

AUTORITA' PORTUALE DI PALERMO

PORTO DI TERMINI IMERESE *LAVORI DI COMPLETAMENTO DEL MOLO DI SOTTOFLUTTO* PROGETTO DEFINITIVO

Studio Mallandrino 

 **qualityaustria**
SYSTEMZERTIFIZIERT
ISO 9001:2008 NR.09369/0



AUTORITA' PORTUALE DI PALERMO



Progettisti:

Ing. G. Mallandrino

(Responsabile dell'integrazione tra le varie prestazioni specialistiche)

Ing. V. Favara

Ing. A. Novara

Ing. M. A. Rizzo

Ing. P. Traina

Progettazione impianti:

Ing. E. Petralia

Ing. P. Tusa

Collaboratori alla progettazione impianti:

Geom. V. D'Amico

Geom A. Martorana

Coordinatore Sicurezza in fase di progettazione:

Ing. Salvatore Acquista

Responsabile Unico del Procedimento:

Ing. Sergio La Barbera

Elaborati dattiloscritti <i>2. Relazioni tecniche e specialistiche</i>		Data 18/06/2013	Archivio 689
Elaborato	Studio idrologico e idraulico	Elaborato Favara - Novara	
2.5		Verificato Rizzo 689	Progetto Definitivo 18/06/2013
		Validato Mallandrino	Proprietà riservata L. 633 del 22/04/41



AUTORITÀ PORTUALE DI PALERMO

Porti di Palermo e Termini Imerese

*LAVORI DI COMPLETAMENTO DEL MOLO DI SOTTOFLUTTO DEL
PORTO DI TERMINI IMERESE*

PROGETTO DEFINITIVO

STUDIO IDROLOGICO E IDRAULICO

INDICE

1. DESCRIZIONE DEI BACINI	3
1.1 BACINO DEL FIUME SAN LEONARDO	3
1.2 BACINO DEL FIUME TORTO E DEL TORRENTE BARRATINA	4
2. IDROGRAFIA	5
2.1 IDROGRAFIA: BACINO DEL FIUME SAN LEONARDO	5
2.2 IDROGRAFIA: BACINO DEL FIUME TORTO E DEL TORRENTE BARRATINA	7
3. CLIMATOLOGIA	7
3.1 CLIMATOLOGIA: BACINO DEL FIUME SAN LEONARDO	7
3.2 CLIMATOLOGIA: BACINO DEL FIUME TORTO	9
4. LO SBARRAMENTO ROSAMARINA SUL FIUME S. LEONARDO	10
5. STUDIO IDROLOGICO	11
5.1 STUDIO IDROLOGICO: BACINO DEL FIUME SAN LEONARDO	11
5.2 STUDIO IDROLOGICO: BACINO DEL FIUME TORTO	19
6. STUDIO IDRAULICO	24
6.1 STUDIO IDRAULICO: BACINO DEL FIUME SAN LEONARDO	24
6.1.1 Perimetrazione delle Aree Potenzialmente Inondabili	25
6.1.2 Perimetrazione delle Aree a Rischio Idraulico	26
6.2 STUDIO IDRAULICO: BACINO DEL FIUME TORTO E DEL TORRENTE BARRATINA	30
7. ANALISI IDRODINAMICA ALL'INTERFACCIA TERRA – MARE	32
7.1 STUDIO IDROLOGICO DEL TORRENTE BARRATINA	32
7.2 MODELLO IDRAULICO UTILIZZATO	36
7.3 ANALISI IDRODINAMICA ALLA FOCE DEL TORRENTE BARRATINA	37
7.3.1 Influenza del moto ondoso	37
7.3.2 Influenza della portata	39
7.3.3 Effetto congiunto del moto ondoso e della portata	39
8. CONCLUSIONI	41

PREMESSA

Il presente studio idrologico analizza i bacini dei corsi d'acqua che sfociano in prossimità del porto di Termini Imerese. L'analisi condotta prende le mosse dal Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Sicilia del 2004, redatto dal Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Applicazioni Ambientali (DIIAA) dell'Università di Palermo. Vengono analizzati il bacino del fiume Torto (423,41 km²) che sfocia a levante del porto, il bacino del fiume San Leonardo (506 Km²) che sbocca a ponente, e quello del torrente Barratina, la cui foce si trova in radice al molo di sottoflutto e che nel suo recente passato ha avuto numerosi eventi di piena in prossimità della foce stessa.

Lo studio idrologico è preceduto dalla descrizione dell'idrografia dei bacini, della pluviometria e della termografia. Sono state ricavate le curve di possibilità pluviometriche per tre tempi di ritorno (50, 100 e 300 anni) che permettono di ricavare gli ietogrammi lordi di progetto. Per la determinazione della "pioggia netta" o "deflusso superficiale" è stato utilizzato il metodo noto come "SCS-Curve Number".

Il calcolo delle portate è stato condotto utilizzando il modello matematico HEC-GeoHMS, mentre la propagazione delle portate è stata studiata con il software HEC-HMS (entrambi sviluppati dal U.S. Army Corps of Engineers).

Le analisi sulle portate al colmo ha permesso di perimetrare le aree a rischio di inondazione. In accordo col PAI, si sono individuate aree a rischio molto elevato in prossimità della foce del Torto (in sinistra idraulica) e in prossimità della foce del Barratina (in sinistra idraulica dentro il centro abitato di Termini Imerese).

Infine, è stata condotta un'analisi idrodinamica alla foce del Torrente Barratina.

1. DESCRIZIONE DEI BACINI

1.1 BACINO DEL FIUME SAN LEONARDO

Il Fiume San Leonardo è il corso d'acqua principale della costa settentrionale della Sicilia. Il suo bacino idrografico si estende per circa 506 Km² di cui circa quattrocento sono stati dichiarati montani con R.D n° 3301 del 2/11/1933. Il bacino si sviluppa tra la catena costiera (Monti di Trabia, Monte S. Calogero) e le propaggini settentrionali dei Monti Sicani (M. Cardellia, M. Barracù, Monti di Prizzi); esso confina ad est con il bacino del F. Torto, a SE con quello del F. Platani, a sud con quello del F. Sosio, a SO con quello del Belice sinistro e ad ovest con quello del F. Milicia.

La forma del bacino idrografico è sub-circolare, con una pronunziata appendice settentrionale che si estende in direzione NNE-SSW dalla foce verso la zona montana. Il bacino raggiunge la sua

massima ampiezza, pari a circa Km 22, a meridione; nella parte settentrionale, invece, la larghezza si riduce sensibilmente, fino a poco più di 1 Km, a circa Km 3,5 dalla foce, in corrispondenza della gola del Rosamarina, dove il corso del fiume è stato sbarrato dalla omonima diga. Quest'ultima è stata realizzata nel corso degli anni '80 dall'E.S.A. (Ente Sviluppo Agricolo) ed il volume dell'invaso creatosi è di circa 100 milioni di m³.

Il bacino idrografico del fiume San Leonardo ricade interamente nel territorio della provincia di Palermo. Nel bacino è possibile riconoscere l'azione antropica, oltre che nei centri abitati e nei territori agricoli, in numerose infrastrutture di trasporto. Tra queste le più importanti sono la sede ferroviaria Palermo-Messina, la sede stradale della S.S. 113 Palermo-Messina; quella dell'autostrada A19 Palermo-Catania, che attraversa la parte settentrionale del bacino a prevalente andamento E-O; infine, le sedi stradali della arteria a scorrimento veloce Palermo- Agrigento (S.S. 121) e delle S.S. 285, S.S. 118 e S.S. 188.

All'interno del bacino sono presenti delle aree naturali protette: la Riserva Naturale Orientata del Bosco Ficuzza che occupa parte dei territori comunali di Godrano e Corleone e la Riserva Naturale Orientata delle Serre di Ciminna che ricade nel territorio comunale di Ciminna.

1.2 BACINO DEL FIUME TORTO E DEL TORRENTE BARRATINA

Il bacino idrografico del Fiume Torto e l'area compresa tra il bacino del Fiume San Leonardo ed il bacino del Fiume Torto ricadono nel versante settentrionale della Sicilia, sviluppandosi principalmente nei territori comunali della provincia di Palermo e marginalmente nei territori delle province di Agrigento e Caltanissetta. Il bacino del Fiume Torto occupa un'area di 423,41 km², mentre l'area intermedia tra il bacino del Fiume San Leonardo ed il bacino del Fiume Torto, che comprende i torrenti Tre Pietre e Barratina, insiste su una superficie complessiva di 32,13 km².

Geograficamente il bacino si sviluppa tra i gruppi montuosi delle Madonie ad Est ed i Monti di Termini a Ovest; dal punto di vista idrografico, invece, esso confina con il bacino del Fiume Imera Settentrionale, a sud con il bacino del Fiume Platani, a ovest con il bacino del Fiume San Leonardo.

Il bacino idrografico del Fiume Torto presenta una variabilità morfologica piuttosto spiccata, sviluppando il suo territorio tra due complessi montuosi (Madonie e Monti di Termini) e comprendendo anche la zona interna collinare tra la catena settentrionale ed i Monti Sicani. Gran parte di Monte San Calogero risulta compreso all'interno del bacino idrografico in corrispondenza dell'ultima sua porzione, in sinistra orografica. Le quote maggiori si riscontrano proprio con la cima di questo monte (circa 1370 m s.l.m.), mentre nella parte alta del bacino le quote diminuiscono, con valori massimi di poco superiori ai 900 metri s.l.m. Tra gli elementi che determinano l'andamento dell'asta principale e dei suoi affluenti principali si ricordano: la dorsale di Monte Roccelito (destra

orografica, 1145 m s.l.m.) e la sua prosecuzione ad ovest con P.zo Bosco; la dorsale nord-sud denominata La Montagna che a partire dall'abitato di Roccapalumba e fino al nucleo abitato di Sambuchi, delimita ad ovest il bacino idrografico; le alture arenarie di P.zo Fico, P.zo Conca, M. Castellazzo, M. Rigiura, La Montagna (Alia) e Serra Tignino che caratterizzano la porzione centrale in destra idrografica. I contrasti morfologici sono maggiormente presenti nei versanti del tratto che attraversa la catena costiera siciliana, a partire dalla stretta morfologica posta subito a valle della stazione ferroviaria di Montemaggiore Belsito e fino all'ultimo tratto del corso del F. Torto, quando questo attraversa la Piana costiera di Bonfornello. A monte prevalgono i paesaggi collinari, generalmente omogenei, se si eccettuano le alture arenarie descritte precedentemente, dove i tratti terminali del reticolo idrografico presentano pendenze elevate. Le aree territoriali comprese tra i due bacini limitrofi, sono morfologicamente differenti.

L'area tra il F. Torto ed il F. S. Leonardo, comprende invece le falde di Monte S. Calogero e quindi presenta morfologie più aspre con pendenze notevoli nei tratti terminali del reticolo, che si dipartono dalle numerose conoidi detritiche poste al piede delle cime del complesso montuoso. Spesso le acque scorrono su incisioni poco sviluppate in ragione delle forti pendenze e del breve tragitto dalle cime alla linea di costa.

2. IDROGRAFIA

2.1 IDROGRAFIA: BACINO DEL FIUME SAN LEONARDO

Il Fiume S. Leonardo presenta un andamento planimetrico dell'alveo che si snoda, procedendo dalle sorgenti alla foce, lungo un percorso di quasi Km 58; esso, a circa 33 chilometri dalla foce, assume la configurazione ad "Y" in seguito alla diramazione in due bracci denominati F. Trinità e F. della Margana. Il Fiume S. Leonardo nasce alle pendici di Pizzo Cangialoso (m. 1.456), ricadente nel territorio comunale di Corleone, e nel suo tratto iniziale, ad andamento NE-SO, prende il nome di "Vallone Margi". Successivamente, il corso d'acqua attraversa i territori comunali appartenenti al Dipartimento di Prizzi e, nuovamente, al comune di Corleone e, a circa Km 8,3 dalla sorgente e alla quota di m. 480, assume il nome di "F. della Mendola". Quest'ultimo segna con il suo percorso il confine tra i territori comunali di Campofelice di Fitalia e Prizzi e, dopo la confluenza con il Vallone Giardo, a quota m. 360 e a circa Km 18 dalla sorgente, prende il nome di "F. Centosalme". Esso si snoda con andamento all'incirca ENE-OSO fino a quando, a quota m. 330 circa e alla distanza dalla sorgente di circa 21 km, cambia il suo nome in "F. Trinità". Il F. Trinità presenta un andamento planimetrico ad orientazione NE-SO e con il proprio corso segna il confine tra i territori comunali appartenenti a Campofelice di Fitalia e Vicari. A quota m. 290 e a circa Km 24,5 dalla

