

Alta Capital 16 S.r.l.  
 Corso Galileo Ferraris, 22  
 10121 Torino (TO)  
 P.Iva 12662190011  
 PEC altacapital16.pec@maildoc.it

**Progettista**



Industrial Designers and Architects S.r.l.  
 via Cadore, 45  
 20038 Seregno (MB)  
 p.iva 07242770969  
 PEC ideaplan@pec.it mail info@ideaplan.biz



*Progetto per la realizzazione dell'Impianto agrivoltaico integrato ecocompatibile "Lettiga" da 46,2 MWp a Termini Imerese (PA)-90018*

**Studio di Impatto Ambientale**

*Relazione tecnica idraulica sulle sistemazioni da eseguire*

**Revisione**

n.	data	aggiornamenti
----	------	---------------

1		
2		
3		

**Elaborato**

**nome file**

documento in canna 2\studio impatto ambientale-relazione tecnica idraulica sulle sistemazioni da eseguire\_canna 2 rev.00.docx

**RS 06 REL**

**0012 A0**

	data	nome	firma
<b>redatto</b>	08.06.2022	Ferraro	
<b>verificato</b>	08.06.2022	Falzone	
<b>approvato</b>	10.06.2022	Speciale	

**DATA 10.06.2022**

*SOMMARIO*

<b>1 - PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>2 - LOCALIZZAZIONE DEL PROGETTO .....</b>	<b>2</b>
<b>3 - STRUMENTO URBANISTICO VIGENTE E RELATIVE NORME DI ATTUAZIONE .</b>	<b>4</b>
<b>4 - CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE.....</b>	<b>7</b>
<b>5 - IDROLOGIA E VERIFICA IDRAULICA .....</b>	<b>8</b>
<b>6 - INTERVENTI DI PROTEZIONE SPONDALE BASATE SU TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA. ....</b>	<b>12</b>
<b>7 - GENERALITÀ SULLE OPERE DI PROGETTO .....</b>	<b>14</b>
<b>8 - EFFETTI INDOTTI DAL PROGETTO COMPLESSIVO.....</b>	<b>25</b>
<b>9 - CONCLUSIONI.....</b>	<b>31</b>

## 1 - PREMESSA

Il presente studio idrologico è relativo al progetto di realizzazione dell'impianto Agrivoltaico Integrato Ecocompatibile a terra della potenza di 46.2 MWp connesso alla RNT, da realizzarsi su più lotti di terreno limitrofi e contigui, nel Comune di Termini Imerese (PA).

L'impianto, denominato "Impianto Agrivoltaico Integrato ecocompatibile LETTIGA", classificato come "Impianto non integrato", è di tipo grid-connected e la modalità di connessione è in "Trifase in ALTA TENSIONE 150kV".

La società committente ha disposto allo scrivente progettista di valutare le opere di mitigazione e gli interventi di protezione delle sponde sia dei corsi d'acqua che degli specchi d'acqua basate su tecniche di ingegneria naturalistica.

A tale scopo è stata condotta un'indagine preliminare, avente lo scopo di definire le caratteristiche idrogeologiche e idrologiche generali ed è stata condotta attraverso le seguenti fasi di studio:

1. rilevamento di campagna, al fine di ricostruire le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche generali;
2. raccolta ed interpretazione di notizie bibliografiche e dati oggettivi pluviometrici;
3. analisi e sintesi dei dati ricavati;
4. studio delle tecniche di difesa spondale;
5. analisi delle essenze arboree e arbustive per la riforestazione;
6. opere di drenaggio, captazione e allontanamento delle acque meteoriche.

## 2. – LOCALIZZAZIONE DEL PROGETTO

I terreni, sui quali sarà costruito l'impianto agrivoltaico in progetto, ricadono nel territorio comunale di Termini Imerese (PA) a circa 12 km a Sud-Est dell'omonimo centro abitato, in una zona occupata da terreni agricoli e contigua al comune di Cerda, comune della città metropolitana di Palermo. I terreni destinati al campo agrivoltaico risultano comunque distanti da altri agglomerati residenziali o case sparse.

Il terreno è localizzato a circa 10,89 km a ovest di Collesano, a 1,17 km a nord di Cerda e a 12,27 km a est di Caccamo. Inoltre il sito risulta accessibile dalla viabilità locale, costituita da strade statali, provinciali, comunali e vicinali. Nello specifico l'area destinata al futuro campo agrivoltaico è adiacente alla Strada Statale n° 120.

Nella Cartografia del Catasto Terreni l'area di impianto è compresa nel Foglio 67 del Comune di Termini Imerese (PA). Le particelle interessate sono distinte nella tabella sotto riportata, insieme all'estensione dei terreni indicata in m<sup>2</sup>:

Comune	PARTICELLE				SUPERFICI					REDDITO		Superficie Totale Catastale in m <sup>2</sup>
	Foglio	Part.	Sub.	Porzione	Ha	are	ca	Qualità	Classe	Dominicale	Agrario	
Termini Imerese (PA)	67	10	--	AA	00	67	89	SEMINATIVO	4	€ 21,04	€ 7,01	6.789
				AB	00	00	01	PASCOLO	1	€ 0,01	€ 0,01	1
	67	11	--	--	00	77	03	SEMINATIVO	3	€ 35,80	€ 11,93	7.703
	67	12	--	AA	00	16	00	SEMINATIVO	1	€ 10,74	€ 3,31	1.600
				AB	00	02	19	SOMMACCHETO	2	€ 0,23	€ 0,02	219
	67	13	--	--	00	92	80	SEMINATIVO	2	€ 52,72	€ 16,77	9.280
	67	56	--	--	00	64	80	SEMINATIVO	2	€ 36,81	€ 11,71	6.480
	67	206	--	--	04	62	43	SEMINATIVO	2	€ 262,71	€ 83,59	46.243
	67	207	--	--	04	73	71	SEMINATIVO	1	€ 318,05	€ 97,86	47.371
	67	208	--	--	16	53	00	SEMINATIVO	2	€ 939,07	€ 298,80	165.300
	67	308	--	--	02	90	20	SEMINATIVO	1	€ 194,84	€ 59,95	29.020
	67	316	--	--	06	70	11	SEMINATIVO	2	€ 380,69	€ 121,13	67.011
	67	319	--	--	03	68	73	SEMINATIVO	3	€ 171,39	€ 57,13	36.873
	67	894	--	--	15	62	46	SEMINATIVO	1	€ 1.049,03	€ 322,78	156.246
	67	895	--	--	01	44	20	SEMINATIVO	1	€ 96,82	€ 29,79	14.420
67	1069	--	--	02	92	83	SEMINATIVO	1	€ 196,60	€ 60,49	29.283	
<b>Superficie Totale Catastale in m<sup>2</sup></b>											<b>623.839</b>	

I terreni interessati dal progetto sono iscritti in un rettangolo che, nel sistema di coordinate UTM (Universale Trasversa di Mercatore), è indicato con precisione dai vertici superiore sinistro ed inferiore destro, mentre nel sistema di coordinate geografiche è individuato da uno span di latitudine e di longitudine:

Latitudine: 37.921082°

Longitudine: 13.790034°

Tali terreni non sono oggetto di vincolo naturalistico in quanto non ricadenti né in zona SIC/ZSC né in zona ZPS, secondo quanto si evince dal Piano di Gestione Siti di Importanza comunitaria, Rete Natura 2000, Regione Sicilia.

Di seguito si enumerano in una tabella le zone SIC/ZSC più vicine ma situate al di fuori dell'impianto agrivoltaico, riportando il codice del sito, la tipologia, il nome del sito, la distanza e l'orientamento rispetto al campo in progetto:

CODICE DEL SITO	TIPOLOGIA DI SITO	NOME DEL SITO	DISTANZA DAL CAMPO AGRIVOLTAICO	ORIENTAMENTO RISPETTO AL CAMPO AGRIVOLTAICO
ITA020033	ZSC	Monte San Calogero (Termini Imerese)	2,7 km	Ovest
ITA020032	ZSC	Boschi di Granza	4,7 km	Sud
ITA020050	ZSC	Parco delle Madonie	10,2 km	Est

Per effettuare una localizzazione univoca dei terreni sui quali insiste il campo agrivoltaico, di seguito si riportano le cartografie riguardanti:

- localizzazione del campo agrivoltaico su ortofoto (figura 1);
- localizzazione del campo agrivoltaico su CTR (figura 2).
- Localizzazione del campo agrivoltaico su IGM (figura 3)



