dalle ipotesi insite nel metodo cinematico:

- il coefficiente di deflusso è costante per tutto l'intero bacino; esso, in realtà, dipende, tra l'altro, dal grado di saturazione del bacino, il quale varia all'aumentare della pioggia;
- il tempo di corrivazione è costante per ogni fascia isocorriva; in realtà esso dipende dalla velocità della corrente, che varia al variare del tirante;
- l'idrogramma di piena è relativo ad un evento di pioggia di fissato tempo di ritorno: in realtà quest'ultimo non coincide con quello dell'evento di piena, poiché l'evento piovoso dovrebbe manifestarsi con una distribuzione che corrisponda, sia nel tempo che nello spazio, a quella considerata per la costruzione dell'idrogramma stesso.

Pertanto per il dimensionamento delle opere di messa in sicurezza del canale si assumono i valori calcolati con il metodo della razionale; in quanto fornisce valori cautelativi, anche se le ipotesi di base farebbero propendere per utilizzare i valori del metodo cinematico.

4. CARATTERIZZAZIONE FLORISTICO-VEGETAZIONE

La vegetazione di tutta la Valle dell'Imera è stata fortemente influenzata dall'azione dell'uomo e, a causa di ciò, la copertura boschiva naturale è del tutto assente; al suo posto troviamo così una vegetazione degradata steppica o tutt'al più a gariga.

Le principali fitocenosi presenti in questo territorio sono: vegetazione degli ambienti rupestri, arbusteti a Spazzaforno e Timo arbustivo, Ampelodesmeti, Ligeti, praticelli a Piantaggine biancastra e vegetazione degli ambienti acquatici.

Dal punto di vista vegetazionale, il bacino oggetto di studio, è divisibile in tre aree, una a nord-est caratterizzata da formazioni forestali afferente alla tipologia forestale dei *Rimboschimenti*, categoria *Rimboschimenti mediterranei di conifere*, varietà *a pino d'aleppo*.

L'area precedentemente descritta è stata soggetta a incendio nell'anno 2007 (SIF Regione Sicilia).