sorgente il fiume riceve in destra idraulica le acque del F. della Margana e dopo tale confluenza viene denominato “F. di Vicari”, nonostante ricada nel territorio comunale di Campofelice di Fitalia, per la vicinanza dell’omonima cittadina situata a pochi chilometri di distanza dal suddetto corso d’acqua. Il F. di Vicari si snoda con andamento ENE-OSO e assume definitivamente il nome di “F. San Leonardo” dopo la confluenza con il Torrente S. Domenica, a quota m. 270 circa e alla distanza dalla sorgente di circa Km 27. Il F. San Leonardo si snoda, con andamento NNE-SSO, per circa Km 30. Durante il suo percorso attraversa il territorio comunale di Vicari; segna, per buona parte, il confine comunale tra quest’ultimo e Ciminna; attraversa i territori comunali di Caccamo e di Termini Imerese e, infine, sfocia nel Mar Tirreno con un estuario a NO e a breve distanza dalla cittadina di Termini. Il profilo di fondo del fiume San Leonardo mostra pendenza media molto bassa, pari a 2,33%. Tuttavia, un’analisi più dettagliata ha permesso di rilevare l’esistenza di tratti a pendenza anomala, dovuti a cambiamenti litologici e/o discontinuità tettoniche, in base ai quali il profilo di fondo è suddivisibile in tre tratti principali. Il primo tratto è compreso tra la sorgente (quota m. 1350) e quota m. 520 circa, dove si localizza il contatto tettonico tra le Unità Numidiche e l’U.S.S. M. Barracù-Colomba. Questo primo tratto ha pendenza poco elevata, pari al 12,73% e coincide all’incirca con il “Vallone Margi”, nome che assume il percorso iniziale del fiume San Leonardo. Questo primo tratto, inoltre, presenta spesso brusche variazioni di pendenza localizzate in corrispondenza di piani di faglia; quelle più evidenti sono alle quote di m. 650 e m. 900. Il secondo tratto del profilo longitudinale è il più lungo e si identifica con il percorso intermedio del fiume San Leonardo, compreso tra il piano di faglia di quota m. 520 e la soglia tettonica localizzata a quota m. 120. Questo secondo tratto ha pendenza media bassissima, pari a 0,89% e si presenta, nel complesso, piuttosto regolare. Attraverso un’analisi più dettagliata, però, è possibile individuare anche lungo questa parte del profilo numerosi gradini morfologici. Essi sono dovuti a piani di faglia che talvolta segnano cambiamenti litologici e lungo i quali sono impostati quasi tutti gli affluenti minori del fiume San Leonardo. In particolare, a quota m. 320 è presente il contatto tettonico tra le Unità Numidiche e le Unità Postorogene. Procedendo verso valle, a quota m. 260, è presente un piano di faglia all’interno del suddetto complesso postorogeno, alla confluenza del Torrente Santa Domenica nel fiume San Leonardo. A quota m. 190, invece, è presente il contatto tettonico tra il Flysch Numidico ed il Complesso tortoniano, contatto lungo il quale si localizza il Vallone Criti. A quota m. 176, in corrispondenza del Vallone Celso, si trova un piano di faglia nelle Unità Sicilidi. A quota m. 164, il fiume San Leonardo riceve le acque del Vallone Fava, impostato su una faglia all’interno del Complesso postorogeno. Anche il Vallone Ciacca, che confluisce nell’asta principale a quota m. 140 circa, è impostato su un piano di discontinuità tettonica, così come il Vallone

Canalotto, che confluisce nel fiume San Leonardo a quota m. 130, ed è localizzato lungo una faglia che pone a contatto le Unità Numidiche e quelle Sicilidi. Infine, il terzo ed ultimo tratto del profilo longitudinale è localizzato, come già detto, a valle della soglia di origine tettonica di quota m. 120 circa. In corrispondenza di questa soglia è stata realizzata la diga Rosamarina. Quest'ultimo tratto ha pendenza media pari a 1,91% e si presenta piuttosto regolare, con un'accentuata concavità verso l'alto. Gli affluenti principali del Fiume S. Leonardo sono, a partire dalle sorgenti: il V.ne Guddemi, il V.ne Giardo, il Fiume della Margana, il T.te Azziriolo ed il V.ne Macaluso.

2.2 IDROGRAFIA: BACINO DEL FIUME TORTO E DEL TORRENTE BARRATINA

L'asta principale del fiume, lungo complessivamente circa 57 Km, nel tratto di monte, si sviluppa in direzione est-ovest, parallelamente allo spartiacque meridionale. In questo primo tronco gli affluenti principali sono: il T. Gian Jacopo ed il V.ne Guccia. Nella zona centrale, fino alla confluenza in sinistra del T. Lisca, il corso d'acqua raccoglie i deflussi del F. S. Filippo e del V.ne Raffo, in sponda sinistra. A valle della confluenza con il T. Lisca, che costituisce il maggiore affluente del F. Torto, il corso d'acqua prosegue fino alla foce raccogliendo i deflussi del V.ne Finantelli e Scarcella, in sponda sinistra, e il Fosso Zimma ed il V.ne Baglio, in sponda destra. Il Fiume Torto ha un regime tipicamente torrentizio, caratterizzato da lunghi periodi di magra, con valore della portata praticamente uguale a zero. In 7 anni di osservazione della stazione idrometrica di località Bivio Cerda, si è registrato un numero massimo di 158 giorni consecutivi a portata nulla, mentre nel 50% degli anni si è raggiunto un numero di 118 giorni. Nell'area compresa tra il F. Torto ed il F. Imera settentrionale si evidenziano solo due incisioni principali: V.ne di Molarà e V.ne di Passo di Vicenza, ad andamento sub parallelo, con inizio in corrispondenza delle colline di Contrada Villaurea. Per l'area tra il F. Torto ed il F. S. Leonardo, solo nella porzione più occidentale si rinvengono incisioni ben sviluppate con i Torrenti Tre Pietre e Barratina, da segnalare quest'ultimo, che sfocia nel porto di Termini Imerese e che nel suo recente passato ha avuto numerosi eventi di piena in prossimità della foce.

3. CLIMATOLOGIA

3.1 CLIMATOLOGIA: BACINO DEL FIUME SAN LEONARDO

Per definire il microclima del settore della Sicilia nord-occidentale nel quale ricade il bacino idrografico del fiume San Leonardo sono stati considerati gli elementi climatici *temperatura* e *piovosità*. In particolare, il regime termico e pluviometrico dell'area è stato ricavato considerando i dati registrati presso le stazioni termopluviometriche e pluviometriche situate all'interno del bacino in esame, di seguito elencate (Tabella 1).

STAZIONE	LOCALITA'	STRUMENTO	QUOTA (m s.l.m.)	COORDINATE (UTM)	
				Lat.	Long.
Caccamo	Caccamo	Pluviometro	521	4.199.326	382.823
Campofelice di Fitalia	Campofelice di Fitalia	Pluviometro	730	4.186.627	366.500
Ciminna	Ciminna	Termo-pluviometro	500	4.195.780	372.512
Mezzojuso	Mezzojuso	Pluviometro	500	4.192.199	365.124
Monumentale	Termini Imerese	Pluviometro	6	4.204.833	385.830
Vicari	Vicari	Pluviometro	650	4.186.511	373.836

Tabella 1 –Stazioni termo pluviometriche (Fonte: relazione per il bacino del F. San Leonardo – PAI della Regione Sicilia, 2004)

Per l'analisi delle condizioni termometriche si è fatto riferimento soltanto ai dati registrati dalla stazione di Ciminna, essendo quest'ultima l'unica tra quelle ricadenti all'interno del bacino del Fiume San Leonardo ad essere dotata di termopluviografo. Prendendo in considerazione i dati rilevati negli ultimi vent'anni e confrontando i valori relativi alle escursioni termiche annuali o a quelle mensili il territorio in esame mostra un andamento termico piuttosto regolare. Inoltre, riferendosi alle medie stagionali si ottengono valori nella norma se si calcola l'escursione tra la temperatura media diurna e quella notturna mentre forti differenze si ricavano dal confronto, per un dato mese, fra la temperatura diurna massima e quella minima notturna. L'analisi dei dati mostra che nei mesi più caldi (Luglio e Agosto) si raggiungono temperature massime di circa 40°C; invece, nel mese più freddo (Gennaio) la temperatura media è pari a 9°C e i valori minimi raggiungono pochi gradi sopra lo zero centigrado, scendendo raramente al disotto e soltanto alle quote più elevate. La temperatura media annua dell'intero territorio in esame è pari a 15°C.

L'analisi del regime pluviometrico è stata effettuata attraverso gli annali idrologici pubblicati dalla Regione Siciliana (Ufficio Idrografico); in particolare, si sono presi in considerazione i dati inerenti al periodo 1976-1994 e registrati dalle stazioni di rilevamento ricadenti all'interno del bacino del San Leonardo. Dalle analisi effettuate si evince che nel periodo suddetto il valore di piovosità media annua è pari a circa 600 mm. Inoltre, nello stesso periodo gli anni più piovosi sono stati il 1976 e il 1982, quando si sono registrati, rispettivamente, 1163 mm e 924 mm di pioggia; l'anno meno piovoso, invece, è stato il 1984, con 314 mm. Il mese più piovoso relativo al periodo considerato è stato quello di Gennaio del 1981 che ha fatto registrare ben 244 mm di pioggia

nell'arco di soli 15 giorni. In generale, nell'arco di ogni singolo anno i giorni più piovosi ricadono nel semestre autunno-inverno e, in particolare, nell'intervallo temporale Ottobre-Febbraio mentre le precipitazioni diventano decisamente di scarsa entità nel periodo compreso tra Maggio e Settembre. In definitiva, i caratteri pluviometrici riportati delineano un clima di tipo *temperatomediterraneo*, caratterizzato da precipitazioni concentrate nel periodo autunnale-invernale e quasi assenti in quello estivo. Gli elementi climatici esaminati influiscono direttamente sul regime delle acque sotterranee e, essendo le piogge concentrate in pochi mesi (essenzialmente nel periodo Ottobre- Febbraio), assumono particolare interesse i fenomeni di ruscellamento superficiale, di infiltrazione e di evaporazione. L'evaporazione è sempre modesta nei mesi freddi e nelle zone di affioramento dei termini litoidi di natura calcareo-dolomitica lo è anche nei mesi caldi, a causa dell'elevata permeabilità di tali litotipi (per fessurazione e/o per porosità nella coltre d'alterazione) che favorisce notevolmente l'infiltrazione delle acque ruscellanti. Inoltre, il ruscellamento superficiale risulta moderato anche a causa della morfologia dell'area in esame la quale mostra rilievi a pendenza generalmente bassa o moderata; esso, pertanto, diviene preponderante soltanto nelle zone in cui affiorano i terreni impermeabili e qualora si verificano forti rovesci della durata di poche ore. Si evince, dunque, che la ricarica degli acquiferi dell'area in esame avviene sostanzialmente nel periodo piovoso suddetto (Ottobre-Febbraio) e che, pur non mancando saltuari eventi piovosi negli altri mesi dell'anno, durante l'estate, caratterizzata generalmente da lunghi periodi di siccità ed elevate temperature, si verificano condizioni di deficit di umidità negli strati più superficiali del terreno per la mancanza di risalita di acqua per capillarità.

3.2 CLIMATOLOGIA: BACINO DEL FIUME TORTO

L'analisi del regime pluviometrico dell'area in esame è stata effettuata attraverso i dati registrati dalle stazioni elencate in tabella 2 ove si riportano anche i valori delle precipitazioni medie mensili e la precipitazione media annua ricavati per ciascuna delle stazioni pluviometriche considerate nel periodo 1965 - 1994. In generale, nell'arco di ogni singolo anno i giorni più piovosi ricadono nel semestre autunno-inverno e, in particolare, nell'intervallo temporale Ottobre-Marzo mentre le precipitazioni diventano decisamente di scarsa entità nel periodo compreso tra Giugno e Settembre (Tabella 2).

STAZIONE	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	ANNO
ALIA	67,0	61,9	60,5	46,4	23,7	10,0	4,7	7,3	27,1	62,8	60,8	84,4	516,6
CACCAMO	81,4	75,9	68,2	62,5	30,8	10,9	5,6	13,2	36,2	71,3	70,6	84,0	610,6
CERDA	72,8	78,5	66,0	56,8	29,3	8,5	9,5	14,6	38,6	76,1	81,8	83,2	615,7
FATTORIA GIOIA	74,1	63,0	61,0	46,1	25	6,3	3,1	10,1	30,0	58,8	63,6	73,9	515,0
LERCARA FRIDDI	75,5	72,7	61,3	49,8	24,6	6,6	5,0	11,2	29,7	68,7	62,6	83,8	551,5
MONUMENTALE	66,4	68,4	63,0	47,2	27,3	9,4	8,1	11,5	48,5	71,4	65,9	74,1	561,2
VICARI	54,0	53,0	47,3	48,9	25,6	12,0	5,4	13,6	31,8	72,6	55,1	62,9	482,2

Tabella 2 - Dati pluviometrici (Fonte: relazione per il bacino del F. Torto – PAI della Regione Sicilia, 2004)

Dai dati termo-pluviometrici raccolti è possibile evidenziare che l'andamento climatico della zona in studio è assimilabile a quello medio della Sicilia sud-occidentale ovvero è classificabile come temperato-mediterraneo, poiché caratterizzato da un periodo piovoso che ricade nel periodo ottobre-aprile e minimi stagionali da giugno ad agosto, quando si raggiungono le temperature più elevate.

