

COMUNE DI SIRACUSA

TITOLO PROGETTO:

RIELABORAZIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO DELL'APPRODO TURISTICO "MARINA DI SIRACUSA" SVILUPPATO SULLA BASE DEI CONTENUTI DEL PROGETTO PRESENTATO E DISCUSO IN CONFERENZA DEI SERVIZI IN DATA 15.02.2021

COMMITTENTE:

S.P.E.R.O. s.r.l.
Via Elorina 29 - 96100 Siracusa - Italy

PROGETTISTA GENERALE

TEAMNETWORK s.r.l. - Engineering & Management
Via Luigi Spagna 50/L-M, 96100 Siracusa - Italy



TITOLO ELABORATO:

STUDIO IDROLOGICO IDRAULICO

Scala

Formato

FILE

PROGETTISTA

Progettista architettonico:
Arch. Mario Rizza

Progettista strutture ed impianti:
Ing. Paolo Calafiore

Geologia e Ambiente:

Dott. G. Bellomo

Dott. G. Anselmo

NUMERO DOCUMENTO

IMM12-08

MdS

PD

REL

SIDR

08

R0

JOB N.

COD. 1

COD. 2

COD. 3

COD. 4

COD. 5

REV. n.

N. REV

DATA

DESCRIZIONE

DRW.

CHK.

APP.

Provincia di Siracusa
COMUNE DI SIRACUSA

MARINA DI SIRACUSA

**RIELABORAZIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO DELL'APPRODO TURISTICO
"MARINA DI SIRACUSA" SVILUPPATO SULLA BASE DEI CONTENUTI DEL PROGETTO
PRESENTATO E DISCUSO IN CONFERENZA DEI SERVIZI IN DATA 15.02.2021**

STUDIO IDROLOGICO-IDRAULICO

GIUGNO 2023

VERSIONE :	DESCRIZIONE:	PREPARATO :	APPROVATO :	DATA:
01	EMISSIONE			21/06/2023
NOME FILE:			DISTRIBUZIONE: RISERVATA	

INDICE

1. PREMESSA	1
2. LO STUDIO IDROLOGICO IDRAULICO	2
2.1 METODOLOGIA	3
3. INQUADRAMENTO GENERALE	5
3.1.1 CLIMATOLOGIA	5
3.1.2 IDROGEOLOGIA	7
3.1.3 GEOMORFOLOGIA	9
3.1.4 USO DEL SUOLO	10
4. IL BACINO DEL FIUME ANAPO	13
4.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO ED INDIVIDUAZIONE DEI SOTTOBACINI E DEL RETICOLO	13
4.2 MODELLAZIONE IDROLOGICA	14
4.3 MODELLAZIONE IDRAULICA	25
4.4 ANALISI DEL RISCHIO	26
4.5 VALUTAZIONE DEL TRASPORTO SOLIDO	28
4.5.1 METODOLOGIA	29
4.5.2 FORMULAZIONE ANALITICA	29
4.5.3 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO SEDD	31
5. AREA PANTANELLI	36
5.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO ED INDIVIDUAZIONE DEI SOTTOBACINI E DEL RETICOLO	36
5.2 MODELLAZIONE IDROLOGICA	38
5.3 MODELLAZIONE IDRAULICA	41
5.4 VALUTAZIONE DEL RISCHIO	42
5.5 VALUTAZIONE DEL TRASPORTO SOLIDO	44
6. BACINO DEL CANALE REGINA (TRATTO TERMINALE)	48
6.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO ED INDIVIDUAZIONE DEI SOTTOBACINI E DEL RETICOLO	48
6.2 MODELLAZIONE IDROLOGICA	50
6.3 MODELLAZIONE IDRAULICA E VALUTAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	53
6.4 VALUTAZIONE DEL TRASPORTO SOLIDO	53
7. OPERE IN PROGETTO	57
7.1 NUOVO COLLETTORE DELLE ACQUE DEL CANALE DI SCOLO	57
7.2 RISAGOMATURA DEL TRATTO FINALE DEL REGINA	60
8. CONCLUSIONI	63

1. PREMESSA

Questo elaborato fa parte degli studi specialistici redatti a supporto del progetto **PROGETTO DEFINITIVO DELL'APPRODO TURISTICO "MARINA DI SIRACUSA" SVILUPPATO SULLA BASE DEI CONTENUTI DEL PROGETTO PRESENTATO E DISCUSO IN CONFERENZA DEI SERVIZI IN DATA 15.02.2021**

Il concetto che sta alla base di questo corpo documentale, è quello che la realizzazione di qualsiasi tipologia di infrastruttura ovvero qualsiasi attività antropica legata alla presenza della stessa, interagisce inevitabilmente con i processi climatici, idrodinamici e sedimentologici del sistema costiero in cui sono inserite, caratterizzato da un complesso equilibrio "dinamico".

Tali interazioni possono provocare fenomeni spesso complessi da prevedere, e i cui effetti sicuramente ricadono sia sull'ambiente, sia sull'intero sistema, compromettendo talvolta anche le stesse strutture antropiche.

Un approccio moderno che consenta la comprensione dei possibili scenari futuri connessi alla costruzione delle opere in progetto è rappresentato da uno studio "omnicomprensivo" di tutte le caratteristiche in gioco, che, anche tramite l'uso di modelli matematici, descrive i fenomeni reali e propone la previsione degli scenari futuri.

Tale corpo documentale è quindi da intendersi come un unico testo organico, in cui ogni singolo elaborato rappresenta solo un capitolo dedicato ad un determinato aspetto.

Il corpo documentale degli studi tecnici è quindi da intendersi come un unico testo organico, in cui ogni singolo elaborato rappresenta solo un capitolo dedicato ad un determinato aspetto.

In particolare lo studio climatologico, lo studio idraulico marittimo, lo studio idrodinamico, lo studio della dinamica della costa, lo studio della qualità delle acque e lo studio idrologico-idraulico costituiscono le tessere di un puzzle che insieme descrivono il "quadro ambientale" in cui viene inserito il progetto proposto e di cui si vogliono individuare gli impatti indotti.

2. LO STUDIO IDROLOGICO IDRAULICO

Il presente Studio Idrologico ed Idraulico è relativo ai corsi d'acqua naturali ed artificiali che sfociano all'interno del Porto Grande di Siracusa in prossimità dell'area interessata dalle opere in progetto.

L'esigenza della redazione di tale studio nasce dalla riconosciuta importanza di individuare con la maggiore esattezza possibile l'entità degli impatti di tipo idrologico-idraulico degli interventi infrastrutturali previsti.

Lo studio, quindi dovrà individuare e caratterizzare i corsi d'acqua naturali ed artificiali che hanno influenza sull'area in esame con il fine ultimo di:

- determinare le portate di piena;
- determinare gli apporti solidi;
- effettuare le verifiche idrauliche.

Infatti, i corsi d'acqua insistenti nell'area possono interessare le infrastrutture costiere per almeno tre importanti ordini di ragioni:

- Rischio da inondazioni: occorre identificare quale possa essere la capacità di portata del fiume, che, messa in relazione alla configurazione orografica ed urbana, consenta di valutare sinteticamente i rischi derivanti per i manufatti ed eventualmente per gli uomini.
- Trasporto solido: i corsi d'acqua convogliano alla foce una certa portata solida che risulta fondamentale nel bilancio dei sedimenti costieri; l'individuazione della stessa, consente di determinare meglio, negli appositi studi (cfr. studio della dinamica costiera) quali siano gli effetti sulla linea di riva e quale sia la migliore configurazione portuale, con il duplice riguardo alla mitigazione dello squilibrio indesiderato della linea di riva e dell'interrimento del bacino protetto dalle nuove opere foranee.
- Qualità delle acque del bacino recettore.

Verranno analizzati i bacini idrografici che interessano l'area in questione in quanto ricadenti all'interno del bacino del Porto Grande e in prossimità delle opere in progetto:

- il bacino del F. Anapo;
- il bacino del Canale Pantanelli;

Inoltre verranno effettuate alcune analisi e considerazioni sul bacino minore del Canale Regina e del Canale di scolo tra l'area ex."S.P.E.R.O." e la base dell'Aeronautica.

Nella figura successiva è possibile individuare il bacino del F.Anapo, segnalato in rosso, il bacino del Canale Pantanelli segnalato in verde ed il bacino del Canale Regina, segnalato in giallo.

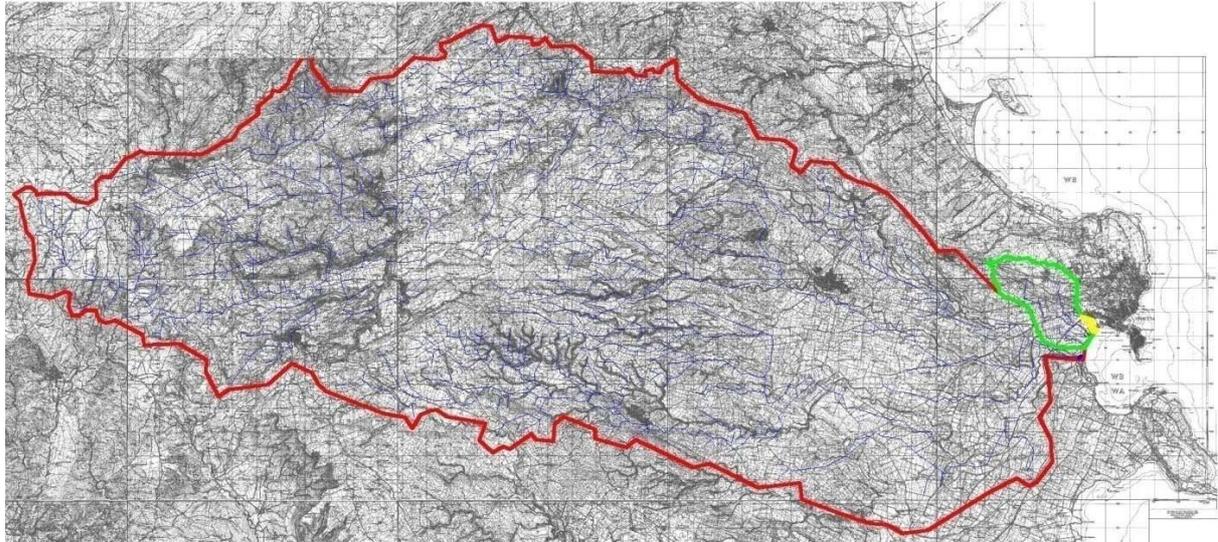


Figura 2-1 – Quadro di unione dei bacini idrografici di interesse

2.1 METODOLOGIA

Per ognuno dei bacini imbriferi di interesse sono state effettuate sia la previsione dell'onda di piena e la valutazione del rischio idrologico-idraulico, sia la stima della produzione di sedimento alla sezione fociale. In particolare per i corsi d'acqua che direttamente insistono sull'area destinata ad accogliere le infrastrutture portuali sono state condotte le verifiche idrauliche secondo le modifiche indotte dalle stesse opere in progetto.

La valutazione dell'onda di piena è stata condotta secondo i metodi da letteratura e facendo riferimento ai dati reperiti in bibliografia ed in altri studi del settore. Una lista sintetica delle attività necessarie per questa tipologia di analisi è la seguente:

- individuazione del reticolo idrografico e delimitazione della displuviale del bacino imbrifero;
- definizione del modello di precipitazione;
- definizione del modello di formazione dei deflussi;
- definizione del modello di trasferimento dei deflussi.

Il rischio idrologico-idraulico è stato valutato in riferimento ai metodi indicati nella Relazione Generale e alle analisi effettuate in seno alla stesura delle Relazioni di Bacino, costituenti il "Piano di Assetto Idrogeologico" della Regione Sicilia (di seguito indicato come P.A.I.).

Infatti a seguito delle verifiche idrauliche effettuate sui canali in prossimità delle opere in progetto sono state determinate le caratteristiche geometriche ed idrauliche degli alvei; inoltre è stato effettuato il calcolo dei profili di corrente nelle condizioni ante e post operam, tramite l'ausilio di modello matematico monodimensionale adatto (HEC-RAS); infine è stato effettuato il controllo sull'entità dei tiranti idrici e le aree limitrofe inondate per la stima della capacità di convogliamento e del rischio idraulico.

Il trasporto solido dei corsi d'acqua è stato determinato seguendo i principi della USLE (Universal Soil Loss Equation) e con l'applicazione del metodo SEDD (SEdiment Delivery Distributed model) a seguito della determinazione delle unità elementari e dell'individuazione dei più idonei indici e fattori di caratterizzazione locale. Preliminarmente, per ogni bacino idrografico sono state condotte sia la valutazione dell'onda di piena, delle verifiche idrauliche e del rischio idraulico sia la valutazione del trasporto solido.

3. INQUADRAMENTO GENERALE

3.1.1 CLIMATOLOGIA

Gli aspetti climatologici sono stati trattati nell'apposito studio (cfr. elaborato B.1.SC "Studio Climatologico").

In questo paragrafo per la determinazione del clima dell'area si è fatto riferimento ai dati riportati in seno alla Relazione di Bacino del Fiume Anapo, facente parte del corpo documentale del P.A.I.

All'interno dell'area del bacino ricadono alcune stazioni di tipo pluviometrico e termometrico.

Di seguito si riporta l'elenco delle stazioni presenti nell'area.

Stazione	Tipo di apparecchio	Quota sul mare (m)	Altezza dell'apparecchio sul suolo (m)	Anno di inizio delle osservazioni
Ferla	Pluviometro registratore	557	9	1924
Florida	Pluviometro registratore	111	18	1928
Palazzolo Acreide	Pluviometro registratore	695	9	1906
Sortino	Termometro e Pluviometro registratore	435	19	1881

Tabella 3.1 – Elenco delle stazioni di misura presenti nell'area

Per quanto riguarda il regime termico, la stazione di riferimento è quella di Sortino (SR) in funzione dal 1881.

Di seguito si riporta il grafico dell'andamento temporale delle temperature medie mensili rilevate nel periodo 1989-1996.

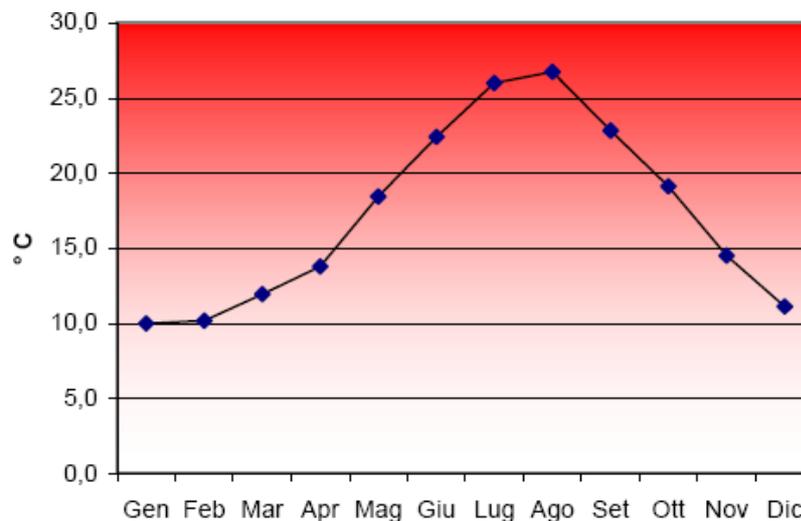


Figura 3.2 – Andamento della temperatura media annua

Per quanto riguarda il regime pluviometrico, nella seguente tabella sono stati riportati dati delle precipitazioni medie mensili, registrate dalle stazioni pluviometriche presenti nell'area, in riferimento al periodo 1929-1996.

Stazione	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Florida	118	69	73	34	24	9	5	14	54	113	106	135	754
Ferla	130	98	82	50	35	17	10	19	47	97	99	127	810
Palazzolo A.	114	74	70	44	29	13	10	23	49	104	89	112	732
Sortino	140	91	90	47	32	12	8	15	55	139	118	147	894
Valori medi	126	83	79	44	30	13	8	18	51	113	103	130	798

Tabella 3.3 – precipitazioni medie mensili registrate.

Nella seguente immagine invece si riporta l'andamento pluviometrico medio annuale che caratterizza il bacino del F.Anapo.

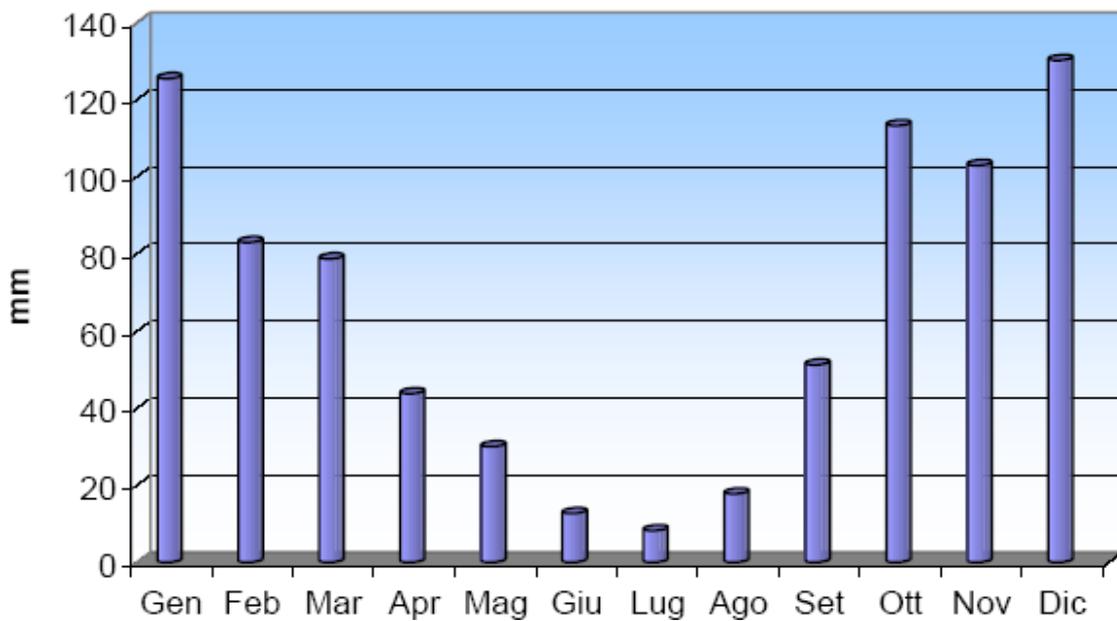


Figura 3.4 – Andamento medio annuo della precipitazione media annua.

Da dati termo-pluviometrici riportati, si desume un regime spiccatamente di tipo mediterraneo, caratterizzato da un semestre primavera-estate con temperature medio alte e i livelli di piovosità minori; e da un semestre autunno-inverno con temperature medio basse e livelli di piovosità maggiori.

Il picco di piovosità media si concentra tra dicembre e gennaio (125-130 mm); il minimo di piovosità media si localizza a luglio (8 mm).

Le temperature medie invece variano tra i 10-11°C (dicembre – gennaio) e il 25-28 °C (luglio-agosto).

3.1.2 IDROGEOLOGIA

L'area in esame è ubicata sul margine sud-orientale dell'Altipiano Ibleo.

Quest'ultimo considerato come un'area di avampaese stabile, si presenta come un altipiano calcareo allungato in direzione NE-SW, delimitato ad ovest dall'avanfossa Catania – Gela, con orientamento NE-SO, e ad Est dalla scarpata ibleo - maltese che marca il bacino ionico con trend di faglie orientate NNW - SSE.

La parte centrale di tale settore è interessata e delimitata dal sistema di faglie Comiso, Chiaramonte e Pedagaggi, con orientamento NE-SW e da sistemi minori che, secondo trend coniugati NW – SE ed E – W, individuano bassipiani secondari e strutture a gradinate.

La sismicità del settore Ibleo, in particolare della zona orientale, è caratterizzata da una serie di eventi a magnitudo elevata distribuiti in lunghi periodi di tempo, intercalati a un numero molto maggiore di eventi sismici a magnitudo media abbastanza frequenti anche in tempi recenti.

Nell'area in studio, come del resto in tutto il settore Sudorientale ibleo, si osserva una notevole corrispondenza tra le superfici morfologiche e strutturali, il che facilita il riconoscimento sul terreno delle linee di faglia, i cui piani sono sempre verticali o quasi e con intersezioni con il piano campagna di tipo rettilineo.

Le principali direzioni di faglia per l'area in esame permettono di distinguere due diverse direttrici: la prima con direzione WNW - ESE e la seconda ENE - SSW. La maggior parte delle faglie disloca porzioni della stessa formazione, per cui nella quasi totalità dei casi l'ubicazione è possibile grazie alle evidenze geomorfologiche.

Per quanto riguarda le caratteristiche geologiche del bacino in esame si riporta l'estratto della carta litologica scala 1:10000 redatta in seno alla stesura del Piano di Bacino dell'Anapo all'interno del P.A.I. (A.R.T.A. della Regione Sicilia – 2003).

Dal basso verso l'alto si susseguono le seguenti successioni litologiche:

- Calcareniti e calciruditi a banchi
- Vulcanoclastiti e lave
- Calcari a lumachelle;
- Marne grigio-azzurre,
- Alternanza calcareo-marnosa "nodulare" e Calcareniti bianco-giallastre
- Vulcaniti basiche submarine
- Depositi marino-continentali "Calcareniti, Conglomerati e Travertini",
- Sabbie gialle e calcareniti organogene "Panchina", conglomerati e ghiaie poligeniche, costituenti terrazzi marini Alluvioni terrazzate, costituite da ghiaie, sabbie e limi e terrazzi di vario ordine,
- Alluvioni recenti terrazzate ed attuali,
- Sabbie e detriti, depositi di spiaggia

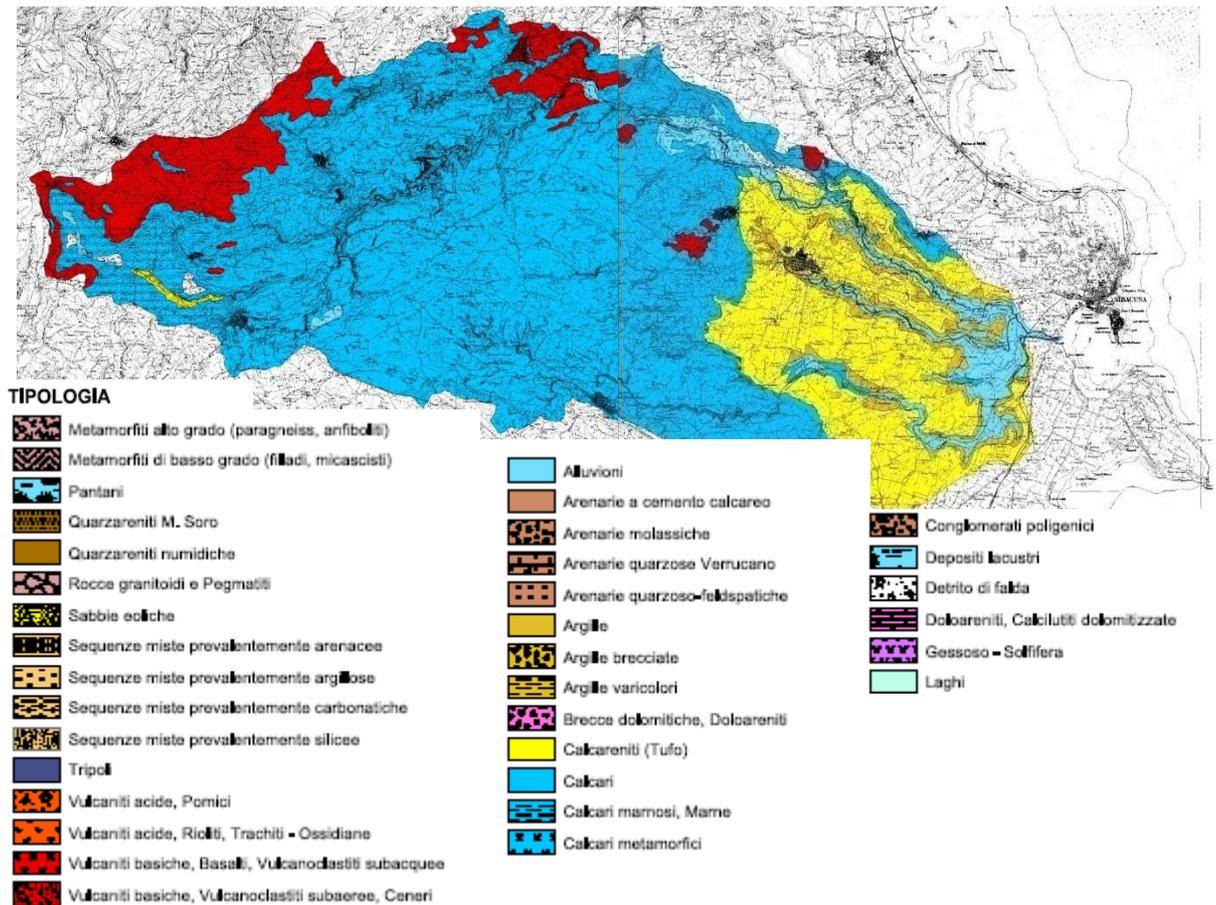


Figura 3.5 – Stralcio della carta litologica allegata al PAI.

Per ulteriori chiarimenti sulle caratteristiche geologiche si rimanda all’elaborato “studio geologico”, facente parte de

Le condizioni di permeabilità delle specie litologiche presenti nell’ area sono diverse sia in relazione alla varietà dei termini costituenti la successione stratigrafica, sia alla frequente variabilità degli aspetti litologici e strutturali riscontrabili all’interno delle singole formazioni che compongono tale successione.