Figura 1 - Inquadramento dell'impianto su ortofoto

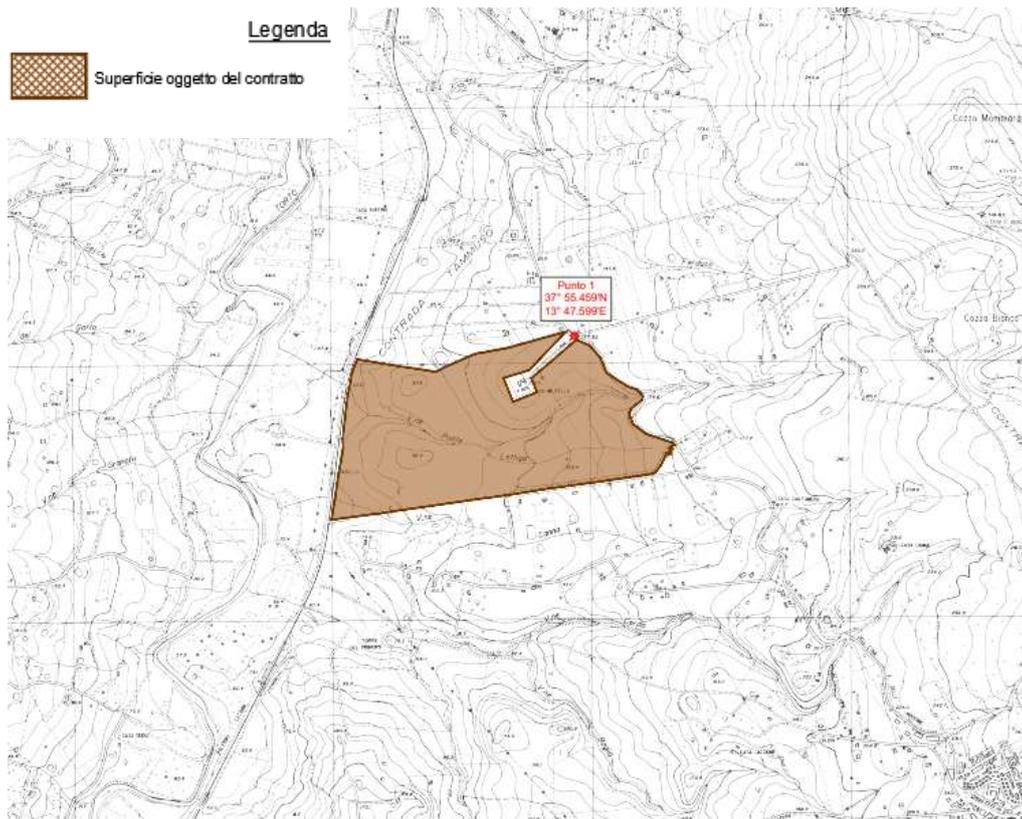


Figura 2 - Inquadramento dell'impianto su CTR

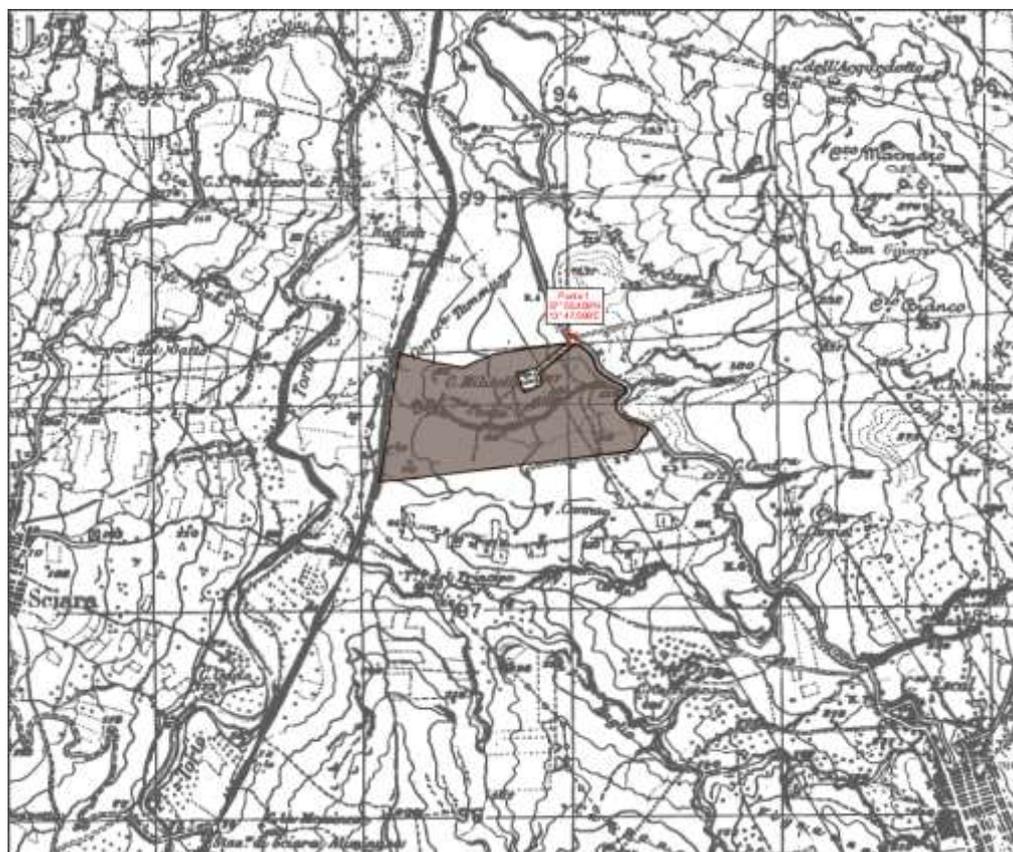


Figura 3 - Inquadramento dell'impianto su IGM

### **3 - STRUMENTO URBANISTICO VIGENTE E RELATIVE NORME DI ATTUAZIONE**

Il Piano Regolatore Generale (PRG), istituito dalla lontana legge urbanistica nazionale (1150/1942), ha visto una notevole evoluzione dal punto di vista delle componenti naturali del territorio, cosa che ha portato a focalizzare un'attenzione nuova per le aree extra urbane.

Dalla consultazione del Certificato di Destinazione Urbanistica, rilasciato dal Comune di Termini Imerese (PA), si evince che i terreni su cui insiste il progetto hanno una destinazione d'uso agricola "E1", come rilevato dal Piano Regionale Generale (PRG '96 revisione decennale del Piano Regolatore Generale) del Comune di Termini Imerese (PA) modificato con **D.A. n. 76/DRU del 23/02/2001**, tavola 4.1.b progetto in ambito territoriale in scala 1:10000.

Dalla consultazione della Cartografia del Piano Regolatore Generale fornita dal comune di Termini Imerese si evince che il terreno adibito al campo agrivoltaico:

- **rientra in zona a destinazione agricola, classificata come zona "E3 – verde agricolo irriguo";**
- **non** ricade in zona a prevalente destinazione agricola classificata come zona "E2 - verde agricolo di tutela idrogeologica";
- **non** ricade in zona a prevalente destinazione agricola classificata come zona "E1 - verde agricolo";
- **non** ricade in zona a prevalente destinazione agricola classificata come zona "E4 - area boscata";
- **non** ricade in zona a prevalente destinazione agricola classificata come zona "E6 - verde agricolo in ambito archeologico";
- **non** ricade in zona residenziale esterna al centro urbano classificata come zona "A – Villaurea";
- **non** ricade in zona residenziale esterna al centro urbano classificato come zona "B4 - espansione dell'abitato di Trabia";
- **non** ricade in zona residenziale esterna al centro urbano classificato come zone "B5 - espansione dell'abitato di Cerda";
- **non** ricade in zona residenziale esterna al centro urbano classificato come zona "C5 - già soggetta a P. di L. a bassa densità";
- **non** ricade in zona residenziale esterna al centro urbano classificato come zona "C6 – residenziale estiva";
- **non** ricade in zona a prevalente destinazione produttiva secondaria e terziaria classificata come zona "D1- area di sviluppo industriale soggetta a piani di settore";
- **non** ricade in zona a prevalente destinazione produttiva secondaria e terziaria classificata come zona "D2 - attività artigianali, commerciali, direzionali";
- **non** ricade in zona a prevalente destinazione produttiva secondaria e terziaria classificata come zona "D3 - attività artigianali già soggetta a P.I.P";

- **non** ricade in zona a prevalente destinazione produttiva secondaria e terziaria classificata come zona "D4 - per la fruizione del mare";
- **non** ricade in zona a prevalente destinazione produttiva secondaria e terziaria classificata come zona "D5 - attrezzature ricettive alberghiere";
- **non** ricade in zona a prevalente destinazione produttiva secondaria e terziaria classificata come zona "D6 - asse agriturismo e per le attrezzature complementari";
- **non** ricade in zona a prevalente destinazione produttiva secondaria e terziaria classificata come zona "D8 - area di impianto attività estrattiva";
- **non** sono presenti attrezzature di interesse generale, né esistenti, né in progetto, quali servizi elettrici, discariche, canili municipali, serbatoi, attrezzature culturali, attrezzature socio assistenziali, attrezzature sportive;
- **non** sono presenti aree di riassetto territoriale quali verde di rispetto dell'area industriale;
- **non** sono presenti aree di riassetto territoriale quali fasce di rispetto dalla battigia, dai boschi, dai parchi e dalle strade;
- **non** sono presenti aree di riassetto territoriale quali Zone Archeologiche;
- **non** sono presenti aree di riassetto territoriale quali Riserve Naturali;
- **non** sono presenti aree di riassetto territoriale quali l'area di rispetto della sorgente Brocato;
- **non** sono presenti aree di riassetto territoriale classificato come zona "D7 – ambito portuale"

In Figura 4 si riporta la Sovrapposizione dell'impianto agrivoltaico in esame sulla Tavola 4.1.b-Progetto, in ambito territoriale, del Comune di Termini Imerese.

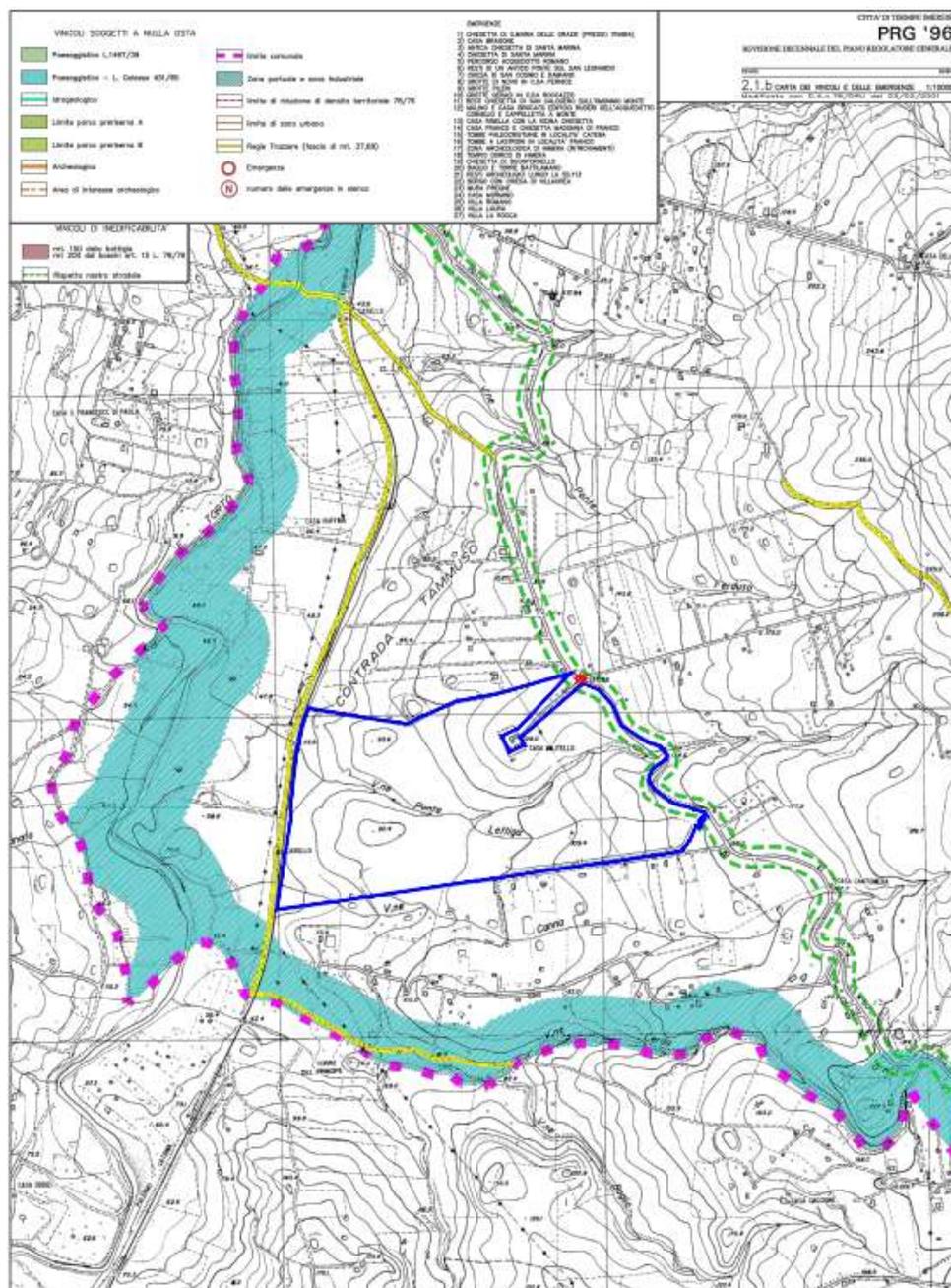


Figura 4 –Sovrapposizione del campo agrivoltaico su Piano Regolatore Generale del comune di Termini Imerese

In genere le aree sottoposte a vincolo di rispetto si dividono nelle seguenti categorie:

- vincolo paesaggistico
- vincolo cimiteriale
- vincolo di rispetto stradale
- vincolo di rispetto di elettrodotti ed acquedotti
- vincolo idrogeologico e da Piano di Assetto Idrogeologico
- vincolo di rispetto per impianti di depurazione.