4. LO SBARRAMENTO ROSAMARINA SUL FIUME S. LEONARDO

Caratteristiche del serbatoio artificiale

La diga Rosamarina, opera di ritenuta oggetto dello studio E.S.A., sbarrata il fiume San Leonardo a circa 6 Km dalla foce, sottendendo un bacino imbrifero di 460 Km². La sezione di sbarramento, disposta a quota 90 m s.m., chiude la stretta gola incisa dal fiume nelle formazioni calcaree e dolomitiche dei rilievi di Termini Imerese. L'altezza raggiunge i 93 m consentendo l'invaso di 100 milioni di m³ alla quota massima di regolazione. La diga è in muratura di calcestruzzo del tipo ad arco-gravità, tracimabile nella parte centrale del coronamento. La geometria della sezione maestra è caratterizzata dal profilo parabolico dei paramenti. Il volto della diga, simmetrico rispetto alla sezione maestra, è appoggiato alla roccia tramite un pulvino perimetrale continuo. Tra lo scudo a doppia curvatura ed il pulvino è interposto un giunto perimetrale sagomato a culla provvisto di un dispositivo di drenaggio. Le caratteristiche principali della diga, dedotte dal progetto, sono le seguenti: - quota del piano di coronamento 176 m s.l.m. - quota di massimo invaso 175 m s.l.m. - quota di massima regolazione 169,50 m s.l.m. - altezza massima 93 m - quote di massimo svaso 116,50 m s.l.m. - sviluppo al coronamento 200,33 m - corda di coronamento 171,30 m - spessore alla base del volto 31,49 m - spessore alla base del pulvino 41,91 m - spessore al coronamento 5,00 m - volume utile di regolazione 100 10⁶ m³

5. STUDIO IDROLOGICO

5.1 STUDIO IDROLOGICO: BACINO DEL FIUME SAN LEONARDO

Il bacino idrografico del fiume San Leonardo, di estensione pari a circa 506 km², è stato suddiviso in 5 sottobacini; per ogni sezione di chiusura dei sottobacini sono state calcolate le massime portate al colmo di piena per assegnati tempi di ritorno, utilizzando i modelli matematici HEC-GeoHMS prima, e HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System) dopo, entrambi sviluppati dal U.S. Army Corps of Engineers, interfacciati con il software Arcview GIS. I tempi di ritorno considerati sono di 50, 100 e 300 anni.

Di seguito si riportano la procedura adottata ed i risultati dello studio idrologico condotto. Lo studio è stato sviluppato in due fasi successive: la prima, definita di pre-processing, ha consentito di individuare automaticamente, partendo da un modello digitale delle quote del territorio, denominato DEM (Digital Elevation Model), il reticolo idrografico, le dislivelli e, quindi, i limiti di bacino e dei sottobacini, ciascuno dei quali corredato dai principali parametri morfologici; la seconda, di modellazione idrologica, ha permesso di simulare mediante il modello HEC-HMS, utilizzando come dati di input quelli ottenuti nella fase precedente, i processi di Afflusso-Deflusso, ottenendo, infine, i valori delle massime portate al colmo di piena per i fissati tempi di ritorno in corrispondenza delle sezioni sia di chiusura dei sottobacini considerati, sia di confluenza dei sottobacini stessi con l'asta fluviale principale. In Figura 1 è riportato il DEM relativo al bacino idrografico in studio compreso i limiti ed il reticolo idrografico. Le dimensioni delle celle del DEM utilizzato sono di 100x100 m. In Figura 2 è riportato lo schema idrologico, prodotto dal modello HEC-GeoHMS, utilizzato per il calcolo delle portate al colmo di piena. Per la determinazione della "pioggia netta" o "deflusso superficiale" è stato utilizzato il metodo noto come "SCS-Curve Number". La precipitazione netta si ottiene sottraendo alla precipitazione totale, P, le perdite iniziali, I_a, dovute all'immagazzinamento superficiale, all'intercettazione operata dalla copertura vegetale presente ed all'infiltrazione prima della formazione del deflusso. La precipitazione netta, P_n, si ripartisce completamente tra il volume di deflusso superficiale, V, e l'invaso del suolo, W, secondo la seguente espressione: $P_n = V + W$.

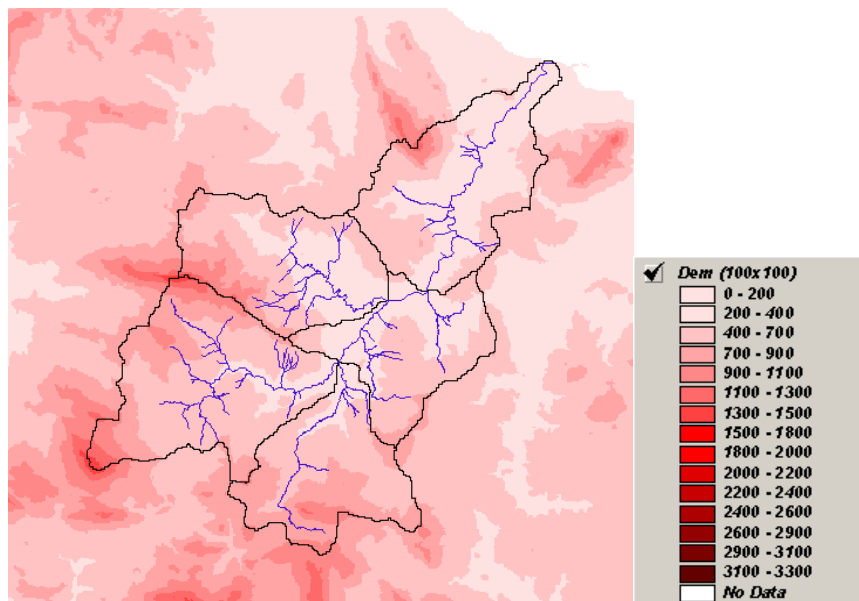


Figura 1: DEM (Digital Elevation Model) relativo al bacino idrografico del Fiume San Leonardo (Fonte: relazione per il bacino del F. San Leonardo – PAI della Regione Sicilia, 2004)

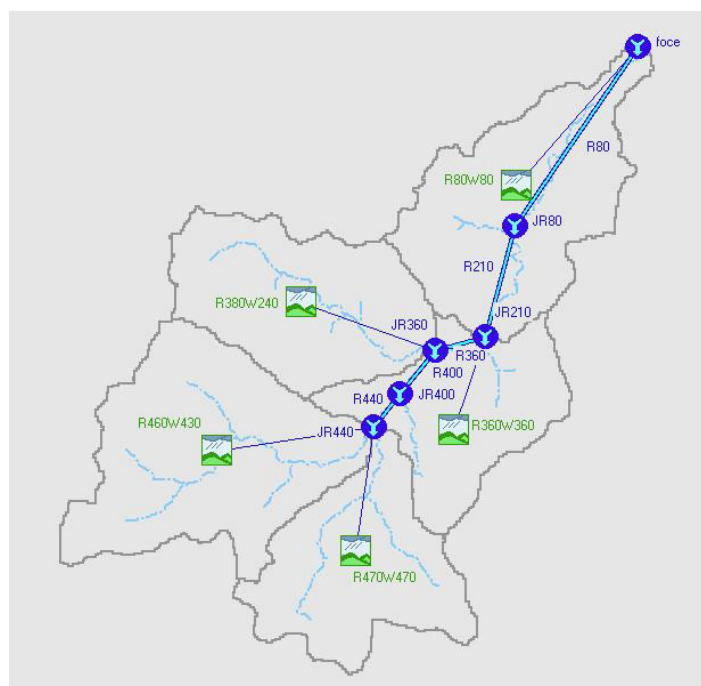


Figura 2: Schema idrologico del bacino idrografico del Fiume San Leonardo utilizzato per il calcolo della massima portata al colmo di piena (Fonte: relazione per il bacino del F. San Leonardo – PAI della Regione Sicilia, 2004)

Le perdite iniziali sono correlate all'invaso massimo del suolo, S, attraverso la seguente relazione:
 $I_a = 0.2 S$ e tenendo conto che $P_n = P - I_a$, il deflusso superficiale può essere espresso mediante la seguente espressione:

$$V = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

la valutazione del deflusso superficiale presuppone sia la conoscenza della precipitazione totale, P, sia la stima del massimo invaso del suolo, S, che, in teoria, può assumere valori compresi tra 0 ed infinito, in corrispondenza, rispettivamente, di superficie perfettamente impermeabile e di superficie perfettamente permeabile, condizione, quest'ultima, che non dà luogo alla formazione di alcun deflusso superficiale. La valutazione di S è condotta mediante la seguente relazione:

$$S = S_0 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

in cui S_0 è un fattore di scala pari a 254 mm e CN è un parametro, compreso tra 0 e 100, che indica l'attitudine del bacino esaminato a produrre deflusso ed è stimato in relazione alle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale presenti nel bacino. I valori medi areali di CN, relativi ad ogni sottobacino nel quale è stato suddiviso il bacino principale, sono stati ottenuti utilizzando la distribuzione regionale determinata da Maltese (2003), attraverso la metodologia meglio descritta nella relazione metodologica predetta. In Figura 3 è riportata la distribuzione areale del valore CN nel bacino in studio tratta dal DTM (Digital Terrain Model). I valori medi di CN, relativi ai sottobacini considerati, sono riportati in Tabella 1. Mediante tecniche di elaborazione GIS, sono state determinate le curve isocorrive; il massimo valore della curva isocorriva di ciascun sottobacino ne rappresenta il corrispondente tempo di corrivazione. Quest'ultimi valori sono riportati in Tabella 3.

Sottobacino n°	Codice HMS	CN	t _c (ore)
1	R460W430	81	5
2	R470W470	79	4
3	R380W240	79	3
4	R360W360	80	5
5	R80W80	79	4

Tabella 3: Valori medi del parametro CN e valori del tempo di corrivazione per ogni sottobacino (Fonte: relazione per il bacino del F. San Leonardo – PAI della Regione Sicilia, 2004)

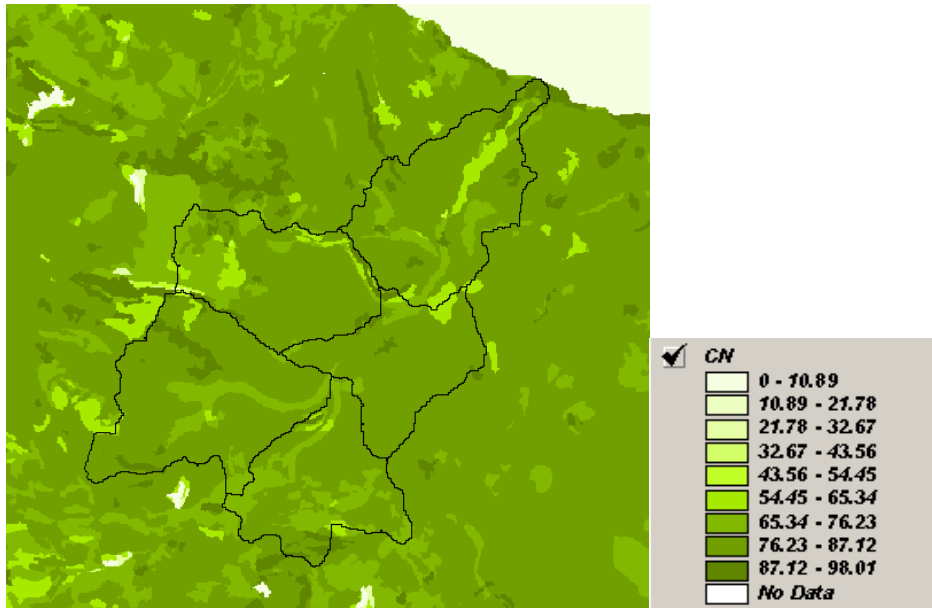


Figura 3: DTM (Digital Terrain Model) relativo alla distribuzione del parametro CN nel bacino idrografico del Fiume San Leonardo (Fonte: relazione per il bacino del F. San Leonardo – PAI della Regione Sicilia, 2004)

Per la determinazione delle massime portate al colmo di piena sono stati ricostruiti, per ciascun sottobacino, gli ietogrammi sintetici di progetto per fissato tempo di ritorno, applicando il modello meteorologico denominato “Frequency Storm”, meglio descritto nella relazione metodologica. Le altezza di pioggia, h , di data durata, t , e fissato tempo di ritorno, T , sono rappresentate attraverso la seguente relazione esponenziale in forma monomia:

$$h = K_T a t^n$$

in cui a ed n sono due parametri caratteristici delle stazioni pluviometriche, mentre K_T è un parametro di scala, denominato coefficiente di crescita, dipendente sia dal tempo di ritorno, T , sia dal coefficiente di variazione della stazione pluviometrica, CV , attraverso la seguente relazione:

$$K_T = 1 - CV \left(0.450 + 0.779 \ln \left(\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right) \right)$$

in Tabella 4 sono riportati, per ogni sottobacino, i valori medi dei parametri a , n e CV , i quali sono stati ottenuti, mediante tecniche GIS. I valori dei predetti parametri relativi all'intero bacino sono stati determinati come media pesata dei valori dei sottobacini, in funzione della loro estensione areale (vedi Tabella 5). In Figura 7 sono rappresentate le curve di possibilità pluviometriche per i tre tempi di ritorno considerati.