E’ stata fatta una classificazione delle varie formazioni litologiche affioranti nella zona, associando ad ognuna di esse un grado di permeabilità:

- Terreni impermeabili;
- Terreni a permeabilità bassa;
- Terreni a permeabilità media;
- Terreni a permeabilità medio-alta;
- Terreni a permeabilità alta;

I Terreni a permeabilità molto bassa ($10^{-7} < k < 10^{-6}$ cm/s), sono le Argille grigio-azzurre I Terreni a permeabilità bassa ($10^{-6} < k < 10^{-5}$ cm/s) sono state ascritte le Mame.

I Terreni a permeabilità media ($10^{-4} < k < 10^{-3}$ cm/s).sono i calcari grigi a grana fine e i calcari marnosi teneri, i depositi alluvionali recenti, attuali e terrazzati. Si osserva che la permeabilità è funzione della tipologia di grana del materiale.

I Terreni a permeabilità medio-alta ($10^{-3} < k < 10^{-2}$ cm/s) sono le Calcareniti del Pleistocene inf., le superfici terrazzate, le calcareniti grossolane e le intercalazioni di grosse lenti di breccie vulcano-clastiche. In questi casi la permeabilità si esplica essenzialmente per porosità ed in subordine per fatturazione.

Terreni a permeabilità alta ($10^{-2} < k < 1$ cm/s) Sono tutti i termini calcarei, calcarenitici e calciruditici medio-miocenici della piattaforma iblea, laddove i movimenti idrici sotterranei avvengono sia per porosità che, principalmente, per fratturazione, specie in corrispondenza delle numerose discontinuità strutturali presenti. La libera circolazione delle acque è altresì favorita dalla rete carsica sotterranea; il movimento avviene prevalentemente in senso verticale nella zona di aerazione ed in senso orizzontale nella zona di saturazione.

3.1.3 GEOMORFOLOGIA

Il territorio si presenta suddiviso in due zone principali.

La prima è di tipo collinare, all'interno dell'altopiano ibleo (altitudine media di 500 m s.l.m.) profondamente incisa dai corsi d'acqua che creano un paesaggio accidentato.

Queste incisioni a "V" sono tipiche dei tratti montano-collinari costituiti da un substrato di tipo calcareo; queste gole, canyons, sono molto profondi; nell'area sono denominati spesso per la loro aspra morfologia "cave"; il fondo è percorso raramente da acqua ed è spesso asciutto.

La seconda è rappresentata dalla parte pedemontana, dalla fascia costiera e dal suo immediato entroterra, con un andamento morfologico sub-pianeggiante che si raccorda più o meno all'altipiano.

Essa è costituita da depositi alluvionali recenti e da sedimenti; essi sono resti di pianure alluvionali o piani di erosione laterale delimitate da scarpate, disposti a diversi livelli al fianco di un corso d'acqua.

Tra queste due zone vi è uno stacco netto, evidenziato da una serie di scarpate.

Nella porzione centrale del bacino le pendenze variano nel range 35%-10%; lungo i versanti delle gole incise la pendenza è maggiore del 35%.

Le aree a debole pendenza (<10%) sono individuabili nella porzione costiera e nell'immediato entroterra, ovvero in corrispondenza delle porzioni culminanti dell'altipiano.

I tratti montani degli alvei sono prevalentemente a fondo fisso, a pendenza elevata, non di grandi dimensioni, impostato in rocce competenti e privo di sedimenti e con erosione più o meno accentuata.

Andando verso valle, per la diminuzione di pendenza e la conseguente diminuzione di velocità, l'alveo dei vari torrenti si trasforma a fondo mobile, con conseguente deposizione di sedimenti, costituiti principalmente da elementi vulcanici e calcarenitici.

L'assetto morfologico del bacino non è altro che il frutto dei due agenti fisici principali che sono:

- la forza di gravità
- l'azione delle acque dilavanti

La forza di gravità esercita sui versanti, che hanno una determinata pendenza, un'azione potenzialmente continua che può essere aggravata o accelerata dalle condizioni climatiche, da fenomeni di intensa erosione e dalle opere dell'uomo.

Inoltre in presenza di eventi sismici (si ricorda che l'area è soggetta a fenomeni sismici tra cui va ricordato quello del 1693 che ha cancellato il vecchio abitato di Noto) i fenomeni di erosione gravitativa possono essere innescati o accelerati repentinamente anche in quelle aree oggi apparentemente stabili.

Bisogna ricordare comunque l'intensa opera di terrazzamento creata dall'uomo nei secoli lungo i fianchi delle numerose cave e valloni presenti nell'area. Tale opera ha contrastato e

contrastata ancora oggi i fenomeni di intensa erosione aumentando la stabilità dei versanti, che per l'elevata pendenza risultano maggiormente soggetti alle forme di intensa erosione.

Le scarpate sono spesso interessate da distacco di massi o detrito: i materiali detritici precipitano per gravità ai piedi dei versanti disponendosi in depositi più o meno acclivi, con un angolo uguale alla pendenza di accumulo propria del materiale.

L'azione delle acque è un'importante causa del modellamento della superficie terrestre.

I corsi d'acqua sono un mezzo di mobilizzazione, cioè di erosione, trasporto e sedimentazione di imponenti quantità di materiali.

Il lavoro di modellamento di un alveo fluviale si ha durante i periodi di piena, per le grandi quantità di materiali che le acque erodono dai versanti e dallo stesso letto fluviale depositandoli a fondo valle o in mare.

L'azione delle acque incanalate si riduce fortemente durante i periodi di magra.

Le forme che ne derivano sono condizionate da diversi fattori che sono il regime pluviometrico, la litologia del substrato su cui fluisce l'acqua, la tettonica.

L'azione del trasporto dei materiali erosi può esplicarsi in diversi modi:

- trasporto in sospensione (coinvolge i materiali pelitici);
- trasporto per trascinamento sul fondo (con rotolamento o trascinamento sul fondo dei ciottoli);
- trasporto in soluzione (dissoluzione chimica di materiali con cui l'acqua viene in contatto);
- trasporto per fluitazione (materiali che galleggiano).

Quando un corso d'acqua perde velocità, in prossimità del suo livello di base, l'energia cinetica diminuisce ed è quindi inferiore a quella necessaria per vincere gli attriti ed assicurare il trasporto del carico solido. In tal caso, il corso d'acqua deposita una buona parte del suo carico solido ed avviene la sedimentazione; da qui la formazione dei depositi alluvionali da sedimenti; essi sono resti di pianure alluvionali o piani di erosione laterale delimitate da scarpate, disposti a diversi livelli al fianco di un corso d'acqua.

3.1.4 USO DEL SUOLO

Di seguito si riportano la carta dell'uso del suolo redatta per il bacino dell'Anapo in seno alla stesura del P.A.I (2003), il particolare della carta dell'uso suolo per l'area del Porto Grande, redatta dall'A.R.T.A (1995) e l'istogramma per la stima delle percentuali di uso del suolo per l'intero bacino.

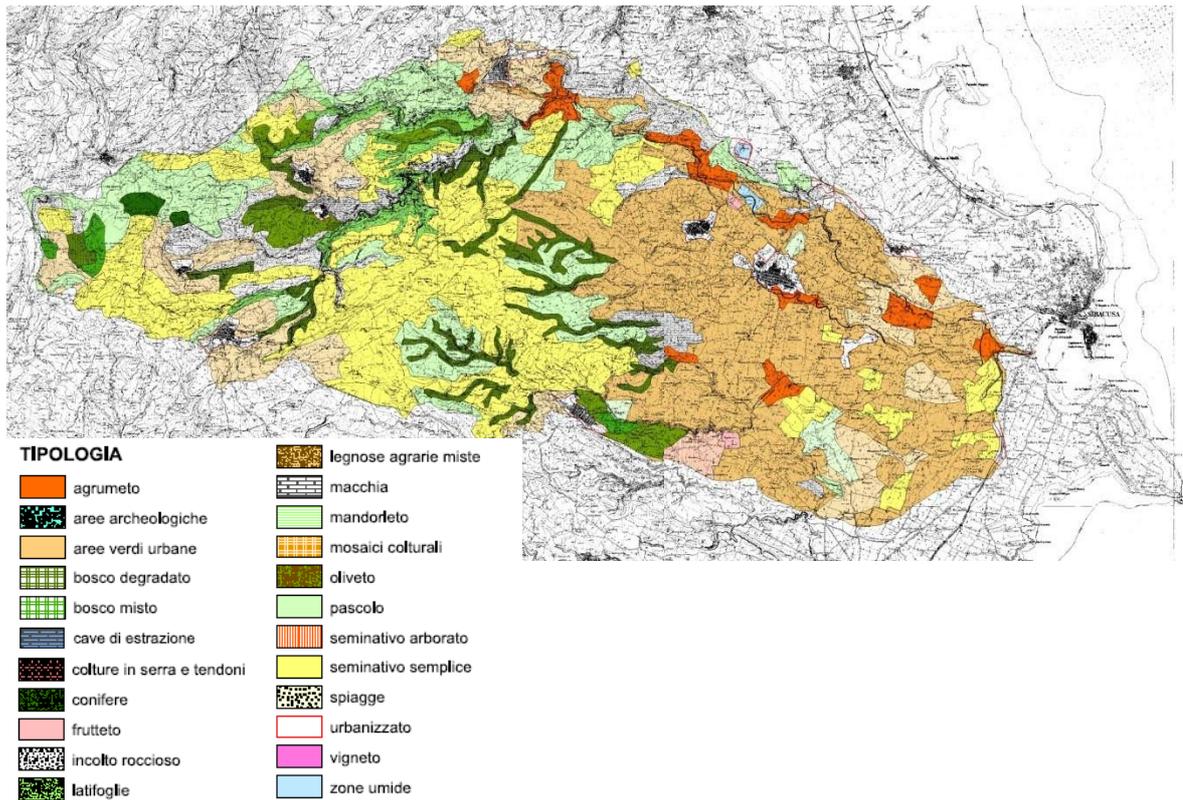


Figura 3.6 – Stralcio della carta dell'uso suolo allegata al PAI (2003).

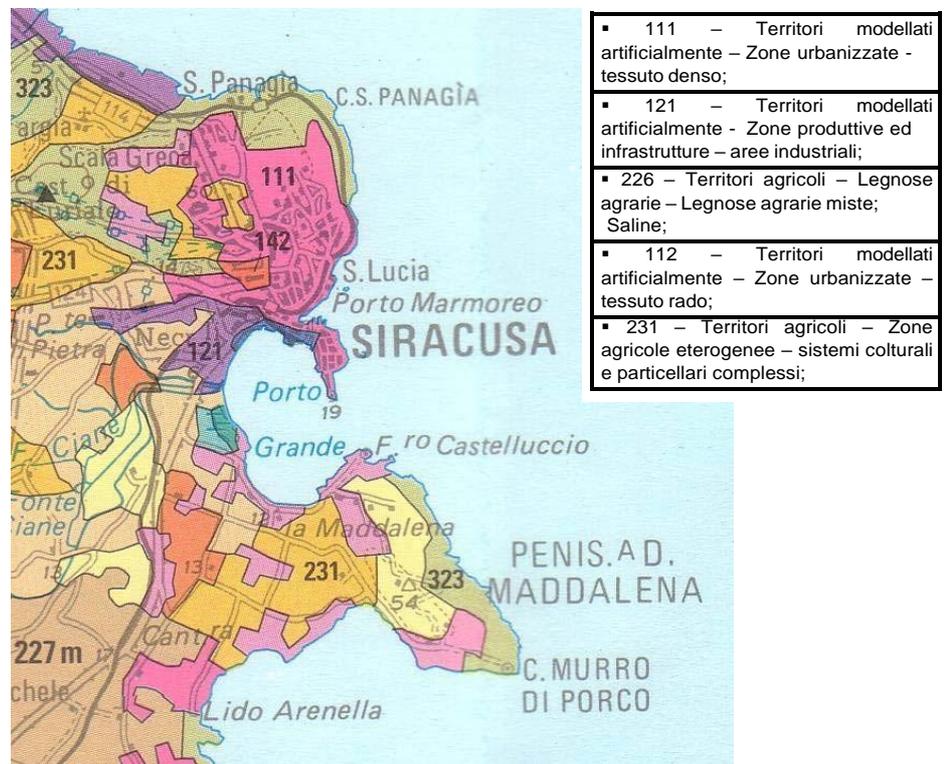


Figura 3.7 – Stralcio della carta dell'uso suolo, per l'area compresa tra C.S. Panagie e C. Murro di Porco, redatta dall'A.R.T.A. (1995).

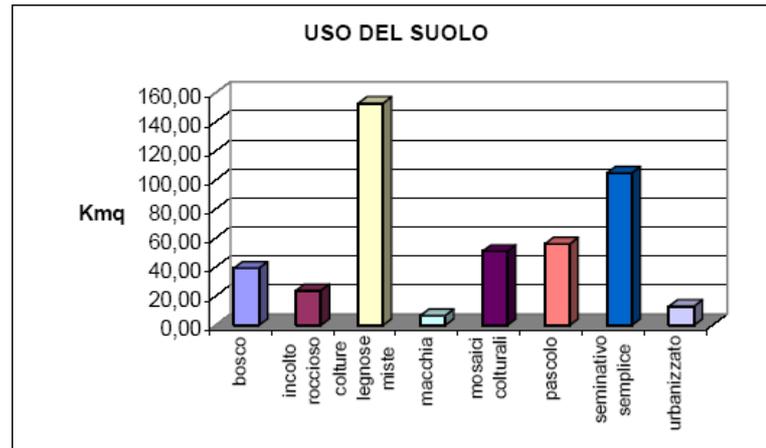


Figura 3.8 – distribuzione percentuale delle classi di uso suolo per il territorio ricadente all'interno del bacino del fiume Anapo. Immagine estratta dalla relazione del bacino del F.Anapo – P.A.I. (2003)

Le zone urbanizzate sia di tessuto denso (centri storici urbani e zone periferiche di recente espansione) sia tessuto rado (edilizia residenziale e circondate da aree a verde, e lungo le coste) occupano un totale di 13 km².

L'area destinata a seminativo occupa un'estensione di 105 km².

L'area destinata alle colture legnose miste quali coltivazione di mandorli, ulivi e agrumi diffusi nelle zone collinari e nei terreni scoscesi, occupa circa 153 km².

L'Incolto roccioso, usato spesso per pascolo, ha un'estensione di circa 24 Km².

L'area destinata ai mosaici culturali è di circa 51 km².

L'area ricoperta dal bosco a conifere, ha un'estensione totale di questa tipologia è di circa 40 km².

L'area destinata a pascolo o su cui è presente macchia mediterranea ha un'estensione di circa 65 km².

4. IL BACINO DEL FIUME ANAPO

4.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO ED INDIVIDUAZIONE DEI SOTTOBACINI E DEL RETICOLO

L'area occupata bacino idrografico del fiume Anapo, si estende per una superficie complessiva di 450 Km² circa nella porzione centro-settentrionale dell'altipiano Ibleo, con una forma allungata, Ovest-Est, nella direzione dell'alveo principale. Esso ricade tra i territori comunali di Buccheri, Buscemi, Canicattini Bagni, Cassaro, Ferla, Floridia, Noto, Palazzolo Acreide, Priolo Gargallo, Siracusa, Solarino, Sortino.

La quota più elevata si rileva presso il m. Lauro (968 m s.l.m) dove si localizza la sorgente del fiume Anapo; l'altitudine media è di 500 m s.l.m.

L'asta principale ha uno sviluppo lineare complessivo di circa 60 Km e sfocia nel Porto Grande di Siracusa.

Tra i suoi affluenti naturali principali si enumerano il V.ne Cicalino e il T. Scandurra.

All'interno del bacino inoltra si rileva la presenza di altri due corsi d'acqua rilevanti: il F. Ciane e il F. Mammaiabica.

l'alveo di magra del fiume Anapo mostra una larghezza variabile da 1-2 m, nel tratto medio montano, mentre nel tratto vallivo raggiunge una larghezza di circa 10 m alla foce. L'alveo di piena attualmente occupato da vegetazione (canneti) e a volte anche da frutteti (agrumeti) che si spingono generalmente sino al limite dell'alveo di magra.

Lungo il corso del Fiume Anapo è stato realizzato un invaso, che raccoglie i deflussi più nordoccidentali (in questo caso montani) del bacino, tramite il dispositivo di presa S. Nicola. L'invaso artificiale, consente l'accumulo di risorse idriche per usi irrigui e di approvvigionamento ad uso civile, ha la funzione di laminare le piene a salvaguardia dei terreni a valle dello stesso.

Il fiume Ciane, di lunghezza modesta, nasce dalle sorgenti di Testa Pisima, nel Pantano di Siracusa, e scorre in questa vasta area pianeggiante in un alveo incassato la cui sezione è di pochi metri quadrati. A poco più di un chilometro dalla foce c'è l'immissione del torrente Fontana Mortella e da questo tratto in poi il corso d'acqua prosegue all'interno di un alveo delimitato da argini artificiali.

Il fiume Mammaiabica nasce dal monte Cardinale (560 m s.l.m.), nel territorio comunale di Palazzolo Acreide. Nel tratto montano il corso d'acqua viene chiamato Cava Bagni, e successivamente Cavadonna. Un affluente principale in sinistra idraulica è il torrente Cava Monasteri. Il tratto vallivo è arginato artificialmente.

Si osserva che i tre corsi d'acqua appena citati, in condizioni di magra confluiscono in un unico alveo in prossimità della foce.

Il bacino è di tipo sub dendritico, cioè a forma arborescente o quasi, con un canale principale ed altri secondari a carattere torrentizio che presentano andamento parallelo al corso principale.

Il deflusso superficiale risulta, infatti, limitato sia da cause climatiche (inverni piovosi, ed estati asciutte e caratterizzate da elevate temperature, cfr. il prg. successivo) anche dalla permeabilità e dal livello di fratturazione delle formazioni affioranti, secondo le direttrici tettoniche principali.

Di seguito si riporta lo schema grafico relativo all'estrazione del reticolo idrografico e relativo suddivisione in bacini e in sottobacini dell'area interessata, ottenuta tramite l'applicazione di tecniche G.I.S. sul D.T.M. 100 x 100, (cfr. con la relazione del bacino del fiume Anapo, facente parte del P.A.I. della Regione Sicilia -2003).

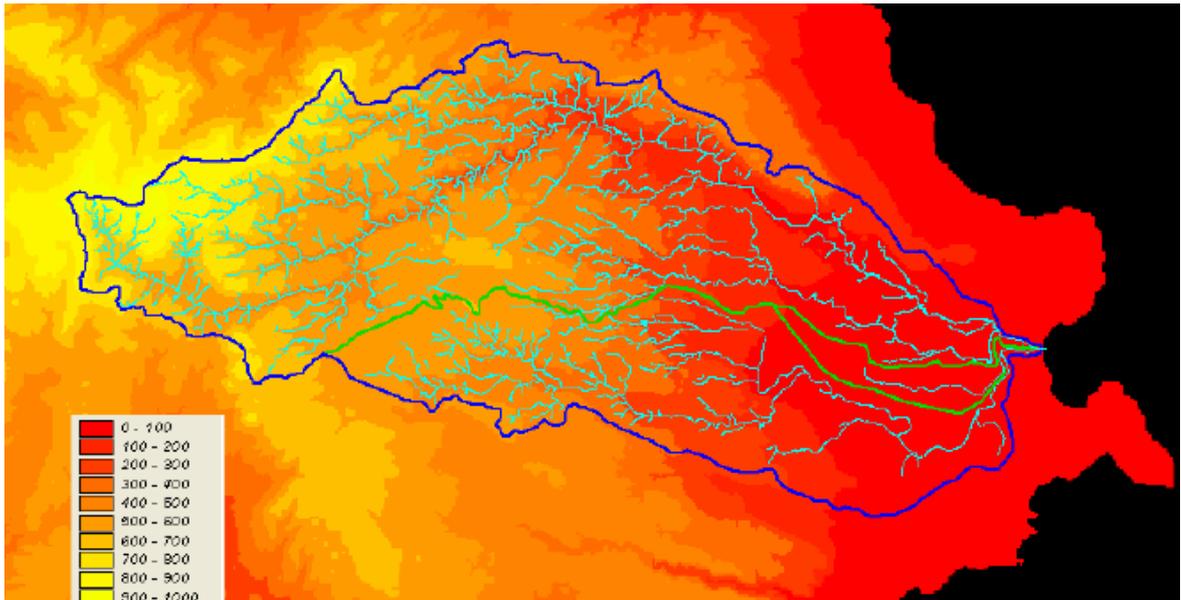


Figura 4.1 – Delimitazione del bacino del fiume Anapo, con individuazione del reticolo idrografico

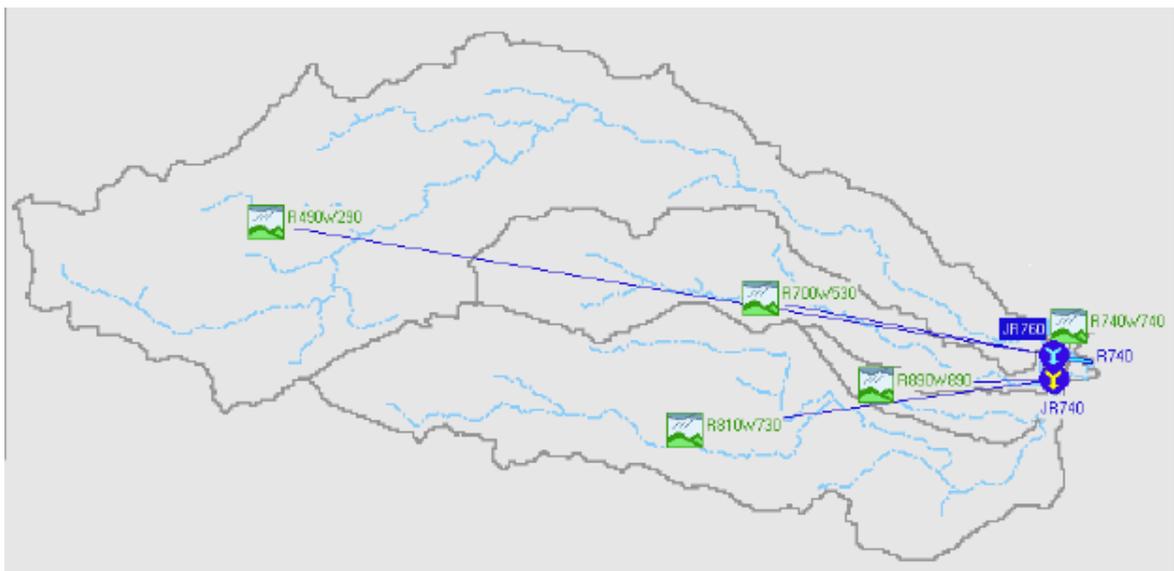


Figura 4.2 – Suddivisione in sottobacini

Il bacino idrografico del fiume Anapo, di estensione pari a circa 300 km², è stato suddiviso in tre sottobacini A (233 km²), B (65 km²), C (2km²).

Il bacino idrografico del fiume Ciane ha un'estensione di circa 16 km².

Il bacino idrografico del fiume Mammaiabica ha un'estensione di circa 135 km².

4.2 MODELLAZIONE IDROLOGICA

Per questa fase si è fatto riferimento ai dati e alle elaborazioni riportate nella relazione di bacino per F. Anapo, facente parte del corpo documentale del P.A.I..

Le elaborazioni sono state effettuate tramite il modello di pubblico dominio HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) dell'Hydrologic Engineering Center dell' U.S. Army Corps of Engeneering.

Lo studio è stato effettuato per i valori del tempo di ritorno di 50, 100 e 300 anni in accordo con quanto indicato nel D.L. 180/98 e nella Circolare n. 1 dell'Assessorato Regionale Territorio ed Ambiente del 7/3/2003; inoltre ogni corso d'acqua è stato studiato singolarmente.

La metodologia utilizzata è descritta in dettaglio nella Relazione Generale del P.A.I. a cui si rimanda; tale metodologia prevede l'applicazione di tre modelli.

Il primo modello è quello della determinazione delle precipitazioni.

Il primo passo è stato quello della determinazione delle curve di probabilità pluviometrica (C.P.P.) di equazione :

$$h_{t,T} = at^n$$

in cui $h_{t,T}$ rappresenta l'altezza di pioggia di durata t e tempo di ritorno T , n ed a rappresentano dei fattori statistici che dipendono dalle serie storiche dei dati pluviometrici.

La distribuzione spaziale dei fattori a ed n è stata realizzata a scala regionale, tramite l'applicazione di un' analisi spaziale di tipo kriging

Per il bacino in esame sono stati estrapolati dalle mappe tematiche a scala regionale "iso- a ", e "iso- n " (cfr. tav.4,5 allegate alla relazione generale del P.A.I).

Di seguito si riportano le mappe tematiche a scala di bacino.