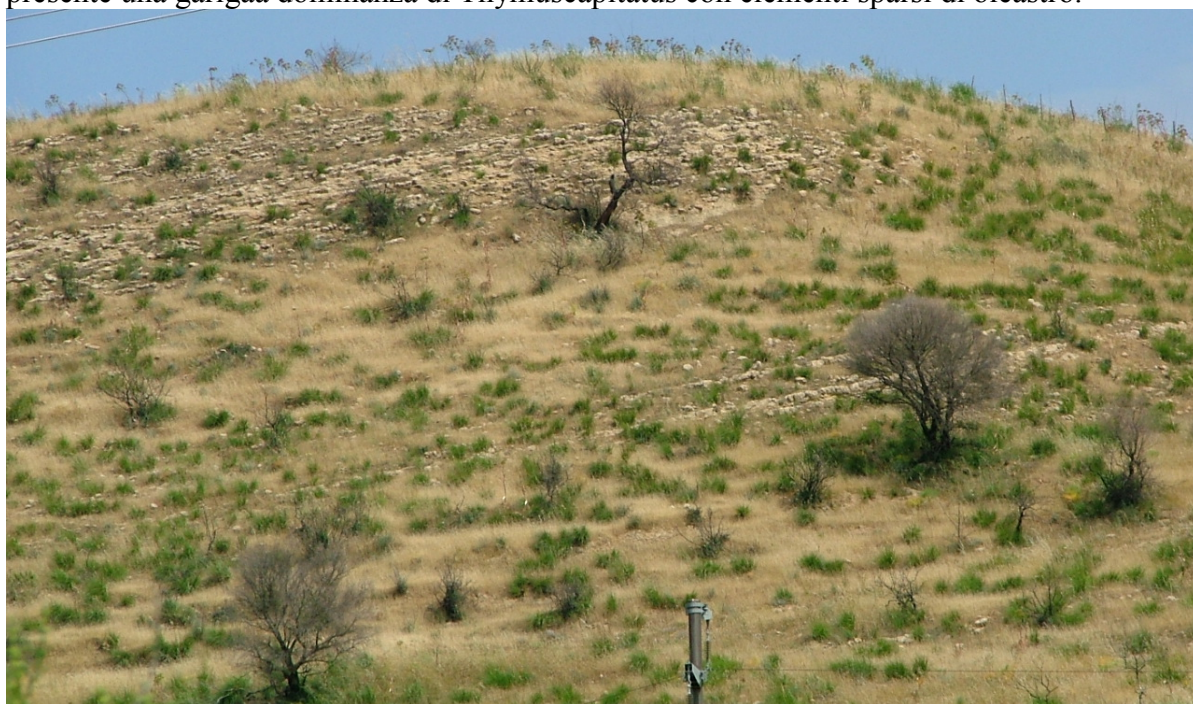




Le aree poste a Sud ed a sud-ovest sono per lo più caratterizzate da formazioni a *macchia-gariga ad oleastro ed euforbia arborescente*, degradazione della macchia e della gariga, costituite da praterie steppiche ad *Ampelodesmos mauritanicus* (Poiret) Durand & Schinz o ad *Hyparrhenia hirta* Stapf (Lygeo-Stipetea Rivas Martinez 1978), caratterizzata da un corteggio floristico cui prendono parte diverse altre specie erbacee perennanti dei Lygeo-Stipetea, quali *Avenula cincinnata*, *Helictotrichon convolutum*, *Asphodelus microcarpus*, *Asphodeline lutea*, *Foeniculum vulgare*, *Hyparrhenia hirta*, *Thapsia garganica*, *Reichardia picroides*, *Atractylis gummifera*, *Dactylis hispanica*, *Phagnalon saxatile*, *Bituminaria bituminosa*, *Scorzonera villosa* subsp. *columnae*, *Convolvulus cantabrica*, *Convolvulus althaeoides*.



Le aree poste a ovest e nord-ovest dove si rinvencono litosuoli ed affioramenti rocciosi è inoltre presente una garigaa dominanza di *Thymuscapitatus* con elementi sparsi di oleastro.



5. INDICAZIONI PROGETTUALI SULLE OPERE DI INGEGNERIA NATURALISTICA PER LA STABILIZZAZIONE DEI VERSANTI

La situazione attuale dei versanti in sinistra idrografica, è fortemente influenzata dall'acclività degli stessi e dai materiali residui di lavorazioni e scarti sversati su di essi. L'azione degli eventi meteorici ha generato in alcuni punti accentuati incanalamenti superficiali che in taluni casi sono evoluti in incisioni profonde, in altri ha provocato invece la formazione di una crosta impermeabile che ha reso quasi immodellabile il versante. In entrambi i casi non sono state innescate azioni di rivegetazione delle scarpate che invece hanno interessato la gran parte dei versanti in destra idraulica, che hanno generato una copertura erbacea e basso arbustiva pari a circa il 30-40%.

La riprofilatura di tali scarpate viene effettuata creando un'inclinazione media di 28°, con gradonamenti alternati con funzioni di drenaggio. Il materiale di risulta viene posizionato a riempimento delle depressioni nella valletta contigua, fino al raggiungimento di un profilo omogeneo, previa bonifica dei rifiuti e scarifica del suolo. Il materiale stoccato verrà rullato con rullo compattatore di peso statico 12-15 t, fino al raggiungimento di una densità minima di 1.40 g/cmc, e livellato secondo sezioni e profili di progetto; allo strato di terreno così composto verrà sovrapposto un pacchetto di impermeabilizzazione consistente in un geocomposito bentonitico (strato di argilla) e un telo HDPE.

La stabilizzazione di detti versanti viene completata attraverso la distribuzione di materiale organico apportato dall'esterno o proveniente dalla formazione delle piste di servizio e dalla riprofilatura del canale, dello spessore di circa 60 cm.

Su questo strato organico si effettua una idrosemina potenziata con paglia, tipo mulch, come descritto nel paragrafo seguente; inoltre si procede all'impianto di specie arbustive in vasetto (*Artemisia arborescens* L., *Calicotome villosa* Poir., *Euphorbia characias* L., *Sarcopoterium spinosus* L., *Thymus capitatus* L.).

Lungo i versanti a pendenza elevata, che raccordano le scarpate riprofilate e il canale sottostante, per garantire la stabilità del terreno vegetale riportato, alle opere precedentemente descritte, sarà necessario provvedere alla stesura di una geocella debitamente ancorata in sommità, dello spessore di 10 cm.

In particolare l'idrosemina potenziata verrà effettuata in un'area di circa 45.000 mq (aree A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, AS1, AS4, AS8, AS9, AS11, AS15) mentre la geocella con successiva idrosemina semplice sarà apposta su versanti per una superficie di circa 15.500 mq (Aree AS2, AS3, AS5, AS6, AS7, AS10, AS12, AS13, AS14).

Idrosemina

La maggiore difficoltà per la riuscita delle operazioni di consolidamento con ricostituzione di una copertura vegetale sulle scarpate in esame consiste nella determinazione di una corretta tecnica di inerbimento che possa garantire un adeguato innesco di un processo di sviluppo di fitocenosi in grado di evolvere nel tempo.