Si evidenzia inoltre che:

- ai sensi dell'art. 12, comma 1, del D. Lgs. 387/03, sono considerati di pubblica utilità, indifferibili ed urgenti le opere, comprese quelle connesse e le infrastrutture indispensabili alla costruzione ed esercizio, per la realizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili
- ai sensi dell'art. 12, comma 7, del D. Lgs. 387/03, gli impianti fotovoltaici possono essere ubicati anche in zone classificate come agricole dai vigenti strumenti urbanistici.

Dalla presa visione del Servizio di Consultazione (WMS) del PAI Regione Siciliana - Siti di Attenzione Geomorfologica, risulta che il territorio dell'impianto in progetto non è interessato da siti di attenzione né nell'area del campo agrivoltaico né nelle sue immediate vicinanze.

Si precisi che per "Sito di attenzione" si intende qualsiasi sito che necessiti di studi e approfondimenti relativi alle condizioni geomorfologiche e/o idrauliche per la determinazione del relativo livello di pericolosità. Nello specifico, dal Piano stralcio di distretto per l'Assetto Idrogeologico (PAI) si evince che l'area interessata rientra nel Bacino Idrografico Bacino Idrografico del Fiume Torto (031) - area tra i bacini del F. S. Leonardo e F. Torto (032) e area tra i bacini del F. Torto e F. Imera Settentrionale (031A). All'interno delle aree impegnate non sono presenti aree a pericolosità o rischio geomorfologico e idraulico.

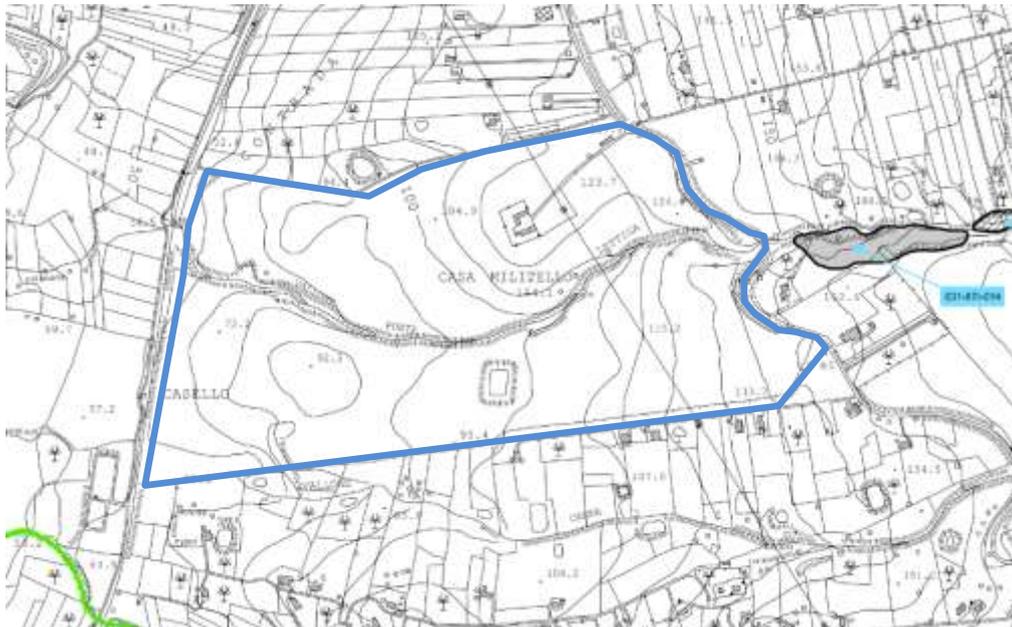


Figura 5 - Estratto carta della pericolosità e Rischio Geomorfologico P.A.I.

#### **4-CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE**

Dal punto di vista geomorfologico, osservando l'areale impegnato ed il contorno significativo, quello che appare è la tipica morfologia di tipo selettivo, caratterizzata nel complesso dalla presenza di più paesaggi, quali:

- rilievi collinari argillosi, tagliati da valli a V o a fondo piatto per sovralluvionamento, con versanti vallivi degradati da soliflusso, movimenti in massa e processi di dilavamento e ampie spianate situate alla sommità dei rilievi o lungo i versanti, queste ultime riconducibili a processi di spianamento (che hanno comportato l'esistenza di glacis di erosione in rocce tenere) o a fenomeni di deposizione/erosione laterale dei corsi d'acqua (che hanno prodotto superfici terrazzate fluviali);
- sporadici rilievi strutturali, situati in coincidenza degli affioramenti di rocce "dure" o in corrispondenza delle aree dove vengono a contatto rocce "dure" e rocce "tenere", contraddistinte dalla presenza dei livelli calcarei e/o arenacei.

Ciò che emerge, dal punto di vista geomorfologico è un modellamento dei versanti legato ad una dinamica controllata, principalmente, dalle acque di ruscellamento. I processi erosivi sui terreni prevalentemente argillosi, per via della scarsa permeabilità genera i principali effetti morfogenetici, dando luogo a valli V incise per erosione di fondo e fenomeni di erosione accelerata. Lungo i versanti, a luoghi, si osservano forme di dissesto nel contorno significativo delle linee di deflusso delle acque superficiali di ruscellamento. Tali fenomeni, coinvolgono lo strato più alterato, di sovente limitato al solo livello areato di suolo e/o alla coltre eluvio-colluviale, causata dalla saturazione dei terreni e rammollimento degli stessi e spinta da fenomeni di scalzamento al piede delle incisioni vallive.

Il drenaggio superficiale è nel complesso buono, favorito dalla presenza di una rete impluviale di tipo sub-dendritico, con deflusso predominante delle acque in direzione Ovest, lungo impluvi ben marcati. Dette aste impluviali presentano regime torrentizio; secchi per quasi tutto l'anno ed in occasione di precipitazioni possono originare limitate forme di erosione.

Dal punto di vista idrogeologico la zona di interesse è caratterizzata da affioramenti a prevalente componente pelitico-argillosa

Dal punto di vista idrogeologico la zona è caratterizzata da affioramenti a prevalente componente pelitico-argillosa.

##### **➤ Terreni a componente pelitico-argillosa**

Si tratta delle Argille e marne varicolori. Risultano, nel complesso, impermeabili. Una modesta permeabilità, si determina nei livelli più sabbiosi. Su tale litotipo risulta non essere presente falda idrica, e una modesta circolazione idrica si può istaurare tra il livello alterato ed il substrato integro.

Secondo la classificazione di *Casagrande, Faden*, funzione del Coefficiente di permeabilità e del tipo di filtrazione possono essere ascritti a:

- ❖ Terreni a permeabilità primaria da *scarsa a nulla*
  - Argille a componente pelitico argillosa con  $10^{-7} < k > 10^{-9}$  cm/s

Per i litotipi interessati dalle opere vengono di seguito riportati in tabella i principali parametri geotecnici, indicativi per una stima di massima.

La caratterizzazione geotecnica, nella seguente fase, è stata desunta da bibliografia altresì incrociata con dati provenienti da indagini indirette eseguite in sito. In fase esecutiva, dovrà essere predisposto un piano di indagine geognostica per la determinazione dei parametri geotecnici.

Nei terreni a prevalente **componente pelitico-argillosa**, si sono riconosciuti principalmente tre orizzonti sismici, correlabili con: coltre eluvio-coluviale (suolo areato e coltre); livello argilloso alterato; argille integre di substrato.

ARGILLE H1					
descrizione	Profondità dal piano campagna (m)	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Coesione non drenata Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo d'attrito (°)
Eluvio-Colluvio	0,00 – 3,00	1,65	1,80	0,10	14°
Argille alterate	3,00 – 6,00	1,85	2,00	0,50	18°
Argille di substrato	da 6,00	1,95	2,15	1,00	22°
CATEGORIA SISMICA DI SOTTOSUOLO C					

## 5 – IDROLOGIA E VERIFICA IDRAULICA

Per le verifiche di invarianza idraulica, in questo capitolo si forniscono i parametri utili al corretto dimensionamento delle opere. Questi sono rappresentati dai parametri *a* ed *n* della curva probabilistica per diversi tempi di ritorno e dal coefficiente di deflusso *Cd*, ante operam.

Le verifiche sono state effettuate, nella prima fase, dall'acquisizione dei dati, fonte "Regione Siciliana", Dipartimento Regionale della Protezione Civile, per l'intervallo temporale 1924 al 2002, relativi alla Stazione Pluviometrica Bivio Cerda. Mediante metodo di Gumbel, si sono ottenute le altezze critiche di pioggia e la curva probabilistica per diversi tempi di ritorno (30, 50, 200 anni).

STAZIONE PLUVIOMETRICA BIVIO CERDA					
Tr 30		Tr 50		Tr 200	
<i>a</i>	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>n</i>
52,4	0,15	57,0	0,14	69,3	0,12

Ai fini del calcolo dell'invarianza, si fornisce, in questa sede il coefficiente di deflusso. Questo è stato ottenuto mediante il metodo del Kennessey, che tiene conto delle pendenze, delle caratteristiche di permeabilità dei terreni, della vegetazione e dalle condizioni climatiche dell'area. Di seguito si riporta la tabella con i coefficienti adottati ed il coefficiente di deflusso delle condizioni iniziali del sito.

ANTE OPERAM TERRENO NATURALE					
COEFFICIENTE	VALORE	COEFF. TABELLA	INCIDENZA	COEFF. CALCOL.	COEFF. ADOTTATO
<b>Ca - acclività</b>	> 35 %	0,22	0,00%	0,000	<b>0,032</b>
	10 - 35 %	0,12	20,00%	0,024	
	3,5 - 10 %	0,01	80,00%	0,008	
	< 3,5 %	0,00	0,00%	0,000	
COEFFICIENTE	VALORE	COEFF. TABELLA	INCIDENZA	COEFF. CALCOL.	COEFF. ADOTTATO
<b>Cp - permeabilità</b>	molto bassa	0,21	80,00%	0,168	<b>0,192</b>
	mediocre	0,12	20,00%	0,024	
	buona	0,06	0,00%	0,000	
	elevata	0,03	0,00%	0,000	
COEFFICIENTE	VALORE	COEFF. TABELLA	INCIDENZA	COEFF. CALCOL.	COEFF. ADOTTATO
<b>Cv - vegetazione</b>	roccia	0,26	0,00%	0,000	<b>0,120</b>
	pascolo	0,17	50,00%	0,085	
	coltivo	0,07	50,00%	0,035	
	bosco	0,03	0,00%	0,000	
<b>COEFFICIENTE DI DEFLUSSO</b>				<b>Cd</b>	<b>0,344</b>

In considerazione del fatto che all'interno dell'area è presente un'incisione valliva, si è proceduto effettuando le verifiche atte a determinare le **Q max (portate le piena/colmo)**, attese per diversi tempi di ritorno nella sezione di chiusura del bacino idrografico, nella porzione di più a valle del sito, laddove è attesa la massima portata di deflusso, nonché nei sottobacini su sezioni intermedie.



Figura 6 - Delimitazione bacino idrografico

Il bacino idrografico presenta una ramificazione dal primo al terzo ordine. La superficie individuata risulta essere pari a 2,2 Km<sup>2</sup>.