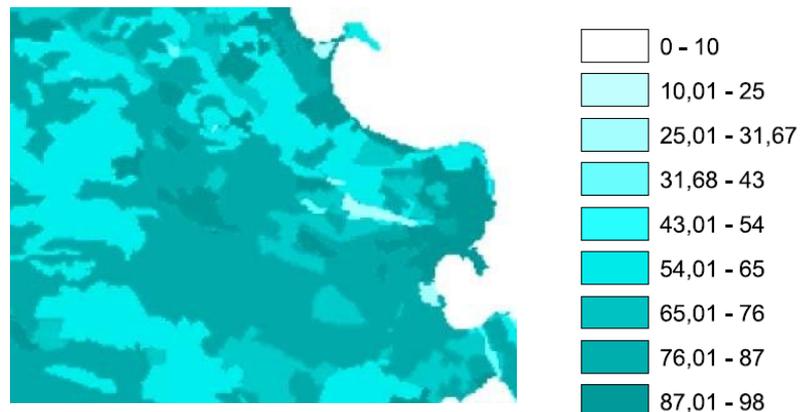


Figura 4.3– Stralcio della carta tematica delle iso CV allegata alla relazione Generale del PAI, per l'area in esame (cfr. P.A.I. della Regione Sicilia – Relazione Generale -2003)

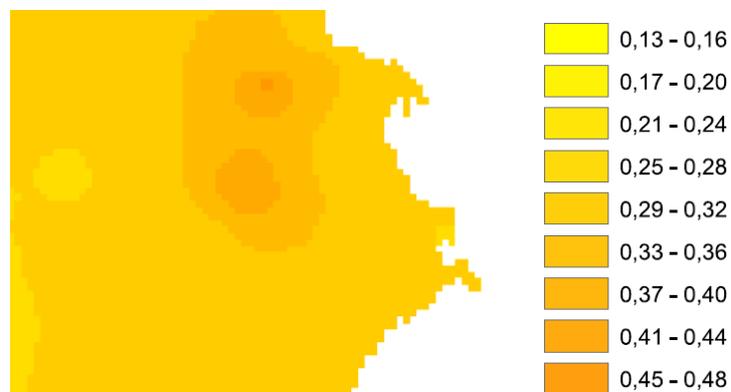


Figura 4.4– Stralcio della carta tematica delle "Iso-n" allegata alla relazione generale del PAI, per l'area in esame. (cfr. P.A.I. della Regione Sicilia – Relazione dei bacino del F.Ananpo -2003)

All'interno dell'area in esame il range di variazione del parametri sono i seguenti:

- "a" → 17.12-41.98
- "n" → 0.13-0.48

I valori medi sono:

BACINO	a	n
ANAPO	29.581	0.366
CIANE	32.768	0.312
MAMMAIABICA	30.853	0.343

Tabella 4.5 – Valori caratteristici dei parametri della CPP per il bacino del fiume Anapo.

Di seguito si riportano le curve di probabilità pluviometrica (CPP), per i tre tempi di ritorno considerati per i fiumi Anapo, Ciane, Mammaiabica.

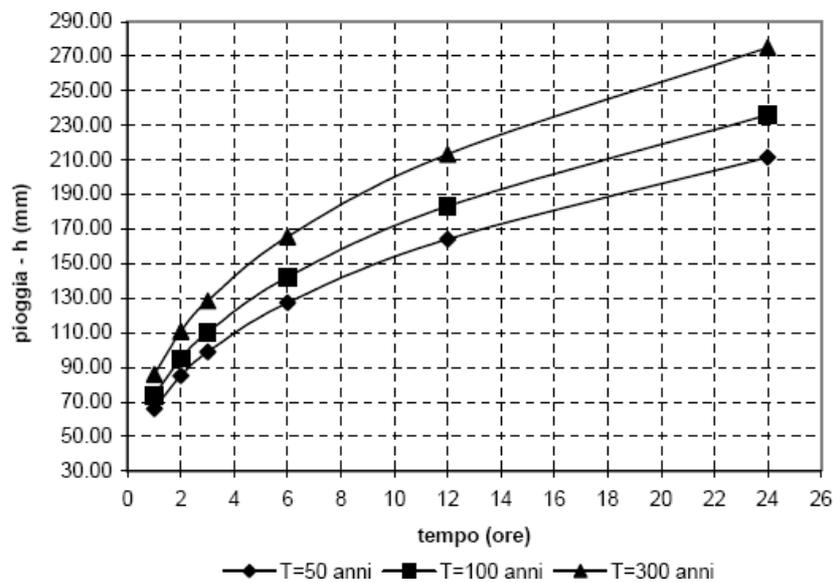


Figura 4.6 – Curve di probabilità pluviometrica per il bacino del fiume Anapo. (cfr. P.A.I. della Regione Sicilia – Relazione del bacino del F. Anapo -2003)

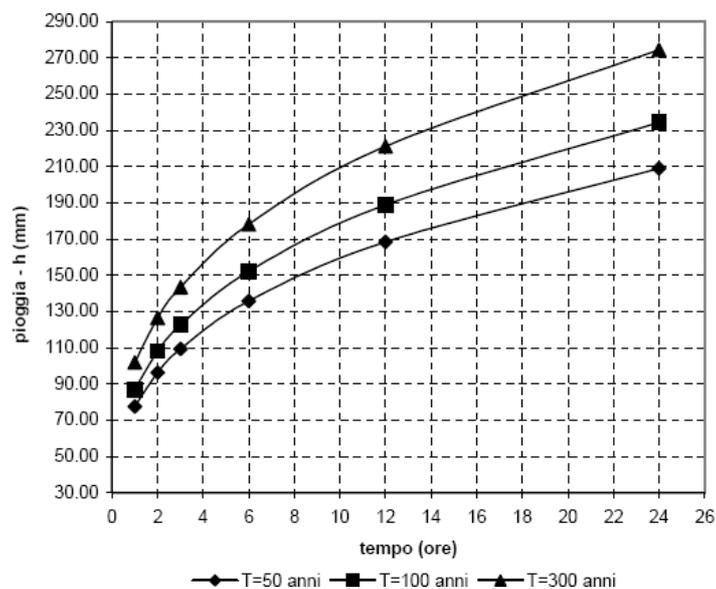


Figura 4.7 – Curve di probabilità pluviometrica per il bacino del fiume Ciane. (cfr. P.A.I. della Regione Sicilia – Relazione del bacino del F. Anapo -2003)

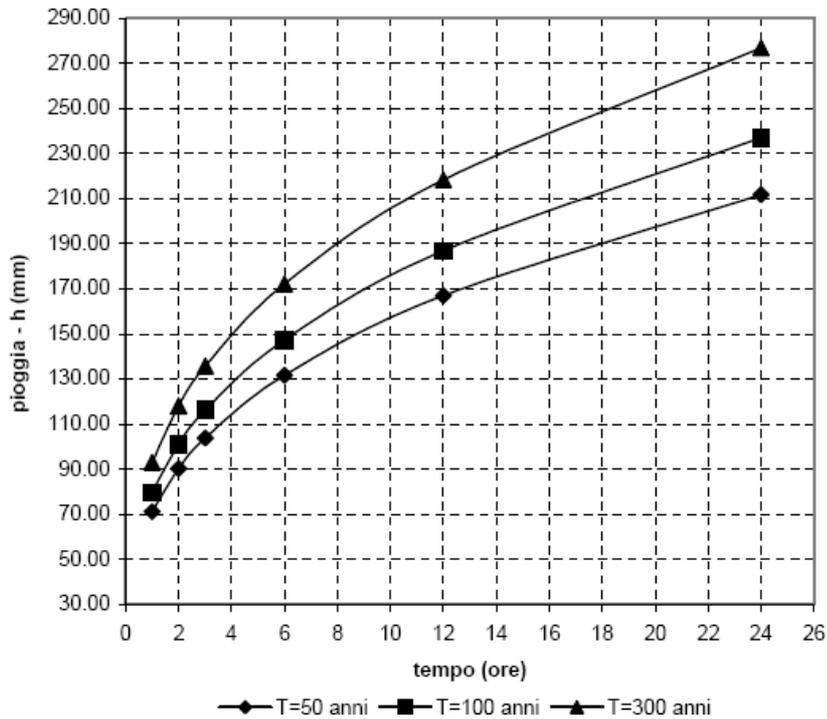


Figura 4.8 – Curve di probabilità pluviometrica per il bacino del fiume Mammaiabica (cfr. P.A.I. della Regione Sicilia – Relazione del bacino del F. Anapo -2003)

Il secondo modello è quello della determinazione dei deflussi.

Infatti è stato possibile, a partire dalle CPP, costruire gli ietogrammi lordi per i tre tempi di ritorno considerati. In particolare si è ipotizzato uno ietogramma centrato ed una durata critica pari a 6 ore.

Per la determinazione del deflusso superficiale è stato utilizzato il metodo SCS-Curve Number.

Il CN è un parametro adimensionale che è funzione delle caratteristiche di uso suolo e permeabilità del terreno, tale parametro viene utilizzato per determinare l'aliquota di afflusso idrico meteorico che si trasforma in deflusso (per maggiori chiarimenti si rimanda alla relazione generale del P.A.I. della Regione Sicilia)

I valori medi areali di CN, relativi ad ogni sottobacino principale, sono stati ottenuti utilizzando la distribuzione regionale (Maltese - 2003).

Di seguito si riporta la relativa mappa tematica.

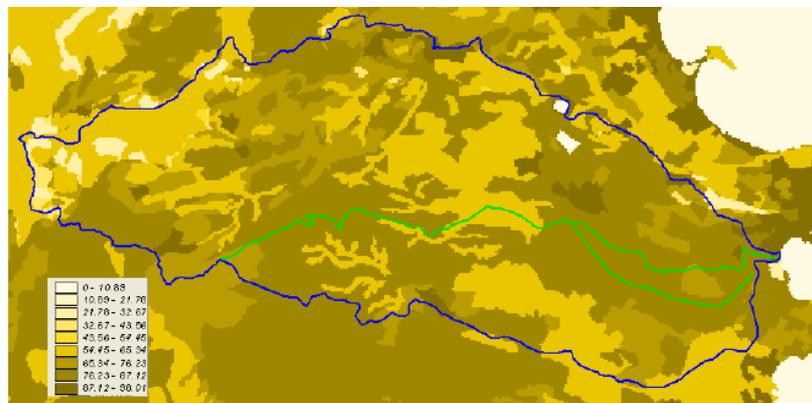


Figura 4.9 – Distribuzione areale del CN per il bacino del Fiume Anapo. (cfr. P.A.I. della Regione Sicilia – Relazione del bacino del F. Anapo -2003)

I valori di CN variano tra 0 e 98.

Di seguito si riportano il prospetto riepilogativo per la distribuzione del Curve Number.

BACINO	CN
ANAPO - SOTTOBACINO A	70,22
ANAPO - SOTTOBACINO B	73,41
ANAPO - SOTTOBACINO C	83,86
CIANE	79,28
MAMMAIABICA	73,38

Tabella 4.10 – Prospetto riepilogativo del CN

Il terzo modello applicato è quello di trasferimento dei deflussi alla foce.

Si osserva che il calcolo degli idrogrammi di piena è stato effettuato con il metodo della corrivazione per le diverse sezioni di chiusura dei sottobacini in cui è stato suddiviso il bacino idrografico principale.

Ipotizzando, infatti, una velocità di scorrimento superficiale pari ad 1 m/s è stato possibile determinare dapprima la carta delle isocorrive, ricavare quindi le curva aree-tempi e calcolare infine i tempi di corrivazione t_c ; di seguito si riporta la tabella riepilogativa.

BACINO	t_c (h)
ANAPO - SOTTOBACINO A	11
ANAPO - SOTTOBACINO B	5
ANAPO - SOTTOBACINO C	1
CIANE	2
MAMMAIABICA	7

Tabella 4.11 – Prospetto riepilogativo dei tempi di corrivazione

Il calcolo dell'idrogramma uscente attraverso la sezione di chiusura del generico sottobacino è stato effettuato utilizzando il modulo User Specified Unit Hydrograph del modello HEC-HMS (cfr. la relazione generale del P.A.I.).

Di seguito si riportano sia gli idrogrammi sintetici che gli idrogrammi per ogni sottobacino individuato.

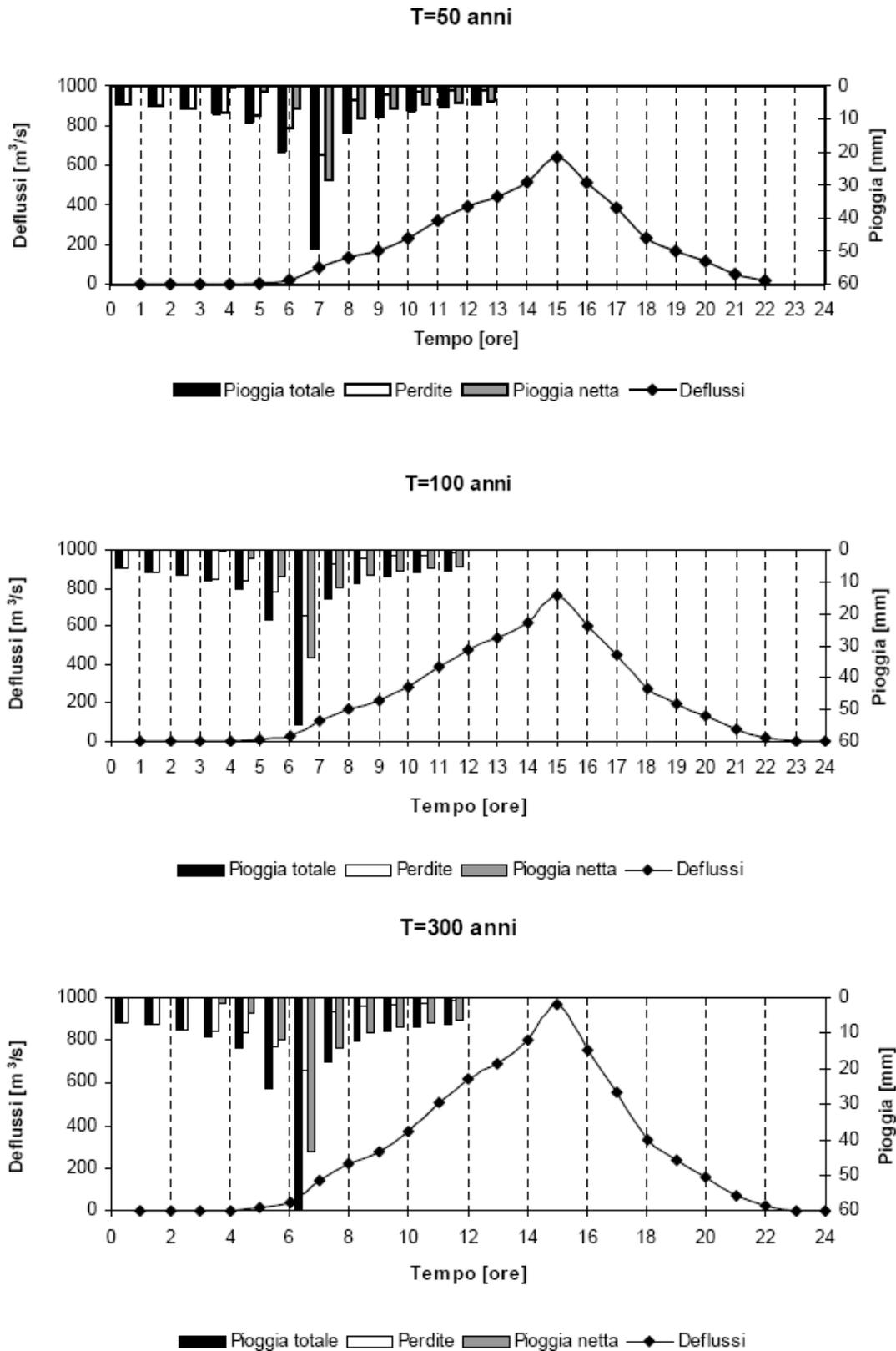


Figura 4.12 – Ietogrammi sintetici e idrogrammi per il sottobacino 1 del Fiume Anapo

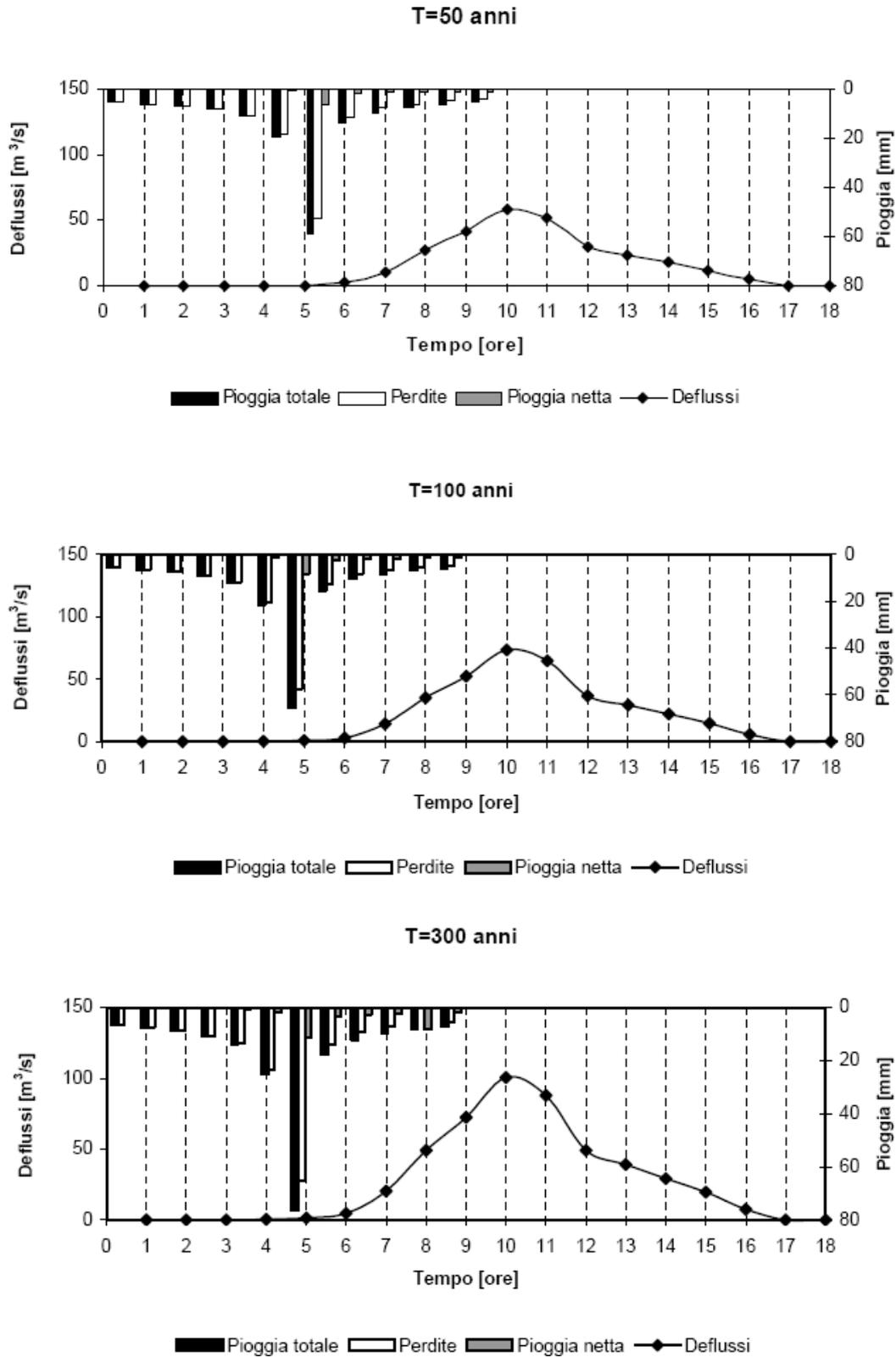


Figura 4.13 – Ietogrammi sintetici e idrogrammi per il sottobacino 2 del Fiume Anapo

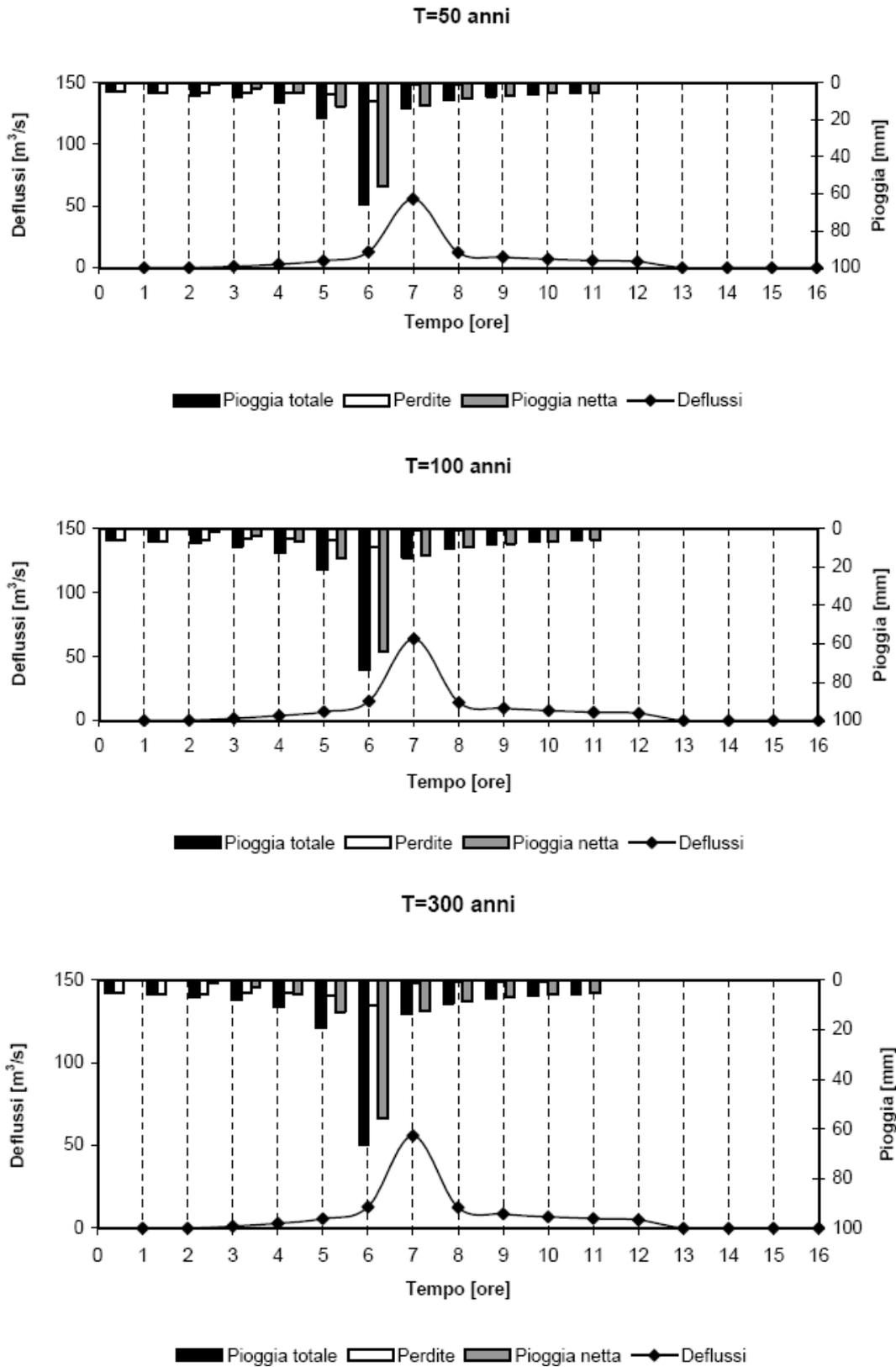


Figura 4.14 – Ietogrammi sintetici e idrogrammi per il sottobacino 3 del Fiume Anapo