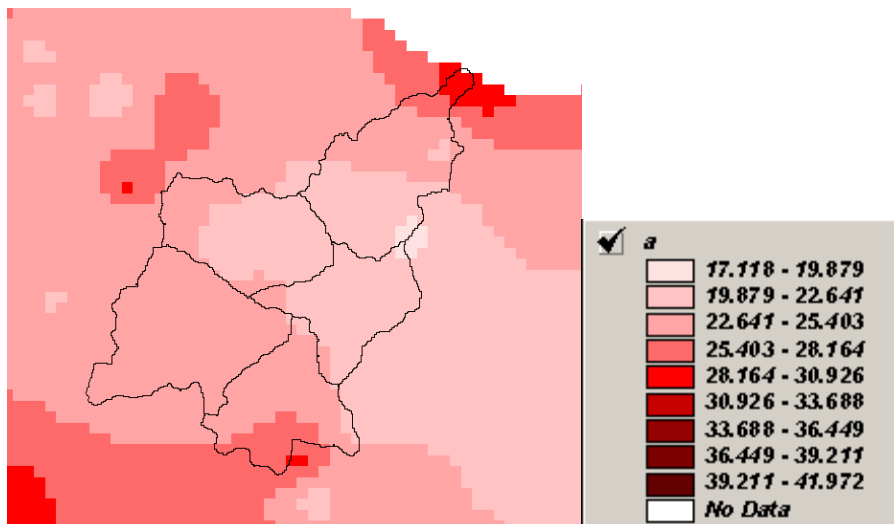


Figura 4: DTM relativo alla distribuzione del parametro a nel bacino idrografico del Fiume San Leonardo (Fonte: relazione per il bacino del F. San Leonardo – PAI della Regione Sicilia, 2004)

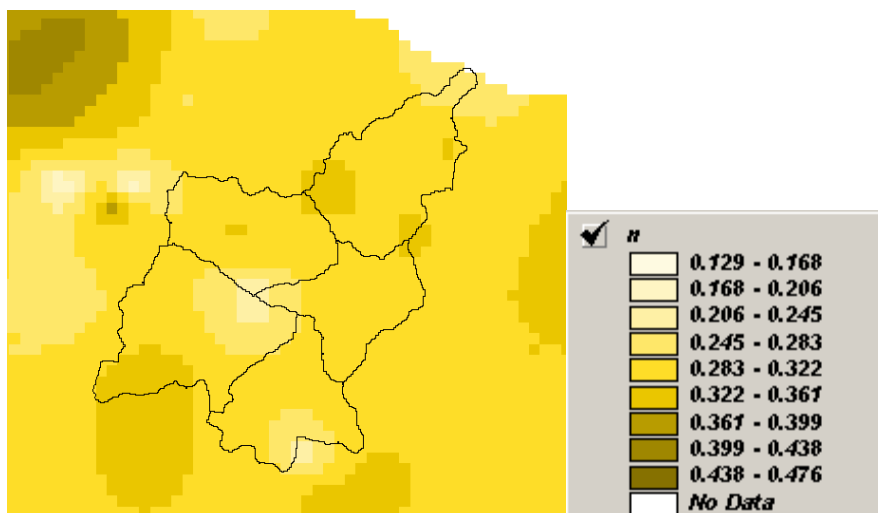


Figura 5: DTM relativo alla distribuzione del parametro n nel bacino idrografico del Fiume San Leonardo (Fonte: relazione per il bacino del F. San Leonardo – PAI della Regione Sicilia, 2004)

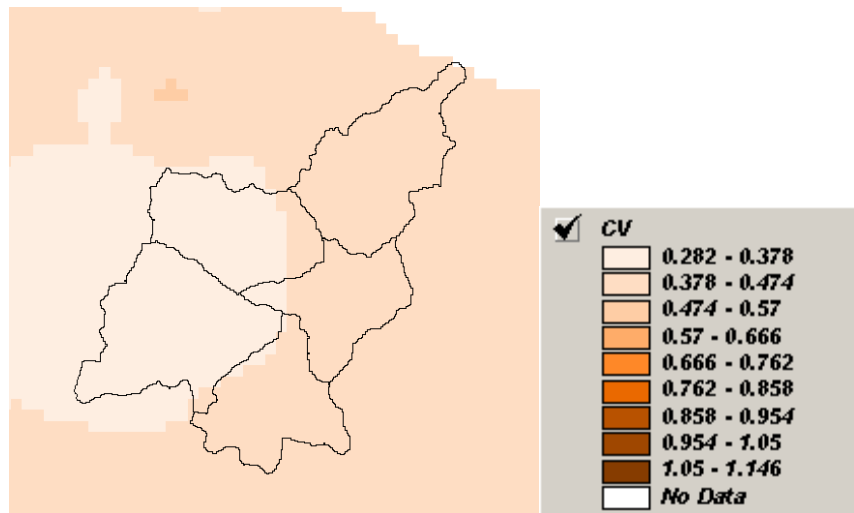


Figura 6: DTM relativo alla distribuzione del parametro CV nel bacino idrografico del Fiume San Leonardo (Fonte: relazione per il bacino del F. San Leonardo – PAI della Regione Sicilia, 2004)

Sottobacino n°	Codice HMS	Superf. (km ²)	a	n	CV
1	R460W430	131,8	23,4	0,29	0,34
2	R470W470	86,6	24,4	0,29	0,40
3	R380W240	97,2	22,7	0,30	0,35
4	R360W360	77,3	22,1	0,30	0,41
5	R80W80	114,2	22,9	0,31	0,42

Tabella 4: Valori medi dei parametri a, n, e Cv relativi ai sottobacini (Fonte: relazione per il bacino del F. San Leonardo – PAI della Regione Sicilia, 2004)

Bacino	Superf. (km ²)	a	n	CV
S. Leonardo	507,0	23,1	0,30	0,38

Tabella 5: Valori medi areali dei parametri a, n, e Cv relativi ai sottobacini (Fonte: relazione per il bacino del F. San Leonardo – PAI della Regione Sicilia, 2004)

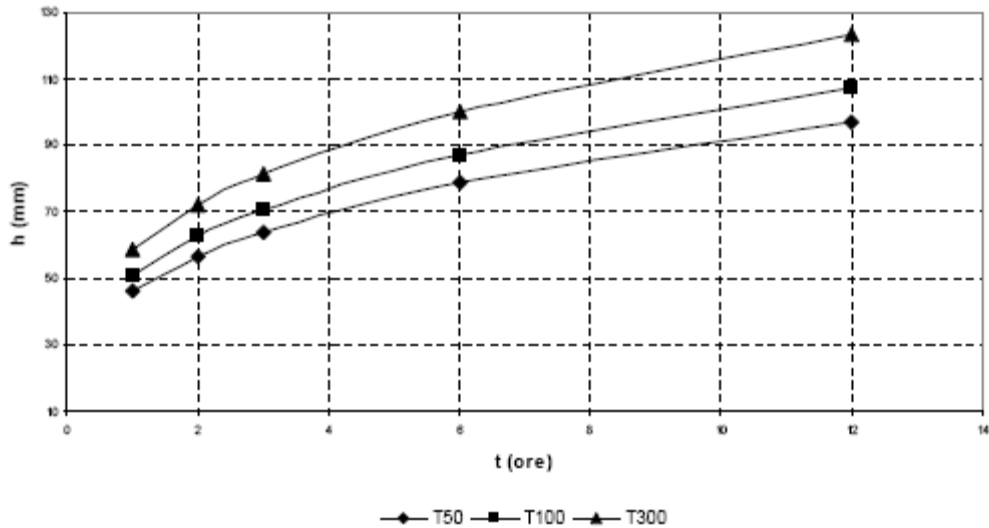


Figura 7: Curve di possibilità pluviometriche per i tempi di ritorno considerati (Fonte: relazione per il bacino del F. San Leonardo – PAI della Regione Sicilia, 2004)

Di seguito, in Figura 8, sono riportati gli idrogrammi di piena relativi alla sezione di chiusura del bacino, in corrispondenza della foce, per i tempi di ritorno considerati. In Tabella 6 sono indicati, per ogni sezione di chiusura dei sottobacini considerati, i valori delle massime portate al colmo di piena, mentre in Tabella 7 i valori in corrispondenza delle confluenze degli stessi sottobacini con l’asta fluviale principale.

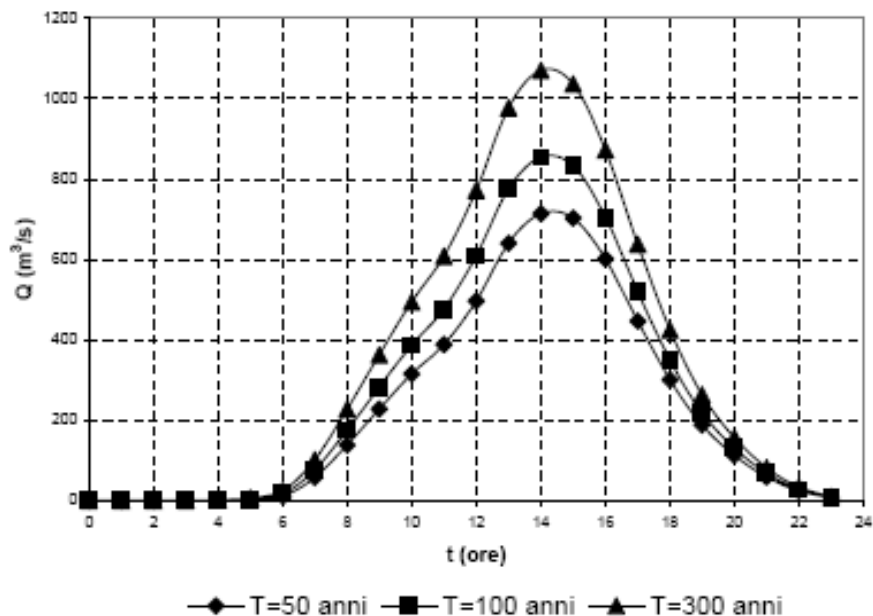


Figura 8: Idrogrammi di piena alla foce del Fiume San Leonardo, per fissati tempi di ritorno, T (Fonte: relazione per il bacino del F. San Leonardo – PAI della Regione Sicilia, 2004)

N°. Sottobacino	Codice HMS	Superf. (km ²)	Q _{t=50} (m ³ /s)	Q _{t=100} (m ³ /s)	Q _{t=300} (m ³ /s)
1	R460W430	131,8	344,3	404,0	500,2
2	R470W470	86,6	246,9	292,8	367,3
3	R380W240	97,2	238,6	283,1	355,2
4	R360W360	77,3	231,6	273,8	342,2
5	R80W80	114,2	260,2	308,2	386,2

Tabella 6: Valori delle massime portate al colmo di piena relativi a ciascun sottobacino per fissati tempi di ritorno (Fonte: relazione per il bacino del F. San Leonardo – PAI della Regione Sicilia, 2004)

N°.Sezione Calcolo	Codice HMS	Superficie Drenata (km ²)	Q _{t=50} (m ³ /s)	Q _{t=100} (m ³ /s)	Q _{t=300} (m ³ /s)
1	JR440	218,4	524,0	622,4	782,3
2	JR360	315,6	650,3	769,4	962,7
3	JR210	392,9	684,1	811,7	1019,4
4	Foce	507,1	713,4	845,7	1061,1

Tabella 7: Valori delle massime portate al colmo di piena per fissati tempi di ritorno in corrispondenza delle confluenze considerate nello schema di calcolo del San Leonardo (Fonte: relazione per il bacino del F. San Leonardo – PAI della Regione Sicilia, 2004)

o.

Si osserva che nel presente studio non è stata considerata la presenza dell'invaso Rosamarina e, quindi, l'effetto della sua capacità di laminazione delle piene, eseguendo delle verifiche idrauliche considerando tutta la portata convogliata dall'intero bacino morfologico originario. La valutazione della massima portata scaricata dall'invaso Rosamarina dovrebbe considerare sia quella in uscita dallo scarico di superficie sia quella dello scarico di fondo, ipotizzandone il loro funzionamento contemporaneo. Tuttavia, poiché tali portate fanno riferimento ad un valore del tempo di ritorno superiore al valore massimo considerato in questo studio (300 anni) e, inoltre, sono certamente valutate sulla base di dati idrologici registrati in un intervallo temporale diverso da quello utilizzato nel presente studio, si è preferito svincolarsi dai suddetti valori ai fini delle verifiche idrauliche. Tale scelta, seppur non rispecchi del tutto la realtà idraulica del bacino, determina dei valori di portata nell'alveo che risultano più elevati rispetto a quelli effettivi conseguenti ad un effetto di laminazione dell'invaso, sovrastimando in tal modo i risultati delle simulazioni idrauliche a vantaggio della sicurezza.

5.2 STUDIO IDROLOGICO: BACINO DEL FIUME TORTO

In Figura 9 è riportato il DEM relativo al bacino idrografico in studio compreso i limiti ed il reticolo idrografico. Le dimensioni delle celle del DEM utilizzato sono di 100x100 m. In Figura 10 è riportato lo schema idrologico, prodotto dal modello HECGeoHMS, utilizzato per il calcolo delle portate al colmo di piena.