A causa delle difficili condizioni stazionali (terreno poco fertile e superficiale, xericità per esposizione, ventosità e deficit idrico estivo) le semine semplici non possono che andare incontro a

scarsi attecchimenti. Per ottenere migliori risultati senza grandi oneri, si è scelto di adottare tecniche di idrosemina e di idrosemina potenziata, con l'impiego di miscele formate da semente selezionata adatta alle condizioni stazionali, concimi bilanciati e additivi organici. Nelle idrosemine potenziate si inserisce nella miscela anche una certa quantità di materiale organico in grado di andare a costituire un substrato di crescita e di protezione (mulch). Il cospargimento di paglia o fieno triturati all'interno del miscuglio di idrosemina permette di creare un microclima nella zona terreno-coltre che esalta le potenzialità di crescita dei germogli e attenua gli sbalzi termo-udometrici. Quest'ultima tecnica verrà adottata in corrispondenza dei gradoni ottenuti dalla riplofilatura del versante, dove la presenza di materiale di coltura nel substrato sarà limitata agli apporti esterni, mentre nei versanti ad elevata pendenza sarà sufficiente una idrosemina senza apporto di ulteriore materiale organico, realizzata su geogriglia.

L'idrosemina a spessore verrà effettuata mediante spargimento per via idraulica, con idrosemnatrice a pressione, di una apposita miscela contenente:

- fibre vegetali (mulches) in quantità non inferiore a 200 g/m². Il mulch è composto da materiali selezionati in grado di costituire una coltre protettiva strutturandosi opportunamente con l'ausilio del collante. Le fibre debbono essere di lunghezza adatta: in genere almeno il 25% in peso del totale deve avere lunghezza non inferiore a 10 mm. Il dosaggio dipenderà dal tipo di mulch utilizzato (180÷300 g/mq);
- concime organico e/o inorganico in quantità tali evitare l'effetto —pompaggio iniziale e successivo deficit delle piante (100-200 g/mq);
- collante in quantità idonea al fissaggio dei semi e alla creazione di una pellicola antierosiva sulla superficie del terreno, per collanti di buona qualità sono sufficienti piccole quantità pari a circa 6-10 g/mq;
- acqua in quantità idonea alle diluizioni richieste;
- miscela di sementi costituita da graminacee (circa il 60 %) e leguminose (circa il 40 %) tra le specie sotto elencate:
 - *Festuca pratensis* Huds.
 - *Festuca rubra* L.
 - *Ampelodesmos mauritanicus* Poiret
 - *Poa pratensis* L.
 - *Dactylis glomerata* L.
 - *Lolium perenne* L.
 - *Avenula cincinnata* Ten.
 - *Helictotrichon convolutum* C. Presl.
 - *Phleum pratense* L.
 - *Brachypodium distachyum* L.
 - *Stipa capensis* Thumb.
 - *Stipa austroitalica* M.
 - *Hyparrhenia hirta* L.
 - *Trifolium angustifolium* L.
 - *Trifolium arvense* L.
 - *Trifolium pratense* L.
 - *Trifolium repens* L.
 - *Teucrium flavum* L.
 - *Asperula arvensis* L.
 - *Medicago lupulina* L.
 - *Medicago sativa* L.

Nel miscuglio possono essere inserite anche specie arbustive rustiche (in percentuale ridotta ~ 10 %), quali *Asparagusacutifolius*, *Artemisia variabilis*, *Calicotome spinosa*, *Cistussalvifolius*, *Euporbiadendroides*, *Salsola verticillata*, *Thimuscapitatus*).

In relazione alle caratteristiche geolitologiche, pedologiche, microclimatiche, floristiche e vegetazionali si prevede di utilizzare circa 40 g/mq di miscela e quantità di semi.

L'idrosemina sui versanti dovrà essere idrosemina semplice con miscuglio di sementi uguale a quello utilizzato per l'intervento precedentemente descritto gettato su substrato di terra agraria con un buon tenore organico (> di qualche punto percentuale) o compost, con quantità di seme vicini a 20gr/mq. Dovrà inoltre adoperarsi concime e collante organico.