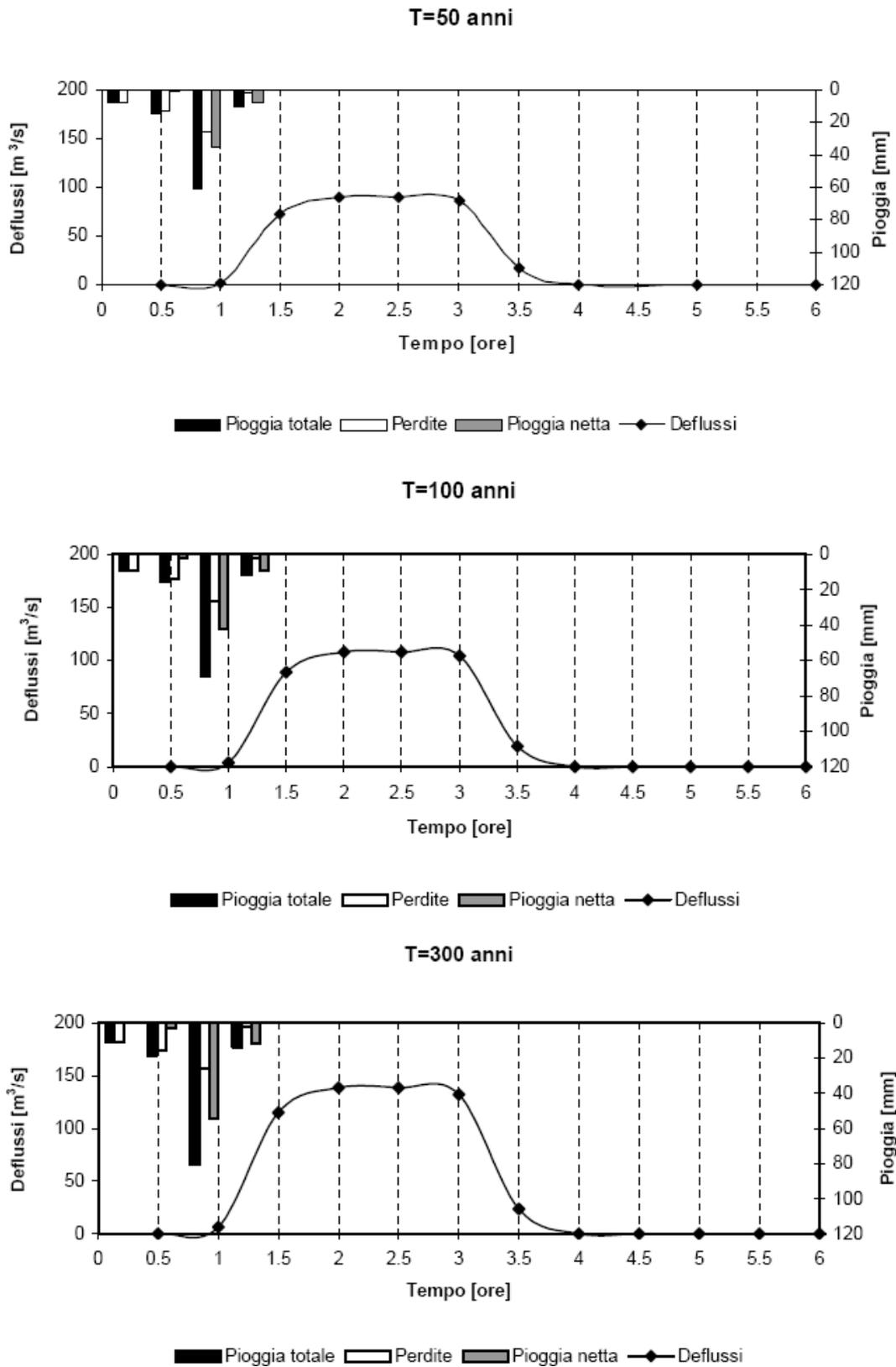


Figura 4.15 – Ietogrammi sintetici e idrogrammi per la Fiume Ciane

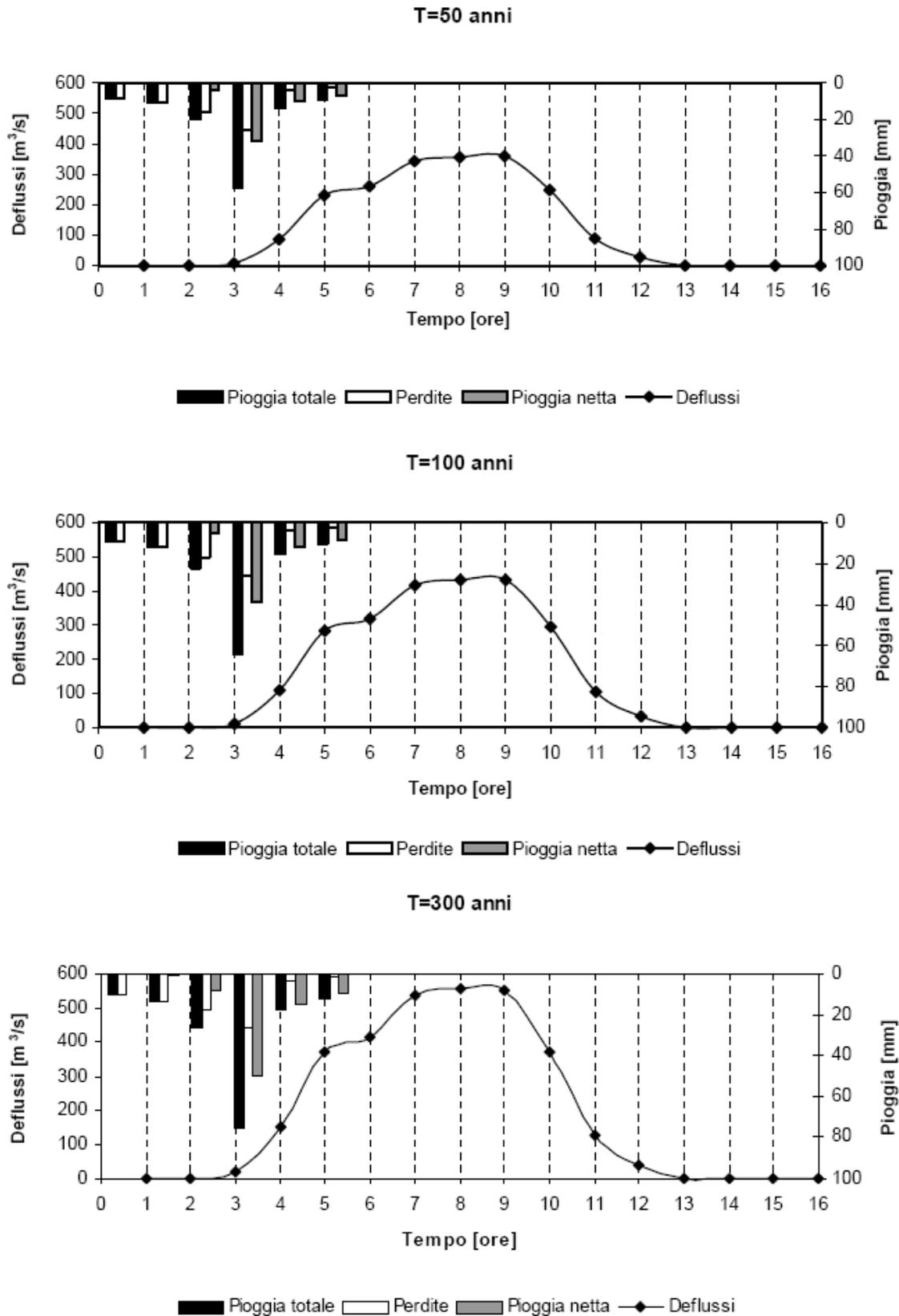


Figura 4.16 – Ietogrammi sintetici e idrogrammi per il Fiume Mammaibica

Il calcolo dell'onda di piena risultante nella sezione di chiusura del bacino principale è stato effettuato utilizzando il modulo Routing Method Lag di HEC-HMS ipotizzando i sottobacini collegati tramite canali lineari ed una semplice traslazione dell'onda di piena.

Il tempo di ritardo di ciascun canale è stato calcolato in funzione delle caratteristiche idrauliche del corso d'acqua (lunghezza, pendenza, scabrezza, velocità).

Di seguito si riportano gli idrogrammi di piena alla sezione di chiusura per ogni corso d'acqua.

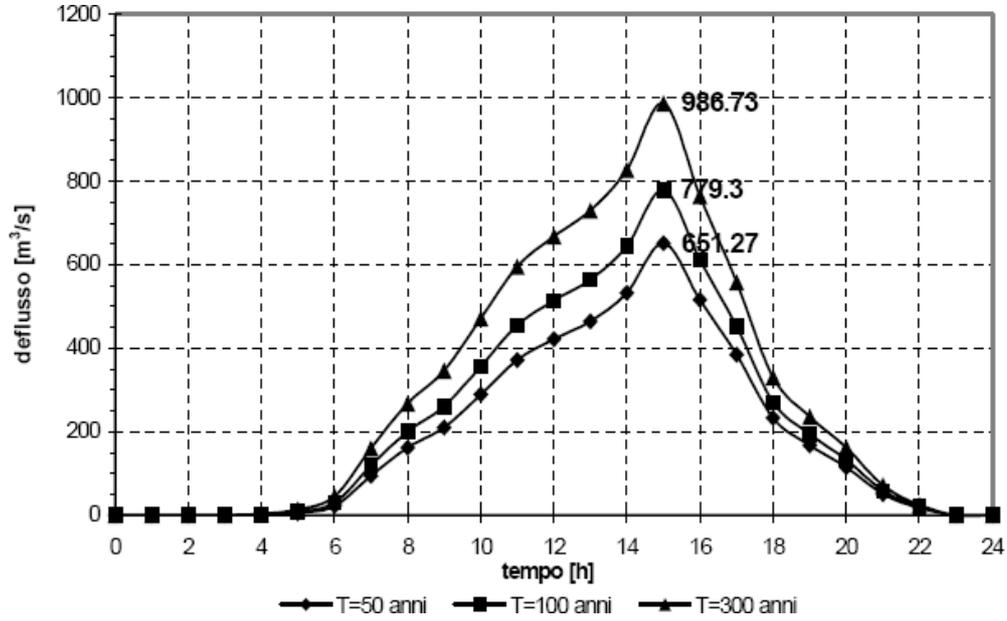


Figura 4.17 – Idrogrammi di piena per la Fiume Anapo

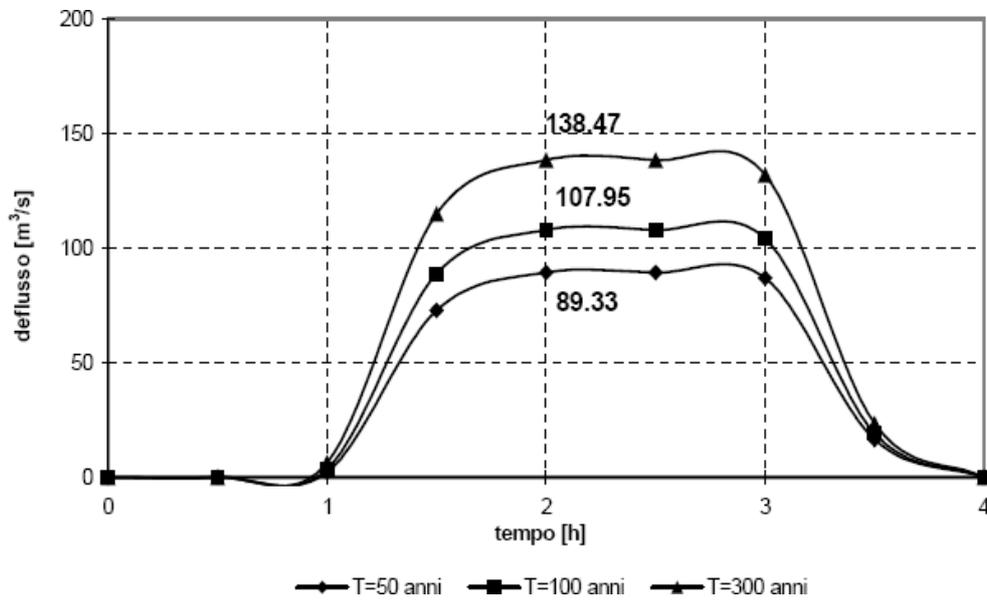


Figura 4.18 – Idrogrammi di piena per il Fiume Ciane

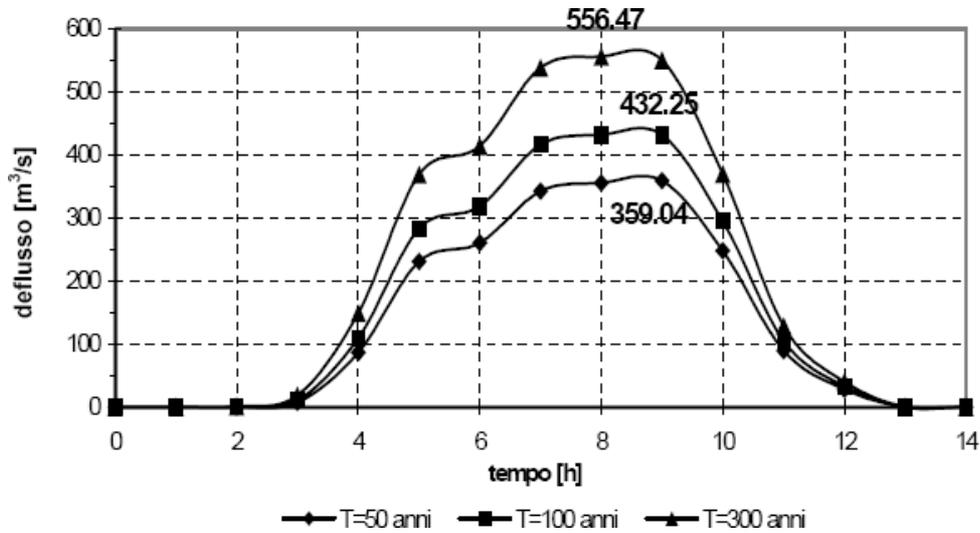


Figura 4.19 – Idrogrammi di piena per il Fiume Mammaibica

Di seguito si riportano i valori delle portate di picco registrate.

BACINO	$Q_{T=50 \text{ anni}} \text{ (m/s)}$	$Q_{T=100 \text{ anni}} \text{ (m/s)}$	$Q_{T=300 \text{ anni}} \text{ (m/s)}$
ANAPO	651,30	779,30	986,73
CIANE	89,33	107,95	138,47
MAMMAIABICA	359,04	432,25	556,47

Tabella 4.20 – Prospetto riepilogativo delle portate di picco per i tre corsi d'acqua analizzati.

4.3 MODELLAZIONE IDRAULICA

La modellazione idraulica di ogni corso d'acqua durante la redazione del P.A.I., è stata effettuata utilizzando il codice di calcolo monodimensionale HEC-RAS. In particolare, sono stati implementati tutti i dati relativi alle caratteristiche fisiche, geometriche ed idrauliche di ogni corso d'acqua.

Tali dati derivano da analisi cartografica (CTR 1:10000 e CTC SR 1:2000) e territoriale e a (rilievi in situ effettuati).

Le analisi condotte hanno permesso di verificare la sufficienza idraulica dei corsi d'acqua.

In particolare sono stati fissati i coefficienti di scabrezza alla Manning.

Per il fiume Anapo il range di variazione è compreso tra 0.05 e 0.10 $\text{m}^{1/3}\text{s}$.

Per il fiume Ciane il range di variazione è compreso tra 0.35 e 0.12 $\text{m}^{1/3}\text{s}$.

Per il fiume Mammaibica il range di variazione è compreso tra 0.35 e 0.10 $\text{m}^{1/3}\text{s}$.

Inoltre dall'analisi cartografica e territoriale effettuata sono stati rilevati la presenza di alcuni manufatti quali attraversamenti, arginature, soglie di fondo, opere di difesa spondale.

La geometria e le caratteristiche idrauliche di tali manufatti sono state rilevate ed implementate nel SW.

Le verifiche idrauliche sono state relative ai tratti vallivi del fiume Anapo (ultimi 5 km) e del suo affluente Scandurra (ultimi 2,5 Km), nonché dei fiumi Ciane e Mammaiabica.

Il modello monodimensionale HEC-RAS è stato applicato nell'ipotesi di regime di moto permanente e corrente mista (altezza critica della corrente alla foce e altezza di moto uniforme a monte).

Le verifiche idrauliche condotte hanno permesso la redazione delle Carte di Rischio per il bacino del F. Anapo, allegate al P.A.I. (cfr. paragrafo successivo).

4.4 ANALISI DEL RISCHIO

Per la valutazione del rischio idraulico si è fatto riferimento alla "metodologia semplificata" (cfr relazione generale P.A.I.), di seguito descritta.

La pericolosità idraulica P è stata identificata solo in funzione del tempo di ritorno in modo inversamente proporzionale, secondo il seguente schema associativo:

T (anni)	P
50	P3 (alta)
100	P2 (moderata)
300	P1 (bassa)

Tabella 4.21- tabella di sintesi delle categorie di rischio in funzione del tempo di ritorno

In particolare, per l'individuazione delle aree inondate si è fatto riferimento alle quote del pelo libero, ottenute dai calcoli del modello HEC-RAS, cercando ove possibile di intersecare tali piani ideali con le curve di livello riportate nella cartografia di riferimento.

Per la caratterizzazione degli elementi a rischio si è fatto riferimento alle quattro classi di vulnerabilità proposte dalle linee guida e qui riportate nella tabella seguente.

Classe	Descrizione
E1	Case sparse - Impianti sportivi e ricreativi - Cimiteri - Insediamenti agricoli a bassa tecnologia - Insediamenti zootecnici
E2	Reti e infrastrutture tecnologiche di secondaria importanza e/o a servizio di ambiti territoriali ristretti (acquedotti, fognature, reti elettriche, telefoniche, depuratori...) - Viabilità secondaria (strade provinciali e comunali che non rappresentino vie di fuga) - Insediamenti agricoli ad alta tecnologia - Aree naturali protette, aree sottoposte a vincolo ai sensi del D. L.vo 490/99.
E3	Nuclei abitati - Ferrovie - Viabilità primaria e vie di fuga - Aree di protezione civile (attesa, ricovero e ammassamento) - Reti e infrastrutture tecnologiche di primaria importanza (reti elettriche, gasdotti, discariche...) - Beni culturali, architettonici e archeologici sottoposti a vincolo ai sensi del D.L.vo 490/99.- Insediamenti industriali e artigianali - Impianti D.P.R. 175/88.
E4	Centri abitati - Edifici pubblici di rilevante importanza (es. scuole, chiese, ospedali, ecc.)

Tabella 4.22 – Schema sintetico per l'assegnazione della classe di vulnerabilità alle infrastrutture, secondo le linee guida del PAI.

Le infrastrutture a rischio interessate dagli eventi di piena dei fiumi Anapo, Ciane e Mammaiabica sono costituiti da edifici di tipo residenziale, commerciale, produttivo, rurale, pubblico, impianti sportivi, strade comunali, provinciali, statali, ferrovie, aree coltivate.

Per la valutazione del rischio idraulico si è proceduto a sovrapporre, alla carta della pericolosità, la carta degli elementi a rischio.

Attraverso la combinazione dell'indice di pericolosità (P) con l'indice degli elementi a rischio (E), si è giunti alla determinazione del rischio (R) secondo i criteri indicati dalla seguente matrice per la determinazione del rischio idraulico.

PERICOLOSITÀ	ELEMENTI A RISCHIO			
	E1	E2	E3	E4
P1	R1	R1	R2	R3
P2	R1	R2	R3	R4
P3	R2	R2	R4	R4

Tabella 4.23 – Matrice per l'assegnazione della classe di rischio idraulico, in funzione dei livelli di pericolosità e di vulnerabilità degli elementi a rischio

DESCRIZIONE DEL RISCHIO	CLASSE
RISCHIO MODERATO: per il quale i danni sociali, economici e al patrimonio ambientale sono marginali.	R1
RISCHIO MEDIO: per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche.	R2
RISCHIO ELEVATO: per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale.	R3
RISCHIO MOLTO ELEVATO: per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio-economiche.	R4

Tabella 4.24 – Definizione dei livelli di rischio idraulico, secondo le linee guida del PAI.

Di seguito si riportano gli stralci cartografici delle carte di rischio idraulico per l'area in prossimità foce.

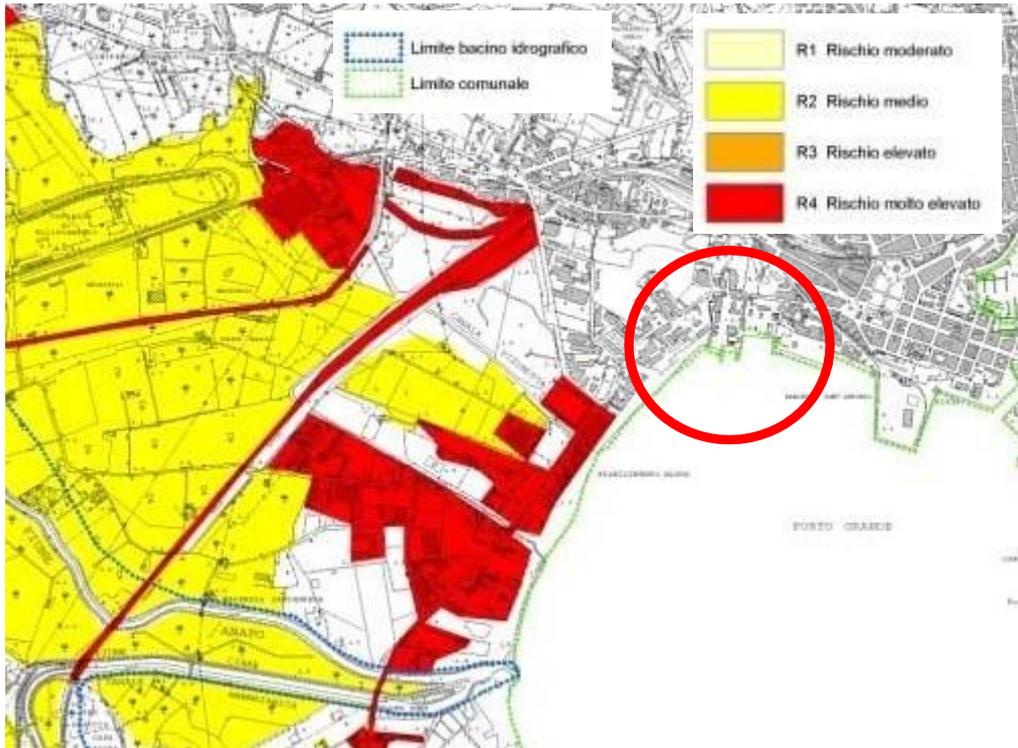


Figura 4.25 – Stralcio cartografico della carta del rischio idraulico, elaborato allegato alla relazione di bacino del Fiume Anapo, nell’ambito del P.A.I. Il cerchio in rosso indica le aree interessate dalle opere in progetto.

Come si osserva negli stralci riportati le aree soggette a pericolo e a rischio idraulico in caso di inondazione provocata da fenomeni di piena del fiume Anapo sono classificate R2 e R4.

In particolare le aree a terra interessate dalle opere in progetto non rientrano all’interno della zonizzazione prevista dal PAI per il fiume Anapo.

Si osserva infine che poiché il profilo altimetrico del fondale risulta determinato dalle mareggiate, in seguito a lunghi periodi di magra del fiume potrebbe configurarsi una cosiddetta barra di foce, ossia una duna sommersa che chiuda parzialmente o completamente il suo sbocco a mare; se la barra di foce si presenta di grandi dimensioni e stabilizzata per la presenza di vegetazione o sedimenti grossolani, a monte di essa si può determinare un incremento dei livelli idrici del fiume ed un conseguente pericolo di esondazione durante un evento di piena.

Inoltre lo stato attuale degli alvei risulta essere molto degradato, è presente una folta vegetazione composta prevalentemente da canneto e papireto che comporta un notevole restringimento della sezione idraulica, si prescrivono costanti interventi di manutenzione che, aumentando la sezione idraulica, diminuiscano il rischio di esondazioni in caso di piene.

4.5 VALUTAZIONE DEL TRASPORTO SOLIDO

In questo paragrafo sono stati stimati la perdita di suolo e la produzione di sedimenti per il sistema fluviale Anapo-Ciane-Mammaiabica ed è stato valutato il valore globale della quantità di materiale solido che raggiunge la foce del fiume.

In particolare per questo studio si è fatto riferimento solo a quella aliquota della superficie del bacino idrografico che si considera contribuente alla formazione del sedimento, escludendo la parte del bacino che insiste sulla sezione fluviale relativa allo dell’invaso artificiale della presa S. Nicola, infatti, immediatamente a monte della presa si è supposto che

avvenga la sedimentazione del materiale convogliato dai versanti lungo il tratto a monte del reticolo idrografico.

L'area contribuente si riduce quindi di circa 310 km², e la lunghezza del reticolo si riduce a circa 310 km. La distanza tra la foce e la sorgente più lontana in questo tratto del reticolo di valle è pari a circa 40 km.

4.5.1 METODOLOGIA

Il modello SEDD è un modello "USLE-based", cioè che segue lo schema della *Universal Soil Loss Equation* di Wischmeier e Smith [1978], con le successive modifiche e revisioni (*RUSLE*) di Moore.

La difficoltà primaria è quella di effettuare una taratura del modello ed operare il trasferimento di una metodologia originariamente dedotta a scala parcellare in una procedura applicativa a scala più ampia, tramite dei modelli distribuiti che sfruttano le tecniche GIS [Williams, Berndt, 1972; Bagarello et al., 1993].

L'applicazione di un modello distribuito, implica la discretizzazione del bacino in unità elementari all'interno delle quali si calcolano le variabili che figurano nelle equazioni di simulazione o i parametri del modello prescelto.

La scelta della dimensione dell'unità di calcolo deriva sia dalla variabilità spaziale dei parametri in gioco, in ogni caso tale da potere considerare all'interno della singola maglia come rappresentativo il valore medio della grandezza idrologica considerata, sia dall'aderenza alla scala di originaria deduzione del modello.

La maglia di calcolo dovrebbe essere il più possibile simile al plot sperimentale di Wischmeier (piano inclinato, lunghezza di ruscellamento intorno ai 22 m).

A scala di bacino la previsione della produzione di sedimenti, cioè della quantità di materiale solido che è trasferito dalle zone di produzione (*sediment sources*) alla sezione di chiusura del bacino in un assegnato intervallo temporale [Bagarello et al., 1993] può essere effettuata accoppiando un modello di previsione della perdita di suolo con un operatore matematico (SDR_w , coefficiente di resa solida) che esprime l'efficienza al trasporto delle particelle lungo i versanti e nel reticolo idrografico [Ferro, Minacapilli, 1995; Ferro, 1997].

I risultati ottenuti tramite precedenti applicazioni ingegneristiche della Universal Soil Loss Equation (USLE) [Wischmeier, Smith, 1978], o della sua versione revisionata (RUSLE) [McCool et al. 1989; Moore, Burch, 1986; Moore, Wilson, 1992], hanno portato a concludere che, in atto, la USLE rappresenta ancora il miglior compromesso tra semplicità di applicazione, in termini di dati di ingresso necessari, e attendibilità, che aumenta con la scala temporale di applicazione (evento, mese, anno, anno medio di un periodo pluriennale), delle stime di perdita di suolo ottenibili e con la rilevanza del rischio [Ferro, 1997].

Lo studio è quindi condotto applicando la metodologia USLE/RUSLE – la cui formulazione analitica è stata opportunamente richiamata – che è alla base proprio del modello SEDD, verificato sperimentalmente e specificamente calibrato per la stima della distribuzione spaziale della perdita di suolo nei bacini idrografici siciliani anche per le scale temporali differenti.

4.5.2 FORMULAZIONE ANALITICA

Alla scala dell'unità morfologica, applicando la USLE si ha che la perdita di suolo specifica A (in t/ha*anno) è il prodotto di alcuni fattori moltiplicativi secondo la seguente espressione.

$$A = R K L S C Pr Sup$$

I fattori moltiplicativi sono:

- R "fattore climatico" (u. m.: unità di R);
- K "fattore erodibilità del suolo" (in ton /ha x anno x R);

- C "fattore colturale" (adimensionale);
- LS "fattore topografico" (adimensionale);
- Pr "fattore Pratiche antierosive" (adimensionale);
- Sup è la superficie di ogni singola unità morfologica (in ha).

La definizione di questi fattori deriva dal confronto che avviene tra la perdita di suolo della generica unità rispetto ad un'unità morfologica standard definita da un campo piano con pendenza del 9% la cui pendice è lunga 22.1 m, privo di vegetazione e arato a ritto chino.

Il fattore R sintetizza l'azione e gli effetti dovuti alla pioggia battente sul suolo erodibile; si è dimostrato che R per il territorio è correlato alle intensità di pioggia di durata 1, 6 e 24 ore e tempo di ritorno 2 anni [Ferro et al., 1991].