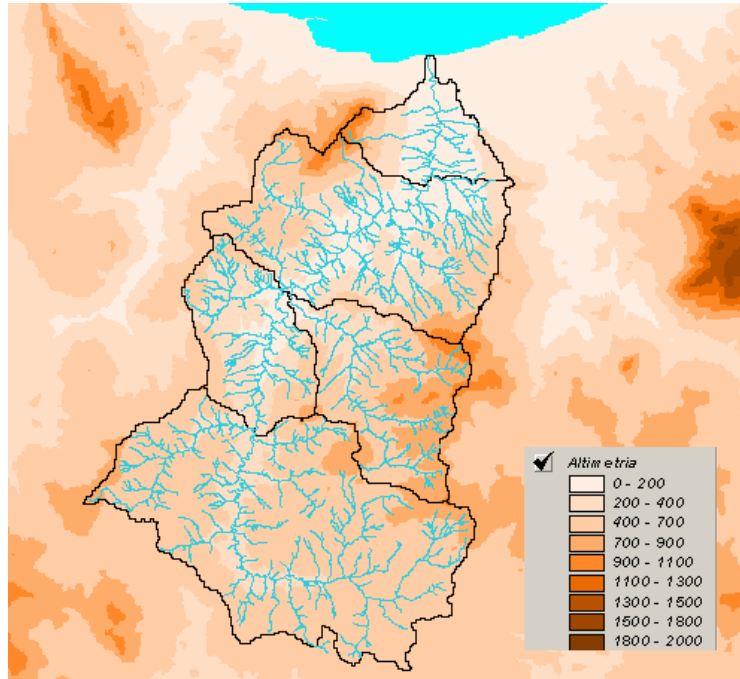


Figura 9 - DEM (Digital Elevation Model) relativo al bacino del Fiume Torto (Fonte: relazione per il bacino del F. Torto – PAI della Regione Sicilia, 2004)

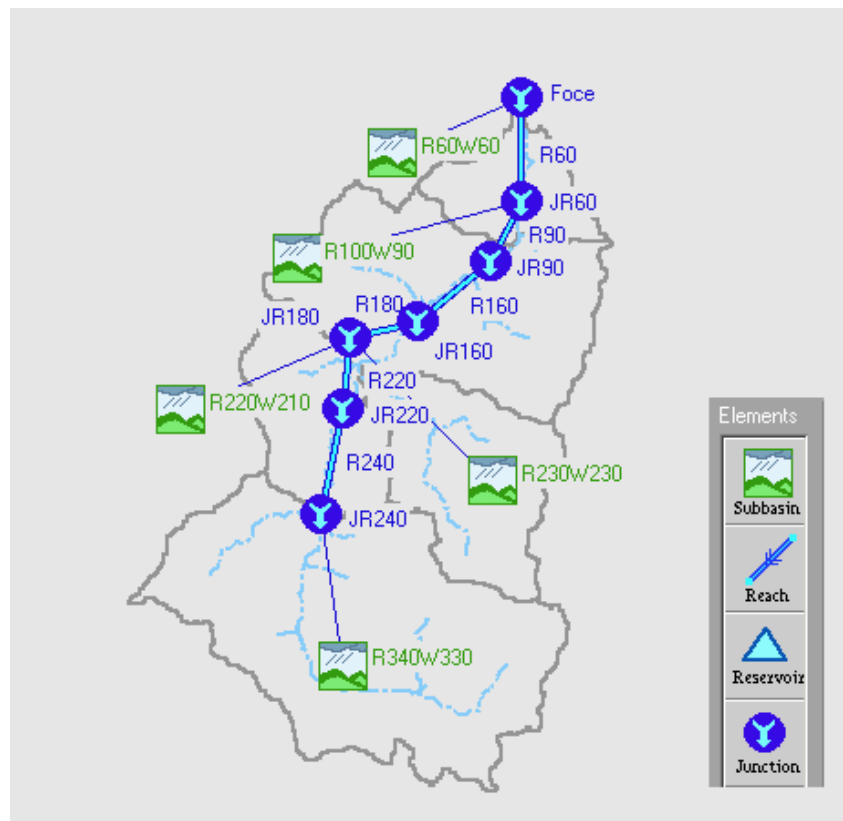


Figura 10 - Schema idrologico del bacino idrografico del Fiume Torto utilizzato per il calcolo della massima portata al colmo di piena (Fonte: relazione per il bacino del F. Torto – PAI della Regione Sicilia, 2004).

Lo studio è stato effettuato in tre fasi: *1. Studio della piovosità*. E' stato condotto uno studio delle piogge al fine di calcolare i parametri statistici necessari per la costruzione delle curve di probabilità pluviometrica per l'intero bacino in esame. Questa fase ha richiesto la determinazione dei parametri meteorologici, "a", "n" e "CV" per il bacino in studio. A partire dalle carte dei valori di "a", "n" e "CV" a scala regionale, sono stati ottenuti i valori medi a scala di bacino utilizzando il software Arc-View. Nelle Figg. 11-12-13 sono riportate le carte dei valori di "a", "n" e "CV" in corrispondenza del bacino in esame, in Fig. 14 sono riportate le curve di probabilità pluviometrica (CPP) ricavate in seguito ai parametri prima calcolati e per i tre tempi di ritorno considerati. La ricostruzione degli ietogrammi sintetici lordi a partire dalle CPP per i tre tempi di ritorno considerati è stata effettuata a partire dalle serie storiche di pioggia registrate nelle stazioni pluviografiche ricadenti nell'area di studio. Lo ietogramma utilizzato è del tipo "Chicago". In particolare si è ipotizzato uno ietogramma centrato ed una durata critica pari a 12 ore.

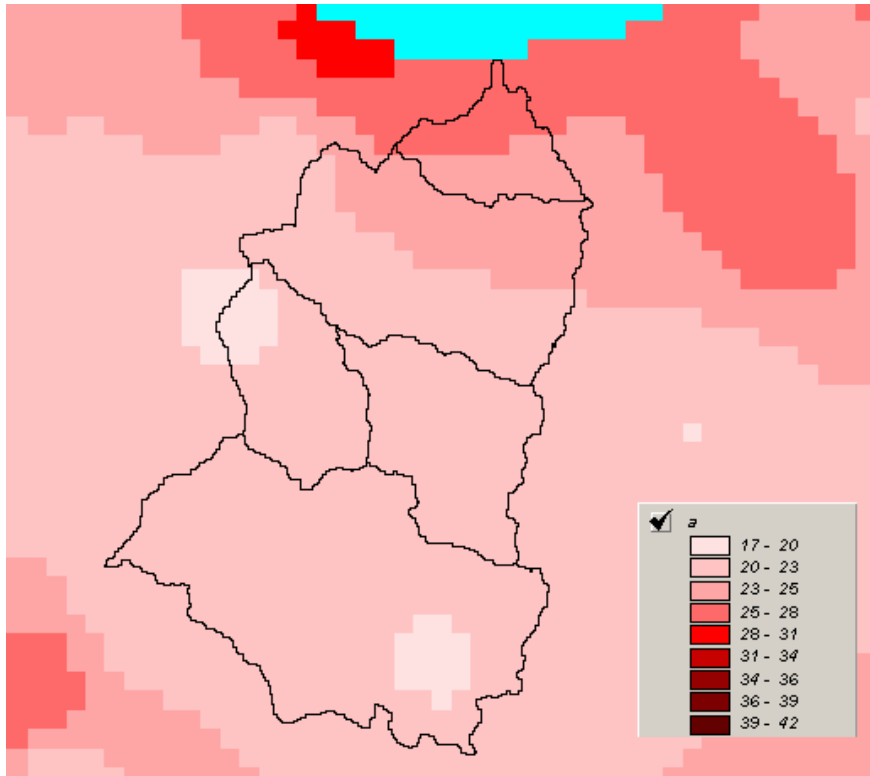


Figura 11 - DTM relativo alla distribuzione del parametro “a” nel bacino idrografico del F. Torto (Fonte: relazione per il bacino del F. Torto – PAI della Regione Sicilia, 2004).

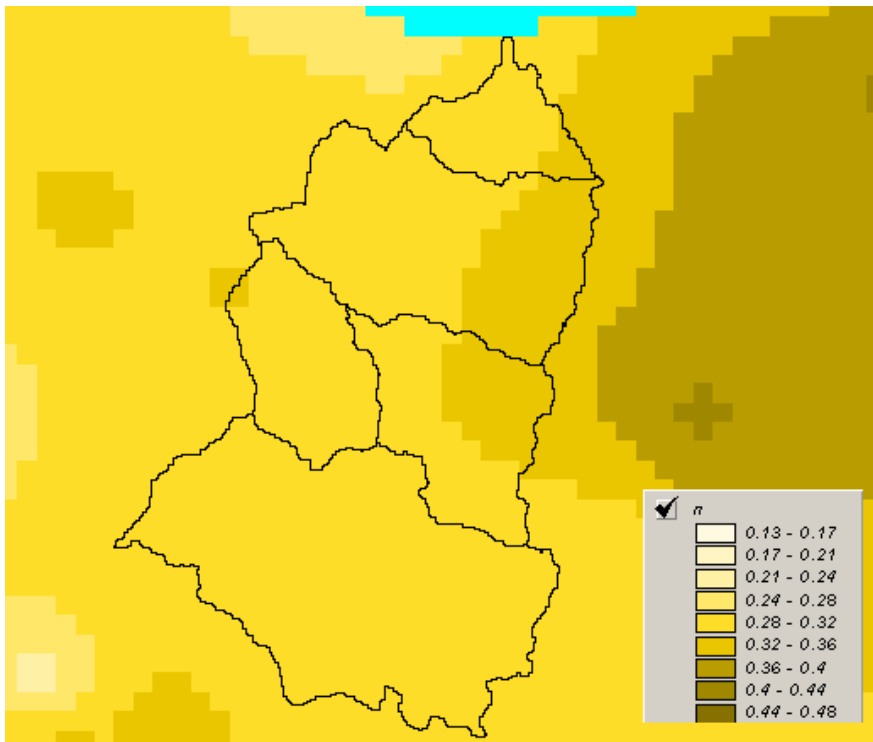


Figura 12 - DTM relativo alla distribuzione del parametro “n” nel bacino del F. Torto (Fonte: relazione per il bacino del F. Torto – PAI della Regione Sicilia, 2004).

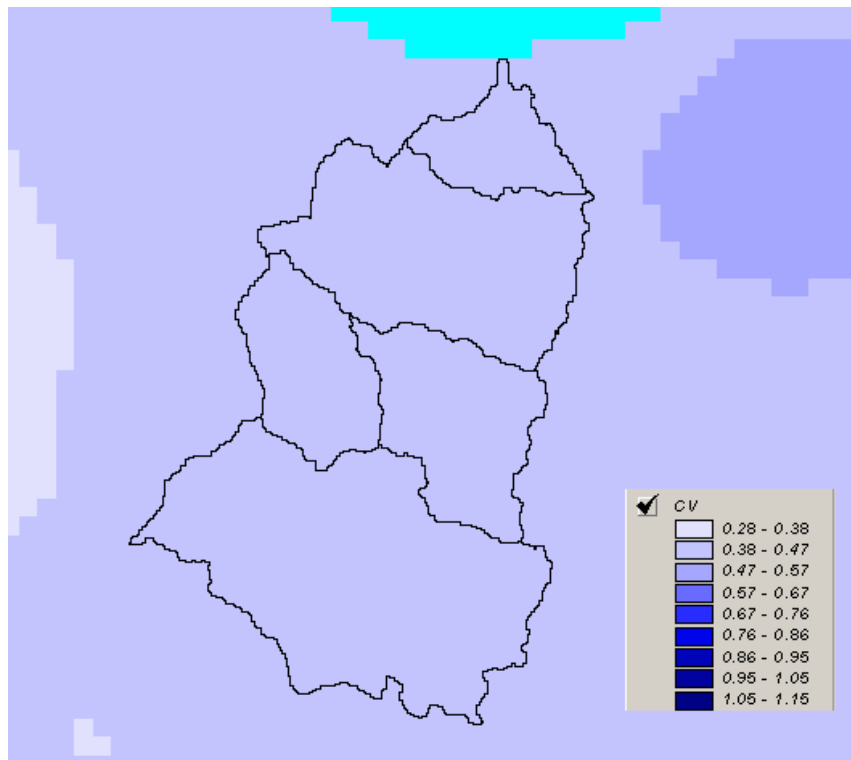


Figura 13 - DTM relativo alla distribuzione del parametro "CV" nel bacino del F. Torto (Fonte: relazione per il bacino del F. Torto – PAI della Regione Sicilia, 2004).