La stima del *tempo di corrivazione* mette in relazione il tempo di corrivazione con la lunghezza dell'asta principale, scelta valutando il percorso idraulicamente più lungo che compie la particella d'acqua, sia in termini di lunghezza che di dislivello fino alla sezione di chiusura del bacino considerato, mediante la formula di Giandotti:

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{(H_m - H_o)}}$$

dove:

*S*, superficie Bacino

*L*, lunghezza percorso idraulico principale

*H<sub>m</sub>*, altezza media bacino;

*H<sub>o</sub>*, quota della sezione di chiusura m. s.l.m.

Al fine di fornire i parametri utili per il dimensionamento delle opere di attraversamento lungo le aste impluviali, ed altresì per le opere di smaltimento delle acque lungo le stesse, sono state determinate le *Q<sub>max</sub>* (portate le piena/colmo) attese per diversi tempi di ritorno.

Per il calcolo della portata massima di piena per assegnati tempi di ritorno si è adottato il Metodo Razionale:

$$Q_c = 0.278 \frac{c h_{(t)} S}{T_c}$$

In cui:

**Q<sub>c</sub>** = Portata di colmo

**H<sub>(t,T)</sub>** = Altezza critica di pioggia con tempi di ritorno (mm)

**S** = superficie del bacino (km<sup>2</sup>)

**T<sub>c</sub>** = tempo di corrivazione (ore)

**C** = coefficiente di deflusso

### BACINO IDROGRAFICO S1

CARATTERISTICHE BACINO IDROGRAFICO				PORTATE MASSIME DI PIENA	
PARAMETRO	simbolo	valore	Unità di misura	Deflusso $\varphi$ 0,50	
Superficie del Bacino	S =	2,2	Km <sup>2</sup>	Tr (anni)	Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /sec)
Lunghezza percorso idraulico principale	L =	4,7	Km	20	13,4
Altitudine sezione considerata	H0 =	450	m (s.l.m.)	100	14,60
Altitudine media bacino	Hm =	50	m (s.l.m.)	200	17,83
Tempo di corrivazione	Tc	0,81	ore		

## 6 - INTERVENTI DI PROTEZIONE SPONDALE BASATE SU TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA.

Per limitare i fenomeni erosivi la società proponente il progetto ha disposto di mettere in atto due azioni concorrenti: la protezione spondale (intervento di tipo A) e la riforestazione dei bacini idrici (intervento di tipo B), cioè la rinaturalizzazione del sito.

Introduciamo qui, in premessa, la definizione di rinaturalizzazione, ovvero la ricostituzione degli habitat propri del corso d'acqua, agendo sul piano morfologico, sulle caratteristiche di alveo e sponde e sulle tipologie vegetazionali presenti. Volendo dare una sintetica definizione, si può dire che *“l'ingegneria naturalistica è una disciplina tecnico-scientifica che studia le modalità di utilizzo, come materiali da costruzione, di piante viventi, di parti di piante o addirittura di biocenosi vegetali, spesso in unione con materiali non viventi, come pietrame, terra, legname, acciaio”* (Schiechtl).

Si tenta di valorizzare l'effetto stabilizzante che alcune specie vegetali sono in grado di esercitare sul suolo. Così, ad esempio, una specie dotata di apparato radicale ben sviluppato può assolvere funzioni di consolidamento del terreno, contribuendo contemporaneamente ad un miglioramento del drenaggio; una specie a chioma ampia può contribuire alla riduzione dell'effetto della pioggia battente su suoli facilmente erodibili se nudi; cespugli ben radicati e con ramificazione buona possono essere abbinati ad opere di difesa spondale come elementi protettivi e nel contempo con funzione di rallentamento della corrente. L'adozione di queste tipologie consente un migliore inserimento degli interventi riducendone l'impatto naturalistico ed estetico-paesaggistico. Inoltre il carattere fortemente interdisciplinare della materia consente di fornire risposte ad ampio spettro e con effetto multifunzionale. A seconda del modo e del tipo di costruzione,

possono assumere importanza primaria gli effetti riportati di seguito (da Schiechl-Stern, modificata):

- *Tecnico*: Protezione dell'area della sponda da erosione superficiale, causata dalla corrente, dalle precipitazioni, dal vento e dal gelo. Aumento di stabilità delle sponde per la creazione di un sistema fibrorinforzato terreno-radice e per l'effetto drenante delle piante.

- *Ecologico*: Bilanciamento degli estremi di temperatura e di umidità nello strato aereo vicino al terreno e con ciò creazione di condizioni favorevoli allo sviluppo della vegetazione. Miglioramento del bilancio idrico del terreno (drenaggio o immagazzinamento) tramite l'intercettazione, l'evaporazione, l'evapotraspirazione e la capacità di immagazzinamento. Preparazione del terreno e formazione di humus a seguito della caduta e della decomposizione dei resti vegetali. Con ciò in sintesi, ovvero miglioramento della flora e della fauna del terreno e del contenuto di sostanza trofica. Creazione di macro e micro ambienti naturali divenuti ormai rari, nuovi biotopi per animali e piante, possibilità di affermazione di cenosi autoctone;

- *Economico*: Diminuzione delle spese di costruzione e di manutenzione;

- *Estetico-Paesaggistico*: Inserimento delle costruzioni e delle opere nel paesaggio. Recupero delle aree paesaggisticamente degradate.

I principi e le tecniche dell'ingegneria naturalistica possono essere applicati lungo i corsi d'acqua, nelle zone umide e sui versanti adiacenti ai corsi d'acqua con le seguenti finalità:

*Corsi d'acqua*: gli interventi possono riguardare il consolidamento delle sponde, con relativo rinverdimento; azioni per limitare il trasporto solido o per rallentare la corrente; costruzione di briglie e pennelli; creazione di rampe di risalita per agevolare la presenza dell'ittiofauna.

*Zone umide*: realizzazione di ambienti idonei alla sosta ed alla riproduzione degli animali.

*Versanti*: consolidamento ed inerbimento di pendici, sistemazione di frane.

Gli interventi sui corsi d'acqua possono essere classificati secondo un criterio funzionale (funzione svolta dall'opera) riferito a due diversi livelli:

- interventi di regimazione e sistemazione fluviale dedicati ai corsi d'acqua principali;
- interventi di regimazione, di correzione dell'alveo e di stabilizzazione dei versanti (sistemazioni idraulico-forestali) dedicati ai torrenti ed ai bacini montani o collinari.

Gli interventi di mitigazione dell'impatto ambientale o di rinaturalizzazione realizzati con tecniche di ingegneria naturalistica trovano applicazione ad entrambi i succitati livelli e possono essere utilizzati in abbinamento alle tecniche tradizionali o da soli. Nel nostro specifico caso si è scelto di agire su entrambi i livelli secondo solo tecniche naturalistiche.

Soltanto per brevi tratti in corrispondenza della sezione iniziale e finale dei bacini considerati, laddove sono attesi i massimi valori di portata (e quindi di velocità), se necessario è prevista la realizzazione di gabbionate che avrebbero la duplice funzione di proteggere dall'erosione e di mantenere costante la sezione idraulica degli impluvi all'imbocco ed allo sbocco dell'invaso progettato.

## **7 - GENERALITÀ SULLE OPERE DI PROGETTO**

Gli interventi idraulici previsti nel caso in specie riguardano le aste impluviali e si prefiggono la loro stabilizzazione e quella delle sponde, limitando al minimo i fenomeni erosivi, specie quelli localizzati.

### **7.1 Strutture di base**

Per strutture di base si intendono, qui, quelle strutture che vengono utilizzate in maniera ricorrente in vari tipi di sistemazioni. Queste ultime raramente si realizzano con un unico tipo di opera, ma risultano da una combinazione di strutture alcune delle quali possono, per la frequenza con cui sono impiegate, essere considerate delle strutture di "base". Le strutture di base sono:

- muri di sponda;
- briglie e opere accessorie;
- rivestimenti.

Le strutture di base nel caso specifico riguardano i rivestimenti, ovvero quelle strutture per la protezione dall'erosione senza alcuna funzione di sostegno.

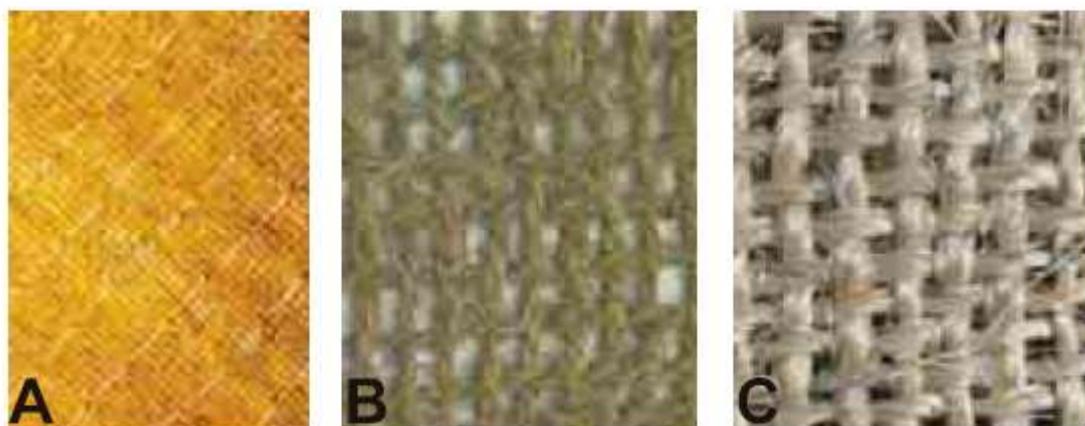
Caratterizzate dall'aver uno spessore trascurabile rispetto alle altre due dimensioni possono essere permeabili o impermeabili, rigide, flessibili o realizzate con materiali sciolti. Queste opere richiedono una progettazione attenta alle condizioni idrodinamiche che possono determinare sollecitazioni eccessive sulla struttura e processi di escavazione in grado di causare scalzamento o aggiramento delle opere.

I rivestimenti vengono utilizzati sia sulle sponde che sul fondo degli alvei ed hanno un'influenza sul regime della corrente che è essenzialmente legata alla variazione della scabrezza in funzione del materiale di cui sono costituiti.

Per limitare l'impatto ambientale per le modifiche che possono apportare alla permeabilità all'acqua ed alla vegetazione e per le modifiche che apportano agli habitat sia acquatici che terrestri, si agirà combinando materiali inerti e materiali vivi secondo appunto le tecniche dell'ingegneria naturalistica.

I rivestimenti, infatti, grazie al loro spessore ridotto offrono ottime opportunità di inserimento ambientale. Sia che si tratti di materiali organici o meno, risulta abbastanza semplice combinarli con la vegetazione e garantire il mantenimento della permeabilità delle sponde.

A differenza dei materiali inorganici quelli a base naturale debbono essere necessariamente abbinati a materiali vivi poiché degradandosi non offrono protezione a lungo termine.