La relazione seguita è:

$$R = 10.80 + 0.082 I_{1,2} I_{6,2} I_{24,2}$$

Lo studio della variabilità spaziale dell'indice R per l'intero bacino è stato effettuato impiegando una tecnica GIS di tipo Kriging, utilizzando 14 valori puntuali di R, relativi ad alcune stazioni pluviometriche presenti nell'area.

Per ciascuna delle stazioni pluviometriche di interesse sono stati preventivamente calcolati i valori delle intensità utilizzando la legge di distribuzione a doppia componente TCEV [Cannarozzo, D'Asaro, Ferro, 1995], di seguito descritta nei capitoli seguenti.

Il fattore LS (adimensionale) è l'indice che riassume l'influenza della topografia sul fenomeno erosivo.

Si definisce I la lunghezza libera della pendice secondo la direzione di massima pendenza.

Si definisce L il rapporto tra la perdita di suolo della generica pendice e quella riferita all'unità morfologia di riferimento di lunghezza 22.1 m:

$$L = (I/22.1)^m \quad (31)$$

Il fattore S è definito come rapporto tra la perdita di suolo relativa alla parcella generica di pendenza s e quella relativa alla parcella di riferimento che ha pendenza del 9%.

$$S = (0.43 + 0.043s + 0.043s^2)/6.613 \quad (32)$$

I due fattori vengono stimati in contemporanea secondo la formula di Moore e Burch (RUSLE):

$$LS = (A_s/22,1)^m (\sin b/0.0896)^n \quad (33)$$

In cui:

- A_s è l'area della parcella misurata per unità di larghezza della base della stessa misurata lungo le curve di livello, e per celle rettangolari o quadrate, coincide con I
- b è l'angolo che la pendice forma con l'orizzontale.

Il fattore colturale C è definito come il rapporto tra la perdita di suolo relativo ad un terreno caratterizzato da un determinato ciclo vegetativo di uno specifico tipo colturale, rispetto al maggese di riferimento ed esplica l'azione antierosiva fornita dalla copertura vegetale al variare della fase vegetativa.

In presenza di coltivazioni arboree l'azione protettiva dipende da altri fattori quali l'altezza del fusto, la densità ed il tempo di mantenimento dell'apparato fogliare, la percentuale di area coperta al suolo, e da effetti relativi alla presenza di sottobosco e dei residui di foglie.

In letteratura ed in numerosi studi sono riportati i valori medi annui relativi alla tipologia colturale.

Il fattore “Erodibilità” K riassume la suscettibilità dei suoli al distacco e al trasporto delle particelle di terreno ad opera della pioggia e del deflusso superficiale e dipende dalle caratteristiche pedologiche del suolo (percentuale di materiale fino, grosso, di humus nel suolo, tessitura e permeabilità) e si misura in t/(ha anno R); in letteratura ed in alcuni studi sono riportati i valori medi relativi alla tipologia pedologica.

Il fattore Pratiche Antierosive Pr (adimensionale) esprime l’influenza sulla perdita di suolo delle pratiche antierosive. Queste ultime possono essere attuate con particolari disposizioni delle colture impiantate sul terreno, opportunamente predisposto secondo le diverse modalità di lavorazione ed in funzione della pendenza, come ad esempio la lavorazione a rittochino, o secondo le isoipse ed o a gradonamento.

Il suo range di variazione è tra 0 e 1 ed assume il valore massimo se le azioni antierosive di coltivazioni non sono state attuate.

La perdita di suolo dell’intero bacino A_w (t/anno) si ottiene sommando i valori di perdita di suolo relativi a tutte le unità morfologiche nelle quali il bacino è stato suddiviso:

$$A_w = \sum A_i S_i$$

Il calcolo della Produzione di Sedimento alla sezione focale P(in t/anno) avviene tramite la:

$$P = A_w \times SDR_w$$

In cui SDR_w è il coefficiente di resa solida di tutto il bacino.

Il parametro SDR_w viene stimato con la seguente relazione [Di Stefano et al., 2005]:

$$SDR_w = \exp(-0.0328 \text{ Sup}) + 0.00025 L_{ret} - 0.035$$

in cui Sup è la superficie del bacino ed L_{ret} è la lunghezza del reticolo.

4.5.3 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO SEDD

Il bacino del Fiume Anapo a valle della presa S. Nicola è stato diviso in circa 753000 unità elementari secondo uno schema a maglia 20x20 m e per ciascuna di esse sono stati calcolati i fattori della USLE.

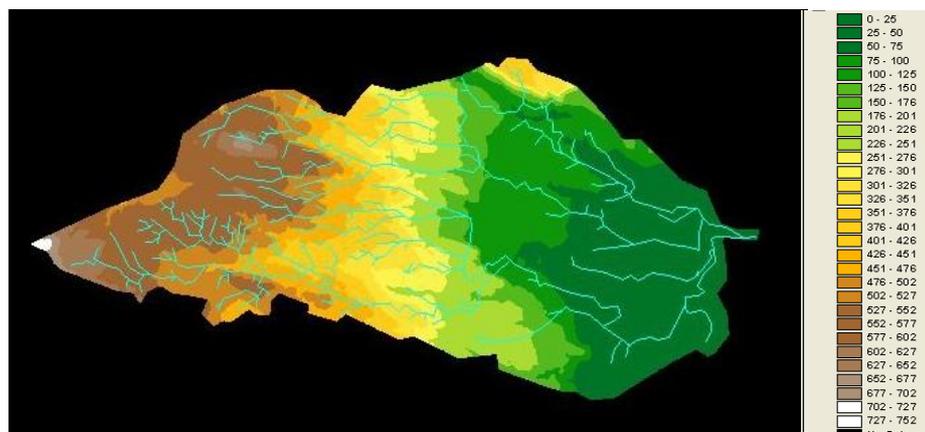


Figura 4.26– DEM relativo al bacino dell’Anapo

Lo studio della variabilità spaziale dell’indice R per l’intero bacino è stato effettuato impiegando una tecnica GIS di tipo Kriging e ricostruendo la carta delle iso-R, utilizzando 14 valori puntuali di R, relativi ad alcune stazioni pluviometriche presenti nell’area.

Per ciascuna delle 14 stazioni pluviometriche di interesse sono stati preventivamente calcolati i valori di R puntuali in funzione delle intensità utilizzando la legge di distribuzione a doppia componente TCEV [Cannarozzo, D'Asaro, Ferro, 1995].



Figura 4.27- Distribuzione spaziale del fattore Climatico R per il Bacino dell'Anapo.

La valutazione dei fattori topografici ha richiesto l'ausilio del modello digitale del terreno (DEM); per ogni cella, sono stati determinati la lunghezza della pendenza secondo la direzione di massima pendenza e della pendenza media di ciascuna unità, parametri estraibili direttamente dal DEM (*digital elevation model*) tramite tecniche GIS.

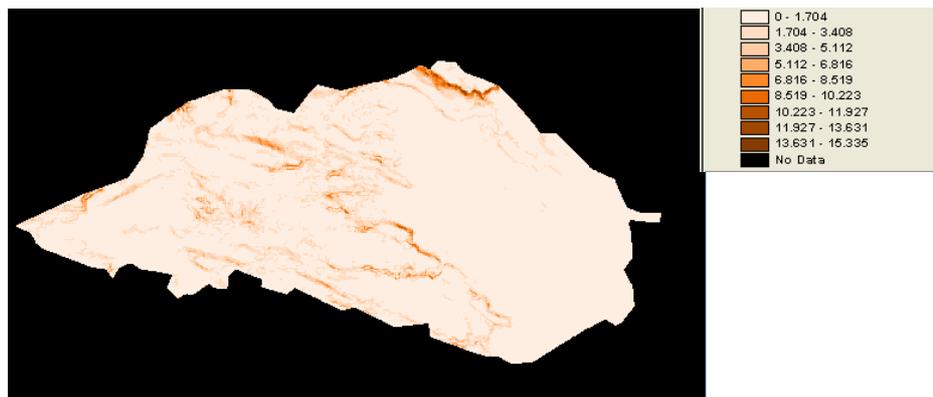


Figura 4.28- Distribuzione spaziale del fattore topografico LS per il bacino dell'Anapo.

Per la valutazione del "fattore culturale" C è stata preliminarmente ricostruita una rappresentazione vettoriale della carta dell'uso del suolo del bacino a partire da quella relativa all'intera Sicilia allegata al PAI scala 1:250.000, già precedentemente riportata.

Il bacino è stato suddiviso in aree poligonali chiuse caratterizzate, dallo stesso uso del suolo.

In particolare sono state individuate le classi di uso presenti nel bacino (elencate nella tabella 5). A ciascun poligono è stato quindi associato il corrispondente valore del fattore culturale, ricavati dalle fonti bibliografiche disponibili.

coltura	C
Macchia	0,4
mosaico culturale	0,4
pascolo	0,006
seminativo	0,41
urbanizzato	0
agrumeto	0,41
aree verdi urbane	0,006
bosco misto	0,006
conifere	0,009
latifoglie	0,009
incolto roccioso	0,9

Tabella 4.29- Identificazione del valore del fattore colturale C

A ciascuna unità morfologica del bacino è stato quindi attribuito, per intersezione con lo strato informativo sulla copertura un valore del fattore colturale C. Tale fattore varia in un intervallo compreso tra 0 e 1.



Figura 4.30- Distribuzione del fattore C all'interno del Bacino dell'Anapo.

Per quanto riguarda il fattore K, dopo aver effettuato la vettorializzazione della carta dei suoli di Sicilia redatta dall'Ass. Territorio e Ambiente della Regione Siciliana (1988) a scala 1:250.000 il bacino è stato suddiviso in poligoni relativi alle aree pedologicamente omogenee. A ciascun poligono è stato quindi associato il corrispondente valore del fattore; questi valori sono stati ricavati dalla letteratura ed elencati in tabella 6.

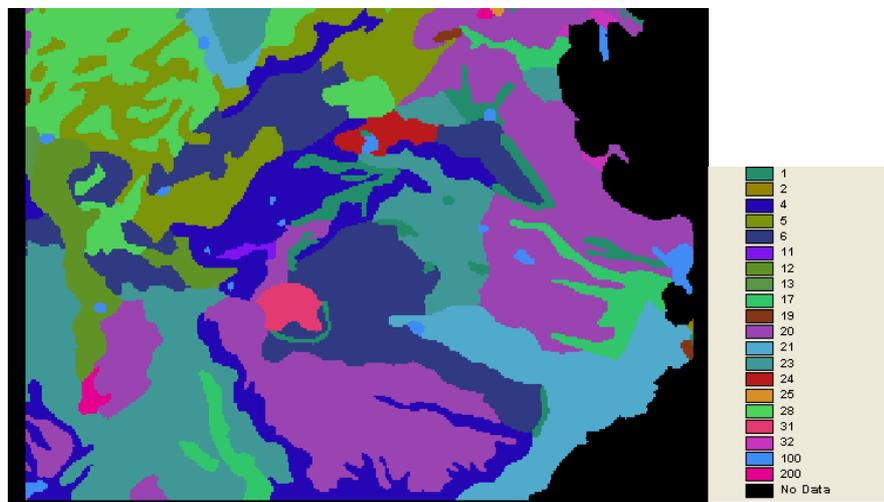


Figura 4.31- Stralcio cartografico vettorializzato della "Carta dei Suoli della Sicilia" - (Ass. Territorio e Ambiente della Regione Siciliana – Facoltà di Agraria dell'Università di Palermo, 1988, Scala 1:250.000).

Classi Fierotti	N	K	Fonte
Roccia affiorante, litosuoli	1	0	Montalto 2007
litosuoli roccia affiorante terra rossa	7	0,215	Montalto 2007
suoli bruni, suoli brunivertici, vertisuoli	21	0,435	Sallitto 2005
suoli bruni suoli bruni vertici, litosuoli	22	0,467	Sallitto 2005
suoli bruni liscivati, terra rossa	29	0,55	interpolazione
terra rossa litosuoli	30	0,56	interpolazione
terra rossa suoli bruni calcarei litosuoli	31	0,57	interpolazione
tessuto urbano	100	0	Montalto 2007

Tabella 4.32- Individuazione del fattore erodibilità K in funzione del tipo pedologico del suolo.

A ciascuna unità morfologica del bacino è stato quindi attribuito, per intersezione con lo strato informativo relativo alla pedologia un valore del fattore culturale K. si può osservare che il range di variazione è tra 0 e 1.

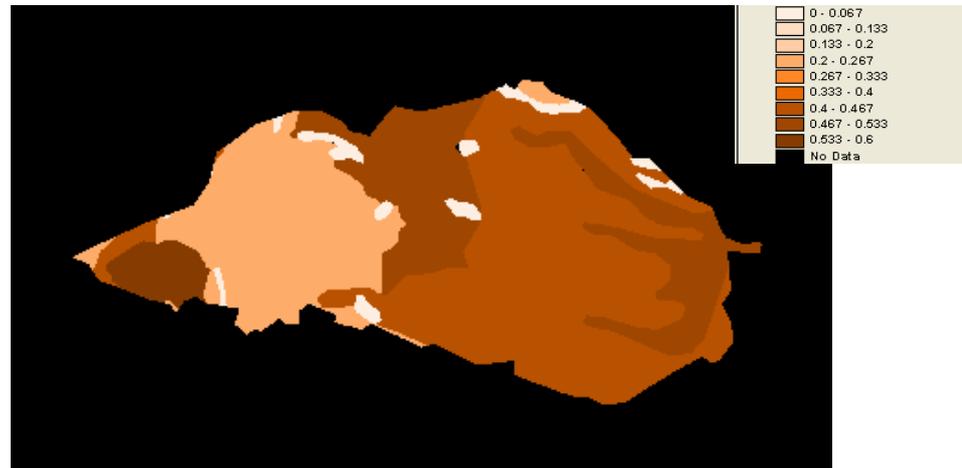


Figura 4.33- Distribuzione spaziale del fattore K

Per il fattore "Pratica antierosiva" Pr si è supposto il valore unitario, ipotizzando l'assenza di pratiche antierosive in tutto il bacino oggetto di studio.

Una volta definiti tutti i dati di ingresso, mediante l'intersezione degli strati informativi prodotti, è stato possibile calcolare il valore A_i di perdita di suolo media annua per ogni unità elementare la cui superficie è di $400 \text{ mq} = 0.0004 \text{ ha}$.

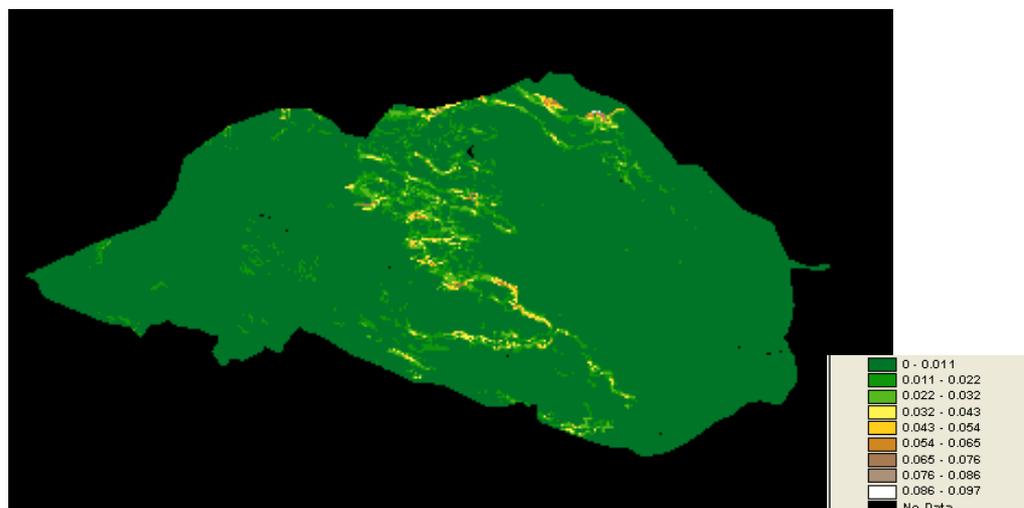


Figura 4.34- Distribuzione spaziale della perdita di suolo A per il bacino dell'Anapo.

Tramite poi l'integrazione dello istogramma di frequenza del numero di celle in base all'intervallo di classe di A_i , si è ottenuto il valore globale di perdita di suolo A_w pari a circa 90000 t/anno.

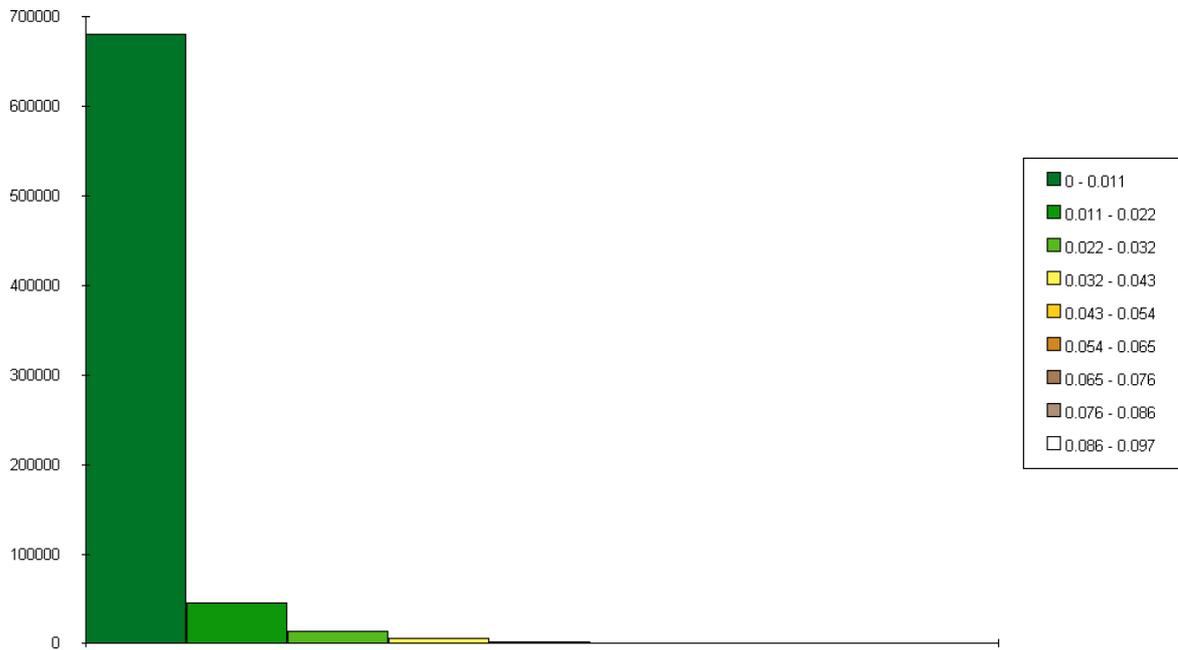


Figura 4.35- Frequenza di distribuzione della perdita di suolo A per il bacino dell'Anapo.

Infine la produzione di sedimento globale P è stata stimata come aliquota della perdita di suolo globale secondo un coefficiente moltiplicativo SDR_w , definito come coefficiente di resa solida per l'intero bacino, calcolato con la formula di Di Stefano (cfr. paragrafo 4.5.2 di questo elaborato) pari 0.0430.

La produzione di sedimento globale riferita alla sezione focale P, così come stimata con il modello SEDD, è pari a circa 3800 t/anno.

5. AREA PANTANELLI

5.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO ED INDIVIDUAZIONE DEI SOTTOBACINI E DEL RETICOLO

L'area Pantanelli ha un'estensione di circa 9,80 km². Essa è parte dell'area territoriale compresa tra i bacini idrografici del fiume San Leonardo e del fiume Anapo, in prossimità della foce di quest'ultimo.

Essa si presenta come una bassa pianura alluvionale con un'altezza sul livello del mare piuttosto limitata.

Nel passato sono stati eseguiti lavori di bonifica che hanno comportato la realizzazione di alcuni canali. I lavori eseguiti hanno permesso l'urbanizzazione di tale area.

I canali presenti nell'area sono:

- Canale Grimadi 1
- Canale Grimaldi 2
- Canale Regina
- Canale Pisimotta
- Canale Grimaldi
- Canale Pantanelli
- Canale Grimaldi-Pantanelli

Di seguito si riporta lo stralcio dell'area, con l'individuazione del reticolo idrografico.

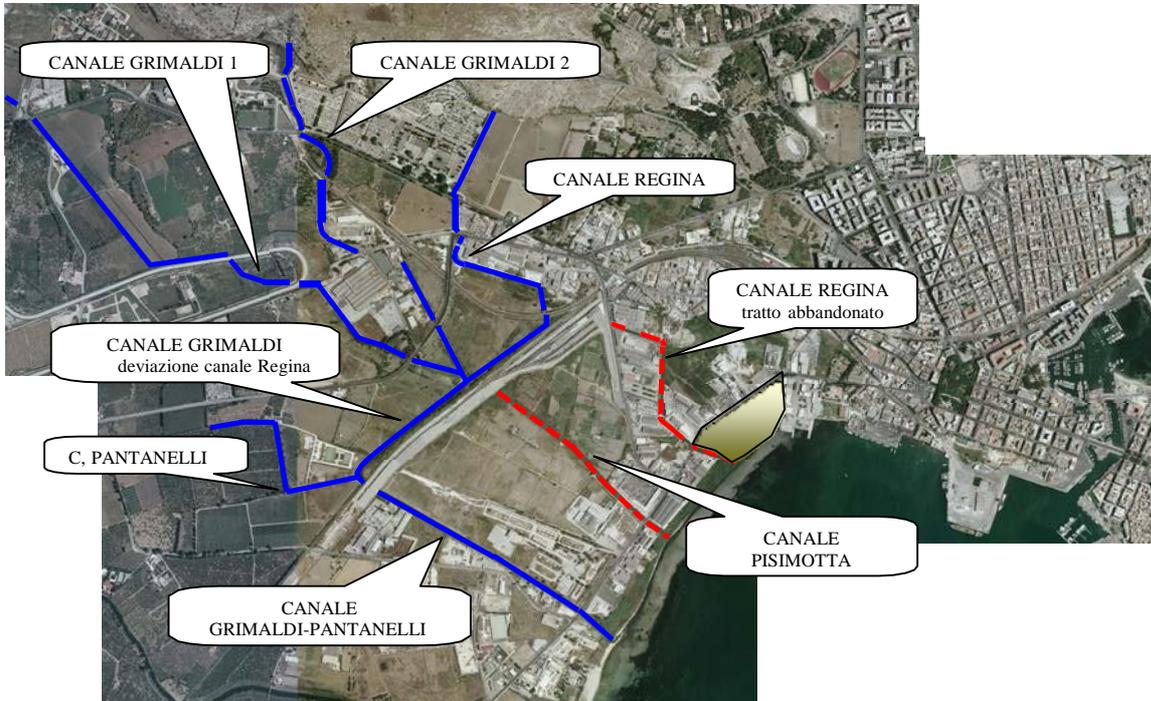


Figura 5.1- L'area Pantanelli, con individuazione del reticolo idrografico.

Attualmente lo sbocco a mare è assicurato solo dal canale Pantanelli-Grimaldi; infatti, il canale Regina è stati deviati su quest'ultimo. A valle delle deviazioni il contributo idrico dei canali risulta al quanto limitato.

Altri canali sono stati occlusi per via di lavori agricoli e per la realizzazione di infrastrutture, come il canale Pisimotta.

Risultano ancora individuabili i tratti finali del canale Regina e Pisimotta, che convogliano un contributo idrico trascurabile.

La rete dei canali risulta essere inefficiente per via dell'incuria e mancanza di manutenzione e pulizia, in quanto risultano ostruiti ed occlusi da vegetazione e da materiale di varia natura. Questa situazione implica che l'area sia soggetta ad esondazione ed allagamenti per eventi di pioggia aventi frequenza di accadimento elevata.

Di seguito si riporta una breve descrizione dei canali della rete idrografica, tratta dagli elaborati dello "studio idraulico e idrogeologico finalizzato alla riduzione del rischio idrogeologico dell'area di contrada Pantanelli", fornito dall'Ufficio del Genio Civile di Siracusa.

Il canale Grimaldi asta 1 è un canale dalle piccole dimensioni che nella parte a monte a tratti a pelo libero e tratti tombati. In particolare dalla documentazione acquisita il suo tracciato è stato recentemente deviato per la realizzazione di un centro sportivo. Tale canale riversa le sue acque nel Canale Grimaldi.

Il Canale Grimaldi asta secondaria 2, è caratterizzato nel primo tratto da una sezione in terra con dei piccoli argini ai lati; si osserva che in prossimità dei manufatti, esso è racchiuso da strutture in cemento. In questo tratto il corso d'acqua scorre ad est della centrale di sollevamento Dammusi in rettilineo fino all'autodromo; l'alveo si presenta particolarmente pieno di vegetazione. Il canale quindi dapprima costeggia l'autodromo presentando una sezione idrica caratterizzata dalla presenza di alto muro prefabbricato sulla destra e di terreni coltivabili a sinistra, quindi attraverso l'autodromo, ove è caratterizzato da sponde in terra fra numerosi cumuli di materiale di riporto. Infine, superato l'autodromo sino fino all'immissione nel canale Grimaldi, l'alveo si presenta a raso e le sponde sono naturali in terra.

Il Canale Pisimotta è costruito a ridosso del ponte ferroviario e non risulta collegato al Canale Regina per la presenza di uno sbarramento di terra; verso valle il canale si presenta inizialmente molto piccolo e successivamente di discrete dimensioni con acqua stagnante; il canale non ha uno sfocio diretto in mare in quanto la spiaggia è ad una quota alta rispetto la quota di scorrimento. Le opere spondali sono realizzate attraverso scarpate in terra, eccetto per un tratto in cui sono realizzate in muratura.