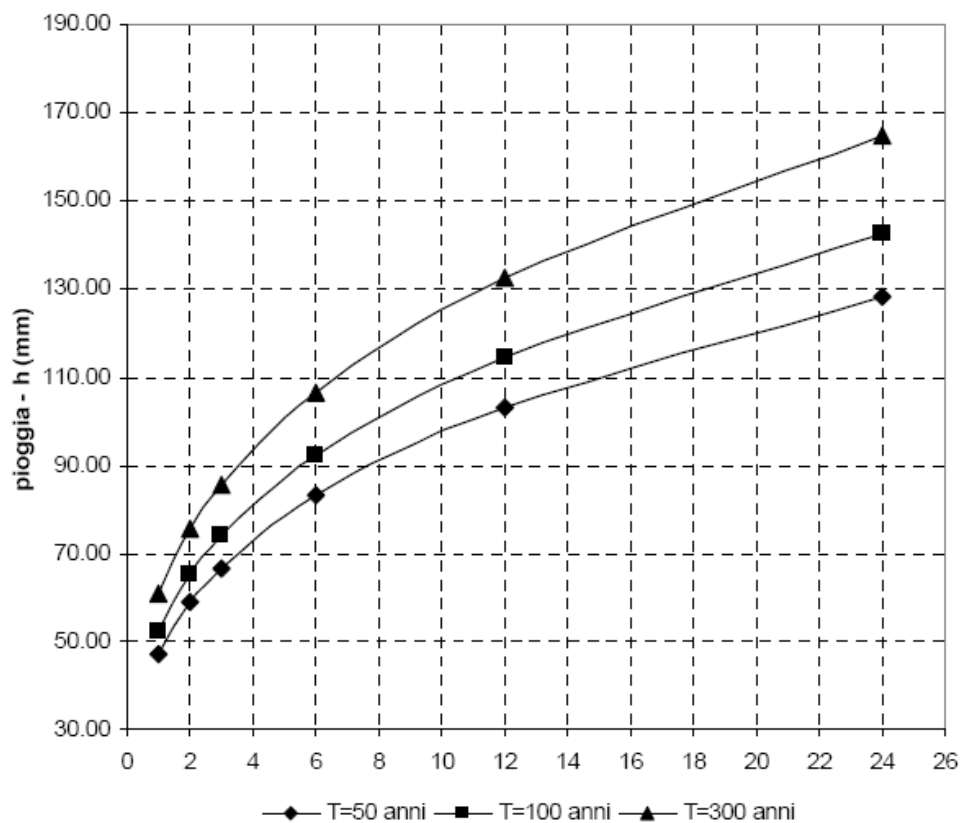


Figura 14 - Curve di possibilità pluviometrica del F. Torto per fissati tempi di ritorno (Fonte: relazione per il bacino del F. Torto – PAI della Regione Sicilia, 2004).

Per la determinazione della pioggia netta o deflusso superficiale è stato utilizzato il metodo SCS-Curve Number descritto in dettaglio nella Relazione Generale. I valori medi areali di CN, relativi ad ogni sottobacino nel quale è stato suddiviso il bacino principale, sono stati ottenuti utilizzando la distribuzione regionale determinata da Maltese (2003). In Figura 15 è riportata la distribuzione areale del valore CN per il bacino in studio tratta dal DTM (Digital Terrain Model)

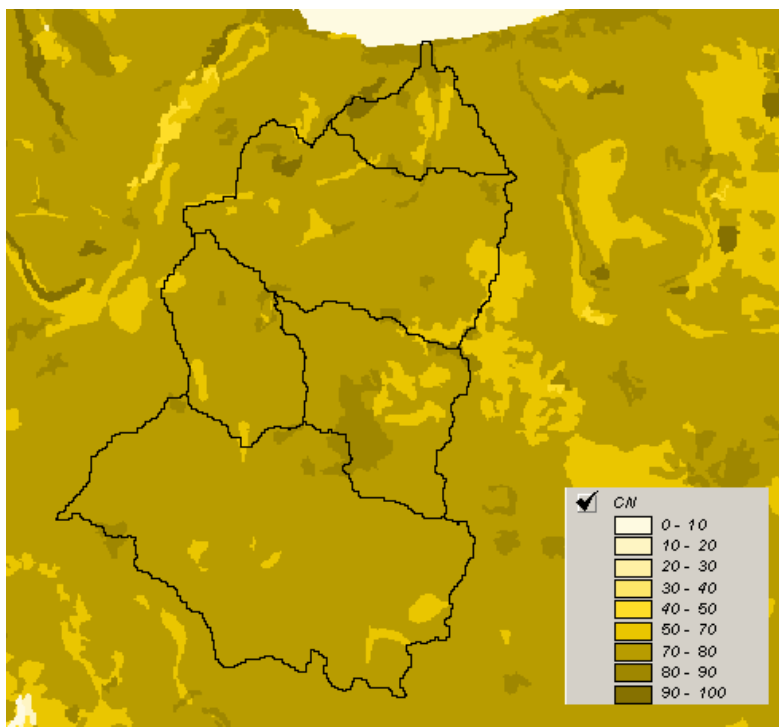


Figura 15 - DTM (Digital Terrain Model) relativo alla distribuzione del parametro “CN” nel bacino idrografico del Fiume Torto (Fonte: relazione per il bacino del F. Torto – PAI della Regione Sicilia, 2004).

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. A partire dal DEM del bacino, prodotto dall’Assessorato Regionale BB.CC.AA., caratterizzato da una maglia quadrata di dimensioni 100 x 100 m, sono stati ricavati automaticamente i percorsi di drenaggio, è stato individuato il reticolo idrografico e la lunghezza delle linee di drenaggio. A quest’ultima è stata associata una velocità di scorrimento superficiale costante e pari ad 1,5 m/s. Ottenuta così la carta delle isocorrive è stato possibile ricavare la curva aree-tempi e quindi i tempi di corrivazione dei sottobacini in esame. 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. 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 del corso d'acqua (lunghezza, pendenza, scabrezza) e della velocità della corrente supposta pari ad 1,5 m/s.

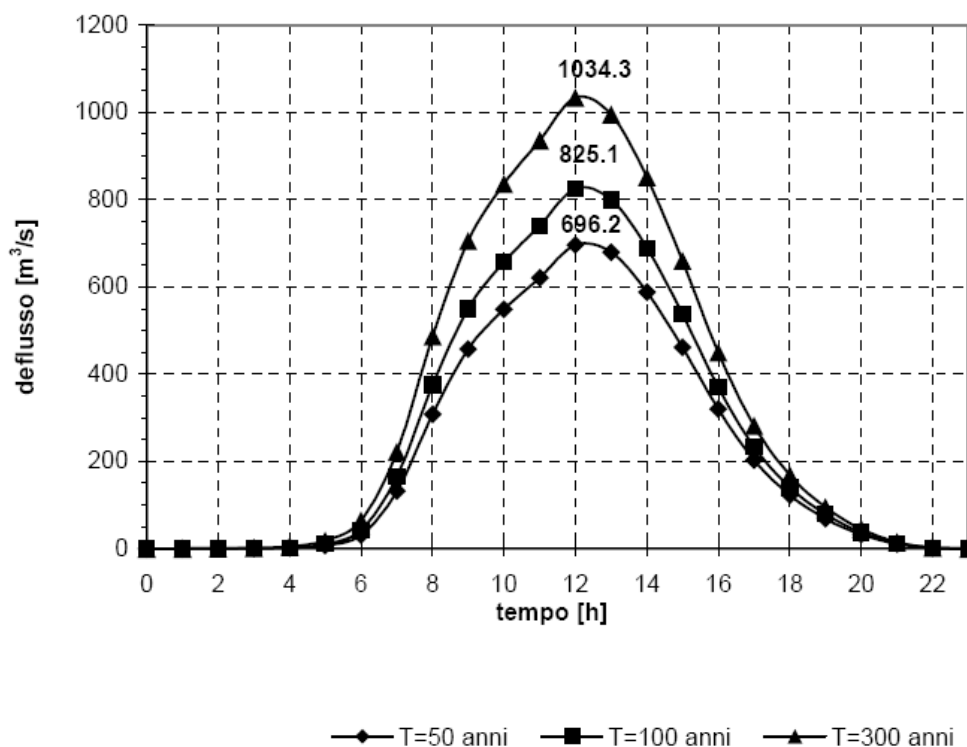


Figura 16 - Idrogrammi di piena alla foce del F. Torto, per fissati tempi di ritorno (Fonte: relazione per il bacino del F. Torto – PAI della Regione Sicilia, 2004)

6. STUDIO IDRAULICO

6.1 STUDIO IDRAULICO: BACINO DEL FIUME SAN LEONARDO

La modellazione idraulica del corso d'acqua è stata condotta utilizzando il codice di calcolo monodimensionale HEC-RAS. In particolare, attraverso un'operazione preliminare di preprocessing sono stati importati i dati di input all'interno del modello HEC-RAS. Tali dati sono stati integrati con tutte le indicazioni, di seguito descritte, che derivano dall'analisi cartografica, territoriale e dai sopralluoghi di campagna (rilevo di alcune sezioni trasversali non disponibili dallo studio E.S.A., verifica dello stato di fatto del fondo alveo, raccolta di una documentazione fotografica, ecc.) predisposti in questa fase.

Il ramo fluviale del S. Leonardo, dalla diga alla foce, è costituito da due tratti morfologicamente diversi. Nel tratto a monte dell'autostrada A19 l'alveo è caratterizzato da una elevata pendenza media ed è costituito da depositi alluvionali e da materiale proveniente dalla disgregazione e dal crollo di volumi lapidei di natura carbonatica dai versanti. La pezzatura, ovunque grossolana,

raggiunge le dimensioni maggiori a monte con blocchi di diametro massimo pari a 3÷5 m e medio pari a 0,5 m. Le dimensioni dei blocchi diminuiscono verso valle (diametro medio pari a 0,30 m); tuttavia sono sempre presenti, anche se con frequenza minore, blocchi di grande diametro. L'alveo del tratto a valle dell'autostrada A19, è caratterizzato da passati interventi di sistemazione idraulica costituiti da difese di sponda realizzate in gabbioni o con muri in c.a. ed arginature. Relativamente alle caratteristiche di resistenza idraulica, è noto che esse si differenziano a seconda che la sede di deflusso sia l'alveo o le aree golenali o di allagamento. Nel primo caso le caratteristiche dipendono principalmente dalle dimensioni del materiale di fondo, dalla presenza e qualità della vegetazione fluviale e dalla morfologia plano-altimetrica delle sezioni e del tracciato fluviale. Per le aree limitrofe golenali o di allagamento giocano un ruolo determinante la natura del suolo, la tipologia di coltivazione, la frammentazione poderale, la densità delle infrastrutture e delle costruzioni (macro rugosità) e le irregolarità naturali della superficie. L'osservazione diretta delle suddette caratteristiche sull'area in esame ha indirizzato ad una scelta di opportuni valori del coefficiente di Manning compresi tra 0,03 e 0,06 $m^{-1/3} s$, tratti dalla tabella relativa ai valori dell'indice di scabrezza per i corsi d'acqua naturali proposta da Chow (1959).

E' stata condotta la verifica idraulica del tronco fluviale del San Leonardo compreso tra la diga Rosamarina e la foce, per una lunghezza complessiva di circa 6 km. I valori delle portate al colmo di piena utilizzati sono quelli corrispondenti al codice HMS "Foce" riportato in Tabella 5. Come detto precedentemente, per la simulazione idraulica è stato applicato il modello monodimensionale HEC-RAS nell'ipotesi di regime di moto permanente. Sono state condotte tre simulazioni, una per ogni portata al colmo di piena per fissato tempo di ritorno (50, 100 e 300 anni). Per la simulazione idraulica sono state considerate 53 sezioni, di cui 31 a monte del ponte dell'Autostrada A19 (tratto montano) e 22 a valle del ponte stesso (tratto vallivo).

6.1.1 Perimetrazione delle Aree Potenzialmente Inondabili

Nel tratto montano, caratterizzato da un alveo decisamente incassato, per tutte le condizioni studiate (T=50, 100 e 300 anni) non sono state registrate situazioni di esondazione. Al contrario, nel tratto vallivo, a più modesta pendenza, sono state individuate delle aree inondabili di estensione crescente all'aumentare del tempo di ritorno dell'evento di piena considerato. La perimetrazione delle aree inondabili è stata condotta determinando la linea di intersezione tra il pelo libero del corso d'acqua ed il terreno; nei casi in cui, non è stato possibile ottenere tale intersezione, si è proceduto alla determinazione della possibile area inondabile basandosi su considerazioni relative al valore del tirante idrico rispetto all'andamento morfologico del terreno, deducibile dalla cartografia di base. L'estensione delle aree inondabili per tempo di ritorno 50, 100 e 300 anni sono,

rispettivamente circa 52, 73 e 97 ha. La valutazione della pericolosità, (P) è stata condotta seguendo la metodologia predisposta dal DIAA che consiste nel valutare la pericolosità solo in funzione del tempo di ritorno, e in particolare, in modo inversamente proporzionale ad esso (all'evento con tempo di ritorno più basso, T=50 anni, corrisponde l'indice di pericolosità più elevato, P3) come si evince dalla Tabella 8.

T (anni)	P
50	P3
100	P2
300	P1

Tabella 8 – Definizione delle pericolosità idraulica, P.

Per fissata condizione dell'alveo, è stato attribuito a ciascuna delle aree inondabili ricavate un indice di pericolosità seguendo il criterio esposto in tabella 6.

6.1.2 Perimetrazione delle Aree a Rischio Idraulico

Gli elementi a rischio interessati dall'esondazione sono:

- tratto della Strada Statale n. 113 in prossimità dell'attraversamento del corso d'acqua;
- tratto della linea ferroviaria PA-ME nelle vicinanze del ponte stradale sulla SS 113;
- cabina di trasformazione dell'ENEL ed alcuni tralicci dell'elettrodotto;
- case sparse ed insediamenti agricoli a bassa tecnologia.

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). Le possibili combinazioni tra i due indici, P ed E, sono riportate nella seguente tabella 9.