**Figura 7 - A) BIOSTUOIA IN FIBRE DI COCCO: LE FIBRE SONO INTRAPPOLATE TRA DUE RETINE POLIOLEFINICHE CHE HANNO LA DOPPIA FUNZIONE DI IMPEDIRE LA DISPERSIONE DEL COCCO E DI CONFERIRE MAGGIORE RESISTENZA MECCANICA AL GEOSINTETICO. GENERALMENTE LE RETINE SONO FOTODEGRADABILI, IN MODO DA SCOMPARIRE UNA VOLTA ESAURITASI LA FUNZIONE PROTETTIVA DELLA BIOSTUOIA.  
B) GEORETE IN FIBRE DI COCCO. UN MATERIALE CARATTERIZZATO DA UNA ELEVATA CURABILITÀ E DA UNA BUONA RESISTENZA MECCANICA.  
C) GEORETE IN AGAVE, HA UNA RESISTENZA MECCANICA SUPERIORE RISPETTO AL COCCO MA POSSIEDE UNA DURABILITÀ INFERIORE.**



**Figura 8 - A sinistra - geostuoia tridimensionale in fibre di polipropilene. A destra georete tridimensionale rinforzata con una rete metallica a doppia torsione a maglie esagonali.**

La vegetazione può essere combinata alla parte inerte del rivestimento in varie forme:

- Talee
- Piante a radice nuda
- Piante in vaso
- Rizomi
- Per seme
- Inerbimenti con stuoie, reti e biostuoie.

Le biostuoie sono costituite da fibre di natura vegetale tenute assieme da retine poliolefiniche o a loro volta a base organica. Data la natura biodegradabile sono usate solo sopra il livello dell'acqua e sono caratterizzate da una resistenza alle tensioni di trascinamento poco significativa e sono da considerarsi

unicamente una protezione rispetto al ruscellamento ed all'impatto delle gocce di pioggia, azione desiderata nel nostro caso.

Il rinforzo degli apparati radicali (Turf-reinforcement) è un rivestimento flessibile in cui il materiale inerte viene compenetrato dalle radici delle piante erbacee e ne costituisce il rinforzo permanente; rappresenta un sistema combinato molto efficace, in grado di incrementare notevolmente la resistenza alle tensioni di trascinamento delle piante erbacee. Si ottiene mediante la posa di una geostuoia tridimensionale costituita da filamenti di materiali sintetici (polietilene ad alta densità, poliammide, polipropilene o altro), aggrovigliati in modo da formare uno strato molto deformabile dello spessore di 10-20 mm, caratterizzato da un indice dei vuoti molto elevato (> 90%).

Il rinforzo rende più resistente il geosintetico, conferendogli una maggiore capacità di consolidamento superficiale del terreno se abbinato ad idonee chiodature con picchetti lunghi.

Il sistema di rivestimento spondale delle aste di bacino, costituito dal materiale combinato con le piante, avrà così una resistenza alle tensioni di trascinamento molto più alta rispetto a quella delle piante da sole. Per l'individuazione dei materiali più idonei si usano degli abachi che consentono di determinare le tensioni ammissibili di tali sistemi sia in presenza di vegetazione che non relazione alla durata dell'evento di piena.

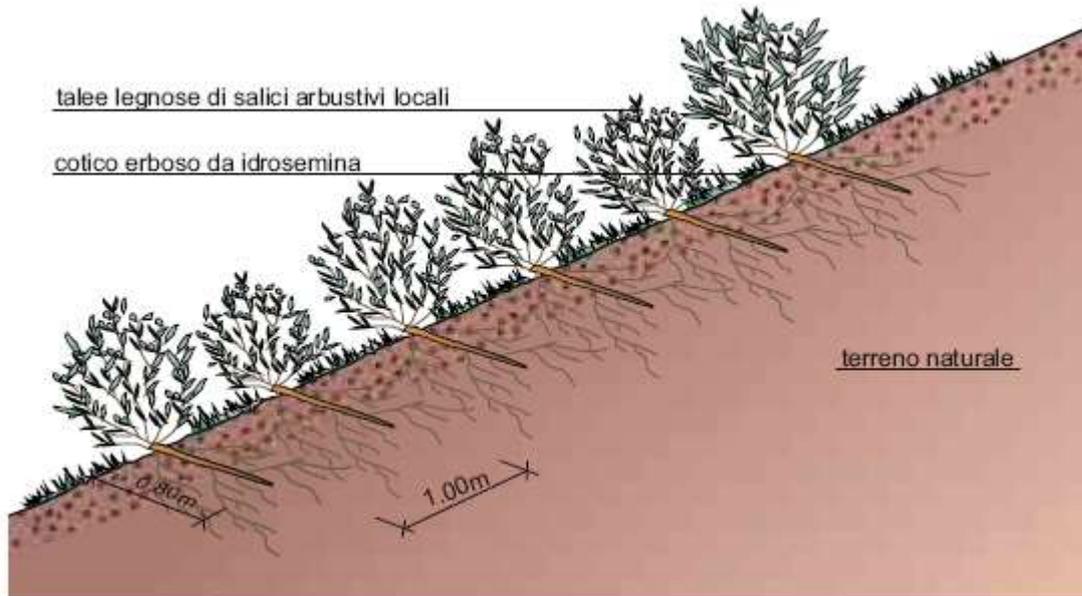


**Figura 9 - Sponde di una fiumara rivestite con geostuoia tridimensionale rinforzata e rinverdita.**

## **7.2 Messa a dimora di talee**

Si realizza mediante infissione nel terreno o nelle fessure tra massi di una scogliera di talee legnose e/o ramaglie di specie vegetali con capacità di propagazione vegetativa. Le piante più usate per questa tecnica sono certamente i salici, ma questi non sono adatti ai nostri ambienti. In ambiente mediterraneo, in alternativa, si utilizzano il ligustro, l'oleandro e le tamerici, specie quest'ultima resistente a condizioni alterne di forte aridità e presenza di sali nel terreno, come nel bacino del lago Trinità. Questa tecnica ha un effetto consolidante che è tanto più marcato quanto maggiore è la profondità cui vengono infisse le talee che assolvono anche a una funzione di drenaggio, dovuto ad assorbimento e traspirazione del materiale vivo impiegato. La piantagione di talee verrà qui utilizzata per la rivegetazione e stabilizzazione delle

superfici spondali di neoformazione e svolgerà una azione inizialmente puntuale e di bassa efficacia ma estesa e coprente dopo lo sviluppo (6 mesi-1/2 anni). Questa tecnica si addice a sponde a pendenza limitata come nel caso e sul suo substrato non litoide e non particolarmente serico; infatti essa non può essere invece applicata in presenza di regimi torrentizi con correnti e trasporto solido particolarmente elevati.



**Figura 10 - La sezione mostra la disposizione delle piante nella messa a dimora di talee. Il terreno deve consentire l'infissione per almeno 50-80 cm le talee debbono essere inclinate leggermente sull'orizzontale.**

La messa a dimora di talee andrà eseguita nel periodo di riposo vegetativo e come tutti gli interventi con materiali vivi richiederà della manutenzione: saltuarie potature di irrobustimento e sfoltimento per evitare popolamenti monospecifici. La messa a dimora di talee si effettua impiegando getti non ramificati, di 2 o più anni,  $d= 1-5$  cm,  $L = 0,50 - 0,80$  m, di piante legnose e in genere arbustive con capacità di propagazione legnosa; per le tamerici vengono usate di preferenza le ramaglie in fronda mentre la talea vera e propria ha minori capacità di rigetto. Le talee vengono infisse nel terreno lasciandole sporgere al massimo per un quarto della loro lunghezza e comunque non più di 10-15 cm. La densità di impianto in genere varia tra 2 e 10 talee per mq a seconda delle necessità di consolidamento.

Macro categorie	CATEGORIE	TIPI	VARIANTI	Distribuzione
		13.2 fruticelli ad <i>Astragalus nebrodensis</i> e <i>Prunus sp. pl.</i> , e <i>Juniperus hemisphaerica</i>		Madonie
		13.3 formazioni pioniere a <i>Genista aethensis</i>		Etna
	14 macchie e garighe degli ambienti mesici e/o caldo-aridi	14.1 macchie a leccio	14.1.1 macchia a leccio con <i>Fraxinus ornus</i> , <i>Rhamnus alaternus</i> , <i>Phillyrea latifolia</i> e <i>Pistacia terebinthus</i> (su vulcaniti)	Pendici dei Monti Iblei, Sicani, Madonie e Monti di Palermo.
			14.1.2 macchia a leccio con <i>Viburnum tinus</i> e <i>Laurus nobilis</i> (su carbonatico)	Pendici dei versanti costieri della Sicilia N-Occ.
			14.1.3 macchia a leccio con <i>Phillyrea latifolia</i> , <i>Celtis sp. pl.</i> , <i>Fraxinus ornus</i> , <i>Rhamnus alaternus</i> , <i>Pistacia terebinthus</i> (su vulcaniti)	Pendici dei Monti Iblei ed Etna
		14.2 macchie di alberi ed arbusti sclerofilici dei substrati acidofili	14.2.1 macchie dei substrati acidofili con <i>Quercus suber</i> , <i>Arbutus unedo</i> , <i>Erica arborea</i> e <i>multiflora</i> , <i>Cistus sp. pl.</i> , <i>Olea europaea</i> var. <i>sylvestris</i> , <i>Calicotome infesta</i> , <i>Myrtus communis</i> , <i>Genista sp. pl.</i> , <i>Spartium junceum</i>	Habitat potenziali dei querceti sempreverdi e caducifogli termofili
			14.2.2 macchie dei substrati acidofili con <i>Zelkova sicula</i>	Buccheri (SR) (M. Iblei)
		14.3 macchie a olivastro ( <i>Olea europaea</i> var. <i>sylvestris</i> )	14.3.1 macchia a olivastro con <i>Quercus suber</i> e <i>Quercus pubescens</i> s. l.	Monti Iblei, pendici rocciose carbonatiche, versanti mammosi-argillosi degli ambienti caldi della Sicilia, Agrigentino
			14.3.2 macchie a olivastro con <i>Euphorbia dendroides</i> , <i>Pistacia lentiscus</i> , <i>Myrtus communis</i> , <i>Anagyris foetida</i>	Vegetazione termoxericadelle pendici rocciose carbonatiche
			14.3.3 facies ad <i>Artemisia arborescens</i>	Versanti mammosi-argillosi degli ambienti caldi della Sicilia
			14.3.4 facies a <i>Phlomis fruticosa</i>	Iblei, Agrigentino

Tabella 28.A del Piano Forestale Regionale - Tipi forestali e preforestali siciliani (La Mantia et al.)

### **7.3 Piantagione di arbusti**

Consiste nella messa a dimora di giovani arbusti autoctoni di produzione vivaistica in zolla o in vasetto. Generalmente le piante utilizzate sono a comportamento pioniero appartenenti agli stadi corrispondenti della serie dinamica potenziale naturale del sito. Questa tecnica ha una funzione consolidante: con il tempo si forma un fitto reticolo radicale di protezione dall'erosione; la piantagione di arbusti inoltre contribuisce ad aumentare la biodiversità, grazie anche all'instaurarsi di un ambiente idoneo ad ospitare numerose specie animali. Questa tecnica è adatta a superfici a bassa pendenza con presenza di suolo organico, come nel caso del Torrente Serpente, e può essere abbinata alle stuoie e ai rivestimenti.

Le piante, di altezza minima compresa tra 0,30 e 0,80 m e accompagnate da certificazione di origine del seme o materiale da propagazione, come disposto anche dalla Regione Siciliana, vengono poste a dimora in buche di dimensioni prossime a quelle dell'apparato radicale o della zolla avendo cura, se necessario, di apportare terreno vegetale, fibra organica, fertilizzanti ed ammendanti. Le piante possono essere disposte in ragione di 1 esemplare ogni 3-20 mq. Le piante a radice nuda potranno essere trapiantate solo durante il periodo di riposo vegetativo, mentre per quelle in zolla, contenitore o fitocella il trapianto potrà essere effettuato anche in altri periodi tenendo conto delle stagionalità locali e con esclusione dei periodi di estrema aridità estiva o gelo invernale.