Il Canale Regina, per il primo tratto, scorre adiacente alla strada del cimitero ed è racchiuso tra sponde in cemento; nel secondo tratto è racchiuso a destra da un muro alto che delimita una centrale elettrica di smistamento e a sinistra da un piccolo argine; oltre l'attraversamento della s.p. n. 14, l'alveo è caratterizzato dalla presenza di briglie; nel tratto successivo il canale scorre a lato di una zona industriale ed è delimitato in sinistra idraulica da un alto terrapieno verticale e in destra idraulica da un'arginello. Nel tratto terminale fino alla foce il canale scorre in un manufatto che a monte è evidente nella sua forma mentre scendendo a valle il manufatto risulta sempre più interrato.

Il Canale Grimaldi-Pantanelli è nel primo tratto caratterizzato da ridotte dimensioni e a causa della forte edificazione sono presenti numerosi manufatti e tratti tombati; oltre il tratto tombato per circa 400 m l'alveo non è più facilmente individuabile in quanto esso presenta un fondo in roccia, terre coltivabili e massi di roccia; da alcuni sopralluoghi si osservato che l'alveo in realtà si presenta come un solco nella roccia ed è caratterizzato da una forte pendenza, sino in prossimità del cimitero. Da questo punto sino all'immissione del canale di scarico del Depuratore Comunale l'alveo presenta le rive in terra; immediatamente a valle di tale scarico, il canale è caratterizzato da sponde in cemento con presenza di acqua; in particolare da questo punto in poi sino al ponte ferroviario lungo il canale sono presenti numerose briglie. Nel tratto che va da ponte ferroviario sino alla confluenza con il canale Regina e del Grimaldi secondario la sezione è definita da uno scatolare di cemento e in particolare nel tratto finale tale manufatto è completamente fuori terra. Il canale infine raccoglie le acque del canale Grimaldi 2, e da questo punto fino alla foce diventa di discrete

dimensioni con una profondità massima di circa 1 metro; in particolare fino al ponte ferroviario le sponde sono di cemento come il fondo; a valle di tale manufatto fino alla foce il canale assume il toponimo di canale Pantanelli; le sponde del canale risultano in terra tranne per alcuni tratti in cui in sinistra idraulica vi sono dei muri di cinta in prefabbricato e di un breve tratto in cui le sponde sono in cemento. Il canale non ha immissione diretta in mare in quanto la spiaggia ha una quota più alta rispetto a quella di scorrimento.

5.2 MODELLAZIONE IDROLOGICA

Per quanto riguarda la valutazione dell'idrogramma per il bacino Pantanelli si riportano le elaborazioni già prodotte durante la redazione del progetto preliminare.

Per quanto riguarda la fase di determinazione degli afflussi si è fatto riferimento alle serie storiche di altezze di pioggia di massima intensità per assegnate durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore, di Melilli e Siracusa, attive a più riprese dal 1939 al 2000.

I dati di pioggia sono stati utilizzati per la determinazione delle curve di probabilità pluviometrica (CPP).

La distribuzione di probabilità scelta per caratterizzare il campione di dati a disposizione è stata la GEV (General Extreme Value) nella sua forma "scala invariante".

Tale scelta deriva dal riconoscimento della seguente proprietà statistica: le precipitazioni intense godono dell'"invarianza di scala", secondo cui si verifica che le distribuzioni di probabilità delle altezze di pioggia di due diverse durate coincidono a meno di un fattore di scala pari al rapporto tra le due durate elevato al coefficiente di scala n .

Tale proprietà permette, come conseguenza, non soltanto di definire le caratteristiche di un evento fisico a scale temporali grandi a partire dalle informazioni raccolte a scale più piccole, ma anche, di effettuare le analisi statistiche sulla base di un campione di dati molto più consistente rispetto a quello originario, avendo, come conseguenza, un'analisi statistica più robusta di quella originaria.

Infatti, seguendo la formulazione scala invariante, la scelta della più opportuna distribuzione di probabilità per la caratterizzazione dei dati appartenenti ad una stazione, viene effettuata non più su un campione di piogge di consistenza N , pari al numero totale di anni di funzionamento della stazione in analisi, ma sulla base di una variabile normalizzata W a media unitaria ($E[W] = 1$) che si ottiene dal campione dei dati di pioggia massima annuale normalizzati rispetto alla relativa media per ogni durata. Essendo il numero di durate di riferimento pari a 5 (1, 3, 6, 12 e 24 ore), ne seguirà che la consistenza del nuovo campione di dati sarà pari a $5N$.

In forma generalizzata, una CPP in formulazione scala invariante può essere definita nella seguente forma:

$$h_{t,T} = w_T a_1 t^n$$

in cui $h_{t,T}$ rappresenta l'altezza di pioggia di durata t e tempo di ritorno T , n rappresenta l'esponente di scala con cui la variabilità del fenomeno si trasmette dalla scala temporale di riferimento alle altre scale temporali, $a_1 = E[H(1)]$ rappresenta il coefficiente di scala della CPP, pari al valore atteso dell'altezza di pioggia massima annuale H per la durata unitaria di riferimento; w_T è, infine, il coefficiente di crescita che dipende dal tempo di ritorno T e dalla distribuzione di probabilità scelta per rappresentare la variabile normalizzata w .

Il grafico seguente mostra l'andamento delle medie del campione aggregato rispetto alle durate.

La regressione delle coppie di punti così trovate ha consentito di derivare i parametri a_1 ed n ; in particolare sono stati derivati i valori $a_1 = 32.793$ e $n = 0.3055$. Il valore del

coefficiente di determinazione R^2 inoltre è pari a 0.9909; tale valore molto prossimo all'unità mostra un'ottima corrispondenza tra la linea di tendenza derivata ed i valori reali.

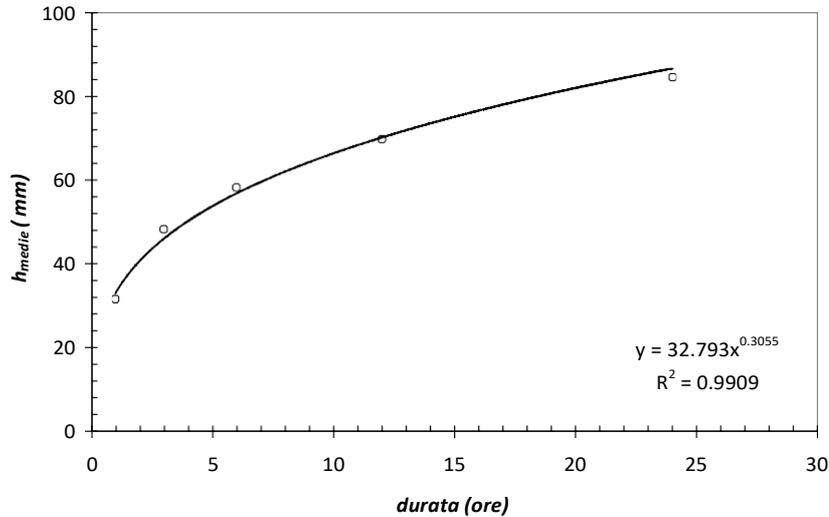


Figura 5.2– Andamento della media delle altezze di precipitazione in funzione della rispettive durate

Per la derivazione delle CPP in formulazione scala invariante, occorre calcolare il fattore di crescita w_T relativamente alla distribuzione di probabilità considerata. il fattore di crescita per fissato tempo di ritorno è espresso dalla seguente espressione:

$$w_T = u + \frac{\alpha}{k} \left[1 - \left(\ln \frac{T}{T-1} \right)^k \right]$$

dove i valori dei parametri caratteristici della GEV u , α e k , i quali nella formulazione scala invariante risultano indipendenti dalla durata, come nel caso precedente, possono essere stimati secondo vari metodi, il più comune dei quali è quello degli L-moments. Per la valutazione del fattore di crescita occorre stimare due parametri, ovvero il coefficiente di variazione e quello di Kurtosi; l'adattamento del campione alla distribuzione così derivata è riportato nel seguente diagramma, dove sono state riportate anche le fasce di confidenza al 5%.

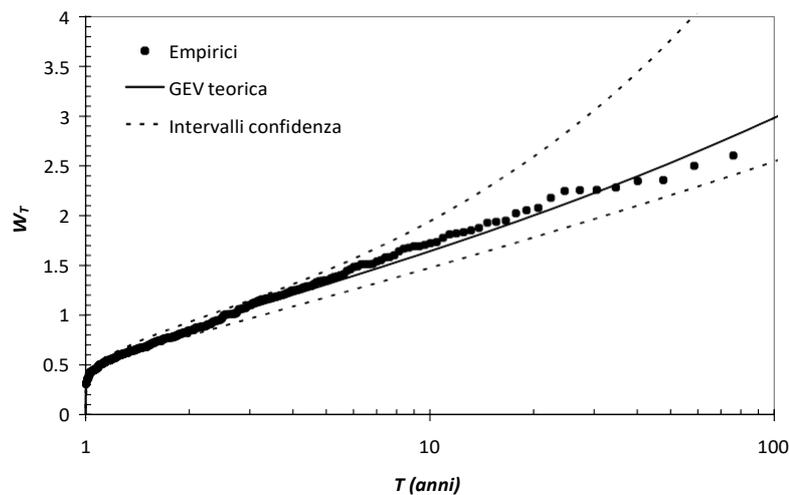


Figura 5.3– Distribuzione GEV scala invariante: Plotting position e intervalli di confidenza

Dall'analisi dell'andamento dei valori di figura 3 è possibile notare come tutti i punti del campione ricadono adesso all'interno delle fasce di confidenza, anche se per valori alti del campione la GEV tende a sottostimare leggermente il tempo di ritorno.

Per la distribuzione GEV sono stati quindi calcolati i fattori di crescita corrispondenti a diversi tempi di ritorno.

Tali parametri moltiplicati per il coefficiente a_1 , dipendente soltanto dal campione, forniscono i valori del parametro a , il quale, insieme al parametro n derivato in precedenza consente di derivare la CPP per ciascun tempo di ritorno considerato.

I risultati così ottenuti sono riportati nella tabella seguente che forniscono i valori dei parametri statistici di regressione a ed n delle CPP per i tempi di ritorno selezionati.

T	w_T	a	n
5	1.308	42.9	0.306
10	1.641	53.8	0.306
20	2.000	65.6	0.306
30	2.226	73.0	0.306
50	2.530	83.0	0.306
70	2.744	90.0	0.306
100	2.982	97.8	0.306
300	3.804	124.7	0.306

Tabella 5.4- Distribuzione GEV scala invariante: parametri e indici calcolati

Date le dimensioni del bacino in studio e vista la necessità di conoscere solo i valori massimi delle portate di piena e non l'intero idrogramma, il loro calcolo è stato effettuato utilizzando la nota formula razionale che si basa sull'ipotesi di propagazione cinematica delle onde di piena. Secondo la formula razionale, la portata Q , dovuta ad una pioggia effettiva $h_e(t_c)$ di durata t_c , intensità costante e uniformemente distribuita sull'intero bacino, è data dalla seguente espressione:

$$Q = \frac{h(t)}{t_c} \cdot A_{tot}$$

nella quale A_{tot} rappresenta l'area totale del bacino e t_c è pari al tempo di corrivazione del bacino.

La stima del deflusso superficiale è stata effettuata utilizzando il modello SCS-CN, del USDA Soil Conservation Service. Il parametro CN permette di tener conto delle informazioni sulle caratteristiche di permeabilità del terreno, quelle di uso e copertura del suolo e la sua distribuzione spaziale è disponibile per l'intero territorio siciliano (PAI, ARTA Regione Sicilia, 2003). L'altezza totale di pioggia netta h_e dipende dalla pioggia lorda secondo la seguente relazione:

$$h_e = \begin{cases} \frac{(h - 0.2 \cdot S)^2}{(h + 0.8 \cdot S)} & h > 0.2 \cdot S \\ 0 & h \leq 0.2 \cdot S \end{cases}$$

nella quale S rappresenta il volume specifico di saturazione del terreno. Tale parametro dipende dalla natura del terreno e dall'uso del suolo globalmente rappresentati dal parametro CN secondo la relazione:

$$S = 254 \cdot \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

Per il bacino del Canale Pantanelli e per i tempi di ritorno considerati (condizione AMC III=bacino saturo), la distribuzione spaziale del Curve Number ricavata a partire dai dati sull'uso del suolo, della copertura vegetale e della pedologia fornisce un valore medio del pari a 84 che nelle tabelle del USDA corrisponde a aree mediamente urbanizzate con scarsa copertura vegetale e suoli con medie capacità di drenaggio. A tale valore corrisponde un volume specifico di saturazione del terreno S di circa 48 mm.

L'espressione utilizzata nella valutazione del tempo di corrivazione t_c è quella proposta da Agnese a D'Asaro per bacini siciliani con superfici comprese tra 10 e 1000 km² in funzione della superficie A del bacino in km²:

$$t_c = 0.43 \frac{\sqrt{A}}{v}$$

ove: t_c è in min, v è la velocità media di deflusso lungo il percorso idraulico fissata in 0.7 m/s che tiene in conto delle ridotte pendenze del bacino in esame.

Il valore di t_c ricavato è confrontato con quello che si ottiene dalla semplice relazione

$$t_c = \frac{L}{v}$$

ove: L è la lunghezza del percorso idraulicamente più lungo che per il bacino Pantanelli risulta essere di 5400 m, v è la velocità media di deflusso precedentemente definita e stimata.

t_c (ore)	t_c (ore)	t_c (ore)
Agnese	velocità	media
1.9	2.1	2.0

Tabella 5.5- Confronto fra i valori di t_c calcolati

Una volta definiti i parametri caratteristici della trasformazione afflussi-deflussi, si è proceduto al calcolo della portate al colmo per i tempi di ritorno fissati per i due bacini.

T	Q_{max} (m³)
5	28.7
10	42.8
20	59.1
30	69.7
50	84.4
70	95.0
100	106.9
300	148.9

Tabella 5.6- Portate di picco calcolate

5.3 MODELLAZIONE IDRAULICA

Per la simulazione idraulica si è fatto riferimento a quanto già prodotto durante la redazione del progetto preliminare.

Le verifiche sono state effettuate tramite il codice di calcolo monodimensionale HEC-RAS nell'ipotesi di regime di moto permanente e corrente lenta. Come condizione al contorno è stata imposta l'altezza critica della corrente nell'ultima sezione del canale. E' stata condotta una simulazione per ogni portata al colmo di piena valutata alla foce del canale per i fissati tempi di ritorno (5, 10, 20, 30, 50, 100 e 300 anni).

I dati di input geometrici utilizzati per la modellazione di HEC-RAS sono stati desunti dall'analisi cartografica e territoriale e dalle informazioni reperite nel corso di un sopralluogo. In particolare è stato simulato il tratto terminale del canale Pantanelli di lunghezza pari a circa 980 m e con una sezione rettangolare di 18 m di larghezza e 1,5 m di altezza.

I parametri di scabrezza utilizzati nel modello monodimensionale sono stati dedotti dall'esame delle foto satellitari e dalle osservazioni fatte in occasione del sopralluogo effettuato. La presenza di vegetazione in alveo molto fitta, ha indotto ad una scelta dei valori del coefficiente di Manning compresi tra 0,035 e 0,075 m^{-1/3} s.

Dalle simulazioni effettuate è stato possibile concludere quanto segue.

Le condizioni di elevata scabrezza dovuta alla presenza di fitta vegetazione nel canale determinano una forte riduzione della sezione idraulica dello stesso. Ciò, in aggiunta alla pendenza molto ridotta, condiziona la capacità idraulica del canale limitandola a soli 12 m³/s che secondo lo studio idrologico effettuato corrisponderebbe ad una portata di piena con tempo di ritorno inferiore a 5 anni.

Quanto appena esposto conferma le condizioni di forte criticità della rete dei canali di bonifica legate all'assenza di manutenzione degli stessi.

La verifica idraulica effettuata utilizzando coefficienti di scabrezza relativi al canale rivestito in calcestruzzo grezzo e privo di vegetazione determina una portata massima convogliabile pari a circa 60 m³/s corrispondente ad un evento di piena di tempo di ritorno pari a 20 anni, coerente con i parametri progettuali di sollecitazione idraulica oggi utilizzati nel dimensionamento delle infrastrutture di bonifica, legati a piogge con tempi di ritorno pari, appunto, ad almeno venti anni.

5.4 VALUTAZIONE DEL RISCHIO

Nella documentazione allegata al P.A.I. si osserva che in riferimento alla carta della pericolosità redatta in seno al P.R.G. di Siracusa, l'area di Pantanelli è indicata come area alluvionabile da parte delle acque di ruscellamento superficiale che non riescono ad essere smaltite per la cattiva manutenzione dei canali.

La zona di contrada Pantanelli, oltre ad essere a rischio per la scarsa capacità di deflusso dei canali di bonifica, è soggetta anche al rischio di esondazione del fiume Anapo.

Di seguito si riportano gli stralci della carta di pericolosità e di rischio idraulico, allegata al P.A.I.

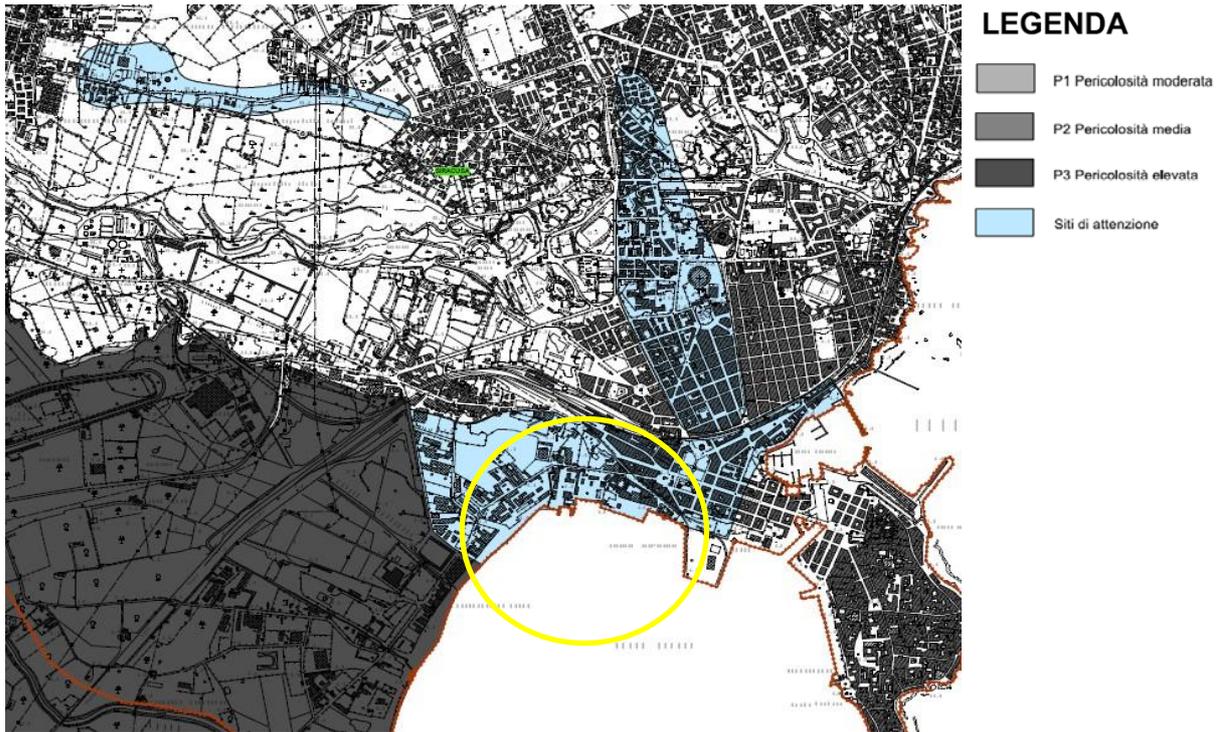


Figura 5.7– Stralcio cartografico della carta di Pericolosità allegata alla relazione di Bacino per le aree comprese tra l’Anapo e il Lentini.

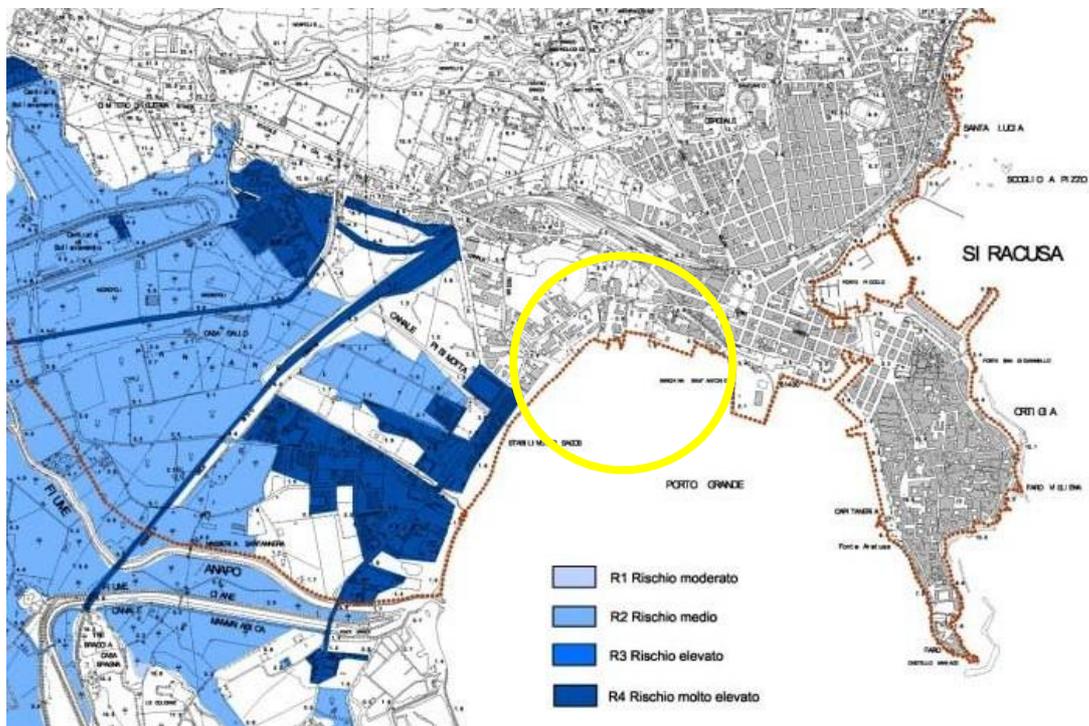


Figura 5.8– Stralcio cartografico della carta di Rischio allegata alla relazione di Bacino per le aree comprese tra l’Anapo e il Lentini.

L’area Pantanelli è stata classificata P3, nella carta della pericolosità, mentre nella carta di Rischio essa viene classificata R3 ed R4.

Si osserva che l'area interessata dalle opere in progetto cerchiata in giallo, risulta essere classificata sotto il punto di vista della pericolosità come sito di attenzione; ma non a rischio.

5.5 VALUTAZIONE DEL TRASPORTO SOLIDO

Come per il caso dell'Anapo, anche per il bacino di Pantanelli è stata applicata la metodologia del modello SEDD, già descritta in precedenza, usando le usali tecniche GIS.

La produzione di sedimento alla foce P viene calcolata riducendo la perdita di suolo dell'intero bacino A_w , secondo un coefficiente di resa solida del bacino SDR_w .

La perdita di suolo del bacino è uguale alla sommatoria dei valori di perdita di suolo di ogni unità elementare in cui è stato suddivisa la superficie del bacino.

Per ogni singola unità la perdita di suolo A si stima tramite la formula di Wischmayer richiamata in precedenza

I singoli fattori e le loro modalità di calcolo tramite tecniche GIS sono stati già introdotti nelle pagine precedenti.

L'area di Pantanelli è stato discretizzata in circa 25000 unità secondo una maglia in cui le dimensioni di cella sono 20 x20 m e l'implementazione della metodologia SEDD ha condotto ai risultati di seguito riportati.

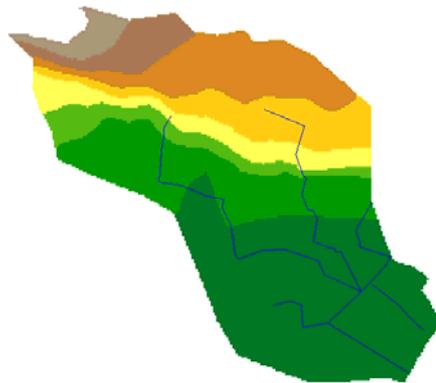


Figura 5.9– DEM del Bacino Pantanelli.

Il fattore topografico LS (adimensionale), ottenuto tramite la formulazione RUSLE ed applicando tecniche GIS, varia tra i valori 0 e 5, con valore medio pari ad 0.33 e deviazione standard pari a 0.5.

Il fattore climatico R (in unità di R) all'interno del bacino segue la distribuzione, ottenuta tramite l' interpolazione spaziale di 14 valori puntuali, con un range di variazione compreso tra 70,983 e 82,406 e con valore medio pari ad 75 e deviazione standard pari a 2.75.