Il periodo di intervento deve collocarsi tra Maggio e Ottobre (periodo del riposo vegetativo) evitando il più possibile i mesi con eccessiva siccità

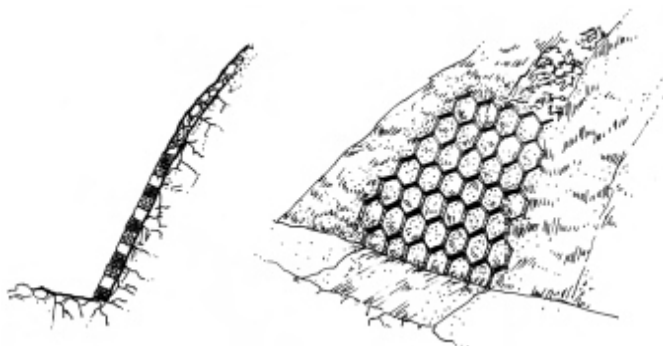
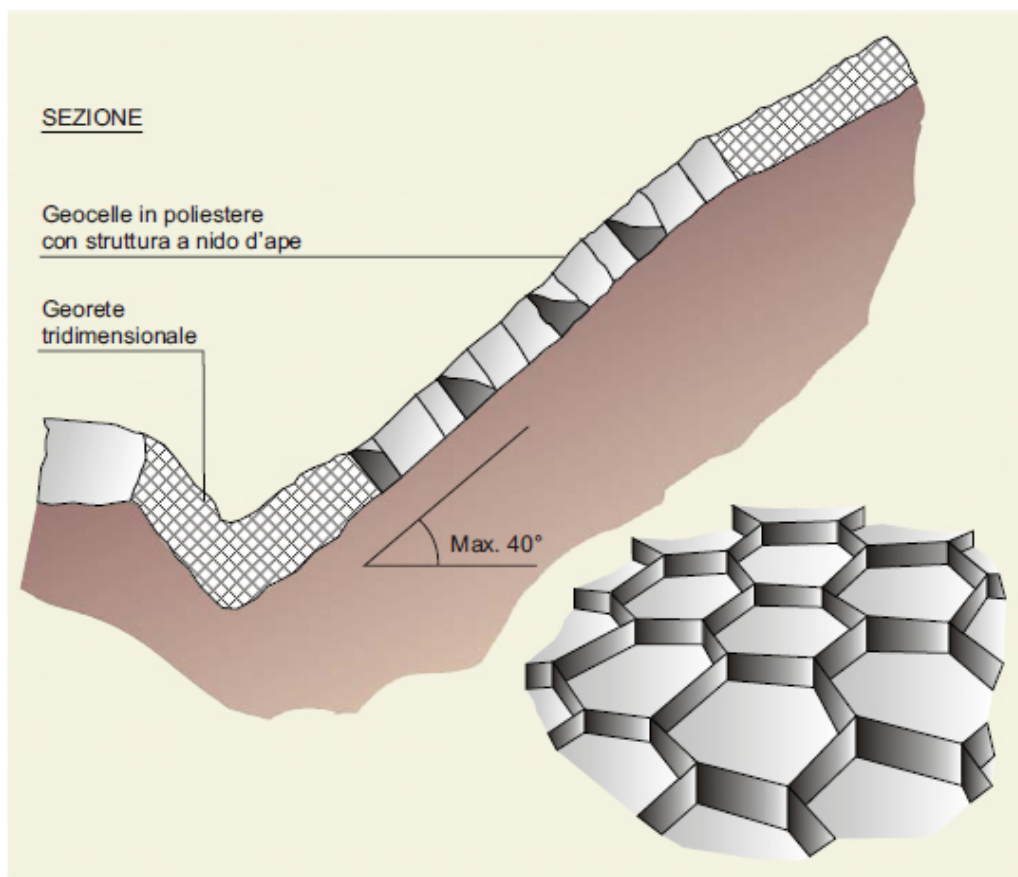
Geocelle a nido d'ape in materiale sintetico

Le geocelle sono dei geosintetici a struttura alveolare flessibili, resistenti e leggeri; vengono utilizzate come sistemi di stabilizzazione corticale per impedire lo scivolamento e l'erosione di strati di terreno di riporto su forti pendenze.

La struttura a "nido d'ape" o "alveolare" viene ottenuta per assemblaggio e saldatura di strisce di materiali sintetici con spessori maggiore o uguale a 1,2 mm ed altezza compresa tra 70 e 100 mm. Sono strutture facilmente trasportabili, caratterizzate da un ingombro molto contenuto, rapidità di applicazione ed adatte a diverse situazioni ambientali.

I pannelli andranno fissati in trincea in sommità con picchetti di ferro acciaioso sagomati ad —U— o —L— di diametro non inferiore a 14 mm e in quantità variabile da 1 a 5 per m² e di dimensioni tali da garantire la stabilità e l'aderenza della geostuoia sino ad accrescimento avvenuto delle piante.