Con riferimento alla Tabella 28C del Piano Forestale Regionale - Formazioni riparie, saranno previste le piantumazioni di talee e arbusti di macchie a leccio tipici della Sicilia occidentale, Asparago spinoso, Sommacco tripartito, Rosmarino e Timo arbustivo.

## **8. REALIZZAZIONE DI UN INVASO ARTIFICIALE DI COMPENSAZIONE**

Ogni intervento che provoca impermeabilizzazione dei suoli ed aumento della velocità di corrivazione deve essere associato ad azioni correttive volte a mitigarne gli effetti; tali azioni sono da rilevare essenzialmente nella realizzazione di volumi di invaso finalizzati alla laminazione; se la laminazione è attuata in modo da mantenere inalterati i colmi di piena prima e dopo la trasformazione, si parla di invarianza idraulica delle trasformazioni di uso del suolo.

Per trasformazione del territorio ad invarianza idraulica si intende la trasformazione di un'area che non provochi aggravio della portata di piena del corpo idrico ricevente i deflussi superficiali originati dall'area stessa.

Il presente paragrafo della relazione tecnico idraulica descrive le modalità di intervento per la realizzazione di un invaso di laminazione e compensazione per ottenere l'invarianza idraulica e avere un accessorio, ma utilissimo, uso irriguo all'interno dell'area di progetto del campo agrivoltaico Integrato Ecocompatibile "LETTIGA" nel territorio del Comune di Termini Imerese (PA).

## 8.1 Criteri Generali di Progettazione

La progettazione definitiva dell'invaso artificiale si è basata sui seguenti criteri generali:

- l'ubicazione e la planimetria dell'invaso sono state ricavate in seguito ad un'analisi progettuale che ha tenuto in considerazione sia l'aspetto tecnico che quello funzionale legato alla morfologia dei terreni e degli impluvi naturali che, in maniera sussidiaria, alla distribuzione dei volumi irrigui alle aree sottese all'invaso;
- la realizzazione dei volumi di terra risulta in parte in scavo e in parte in rilevato, al fine di impiegare parte del materiale scavato nella costruzione del rilevato arginale, cioè una briglia in terra battuta, riducendo il più possibile l'eccedenza di materiale da dover smaltire o trasportare a discarica;
- realizzazione di argini perimetrali di contenimento idrico, al fine di incrementare il volume immagazzinabile rispetto alla realizzazione di un vaso solo con scavo;
- la quota di massimo vaso è stata assunta considerando un franco di sicurezza tra il livello idrico di regolazione e la quota massima del rilevato di 1 m;
- la quota di minimo vaso è stata posta a circa 20 cm rispetto al fondo del lago per favorire la sedimentazione delle particelle di terra, evitando l'interrimento dello scarico di fondo;

Il miglioramento dell'efficienza della risorsa idrica è stato conseguito inoltre osservando i seguenti obiettivi:

- 1) L'ubicazione dell'invaso è stata definita in funzione della possibilità di approvvigionamento idrico, al di fuori dei prelievi in acque pubbliche, verificando la disponibilità teorica data dal bilancio idrologico del bacino impluviale in direzione dell'invaso di progetto (vedi relazione di invarianza idraulica).
- 2) le precipitazioni che si abbattano sul bacino di carico dell'opera permettono di invasarla completamente, ottenendo un risparmio di risorsa pari al volume dell'invaso in progetto;
- 4) l'impermeabilizzazione della superficie interna dell'invaso consente di stoccare tutta la risorsa senza perdite per infiltrazione nel terreno.

## 8.2 Descrizione dei lavori previsti in Progetto

La realizzazione di un vaso di laminazione per il controllo dei tempi di corrivazione verso valle e il mantenimento del coefficiente udometrico costante nei valori ante e post operam, deve prevedere un sistematico svuotamento dello stesso per il mantenimento della capacità di invasatura delle acque meteoriche residue di ruscellamento superficiale, ottenuto come residuo del bilancio idrologico annuo medio per le aree di progetto, caratterizzate da differenti composizioni del substrato, secondo la relazione:

$$R = P - ET - I$$

dove:

R = ruscellamento residuo;

P = Quantitativi d'acqua di precipitazione;

ET = quantitativi d'acqua di evapotraspirazione;

I = quantitativi d'acqua di infiltrazione efficace.

Il valore di R determinerà la quantificazione annua della risorsa idrica immagazzinabile nell'invaso di laminazione e rappresenterà la risorsa utilizzabile per scopi irrigui, con ciò mantenendo l'invaso di compensazione delle portate a capacità di raccolta di sicurezza (vedi i calcoli della relazione geologica e idrogeologica cui si rimanda per la verifica dell'Invarianza Idraulica).

Al contempo, il progetto di realizzazione dell'invaso ad uso irriguo, che consente di immagazzinare la risorsa idrica per poterla utilizzare nei periodi di carenza e deficit della risorsa stessa, può essere schematizzato come segue:

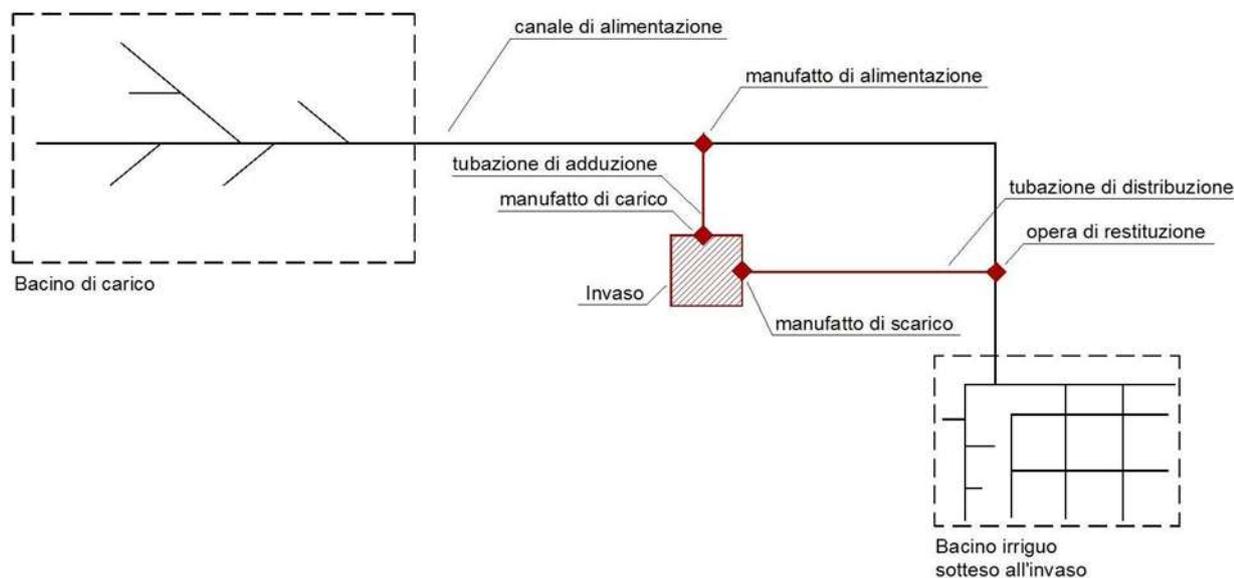


Figura 11 – Schematizzazione dell'invaso ad uso irriguo

Nel proseguo del paragrafo, si tratterà l'invaso di laminazione come invaso ad uso irriguo, per la sua doppia valenza.

Gli elementi progettuali possono essere raggruppati nelle seguenti categorie:

- opere generali;
- invaso;
- rete di distribuzione.

**Le opere generali comprendono tutte le attività di preparazione** propedeutiche allo svolgimento dei lavori di realizzazione delle opere in progetto, e consisteranno in:

- sterro del cotico superficiale del terreno per il livellamento della superficie.

Il terreno rimosso avente caratteristiche pedologiche più scadenti sarà temporaneamente

accantonato per esser successivamente riutilizzato per le coperture finali delle pendici dell'opera di ritenuta (briglia in terra battuta) e per i livellamenti di raccordo morfologico con il versante.

Il terreno avente migliori caratteristiche pedologiche sarà separato e riutilizzato per i lavori preparatori del piano di impianto nell'area di compensazione vegetazionale contermine.

Il lavoro sarà eseguito con escavatore cingolato.

- riprofilatura delle parti terminali dei fossi defluenti in direzione dell'invaso di ritenuta; il lavoro sarà eseguito con escavatore cingolato di dimensioni più ridotte e dotato di benna trapezoidale per lo scavo di fossi.

Completati i lavori preparatori **si procederà allo scavo del bacino dell'invaso** (vasca) ed alla predisposizione della fondazione per l'opera di ritenuta, secondo le seguenti operazioni:

- a) Scavo con escavatore meccanico della vasca. Il piano del fondo vaso dovrà possedere una pendenza (misurata da monte verso valle) non inferiore al 1,5%, allo scopo di permettere uno svuotamento rapido in caso di necessità;
- b) Deposito del materiale in zona limitrofa all'area di intervento; il materiale argilloso sarà riutilizzato per i livellamenti e i raccordi morfologici al termine delle operazioni di riporto;
- c) Scavo con escavatore meccanico dell'alloggiamento delle opere di sbarramento;
- d) Deposito del materiale in zona limitrofa all'area di intervento; il materiale scavato sarà riutilizzato in sito per livellamenti del terreno e riprofilature del versante al termine delle operazioni di riporto;
- e) Realizzazione di idonea rete di drenaggio delle acque meteoriche di tipo provvisoria esternamente al coronamento dello scavo, allo scopo di limitare il ruscellamento superficiale e gli eccessivi accumuli di acqua piovana.

### **8.3 Realizzazione dell'opera di sbarramento e di drenaggio**

L'opera di sbarramento posta a valle dell'invaso è costituita da una briglia in terra battuta opportunamente dimensionata al contenimento della capacità massima dell'invaso e immersa nel substrato argilloso.

Predisposto il piano di posa (radice) della briglia, si procederà al riporto di argilla in strati di spessore massimo 50 cm opportunamente stesi e compattati con rullo compressore vibrante a zampa di montone (rullo bugnato); la bugnatura del rullo permetterà una interdigitazione degli strati successivi allo scopo di rendere più stabile il corpo della briglia e maggiore il rapporto di compressione dei materiali argillosi utilizzati.

I materiali utilizzati per la realizzazione della briglia saranno lavorati solo se in possesso delle caratteristiche fisico-meccaniche e tipologiche necessari all'ottenimento delle migliori condizioni statiche.

Ultimati i lavori di realizzazione del corpo della briglia in terra battuta, si procederà al riporto di materiale argilloso per la costituzione della vasca di accumulo idrico, procedendo in base alle sezioni di progetto, con rinfranco delle fiancate e del fondo con ulteriori 50 cm di argille opportunamente compattate.