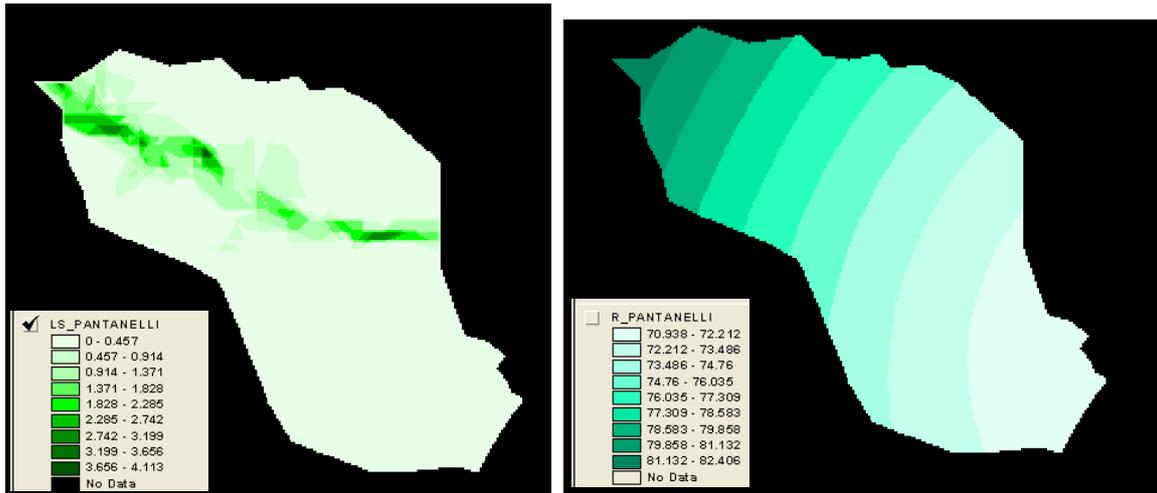


Figura 5.10- Area Pantanelli: Distribuzione del fattore topografico LS ed del fattore climatico R

Il Fattore colturale C (adimensionale) e il fattore erodibilità K in t/(ha x R x anno) di ogni unità elementare sono stati stimati individuando la classe dell'uso del suolo dalla carta allegata al P.A.I. e il tipo pedologico dalla Carta dei Suoli, i valori ottenuti variano tra 0 e 0.9 per il fattore C e tra 0 e 0.6 per il fattore K.

Classi Fierotti	N	K	Fonte
Roccia affiorante, litosuoli	1	0	Montalto 2007
litosuoli roccia affiorante terra rossa	7	0,215	Montalto 2007
suoli bruni, suoli brunivertici, vertisuoli	21	0,435	Sallitto 2005
suoli bruni suoli bruni vertici, litosuoli	22	0,467	Sallitto 2005
suoli bruni liscivati, terra rossa	29	0,55	interpolazione
terra rossa litosuoli	30	0,56	interpolazione
terra rossa suoli bruni calcarei litosuoli	31	0,57	interpolazione
tessuto urbano	100	0	Montalto 2007

Tabella 5.11- Attribuzione del fattore K in funzione della pedologia del suolo

coltura	C
Macchia	0,4
mosaico culturale	0,4
pascolo	0,006
seminativo	0,41
urbanizzato	0
agrumeto	0,41
aree verdi urbane	0,006
bosco misto	0,006
conifere	0,009
latifoglie	0,009
incolto roccioso	0,9

Tabella 5.12- Attribuzione del fattore C in funzione della copertura suolo.

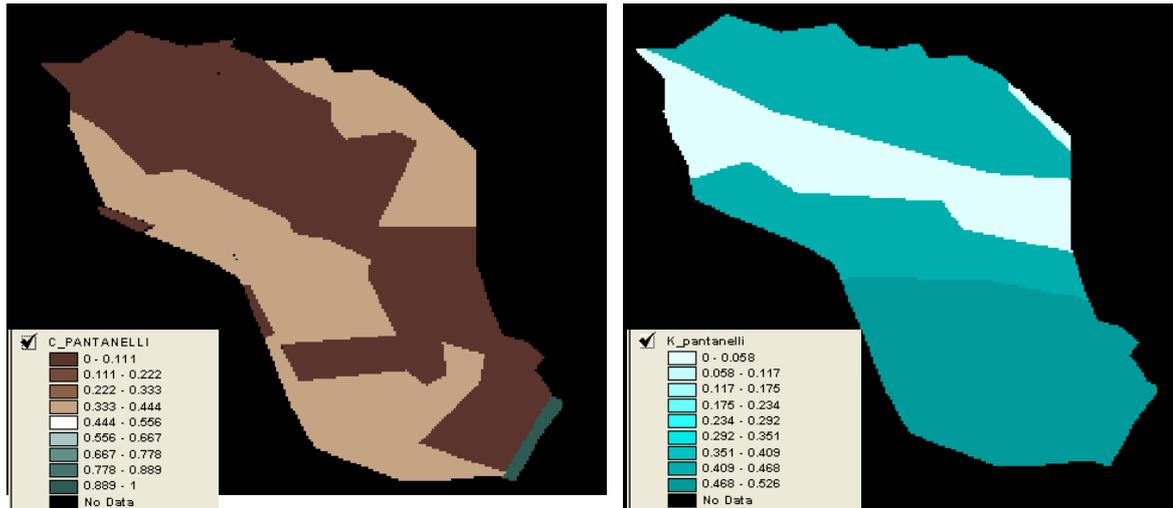


Figura 5.13 – Distribuzione spaziale del fattore culturale C e del fattore erodibilità K per l'area Pantanelli.

Il fattore pratiche Antierosive Pr è definito nell'intervallo di variazione tra 0 e 1 ed in questo studio, per ogni unità elementare è posto pari al valore massimo; tale valore si attribuisce al caso che non vengano attuate pratiche antierosive; questo scenario è il più gravoso e comporta quindi una sovrastima delle quantità di sedimento.

La perdita di suolo per ogni cella A_i varia nel range 0 – 0.0041 t/anno circa ed il valore medio è di circa 20 t/anno.

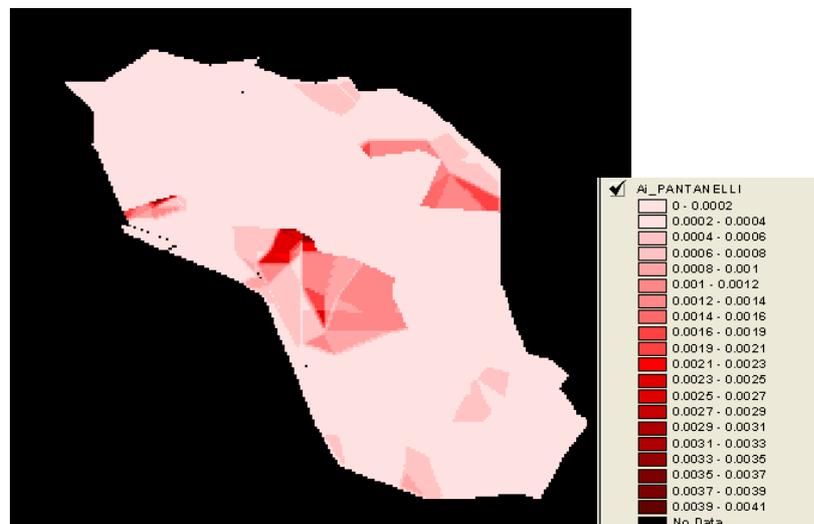


Figura 5.14 – Distribuzione della perdita di suolo per il bacino Pantanelli.

Dall'integrazione della curva di frequenza si è ottenuto un valore di perdita di suolo globale A_w pari a circa 10 t/anno.

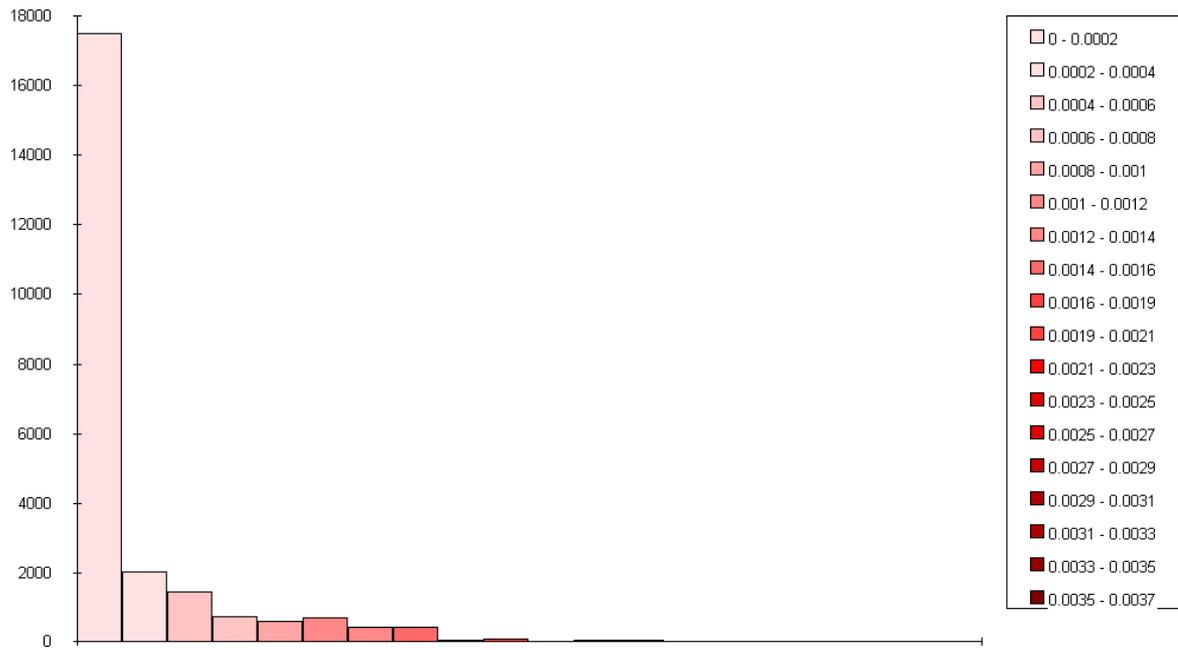


Figura 5.15 –Distribuzione in frequenza della perdita di suolo A

Il coefficiente di resa solida SDR_w è funzione della superficie totale del bacino e dalla lunghezza totale del reticolo idrografico, esso è stato calcolato con la formula di De Stefano, precedentemente descritta, è posta pari ad 0.920.

La produzione di sedimento che ritroviamo alla foce è $P = A_w \times SDR_w = 8,55$ t/anno.

6. BACINO DEL CANALE REGINA (TRATTO TERMINALE)

6.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO ED INDIVIDUAZIONE DEI SOTTOBACINI E DEL RETICOLO

All'interno della stessa area di progetto, fortemente urbanizzata, è presente il tratto terminale del canale di bonifica Regina. Tale tratto risulta disconnesso dalla rete idrografica dell'area Pantanelli.

Il canale raccoglie le acque di scorrimento superficiale dal tratto deviato a monte del rilevato ferroviario sino alla foce, il convogliamento nel canale delle acque meteoriche accumulate nelle aree pianeggianti immediatamente limitrofe allo stesso. L'area in esame risulta schermata dalla presenza della linea ferrata che, essendo realizzata per un tratto in trincea, determina una sorta di sbarramento alle acque di deflusso provenienti da monte.

Di seguito si riportano alcune immagini del tratto terminale, oggi dismesso, del canale Regina.



Figura 6.1– Immagine satellitare del tratto abbandonato del canale Regina



Figura 6.2– Tratto finale del canale Regina, a valle della ferrovia.



Figura 6.3– Sezione di incile della tratto finale del canale Regina (a) ed deviazione sul canale Pantanelli (b), a monte della ferrovia



Figura 6.4– Tratto finale del Canale Regina, con individuazione della foce

In particolare dall'analisi cartografica effettuata è stato possibile individuare 3 sottobacini di cui di seguito si riportano la localizzazione e le estensioni.

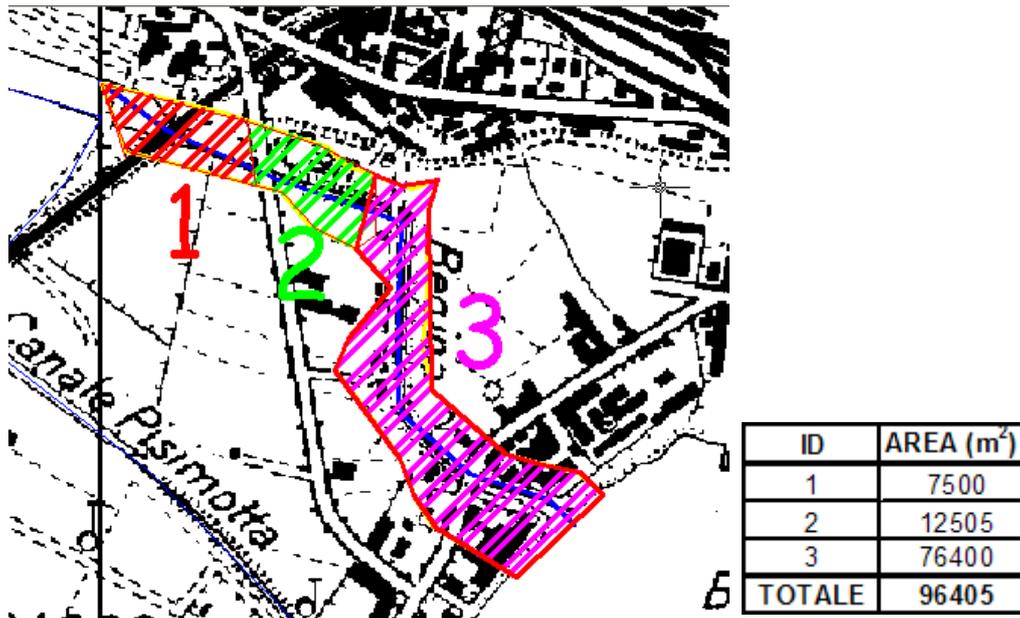


Figura 6.5– Individuazione dei sottobacini del Bacino del Canale Regina

La lunghezza dell'asta risulta essere di 1023 m.

6.2 MODELLAZIONE IDROLOGICA

la previsione della pioggia temibile (sollecitazione meteorica) tramite un metodo indiretto, muove dall'analisi statistica delle precipitazioni registrate nelle stazioni interne e/o prossime al bacino oggetto di studio.

Tramite la consultazione delle Carte delle Piogge e degli Annali Idrografici, si evince che in prossimità del bacino, si localizza la stazione pluviometrica di Siracusa, a cui compete l'influenza pluviometrica sul bacino stesso.

Per costruire le CPP si è utilizzato la legge di distribuzione a doppia componente, TCEV.

L'osservazione dei massimi annuali delle precipitazioni di breve durata ha portato a riconoscere l'esistenza di alcuni valori eccezionali, estremamente più elevati degli altri. Tali valori, considerati anomali, potrebbero essere esclusi, ma, in effetti, rappresentano gli eventi straordinari, cioè quelli responsabili dei maggiori danni.

E' allora necessario considerarli come appartenenti a una "popolazione" diversa, legata a una differente fenomenologia meteorica.

Il modello TCEV traduce in termini statistici la differente provenienza degli estremi idrologici, riconducendosi formalmente al prodotto di due funzioni di probabilità del tipo Gumbel: la prima, denominata componente base, assume valori non elevati ma frequenti; la seconda, componente straordinaria, genera eventi più rari ma mediamente più rilevanti.

L'equazione utilizzata è la seguente:

$$P(h'_i) = \exp \left[-\lambda_1 (\exp \alpha)^{-h'_i} - \Lambda * \lambda_1 \frac{1}{\theta * \theta} \left(\exp \left(\frac{\alpha}{\theta * \theta} \right) \right)^{-h'_i} \right]$$

con:

- $h'_t = h_t / \mu$, definito fattore di crescita (adimensionale), dove μ media della TCEV, Θ^* e Λ^* , parametri dipendenti dalla durata t , per il territorio siciliano vengono ricavati dalle seguenti espressioni:

$$\Theta^* = 1.95 + 0.0284 t;$$

$$\Lambda^* = 0.175 t^{0.301};$$

- λ_1 e λ_2 parametri anch'essi dipendenti dalla durata, il cui valore rimane costante per ciascuna delle tre sottozone in cui è suddivisa la Sicilia.

L'area oggetto di studio ricade nella sottozona C, per cui valgono le seguenti relazioni:

$$\lambda_1 = 11.96 t^{0.0906}$$

$$= 3.3081 t^{0.0765}$$

Dall'equazione della distribuzione TCEV ricavo h'_t e quindi h_t , ossia l'altezza di pioggia di assegnata durata t e prefissato tempo di ritorno T .

$$h_{t,T} = h'_{t,T} \cdot \mu$$

La media teorica m , per le stazioni pluviografiche siciliane, risulta coincidente con quella campionaria m , e per ciascuna stazione è stato riconosciuto il seguente legame di tipo potenza:

$$m = a t^n.$$

I parametri a ed n sono stati regolarizzati a partire dai dati pluviometrici registrati nella stazione tramite una regressione lineare dei quantili relativi alle durate considerate, adattando uno schema lineare alle trasformazioni logaritmiche.

Date le modeste dimensioni del bacino di interesse, è possibile effettuare la previsione solo dei valori massimi delle portate di piena al variare del tempo di ritorno T .

Il loro calcolo è stato effettuato utilizzando la nota formula razionale che si basa sull'ipotesi di propagazione cinematica delle onde di piena, ipotizzando la durata dell'evento pari al tempo di corrivazione del bacino.

Secondo la formula razionale, la portata Q , dovuta ad una pioggia effettiva $h_e(t_c)$ di durata t_c , intensità costante e uniformemente distribuita sull'intero bacino, è data dalla seguente espressione:

$$Q = \frac{h(t_c)}{t_c} \cdot A_{tot}$$

nella quale A_{tot} rappresenta l'area totale del bacino e t_c è pari al tempo di corrivazione del bacino.

La stima della piogge effettiva è stata effettuata utilizzando il modello SCS-CN, del USDA Soil Conservation Service. Il parametro CN permette di tener conto delle informazioni sulle caratteristiche di permeabilità del terreno, quelle di uso e copertura del suolo e la sua distribuzione spaziale è disponibile per l'intero territorio siciliano (PAI, ARTA Regione Sicilia, 2003). L'altezza totale di pioggia netta h_e dipende dalla pioggia lorda secondo la seguente relazione:

$$h_e = \begin{cases} \frac{(h - 0.2 \cdot S)^2}{(h + 0.8 \cdot S)} & h > 0.2 \cdot S \\ 0 & h \leq 0.2 \cdot S \end{cases}$$

nella quale S rappresenta il volume specifico di saturazione del terreno. Tale parametro dipende dalla natura del terreno e dall'uso del suolo globalmente rappresentati dal parametro CN secondo la relazione:

$$S = 254 \cdot \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

Ipotizzando le condizioni di bacino saturo la distribuzione spaziale del Curve Number ricavata a partire dai dati sull'uso del suolo, della copertura vegetale e della pedologia fornisce un valore medio del pari a 84 che nelle tabelle del USDA corrisponde a aree mediamente urbanizzate con scarsa copertura vegetale e suoli con medie capacità di drenaggio.

L'espressione utilizzata nella valutazione del tempo di corrivazione data l'entità ridotta del bacino è:

$$t_c = \frac{L}{v}$$

ove: L è la lunghezza del percorso idraulicamente più lungo che per il bacino che risulta essere di 1023 m, v è la velocità media di deflusso posta pari a 1 m/s.

Il tempo di corrivazione è stato fissato pari a 1023 s.

Una volta definiti i parametri caratteristici della trasformazione afflussi-deflussi, si è proceduto al calcolo della portate al colmo per i tempi di ritorno fissati per i due bacini, i cui valori finali sono riportati nella tabella sottostante.

Di seguito si riportano i prospetti riepilogati dei parametri necessari all' applicazione del modello suddetto e i valori di portata ottenuti al variare del tempo di ritorno.

$\Lambda 1$	10,60
Θ^*	1,96
Λ^*	0,12
α	3,00

Tabella 6.6- Parametri caratteristici della distribuzione tcev

a	32,3	---
n	0,2909	---
m	22,4	mm

Tabella 6.7- Parametri statistici caratteristici del campione

A	0,1	Km ²
L	1023	m
v	1	m/s
t _c	1023	s
CN	84	----

Tabella 6.8 -Parametri caratteristici del bacino.

T (anni)	h' _{IT}	h(mm)	h _e (mm)	Q(m ³ /s)
2	0,96	21,40	2,29	0,22
5	1,37	30,63	6,33	0,62
10	1,65	37,04	9,89	0,97
50	2,34	52,52	20,12	1,97
100	2,67	59,89	25,58	2,50
300	3,25	72,81	35,74	3,49

Tabella 6.9 - Valori di del fattore di crescita h'_{IT}, altezza lorda h (mm), altezza netta h_e (mm) e portata Q(m³/s) calcolati al variare del tempo di ritorno T.

Dal prospetto prima riportato si osserva come il contributo idrico convogliato dal tratto finale del Canale Regina sia esiguo e quindi trascurabile.

6.3 MODELLAZIONE IDRAULICA E VALUTAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO

Per la verifica della capacità di convogliamento del Canale Regina, a valle del viadotto di Via Elorina è stata applicata la legge di Chezy per il moto permanente nei canali a pelo libero:

in cui v è la

$$v = k R^{2/3} i^{1/2} \quad \text{Gauckler-}$$

velocità di moto uniforme, K è il coefficiente di scabrezza di Strickler, R è il raggio idraulico e i e' la pendenza del tratto.

Il canale è caratterizzato da una sezione tipo di forma mista con base 18 m con argini a 2 e 0,50 m,

Il coefficiente di scabrezza alla Gauckler-Strickler viene fissato ipotizzando la presenza in alveo di folta vegetazione sia per le sponde che p r l'alveo e pari a 25, valore pari all' inverso di quello di Manning corrispondente e cioè pari a 1/0,035=25.

La pendenza è stata fissata pari a 2%.

Dalle simulazioni effettuate si verifica che in tali condizioni la portata massima defluente ipotizzando, un livello massimo di 0.50 m, varia per tutte le sezioni intorno al valore 22 m³, che corrisponde circa 6 volte la portata massima calcolata per T=300 anni pari a circa 3,5 m³/s.

Dati questi presupposti è possibile affermare che l'area in esame, nelle condizioni attuali è caratterizzata da un coefficiente di sicurezza idraulico molto elevato, che implica un livello di pericolosità e di rischio idraulico, dovuto alla presenza del canale Regina, per l'area in esame pressoché nullo.

6.4 VALUTAZIONE DEL TRASPORTO SOLIDO

Anche per questo tratto del Canale Regina è stata applicata la metodologia del modello SEDD, già descritta in precedenza , usando le usali tecniche GIS.

Il bacino del Canale Regina è stato discretizzato in circa 325 unità secondo una maglia in cui le dimensioni di cella sono 20 x20 m e l'implementazione della metodologia SEDD ha condotto ai risultati di seguito riportati.

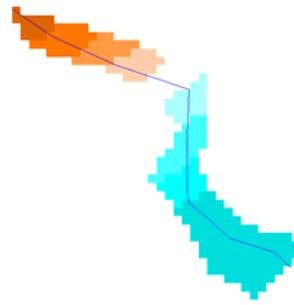


Figura 6.10 - DEM del Canale Regina

Il fattore topografico LS (adimensionale), ottenuto tramite la formulazione RUSLE ed applicando tecniche GIS, varia tra i valori 0 e 0.09.

Il fattore climatico R (in unità di R) all'interno del bacino segue la distribuzione, ottenuta tramite l'interpolazione spaziale di 14 valori puntuali, con un range di variazione compreso tra 70,859 e 71,391.



Figura 6.11- Distribuzione del fattore topografico LS ed il fattore climatico R, per il bacino del Canale Regina

Il Fattore colturale C (adimensionale) e il fattore erodibilità K in t/(ha x R x anno) di ogni unità elementare sono stati stimati individuando la classe dell'uso del suolo dalla carta allegata al P.A.I. e il tipo pedologico dalla Carta dei Suoli, i valori ottenuti variano tra 0 e 0.9 per il fattore C e tra 0 e 0.6 per il fattore K.

Classi Fierotti	N	K	Fonte
Roccia affiorante, litosuoli	1	0	Montalto 2007
litosuoli roccia affiorante terra rossa	7	0,215	Montalto 2007
suoli bruni, suoli brunivertici, vertisuoli	21	0,435	Sallitto 2005
suoli bruni suoli bruni vertici, litosuoli	22	0,467	Sallitto 2005
suoli bruni liscivati, terra rossa	29	0,55	interpolazione
terra rossa litosuoli	30	0,56	interpolazione
terra rossa suoli bruni calcarei litosuoli	31	0,57	interpolazione
tessuto urbano	100	0	Montalto 2007

Tabella 6.12 - Attribuzione del fattore K in funzione della pedologia del suolo

coltura	C
Macchia	0,4
mosaico culturale	0,4
pascolo	0,006
seminativo	0,41
urbanizzato	0
agrumeto	0,41
aree verdi urbane	0,006
bosco misto	0,006
conifere	0,009
latifoglie	0,009
incolto roccioso	0,9

Tabella 6.13- Attribuzione del fattore C in funzione della copertura suolo.

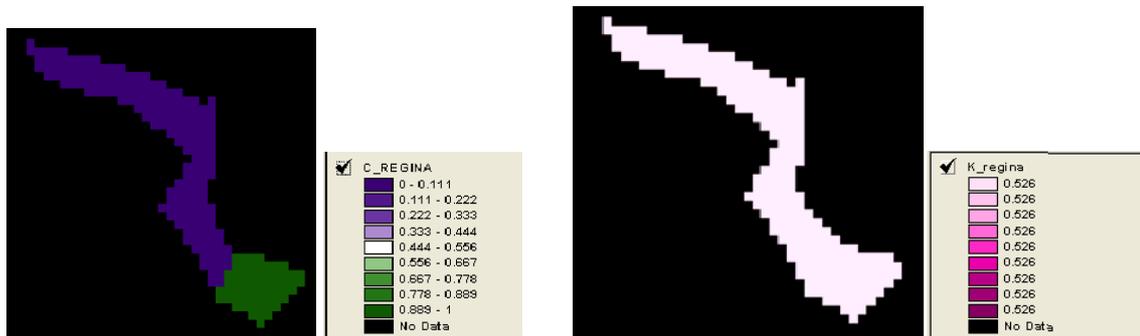


Figura 6.14- Distribuzione spaziale del fattore culturale C e del fattore erodibili K per il bacino del Canale Regina

Il fattore pratiche Antierosive P_r è definito nell'intervallo di variazione tra 0 e 1 ed in questo studio, per ogni unità elementare è posto pari al valore massimo; tale valore si attribuisce al caso che non vengano attuate pratiche antierosive; questo scenario è il più gravoso e comporta quindi una sovrastima delle quantità di sedimento.