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

Tabella 9 – Valutazione del rischio idraulico.

La classificazione del Rischio adottata è la seguente:

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 10 – *Definizione delle classi di rischio, R.*

Le aree a rischio idraulico sono indicate nelle figure 16 e 17. Dall'esame delle figure è possibile osservare che un tratto della SS113 ed il relativo attraversamento del corso d'acqua ricadono in un'area a rischio idraulico molto elevato, R4; un ulteriore tratto della SS113 ed un tratto della linea ferroviaria PA-ME ricadono in un'area a rischio idraulico elevato, R3; la cabina di trasformazione ricade in un'area a rischio medio, R2; le case sparse e gli insediamenti agricoli a bassa tecnologia ricadono in aree a rischio idraulico compreso tra moderato, R1, e medio, R2; alcuni tralicci dell'elettrodotto che giunge alla cabina di trasformazione ricadono in aree a rischio compreso tra molto elevato e medio.

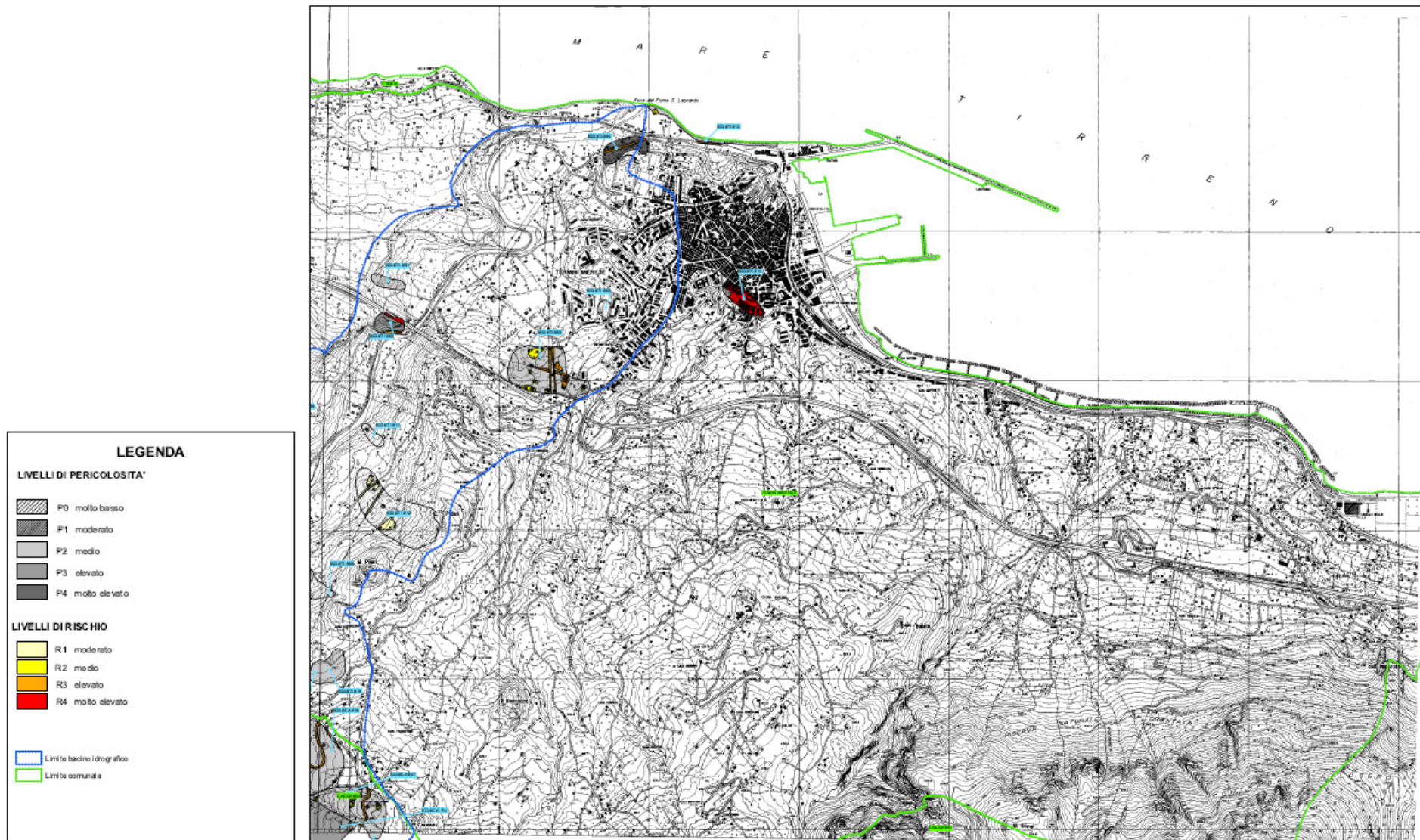


Figura 16: Carta della pericolosità e del rischio: zona valliva del San Leonardo (Fonte: PAI della Regione Sicilia, 2004)



Figura 17: Carta della pericolosità e del rischio: zona montana del San Leonardo (Fonte: PAI della Regione Sicilia, 2004)

6.2 STUDIO IDRAULICO: BACINO DEL FIUME TORTO E DEL TORRENTE BARRATINA

Calcolate le portate di piena occorre verificare se le sezioni del corso d'acqua riescano a trasportarle senza dar luogo ad esondazioni. La modellazione idraulica del corso d'acqua è stata condotta utilizzando il codice di calcolo monodimensionale HEC-RAS. In particolare, attraverso un'operazione preliminare di pre-processing sono stati importati i dati di input all'interno del modello HEC-RAS. Tali dati sono stati integrati con tutte le indicazioni, di seguito descritte, che derivano dall'analisi cartografica, territoriale e dai sopralluoghi di campagna (rilievo delle sezioni trasversali necessarie allo studio mediante cartografia in scala 1:2000, verifica dello stato di fatto del fondo alveo, raccolta di una documentazione fotografica, ecc.) predisposti in questa fase. Come detto precedentemente, per la simulazione idraulica è stato applicato il modello monodimensionale HEC-RAS nell'ipotesi di regime di moto permanente e corrente lenta (*subcritical*). Nelle condizioni al contorno si è imposta l'altezza critica della corrente nell'ultima sezione dell'alveo (foce). Sono state condotte tre simulazioni, una per ogni portata al colmo di piena, valutata alla foce del fiume, per fissato tempo di ritorno (50, 100 e 300 anni). Per la simulazione idraulica sono state considerate 33 sezioni.

In figura 18 si riportano le aree a rischio di inondazione. L'unica area che desta preoccupazione è la foce in sinistra idraulica. Quest'area risulta assai distante dalle aree operative portuali .

Relativamente al torrente Barratina, si evidenzia la presenza di una zona R4 in prossimità della foce, dentro il centro abitato di Termini Imerese. Tale condizione è visibile in figura 16.



Figura 18: Carta del rischio idraulico alla foce del fiume Torto (Fonte: PAI della Regione Sicilia, 2004)

7. ANALISI IDRODINAMICA ALL'INTERFACCIA TERRA – MARE

L'influenza di una corrente che si sovrappone ad un moto ondoso in un tratto di mare a largo o sottocosta è un fenomeno fisico molto frequente le cui caratteristiche sono sostanzialmente quelle di apportare delle trasformazioni, più o meno intense al campo di moto, e delle modifiche alla morfologia del fondo.

Nel presente paragrafo si vuole studiare l'interazione tra moto ondoso e corrente lungo la fascia costiera rappresentato dai processi di moto che si determinano in prossimità della foce del torrente Barratina. In questo caso la corrente si sviluppa in opposizione alla direzione di propagazione del moto ondoso e la zona interessata dal fenomeno di interazione si estende allo specchio d'acqua di mare prospiciente la foce stessa.

7.1 STUDIO IDROLOGICO DEL TORRENTE BARRATINA

In virtù delle conclusioni cui è giunto il PAI, ossia della presenza di una zona R4 in prossimità della foce del torrente Barratina, si è ritenuto necessario effettuare uno studio idrologico dello stesso.

Non essendo presente in loco una stazione di misura diretta delle portate, bisogna risalire alle portate stesse a mezzo di una modellazione matematica del problema, che parte dalla conoscenza del regime pluviometrico. Si studieranno, quindi, le piogge massime di durata pari ad un'ora: al campione di dati disponibili si applicherà la nota legge di Gumbel. Per assegnato tempo di ritorno, si può, così, ricavare la pioggia massima con esso compatibile. La portata che attraversa l'asta fluviale di valle verrà ricavata con il metodo della formula razionale.

Sono state prese in esame le registrazioni della stazione pluviometrica di Cefalù molto vicina al sito in esame e dotata di ben 47 anni di registrazioni. Dagli annali sono stati tratti i valori massimi delle piogge di durata pari ad un'ora. Il campione di dati disponibili è molto numeroso, e ciò consente di trattarlo come una realizzazione del processo aleatorio delle piogge massime di durata pari a un'ora.

ANNO	Pioggia max di 1h (mm)	ANNO	Pioggia max di 1h (mm)
1931	12.5	1966	26.2
1932	28.5	1967	22.8
1933	45.6	1968	35.6
1938	16	1969	24.8
1943	26.4	1970	16.6
1945	29.2	1971	25.4
1946	20.6	1972	28.2
1948	29.6	1973	17.8
1949	29	1974	9
1950	35	1975	29.6
1951	30.8	1976	27.2
1952	25.6	1977	14
1953	15	1978	29.8
1954	22.8	1979	42.2
1955	30	1980	44.6
1956	13.8	1981	49.2
1957	25.4	1983	29.8
1958	23	1984	63.6
1959	30.4	1985	14.4
1960	27.4	1986	23.4
1962	22	1987	48.6
1963	30	1988	32.8
1964	66	1989	15.4
1965	36		

Ai dati è stata imposta la legge di Gumbel, la cui funzione distribuzione cumulativa assume la forma:

$$F = \exp[-\exp(-\alpha(x-u))]$$

dove i parametri sono calcolati come:

$$\alpha = \frac{1.283}{\sigma}$$

$$u = \mu - 0.450\sigma$$

essendo μ e σ la media e lo scarto della distribuzione, che nella pratica si stimano direttamente sul campione dei dati disponibili. Nel caso in esame è risultato:

μ	28.54468
σ	12.073

e di conseguenza:

α	0.10627
u	23.11183

Si riporta in Figura 19 il confronto tra la funzione distribuzione cumulata propria dei dati, denominata PP (Plotting Position), e quella teorica associata alla distribuzione di Gumbel con parametri calcolati sui dati disponibili.

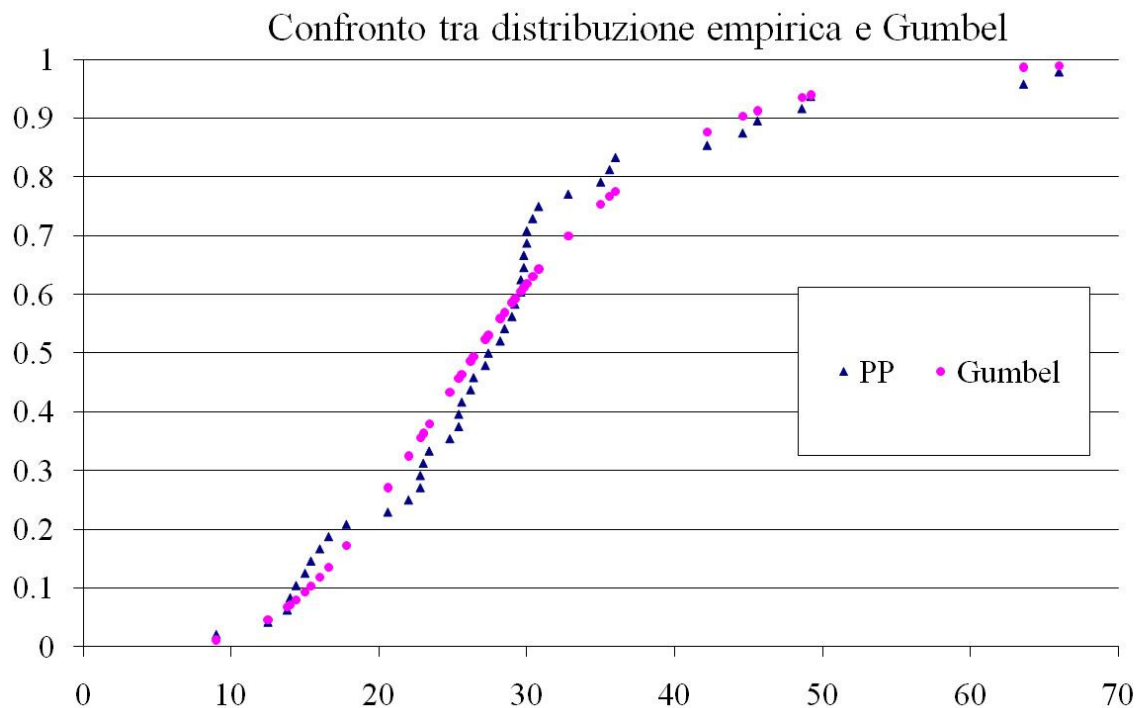


Figura 19: Adattamento dei dati alla legge di Gumbel

Si noti la presenza di una coincidenza pressoché perfetta tra le due forme.