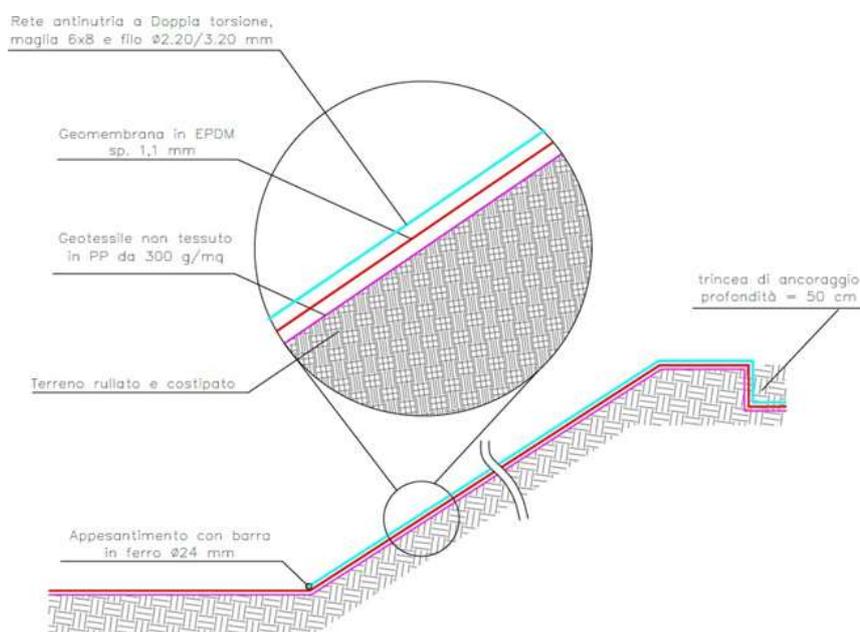
Per evitare fenomeni di filtrazione è stata prevista inoltre l'impermeabilizzazione del fondo e delle banche

lato invaso mediante la posa di una geomembrana impermeabile in EPDM.

Nel dettaglio il rivestimento del fondo e della sponda lato bacino di accumulo che è così composto:

- regolarizzazione del fondo scavo;
- impermeabilizzazione mediante posa di geomembrana in EPDM dello spessore di 1,10 mm su uno strato di tessuto non tessuto di massa aerica apri a 300 grammi/mq;
- rete maglia 6 x 8 e filo  $\Phi$  2,20/3,20 mm; tale rete rimarrà tesa mediante l'utilizzo di una barra in ferro  $\Phi$  24 mm posizionata orizzontalmente nella parte inferiore della rete.

Di seguito è riportato un estratto del pacchetto di impermeabilizzazione da realizzare sul fondo del lago e sulle sponde lato bacino.



**Figura 12 - Dettaglio impermeabilizzazione**

Le verifiche periodiche e le manutenzioni ordinarie dell'invaso dovranno accertare l'integrità dell'impermeabilizzazione del fondo e dei fianchi e provvedere al rinfranco dello strato di argilla compattata ove necessario.

Si procederà quindi alla realizzazione dei fossi perimetrali all'invaso.

I fossi saranno impermeabilizzati al fondo con argilla compattata allo scopo di evitare perdite, erosione delle sponde e sifonamenti delle opere di contenimento.

Le tubazioni di distribuzione che a questo punto verranno posate saranno tutte in PVC o PEAD.

Ultimati i riporti e la posa dei manufatti si procederà alla regolarizzazione delle superfici esterne alla vasca di accumulo con riporto di circa 30 cm di suolo riutilizzando il terreno precedentemente accantonato nella fase preparatoria iniziale. Successivamente le pendici esterne della briglia in terra battuta e delle zone esterne all'invaso saranno rinverdite con semina a spaglio di essenza erbacee autoctone opportunamente selezionate allo scopo di produrre una corretta integrazione paesaggistica delle opere con il contesto

territoriale circostante.

In ultimo si eseguirà un opportuno livellamento ed una ulteriore rullatura del fondo per la realizzazione della pista di servizio che contorna il perimetro dell'invaso e che permetterà l'accesso per gli interventi di manutenzione ordinaria e se del caso straordinaria.

## **8 - EFFETTI INDOTTI DAL PROGETTO COMPLESSIVO**

L'assetto idrogeologico dell'area considerata è caratterizzato da terreni argillosi e poco assorbenti. L'azione di protezione e salvaguardia della qualità delle acque sotterranee viene svolta quindi dai sistemi vegetali e si esplica attraverso i seguenti meccanismi:

- conservazione del suolo e suo effetto depurante sulle acque;
- aumento della capacità di infiltrazione dell'acqua nel suolo;
- riduzione della velocità media di scorrimento delle acque meteoriche ed incremento dei volumi d'acqua trattenuti dal suolo.

La funzione di salvaguardia esercitata dalla futura copertura vegetale della riforestazione dipenderà dalla densità, dalla struttura e dall'età delle cenosi vegetali. Occorre però precisare che il potere di intercettazione della pioggia da parte dei boschi aumenta con l'età ma fino ad un valore soglia oltre il quale esso diminuisce.

Nell'azione di salvaguardia messa in atto, un contributo importante verrà dato anche dal sottobosco e dalla lettiera che formano uno schermo protettivo e filtrante nonché dalle tipologie vegetali. I suoli forestali dotati di alta porosità favoriscono l'infiltrazione anche per merito dell'attività biologica delle piante arboree e di tutti gli organismi vegetali e animali che sono parte integrante dell'ecosistema.

Le attività antropiche nei siti, in particolare le pratiche agricole, hanno sottratto spazi considerevoli allo sviluppo naturale della vegetazione che svolge, con maggiore efficacia di altre coperture, la funzione protettiva delle acque. Per quanto detto, il sito di progetto, nella sua maggiore estensione, si trova in un'area mappata come a protezione minima da parte del soprassuolo vegetale, a causa della conduzione agricola dei terreni, in una zona classificata come a vulnerabilità bassa, dovuta alla presenza di depositi prevalentemente limo-argillosi.

L'erosione idrica dei suoli rappresenta ad oggi un problema di primaria importanza poiché può causare ingenti danni di natura ambientale ed economica. Per tale ragione sempre più numerosi sono gli stati che rivolgono una particolare attenzione al tema della difesa del suolo e del territorio.

Nell'ambito del panorama normativo italiano è da segnalare in particolare la Legge n° 183 del 18 maggio 1989, oggi assorbita dalla D.lgs n° 152/06 s.m.i. (Nuovo Codice dell'Ambiente) riguardante i piani di bacino e volta a predisporre le opportune misure di prevenzione dei fenomeni di dissesto geomorfologico.

L'European Soil Bureau ha pubblicato nel 1999 dei dati relativi al rischio di erosione idrica su scala comunitaria (Van der Kniff et al., 1999) dai quali emerge una situazione piuttosto critica per il nostro paese: la maggior parte del territorio italiano (quasi il 77%) è considerato a rischio di erosione accelerata a causa della notevole energia di rilievo e dell'erodibilità dei suoli.

Le cause che contribuiscono ad accelerare il fenomeno dell'erosione idrica sono essenzialmente ascrivibili a:

- uso di pratiche agricole inadeguate tra cui ad esempio l'eccessivo sbriciolamento dello strato superficiale del suolo effettuato per la preparazione dei letti di semina, nonché l'impoverimento della

materia organica e inorganica contenuta nel suolo a seguito dell'eccessivo sfruttamento agricolo;

- riduzione delle colture protettive del suolo a vantaggio di quelle economicamente più redditizie;
- abbandono delle vecchie sistemazioni idraulico-agrarie non sostituite da nuove opere;
- cambiamenti climatici in atto su scala globale tra cui in particolare l'aumento del potere erosivo

delle piogge che presentano sempre più il carattere di scrosci con elevata energia.

La valutazione qualitativa e quantitativa del processo erosivo è quindi fondamentale per cercare di impostare una corretta gestione del territorio finalizzata ad arginare un tale fenomeno.

Esistono numerosi modelli messi a punto per la valutazione dell'erosione del suolo riconducibili a tre principali categorie: modelli qualitativi, semiquantitativi e quantitativi.

Negli ultimi cinquant'anni molti studi sono stati condotti sull'evolversi del processo erosivo partendo dalla piccola scala sino alla scala globale. Un'ampia varietà di modelli è stata inoltre adottata sia per la raccolta che per l'estrapolazione di dati sebbene la loro accuratezza e affidabilità lascino ancora molto a desiderare.

Nella letteratura tecnica più recente si ritrova tuttavia un cospicuo numero di lavori sui fenomeni di erosione idrica con lo scopo di investigare le dinamiche alla base del processo erosivo di tipo interrill e rill.

Tali studi, utilizzando esperienze di laboratorio e di campo, valutano la dipendenza di tali processi dall'intensità della pioggia, dalla morfologia del suolo, dal suo grado di saturazione, nonché dalla scala geometrica di studio.

L'erosione di tipo interrill, in particolare, è identificata come quella forma di erosione che offre il maggior contributo al processo di degradazione del suolo. Essa si rende evidente quando uno scorrimento di tipo diffuso interessa il suolo. Il processo fisico che la determina nasce quindi dalla combinazione di due sottoprocessi, ossia distacco e trasporto ad opera dell'azione impattante della goccia sul suolo (splash erosion) e trasporto di sedimento ad opera del sottile strato di acqua (lama d'acqua) sul terreno (sheet erosion).

Le precipitazioni sono pertanto da identificarsi quale principale fattore di innesco dell'erosione idrica causando il distacco di particelle di terreno.

L'erosività intrinseca della pioggia è correlata ad una serie di sue caratteristiche (durata, distribuzione del diametro delle gocce, intensità e distanza temporale tra eventi consecutivi ecc.) che concorrono alla caratterizzazione di due parametri base quali l'energia cinetica e la quantità di moto proprie della precipitazione stessa.

Il distacco delle particelle di terreno dovuto in primis all'azione battente della pioggia è inoltre funzione non solo delle caratteristiche intrinseche dello stesso evento meteorico, ma anche della pendenza e della natura del terreno interessato, nonché dell'altezza del tirante idrico.

Una volta distaccatesi dal suolo per l'azione battente della pioggia, le particelle di terreno sono suscettibili di trasporto per azione dello strato d'acqua superficiale (lama d'acqua) in movimento.

Molti studi hanno mostrato un differente comportamento in termini percentuali delle due componenti erosive: pioggia e ruscellamento superficiale.

Si è infatti evidenziata una predominanza dell'azione erosiva della pioggia rispetto al ruscellamento per

pendenze superiori al 9%, mentre al di sotto di tale valore il comportamento si inverte. I risultati di dette considerazioni sono stati riassunti nel grafico successivo.

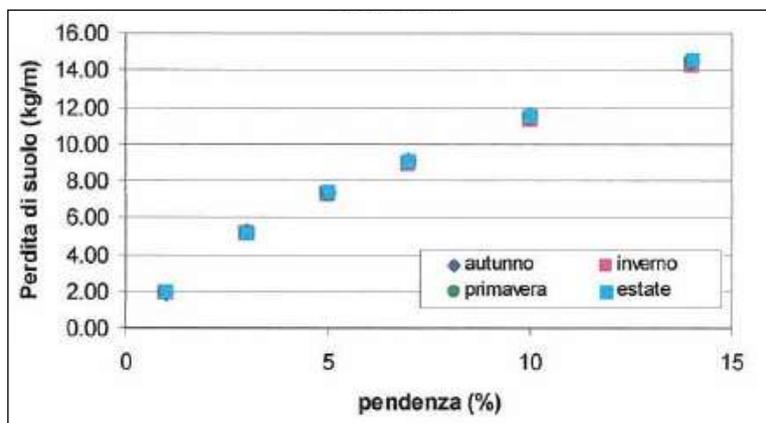


Figura 13 - Andamento stagionale della perdita di suolo per erosione in funzione della pendenza

Per quanto riguarda l'impianto in progetto, l'instaurarsi di fenomeni di erosione idrica localizzati all'interno dell'area di progetto a seguito di eventi piovosi sarà di fatto nullo. La concomitanza di una serie di fattori tra cui in particolare la scarsa pendenza del sito, il rapido ripristino del manto erboso, la diminuzione dell'energia di impatto degli scrosci piovosi al suolo dovuta all'effetto coprente dei moduli, ecc..., consentirà di arginare sia il fenomeno dello "splash erosion" che quello dello "sheet erosion".