La perdita di suolo per ogni cella A_i varia nel range 0 – 0,2 Kg/anno circa.

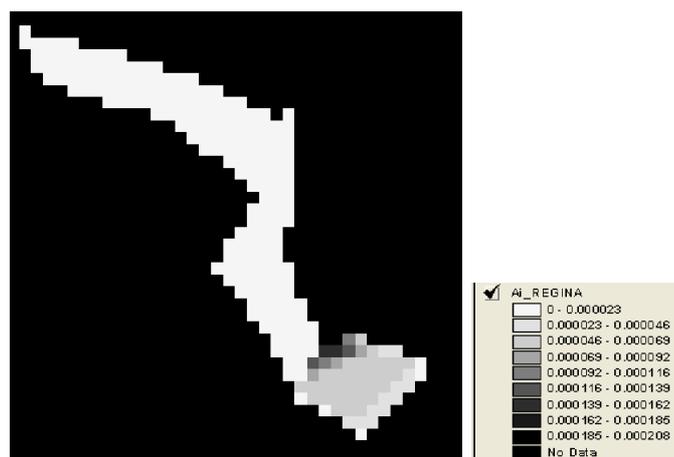


Figura 6.15- Distribuzione della perdita di suolo per il bacino del Canale Regina.

Dall'integrazione della curva di frequenza si è ottenuto un valore di perdita di suolo globale A_w pari a circa 5,5 kg/anno.

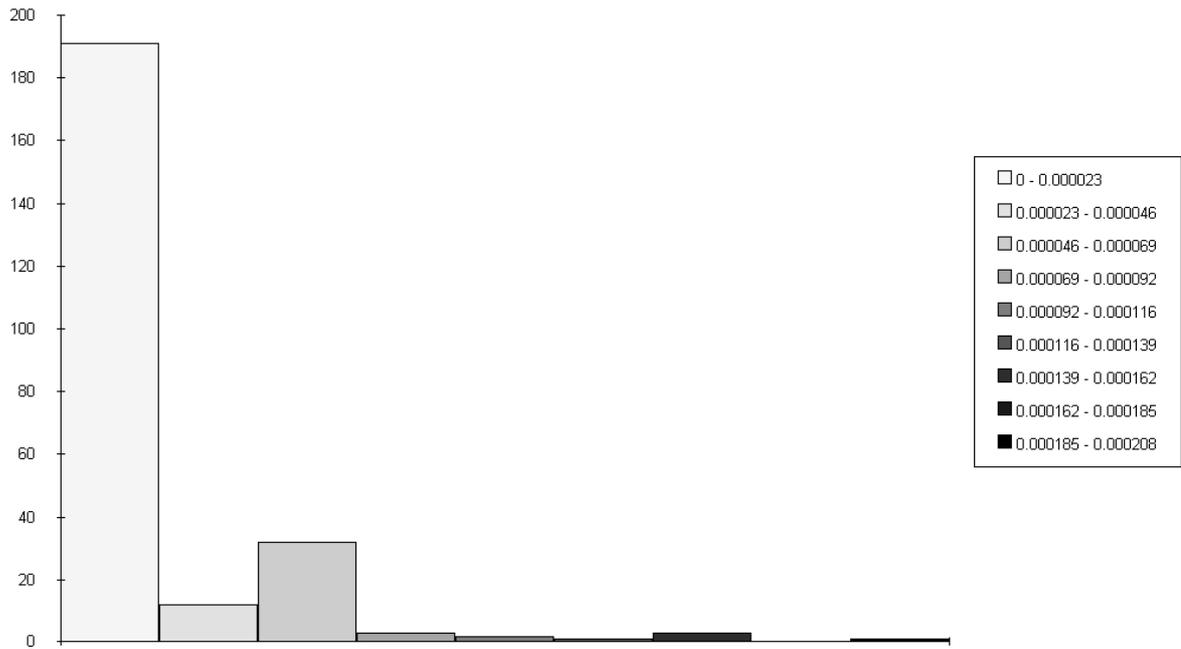


Figura 6.16- Distribuzione in frequenza della perdita di suolo A

Il coefficiente di resa solida SDR_w è funzione della superficie totale del bacino e dalla lunghezza totale del reticolo idrografico (cfr. la formula di De Destefano, par. 4.5.2 di questo elaborato) ed pari ad 0.960. La produzione di sedimento che ritroviamo alla foce è $P = A_w \times SDR_w = 5,0$ Kg/anno circa.

7. OPERE IN PROGETTO

Il progetto dell'approdo Spero prevede a corredo delle opere marittime, la realizzazione delle seguenti opere di tipo idraulico:

- Deviazione delle acque del canale di scolo in prossimità della base dell'Aeronautica Militare, tramite una collettore interrato;
- Risagomatura del tratto finale del Canale Regina, per la sistemazione del rilevato esistente al fine della realizzazione della nuova strada di accesso all'area dell'approdo.

7.1 NUOVO COLLETTORE DELLE ACQUE DEL CANALE DI SCOLO

Il progetto prevede la realizzazione di un sistema di deviazione delle acque del canale di scolo.

Attualmente le acque del canale di scolo hanno il loro recapito nel corpo idrico ricettore (Bacino del Porto Grande di Siracusa) presso l'area dell'Aeronautica.

Esse verranno deviate con collettori interrati in PVC rigido (SN=8 kN/m²) aventi diametro di 600 mm e recapitate all'interno del Porto Grande, tra la Foce del Canale Regina e il nuovo pennello antisedimentazione in scogli di 2^a categoria previsto dalle opere in progetto.

Inoltre verranno collocati in opera alcuni pozzetti di ispezione, costituiti da elementi modulari prefabbricati in cemento vibrato dotati di innesti con fori di accesso per l'ispezione di diametro non inferiore ai 600 mm; con elemento di copertura idoneo al transito di mezzi pesanti con classe di resistenza verticale 150 kN, conforme alle norma UNI; tali pozzetti di ispezione dovranno essere collocati lungo l'asse del collettore in modo che la reciproca distanza non risulti comunque superiore a 25 m.

Il tracciato previsto è lungo circa 260 m.

Per la visione del tracciato si rimanda alla tavola "OI.01".

Di seguito si riportano gli schemi dei particolari costruttivi.

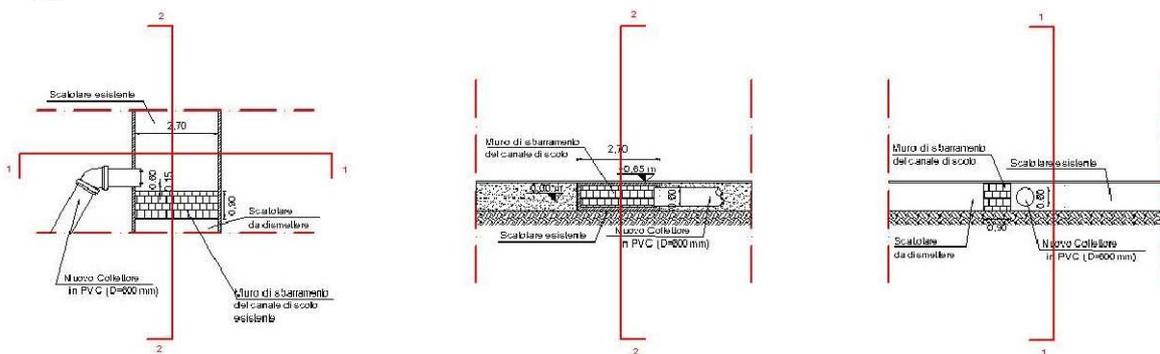


Figura 7.1- Nuovo collettore. Particolare dell'opera di intercettazione (cfr. elaborato OI.01).

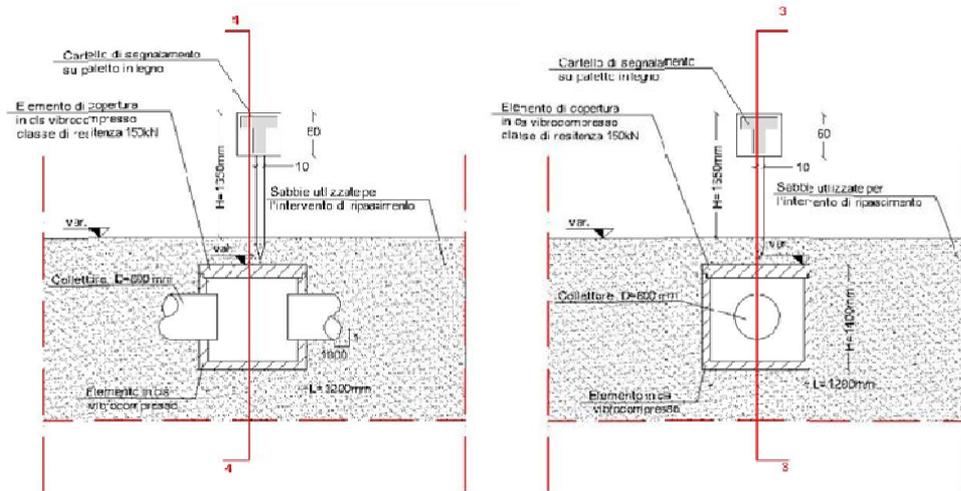


Figura 7.2- Nuovo collettore. Particolare dei tombini (cfr. elaborato OI.01).

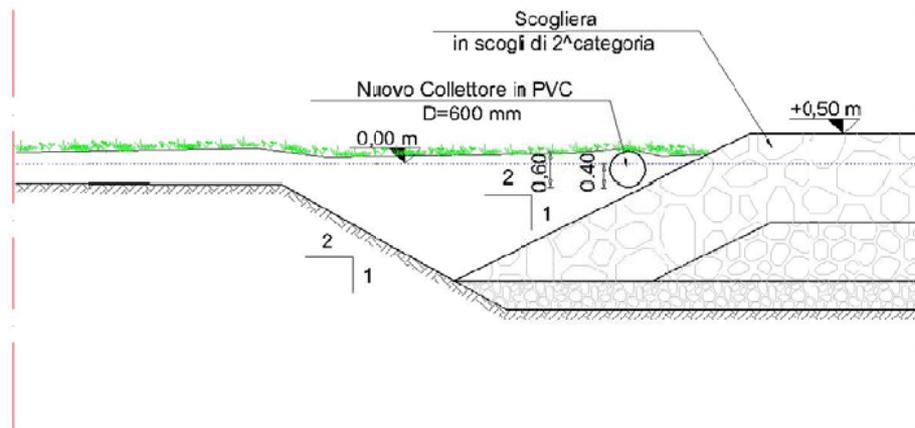


Figura 7.3- Nuovo collettore. Particolare del recapito finale, presso la scogliera (cfr. elaborato OI.01).

Dalle interviste effettuate al personale del Genio Civile dell'ufficio di Siracusa è emerso che la portata massima del canale è di circa 50 l/s.

Tale valore viene quindi fissato come valore della portata di progetto della nuova condotta.

Inoltre si osserva che l'entità dell'apporto solido trasportato dalle acque del canale di scolo è stato considerato trascurabile.

Il dimensionamento dei collettori è stato fatto in riferimento alla teoria del moto uniforme per le condotte a pelo libero, ipotizzando sezioni di tipo circolare.

Secondo tale teoria la velocità di moto uniforme v segue legge di Chezy:

$$v = k R^{2/3} i^{1/2}$$

in cui :

- K è il coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler, pari all'inverso di quello di Gauckler-Manning n, $K=1/n$
- R è raggio idraulico pari al rapporto tra l'area idrica A e il contorno bagnato P;
- i è la pendenza in %.

Il diametro della condotta è stato fissato pari $D=0,600$ m.

La pendenza del canale è stata fissata pari $i=0,001$

Ipotizzando l'uso di condotte in materiale plastico PVC il coefficiente di manning n viene fissato pari 0,010.

Di seguito vengono riportata sia la scala delle portate di moto uniforme sia la tabella riepilogativa dei calcoli effettuati.

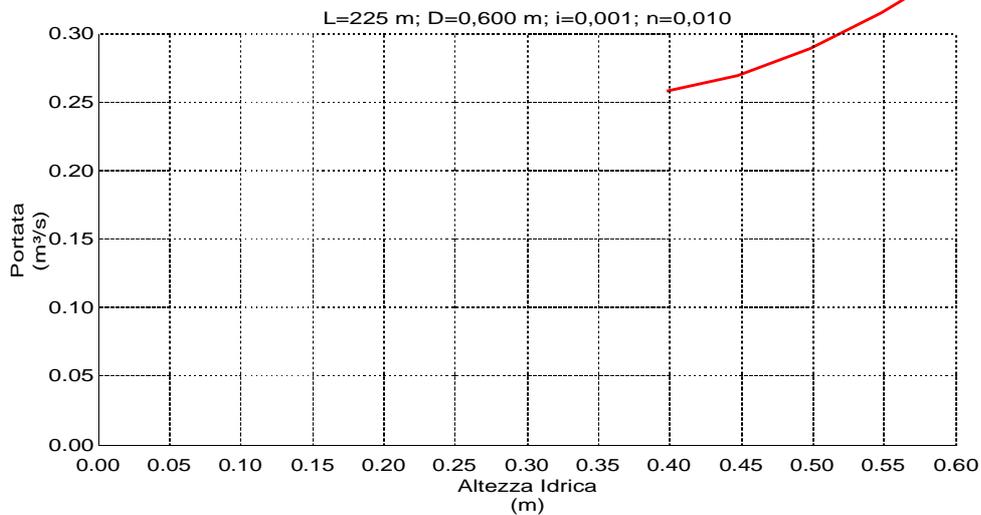


Figura 7.4- Nuovo collettore. Scala delle portate di moto uniforme.

VERIFICA IDRAULICA DELLA NUOVA CONDOTTA ($i=0.001$, $D=0.600$ m, $n=0.010$)					
Altezza Idrica (m)	Portata (l/s)	Velocità (m/s)	Area idrica (m ²)	Perimetro Bagnato (m)	% di Riempimento
0.05	3.60	0.32	<0.1	0.35	8.3
0.10	15.20	0.49	<0.1	0.50	16.7
0.15	34.60	0.63	0.10	0.63	25.0
0.20	60.50	0.73	0.10	0.74	33.0
0.25	91.60	0.82	0.10	0.84	41.7
0.30	126.20	0.89	0.10	0.94	50.0
0.35	162.40	0.95	0.20	1.04	58.3
0.40	197.90	0.99	0.20	1.15	66.7
0.45	230.20	1.01	0.20	1.26	75.0
0.50	256.10	1.02	0.30	1.38	83.3
0.55	270.70	1.00	0.30	1.53	91.7
0.60	252.40	0.89	0.30	1.88	100.0

Tabella 7.5- Nuovo Collettore. Tabella di calcolo della scala di moto uniforme.

Con un tirante di 0,15 m, associato al grado di riempimento pari al 25%, la capacità di convogliamento della condotta è pari a 34,60 l/s, che corrisponde a circa 0.70 volte la portata di progetto.

Con un tirante di 0,20 m, associato al grado di riempimento pari al 33%, la capacità di convogliamento della condotta è pari a 60,50 l/s, che corrisponde a circa 1.21 volte la portata di progetto.

Con un tirante di 0,45 m, associato al grado di riempimento pari al 75%, la capacità di convogliamento della condotta è pari a 230,20 l/s, che corrisponde a circa 4.60 volte la portata di progetto.

Con un tirante di 0,55 m, associato al grado di riempimento pari al 91,7%, la capacità di convogliamento della condotta è quella massima pari a 270,70 l/s, pari a circa 5.41 volte la portata di progetto.

Con un tirante di 0,60 m, associato al grado di riempimento pari al 100%, la capacità di convogliamento della condotta è pari a 252,40 l/s, che corrisponde a circa 5.05 volte la portata di progetto.

Si conviene che le verifiche idrauliche sul nuovo collettore hanno fornito un esito positivo; si afferma che la tipologia di condotta scelta è tale da garantire il convogliamento della portata di progetto con un notevole grado di sicurezza.

7.2 RISAGOMATURA DEL TRATTO FINALE DEL REGINA

Secondo quanto previsto dal progetto, lungo il tratto finale del canale Regina a valle del viadotto sulla Via Elorina, verrà sistemato e prolungato il rilevato della nuova strada di accesso all'approdo Spero.

Tale rilevato risulta infatti essere già parzialmente esistente sulla sponda sinistra del canale

La nuova sezione sarà di tipo misto; il fondo alveo sarà largo circa 12m, la sponda sinistra sarà costituita da una scarpata con pendenza 4/1 sulla cui sommità si localizzerà un muro parapetto; la sponda destra non sarà oggetto di intervento.

Per la visione del tracciato si rimanda alla tavola "OI.01".

Di seguito si riporta lo schema grafico della nuova sezione tipo, con indicazione del nuovo rilevato.

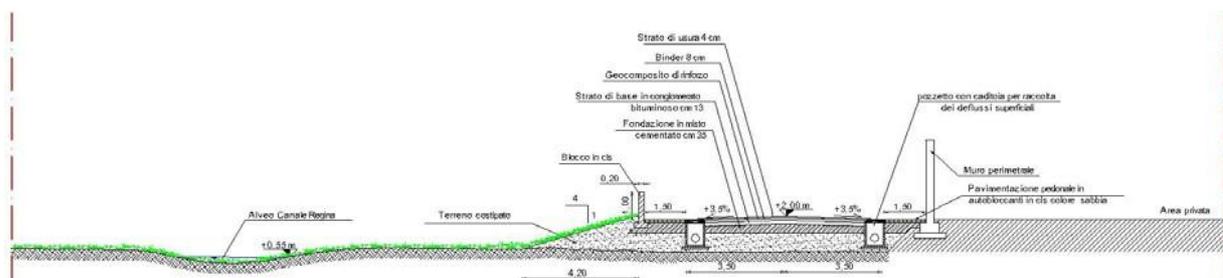


Figura 7.6- Nuova sezione tipo del canale Regina (cfr. elaborato OI.01).

Anche per la nuova sezione del canale Regina sono state effettuate la verifica idraulica sulla capacità di convogliamento sotto l'ipotesi di moto uniforme.

Il coefficiente di scabrezza alla Gauckler-Strickler viene fissato ipotizzando la presenza in alveo di folta vegetazione sia per le sponde che per l'alveo e pari a 25, valore pari all'inverso del coefficiente di Manning corrispondente e cioè 0,035.

La pendenza è stata fissata pari a 2% .

La portata di progetto Q_p è pari alla portata $Q_{T=300 \text{ anni}}$, la portata massima per il canale suddetto calcolata in seno alle indagini di stato di fatto ; il suo valore è pari a circa 3500 l/s

Di seguito vengono riportata sia la scala delle portate di moto uniforme sia la tabella riepilogativa dei calcoli effettuati.

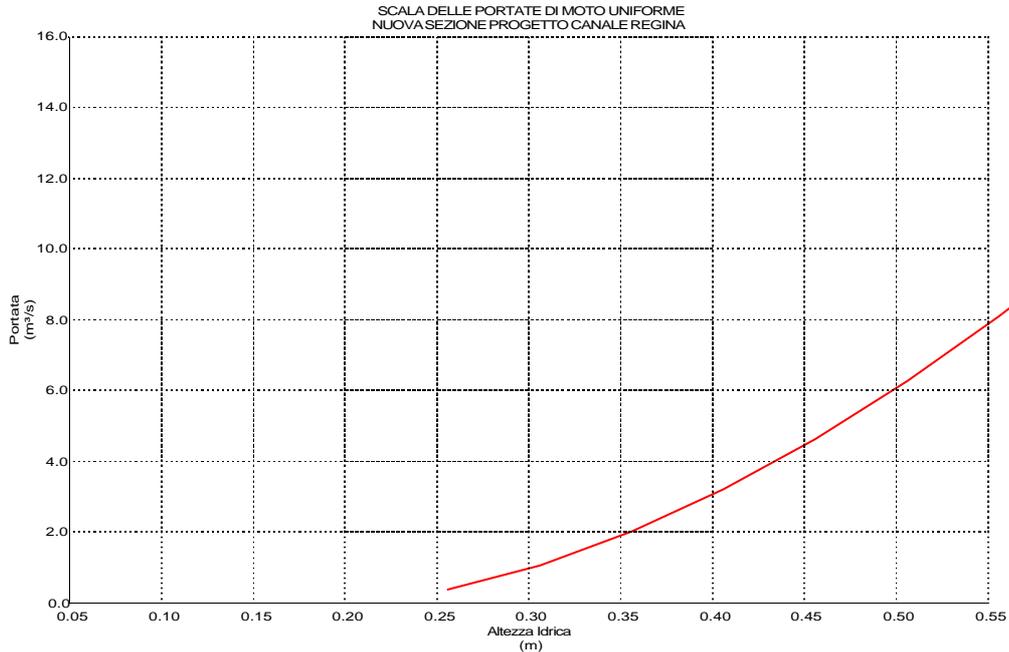


Figura 7.7- Nuova sezione tipo del canale Regina. Scala delle portate di moto uniforme.

VERIFICA IDRAULICA DELLA SEZIONE DEL C.REGINA ($i=0.02$, $n=0.035$)				
Altezza Idrica (m)	Portata (l/s)	Velocità (m/s)	Area idrica (m ²)	Perimetro Bagnato (m)
0.05	315	0.55	0.6	11.64
0.1	999.2	0.86	1.2	11.78
0.15	1962.3	1.12	1.7	11.92
0.2	3167.1	1.35	2.3	12.07
0.25	4590.6	1.56	2.9	12.21
0.3	6216.7	1.76	3.5	12.35
0.35	8032.9	1.94	4.1	12.49
0.4	10029.8	2.11	4.8	12.63
0.45	12199.3	2.27	5.4	12.77
0.5	14534.9	2.42	6	12.91

Tabella 7.8- Nuova sezione tipo del canale Regina. Tabella di calcolo della scala di moto uniforme.

Con un tirante di 0,20 m, la capacità di convogliamento del canale è pari a 3167 l/s, che corrisponde a circa il 0.90 volte la portata di progetto.

Con un tirante di 0,25 m, la capacità di convogliamento del canale è pari a 4590 l/s, che corrisponde a circa il 1.30 volte la portata di progetto.

Con un tirante di 0,50 m, la capacità di convogliamento del canale è pari a 14535 l/s, che corrisponde a circa il 4.10 volte la portata di progetto.

Si conviene che le verifiche idrauliche sulla nuova sezione del Canale Regina hanno fornito un esito positivo; si afferma che la tipologia di sezione scelta è tale da garantire il convogliamento della portata di progetto con un notevole grado di sicurezza.

Ciò dimostra inoltre che la realizzazione degli interventi previsti implica un coefficiente di sicurezza idraulico ancora abbastanza elevato e tale da non creare variazione dei livelli di pericolosità e di rischio idraulico dell'area per via della presenza del Canale Regina.

Si conclude che il livello di rischio rimane nullo.

8. CONCLUSIONI

Il presente Studio Idrologico ed Idraulico è relativo ai corsi d'acqua naturali ed artificiali che sfociano all'interno del Porto Grande di Siracusa in prossimità dell'area interessata dalle opere in progetto.

L'esigenza della redazione di tale studio nasce dalla riconosciuta importanza di individuare con la maggiore esattezza possibile l'entità degli impatti di tipo idrologico-idraulico degli interventi infrastrutturali previsti; alla luce del parere tecnico dell'ufficio del Genio Civile di Siracusa Prot. N. 21754 del 07/08/2009.

Sono stati analizzati i bacini idrografici che interessano l'area in questione e precisamente:

- il bacino del F. Anapo;
- il bacino del Canale Pantanelli;

Inoltre sono effettuate alcune analisi e considerazioni sul bacino minore del Canale Regina e del Canale di scolo tra l'area ex."S.P.E.R.O." e la base dell'Aeronautica.

Per ognuno dei corsi d'acqua di interesse sono state effettuate sia la previsione dell'onda di piena e la valutazione del rischio idrologico-idraulico, sia la stima della produzione di sedimento alla sezione focale.

Di seguito si riportano le tabelle riepilogative che picchi delle portate di piena e della stima della produzione di sedimento alla foce per i bacini analizzati.

$Q_{max} (m^3)$			
T (anni)	ANAPO	PANTANELLI	REGINA
50	1100	100	2
100	1320	110	2,5
300	1680	150	3

PRODUZIONE DI SEDIMENTO P	
BACINO	P(t/anno)
ANAPO	3800
PANTANELLI	8,5
REGINA	5×10^{-3}

Tabella 8.1- Prospetto riepilogativo degli apporti idrici e solidi provenienti dai principali corsi d'acqua che sfociano all'interno del Porto Grande in prossimità delle aree destinate ad ospitare le opere in progetto.

Per il canale di scolo da interviste fatte al personale dell'ufficio del Genio Civile di Siracusa è emerso che la portata idrica massima è pari a circa 50 l/s mentre la portata solida è trascurabile.

Per ognuno dei corsi d'acqua analizzati, in riferimento alle "Carte di Rischio" elaborate durante la redazione del "Piano di Assetto Idrogeologico" della Regione Sicilia, è emerso che il sito destinato ad ospitare le opere in progetto, è a rischio nullo.

Il progetto dell'approdo Spero prevede a corredo delle opere marittime, la realizzazione delle seguenti opere di tipo idraulico:

- deviazione delle acque del canale di scolo in prossimità della base dell'Aereonautica Militare, tramite una collettore interrato;

- risagomatura del tratto finale del canale Regina, per la sistemazione del rilevato esistente al fine della realizzazione della nuova strada di accesso all'area dell'approdo.

E' stato verificato che la realizzazione degli interventi idraulici previsti implica un coefficiente di sicurezza idraulico ancora abbastanza elevato e tale da non creare variazione dei livelli di pericolosità e di rischio idraulico dell'area in esame, che rimane nullo.

Siracusa, 22/06/2023

IL TECNICO

Ing. Paolo Calafiore