Dopo la posa delle geocelle ed il fissaggio con picchetti si effettua il riempimento con terreno vegetale e successivamente un'idrosemina con le modalità di cui ai punti precedenti. La struttura composita geocelle-terreno, con una sufficiente permeabilità, facilita l'assorbimento dell'acqua durante le precipitazioni, diminuisce il deflusso superficiale e conseguentemente l'erosione meteorica.



6. INDICAZIONI SUI COSTI DI REALIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE DEI VERSANTI

Per la stima dei costi si è fatto riferimento alla pubblicazione “Ingegneria naturalistica per il paesaggio ibleo – Abaco delle tecniche e prezziario opere di ingegneria naturalistica per il Piano paesaggistico ibleo” redatta dalla Soprintendenza ai Beni Culturali e Ambientali di Ragusa in collaborazione con l’Assessorato dei beni culturali e ambientali e della pubblica istruzione - Dipartimento dei beni culturali e ambientali, della educazione permanente e dell’architettura e dell’arte contemporanea.

I prezzi di applicazione sono stati determinati con riferimento ad opere di soci dell’AIPIN Sicilia verificate da analisi prezzi riferite ad un’attività di ricerca e confronto risalente a diversi anni e derivante dai monitoraggi sulle opere già realizzate.

In particolare si precisa che:

- le quantità sono riportate nelle analisi con i valori medio-alti più frequentemente adottati;
- l’analisi è relativa preferibilmente a lavori eseguiti in appalto con mano d’opera dell’edilizia (non operai forestali);
- i noli dei mezzi d’opera si intendono a caldo;
- le quantità includono normali lavori preparatori di ripulitura e riassetto delle scarpate e non veri e propri interventi di rimodellamento di versanti e scarpate che andranno computati a parte;
- i prezzi sono comprensivi delle spese generali e dell’utile d’impresa nella misura complessiva del 25%, arrotondata per difetto, nonché gli oneri —medil per la sicurezza computati in percentuali medie del 6%, ma oscillanti tra l’1% ed il 12%;
- i prezzi non comprendono l’IVA ma comprendono tutti gli oneri indicati nelle voci per dare il lavoro compiuto e si riferiscono a lavori eseguiti con l’impiego di materiali di ottima qualità che s’intendono corredati di marchi, delle attestazioni di conformità e delle certificazioni di qualità richieste, necessari; quali, ad esempio di attestazione di origine del seme;
- i costi elementari sono stati desunti dalle tabelle di costo regionali ufficiali, mentre per le voci di costo non rinvenute si è fatto riferimento ai costi di mercato.

Idrosemina a spessore

Rivestimento di superfici estese più o meno acclivi mediante la tecnica dell’idrosemmina a spessore, su terreni molto poveri di sostanza organica a granulometria variabile, mediante spargimento per via idraulica di una apposita miscela formata da acqua, miscuglio di sementi di specie erbacee selezionate ed idonee al sito (40-70 g/mq.), concimi organo-minerali (150 g/mq.), collanti (20 g/mq.), sostanza organica (fino a 400 g/mq. se a doppio passaggio) e una coltre protettiva (fino a 500 g/mq. se a doppio passaggio) composta per il 70% da fibre lunghe di legno e per il 30% da una miscela di fibre vegetali sminuzzate (paglia, cotone, etc.). per mezzo d’idroseminatrice a alta pressione atta a garantire l’irrorazione a distanza e con diametro degli ugelli e tipo di pompa tale da non lesionare i semi e consentire lo spargimento omogeneo dei materiali dotata di agitatore

meccanico per una miscelazione ottimale. Compresa la ripulitura della superficie da trattare mediante allontanamento di sassi e radici. Compreso ogni altro onere per dare l'opera finita a perfetta regola d'arte.

Geocelle a nido d'ape in materiale sintetico

Rivestimento e protezione di versanti in terra mediante la posa di struttura sintetica tridimensionale a forma di celle esagonali, che nel complesso rappresentano una struttura a —nido d'ape, di spessore non inferiore a 10 cm. Il fissaggio deve essere accurato: in trincea in testa con picchetti di ferro acciaioso ad —U ed altri ancoraggi posizionati in ragione di uno ogni 2 celle lungo la scarpata. Le celle devono riempirsi completamente con terreno vegetale e successivamente viene eseguita una semina (40 gr.(mq.) ed eventualmente messa a dimora arbusti autoctoni e talee. La stesura per fasce parallele dovrà essere garantita la continuità mediante sormonti laterali di almeno 10 cm. Compreso nel prezzo ogni altro onere per dare l'opera finita a perfetta regola d'arte.