Assumendo in via conservativa che il rapporto di copertura dei moduli rispetto al terreno sia pari al 40%, è chiaro che sulla porzione di terreno sottostante il lato più basso dei moduli sarà riversato lo stesso volume di acqua intercettato dall'intera superficie dei moduli stessi, ma in maniera concentrata.

Ciò nonostante, alla luce delle seguenti considerazioni, tale apparente concentrazione della forza erosiva non comporterà di fatto alcuna accelerazione della degradazione strutturale del suolo:

- l'esigua altezza dei moduli dal piano di calpestio fa sì che l'acqua piovana, in particolare nel caso del sistema fisso come quello di progetto, seppure raccolta dalla loro superficie e concentrata su una ridotta porzione di terreno, cadrà al suolo possedendo un'energia cinetica molto inferiore rispetto a quella della medesima massa d'acqua impattante in maniera distribuita sull'intera superficie di proiezione del modulo alla velocità limite in caduta libera di una goccia d'acqua;

- lo strato erbaceo del soprassuolo offre un'efficiente protezione del terreno trattenendone le particelle a livello dell'apparato radicale, attenuando ulteriormente la forza impattante delle gocce d'acqua a livello dell'apparato fogliare ed evitando il formarsi di vie preferenziali di accumulo e/o di deflusso dell'acqua al di sotto le stringhe. Un riscontro oggettivo delle considerazioni sopra esposte ci viene fornito da un recente studio italiano (Balacco et al. 2006 "Indagini preliminari sul ruolo svolto dall'infiltrazione nei processi erosivi di interrill" XXX° Convegno di idraulica e costruzioni idrauliche);

- le pendenze naturali del terreno di progetto, che non verranno modificate, e la presenza di linee

di impluvio assicurano un efficiente drenaggio delle acque piovane per ruscellamento lungo le pendenze naturali. Inoltre la pendenza uniforme del terreno verso il torrente Serpente limitrofo, garantisce che le acque meteoriche defluiscano in esso in maniera uniforme sotto forma di lama d'acqua piuttosto che di singoli rivoli localizzati. Dagli impluvi presenti sarà pertanto lasciata libera una fascia di larghezza opportuna per evitare interferenze con la funzione idraulica svolta;

- la maggior parte dell'area interessata dalle installazioni di progetto è poco inclinata e pertanto l'energia dell'eventuale strato idrico superficiale non sarà tale da vincere, da un lato i fenomeni di coesione del terreno, e dall'altro il potere di trattenimento da parte degli apparati radicali della vegetazione, evitando così l'insorgere di fenomeni di trasporto solido (sheet erosion).

A sostegno di quanto sin qui argomentato, si riporta di seguito una foto di un impianto realizzato con tecnologia simile dell'impianto in esame e installato su terreni argilloso-sabbiosi come quelli in oggetto:



**Figura 14 - Stato del terreno inerbito sotto i pannelli fotovoltaici**

La foto è stata scattata nel mese di marzo dopo una serie ripetuta di eventi piovosi significativi e mostra chiaramente l'assenza di fenomeni di erosione superficiale anche in presenza di copertura erbosa appena sfalciata. L'area di progetto risulta infatti ben stabilizzata e nel tempo ad oggi non è stata sede né di erosioni e colamenti, né di allagamenti o impaludamenti temporanei a seguito di eventi meteorici intensi.

La superficie interessata dalle installazioni del campo agrivoltaico in progetto resterà pertanto permeabile e sarà soggetta ad un rapido e spontaneo processo di rinverdimento così da non alterare il bilancio idrologico dell'area, ossia, per meglio dire, la presenza del generatore non interferirà con processi di infiltrazione, accumulo e scorrimento superficiale delle acque meteoriche riscontrabili sulla medesima area allo stato ante operam.

Per quanto concerne inoltre l'apporto alla rete idrografica di superficie presente nelle aree limitrofe, la presenza dell'impianto non comporta modifiche dell'assetto attuale, né l'attuazione di interventi di

regimazione idraulica e la sua presenza può considerarsi ininfluenza nel determinare cambiamenti delle naturali portate idriche.

In conclusione, l'analisi del progetto in esame consente di affermare che l'intervento non introduce variazioni di rilievo nella relazione tra gli eventi meteorologici ed il suolo e disincentiva la possibilità che si presentino fenomeni degradativi di tipo erosivo, oggi forse presenti con la coltura a grano non effettuata tutti gli anni per la messa a riposo dei terreni. Gli unici impatti sul suolo derivanti dal progetto in esercizio si concretizzano nella sottrazione per occupazione da parte dei pannelli. I pannelli sono montati su supporti tubolari infissi nel terreno. Tali supporti sorreggono l'insieme dei pannelli assemblati, mantenendoli alti da terra. Inoltre fra le file di pannelli è lasciata libera una fascia di ampia larghezza. Il rapporto di copertura superficiale dei soli pannelli (ingombro in pianta) è inferiore al 40%, riferito all'area catastale.

L'impatto per sottrazione di suolo viene considerato poco significativo in quanto, una volta posati i moduli, l'area sotto i pannelli resta libera e subisce un processo di rinaturalizzazione spontanea che porta in breve al ripristino del soprassuolo originario, temporaneamente alterato dalle fasi di cantiere.

In realtà una tale configurazione non sottrae il suolo, ma ne limita parzialmente nello spazio e nel tempo le capacità di uso. Viene chiaramente impedita (in maniera temporanea e reversibile) l'attività agricola durante la vita utile dell'impianto. Resta potenzialmente possibile il pascolo, e i terreni tornano fruibili per tutte quelle specie di piccola e media taglia che risultavano disturbate dalle attività agricole seminatrici di frumento o dalla presenza dell'uomo in generale. Il periodo di inattività colturale del terreno, durante l'esercizio dell'impianto agrivoltaico, permette inoltre di recuperare le caratteristiche di naturale fertilità eventualmente impoverite o perse.

Durante l'esercizio, lo spazio sotto i pannelli resta libero, fruibile e transitabile per animali anche di medie dimensioni. C'è comunque da aspettarsi che, visto l'ampio contesto rurale in cui si inserisce il progetto, lo spazio sotto i pannelli assuma una minore appetibilità, rispetto ai terreni limitrofi, come luogo per la predazione o la riproduzione, e tenda ad essere evitato. Il terreno sarà lasciato allo stato naturale, e sarà rinverdito naturalmente in poco tempo dopo il cantiere.

La tipologia di supporti scelta si installa per infissione diretta nel terreno, operata da apposite macchine di cantiere, cingolate e compatte, adatte a spazi limitati e terreni anche in pendenza. I supporti non hanno strutture continue di ancoraggio ipogee.

Alla dismissione dell'impianto, lo sfilamento dei pali di supporto garantisce l'immediato ritorno alle condizioni ante operam del terreno.

La recinzione perimetrale verrà realizzata senza cordolo continuo di fondazione. Così facendo si evitano gli sbancamenti e gli scavi.

Gli impatti in fase di cantiere si limiteranno al calpestio del cotico erboso superficiale da parte dei mezzi, che sono previsti di capienza massima 40 t (autocarri per la consegna dei pannelli).

Le alterazioni subite dal soprassuolo per il transito dei mezzi sono immediatamente reversibili alla fine delle lavorazioni, con il naturale rinverdimento della superficie.

Per quanto riguarda l'impatto operato dall'impianto sul regime idraulico ed idrologico dell'area, anche in

relazione al deflusso delle acque meteoriche, in aggiunta a quanto già asserito, si può considerare quanto segue: l'area di progetto risulta ben stabilizzata, con riferimento al rapporto fra suolo e acque meteoriche; nel tempo non è stata sede né di erosioni e colamenti, né di allagamenti o impaludamenti temporanei a seguito di eventi meteorici intensi. La superficie del campo agrivoltaico resterà permeabile e allo stato naturale, pertanto il regime di infiltrazione non verrà alterato. Durante la fase di cantiere non risulterebbe necessaria alcuna modifica all'assetto idrografico attuale, pertanto si può escludere, sin dal principio, la necessità di opere per la regimazione delle acque, compresa la nuova viabilità perché verrà realizzata in materiali naturali porosi. Si eviterà la compattazione diffusa e il formarsi di sentieramenti, con il drenaggio, la captazione e l'allontanamento delle acque meteoriche, che possono fungere da percorsi di deflusso preferenziale per l'acqua.

Per quanto concerne la quantità delle acque, dal punto di vista dell'idrografia di superficie il progetto può quindi essere inserito nell'attuale contesto idrologico senza provocare alcuna mutazione nei deflussi dei canali esistenti, come il lago artificiale Trinità. La presenza del campo agrivoltaico non interferisce con i normali processi di infiltrazione, accumulo e scorrimento superficiale delle acque meteoriche. Viceversa si ritiene invece interessante evidenziare che l'interruzione di somministrazione di fitofarmaci e concimanti tipici di coltivazioni agrarie si tradurrà in una diminuzione di pressione antropica sulle falde e sui corsi d'acqua

Entrando in dettaglio, l'analisi del caso presentato consente di affermare che il progetto del parco agrivoltaico non introduce sensibili variazioni nella relazione tra gli eventi meteorologici ed il suolo, inoltre attraverso alcuni pratici accorgimenti, sarà possibile instaurare anche dei meccanismi di tutela del territorio e di preservazione del patrimonio ambientale.

Di seguito si riportano alcuni accorgimenti utili da seguire nella gestione del parco al fine di perseguire gli obiettivi anzidetti:

1. Mantenere una coltre erbacea sull'interfila dei pannelli con funzionalità antierosiva nei confronti di:
  - erosione da impatto: grazie all'azione mitigante della parte epigea vegetale nei confronti dell'impatto delle gocce d'acqua col suolo;
  - erosione diffusa: a seguito della diminuzione dell'energia cinetica dell'acqua nell'ipotesi di scorrimento superficiale lungo la superficie in occasione di eventi prolungati;
  - incanalamento superficiale: in relazione all'effetto consolidante dell'apparato radicale.
2. Mantenere la pannellatura ad un'altezza adeguata da consentire la crescita di vegetazione erbacea al di sotto del pannello in modo da mantenere una copertura costante in grado di proteggere il suolo e preservarlo dal dilavamento di sostanze nutrienti e dalla mineralizzazione della sostanza organica.

## **9 - CONCLUSIONI**

Per quanto esposto e argomentato nella presente relazione idrologica ed alla luce degli interventi di rinaturalizzazione dei luoghi e di difesa spondale del reticolo impluviale, si considera totalmente compatibile l'installazione dell'impianto agrivoltaico in progetto con l'assetto idrogeologico, idrologico e geomorfologico locale.