La conoscenza della funzione F, consente, per assegnato tempo di ritorno, di calcolare l'altezza di pioggia di durata un'ora o, in maniera equivalente, l'intensità di pioggia che, in questo caso l'una e l'altra, sono numericamente espresse dallo stesso valore, tramite la:

$$h_T = u - \frac{1}{\alpha} \ln \left(-\ln \frac{T-1}{T} \right) \quad (1)$$

Il passaggio successivo è il calcolo dell'altezza di pioggia per durate pari al tempo di corrivazione dell'area interessata.

Il tempo di corrivazione è definito come il tempo che la particella liquida più svantaggiata impiega per arrivare alla sezione di chiusura, cioè alla caditoia.

Nel caso in esame il tempo di corrivazione è stato calcolato con la formula messa a punto dal *Civil Engineering Department dell'università del Maryland*:

$$\tau_c = 26.3 \frac{(L/K_s)^{0.6}}{j^{0.4} \cdot i^{0.3}}$$

nella quale le grandezze sono:

τ_c [s] il tempo di corrivazione;

L [m] la lunghezza della superficie scolante;

K_s [$m^{1/3}/s$] il coefficiente di resistenza di Gauckler-Strickler;

j [m/h] l'intensità della precipitazione;

i [] la pendenza media della superficie scolante.

Il tempo di corrivazione ottenuto per l' area in studio è di circa 60 minuti.

L'intensità di pioggia dipendente dal tempo di ritorno T si ricava a mezzo dell'equazione (1).

Per il calcolo delle portate associate a diversi tempi di ritorno si farà riferimento al metodo cinematico, tradotto in formula dalla ben nota:

$$Q = \phi \cdot i \cdot A$$

dove

Q è la portata;

ϕ è il coefficiente di afflusso, che, in relazione alle caratteristiche dell'area scolante si assume pari a 0.9.

A è l'area del bacino considerato, pari a 14 Km².

La tabella che segue riporta i valori di portata espressi in m³/s associati a differenti tempi di ritorno.

Tr (anni)	Q (m ³ /s)
5	130,29
20	178,71
50	209,40
100	232,40
150	245,81
250	262,67
300	268,69
500	285,54

7.2 MODELLO IDRAULICO UTILIZZATO

L'analisi è stata condotta utilizzando il software Mike 21 HD. Il codice di calcolo Mike 21 HD è in grado di tener conto di diversi fenomeni tra i quali:

- floowing/drying, cioè della fascia di battigia dove si passa dalla zone immersa a quella emersa;
- La dispersione di quantità di moto;
- Lo stress al fondo;
- La forza di Coriolis;
- L'azione del vento;
- I gradiente di pressione;
- Copertura di ghiaccio, non attiva nelle condizioni in esame;
- Le maree;
- Precipitazione/evaporazione;
- Radiation stresses.

Il modello si basa sulla soluzione numerica delle equazioni di Navier-Stokes per fluido incomprimibile soggette alle assunzioni di Boussinesq e di pressione idrostatica. Quindi il modello consta di equazioni di continuità, di quantità di moto, di temperatura, di salinità e di densità ed è definito da uno schema di chiusura turbolento. La densità non dipende dalla pressione ma solo dalla temperatura e dalla salinità.

Le equazioni seguenti sono presentate usando un sistema di coordinate cartesiane, nelle quali quella di continuità locale è scritta come:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S$$

E le due equazioni per la quantità di moto orizzontale per l'asse x e l'asse y rispettivamente:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial vu}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} = fv - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial x} dz + F_u + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial wv}{\partial z} = -fu - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial y} dz + F_v + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_s S$$

La discretizzazione spaziale delle equazioni primitive è eseguita usando il metodo ai volumi finiti.

Il dominio spaziale è discretizzato dalla suddivisione del continuo in elementi/celle non sovrapposte. Per ogni elemento della mesh e per ogni time step i risultati forniti dal modello sono:

- profondità dell'acqua ed elevazione della superficie;
- velocità nelle direzioni principali;
- velocità e direzione della corrente;
- courant/CFL number.

Gli output possono essere salvati in un punto, lungo una linea o su tutta l'area in studio.

7.3 ANALISI IDRODINAMICA ALLA FOCE DEL TORRENTE BARRATINA

7.3.1 Influenza del moto ondoso

Al fine di analizzare l'idrodinamismo indotto dal solo moto ondoso si confrontano nel seguito le immagini che mostrano l'intensità delle correnti nel caso di onda proveniente da Nord e nel caso di onda proveniente da 60°N, entrambe associate ad un tempo di ritorno di 250 anni.

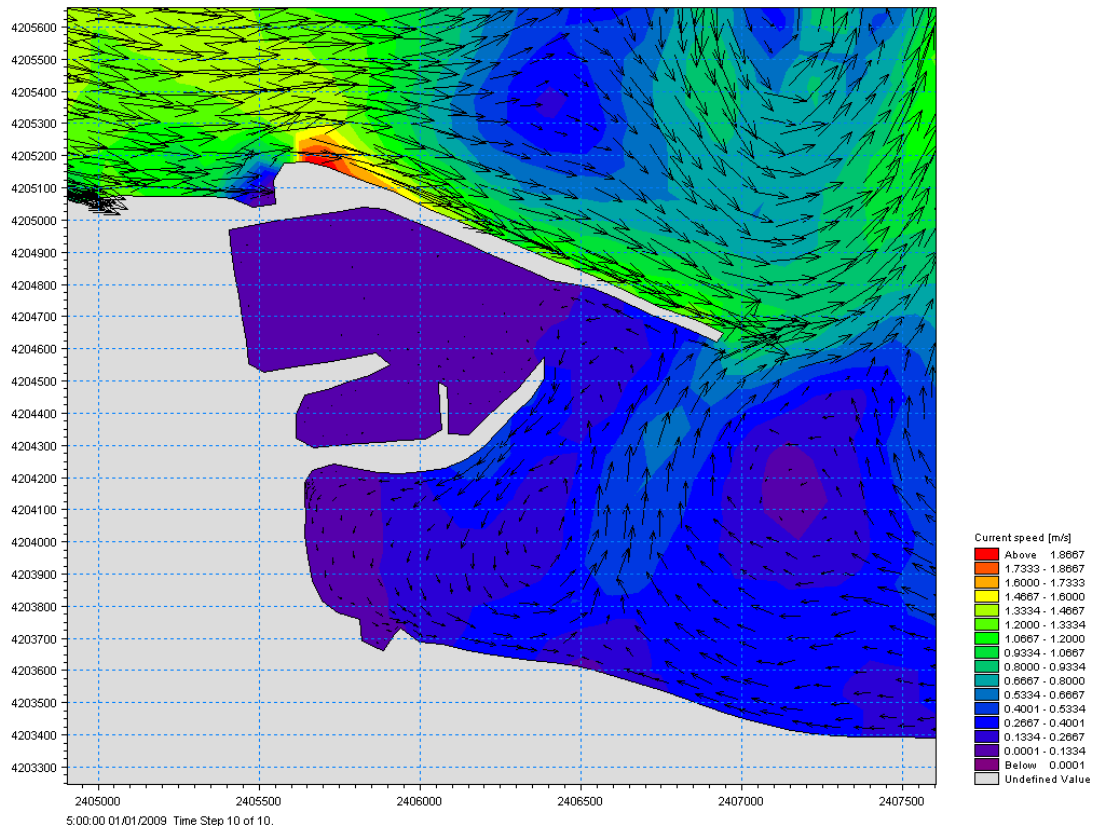


Figura 20 – Correnti indotte da onda proveniente da 0° N e tempo di ritorno 250 anni.

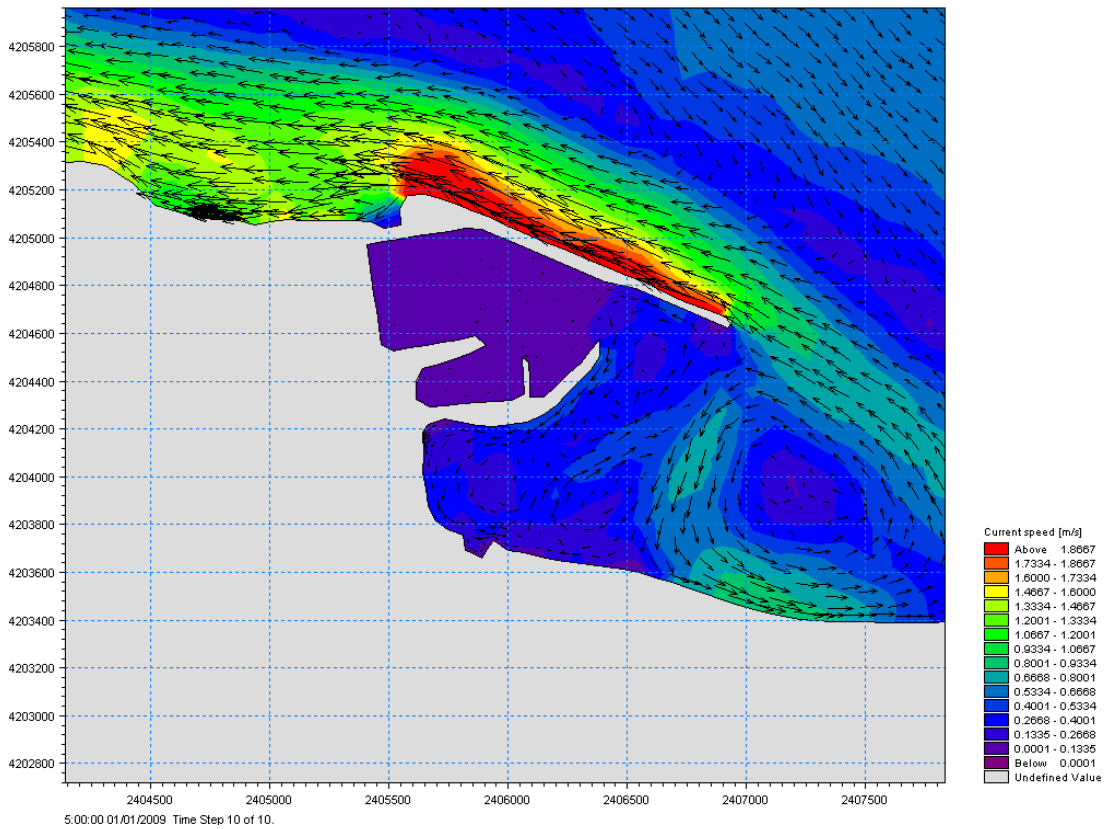


Figura 21 – Correnti indotte da onda proveniente da 60° N e tempo di ritorno 250 anni.

7.3.2 Influenza della portata

L'immagine che segue mostra l'intensità della corrente nel caso di assenza di moto ondoso e ingresso di una portata associata ad un tempo di ritorno di 250 anni.

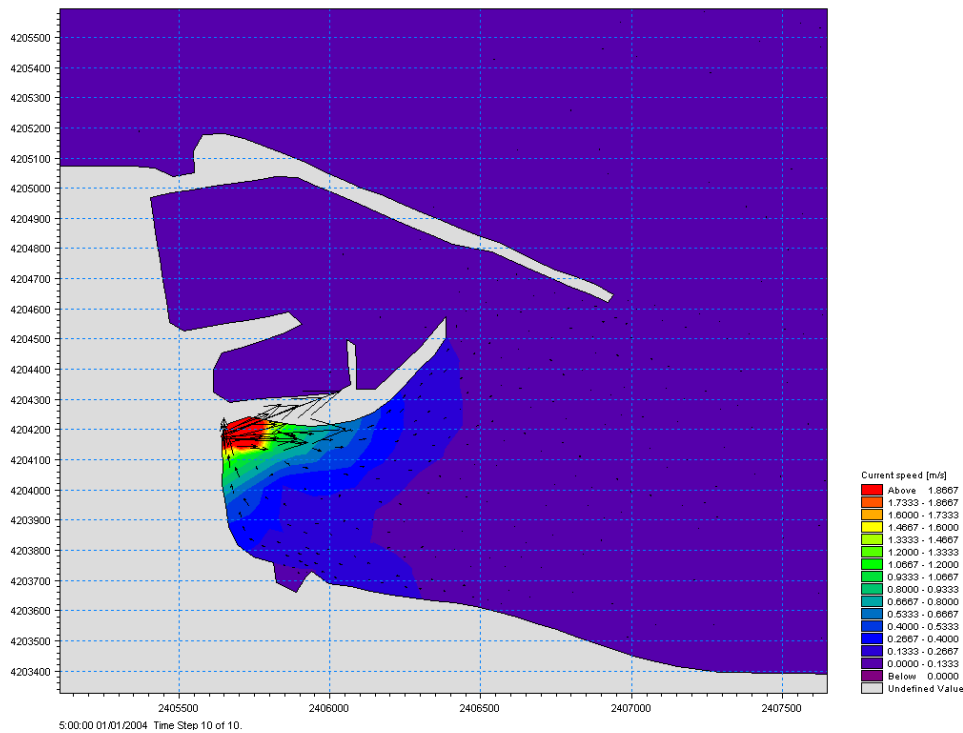


Figura 22 – Correnti indotte dalla portata associata al tempo di ritorno 250 anni.

7.3.3 Effetto congiunto del moto ondoso e della portata

Al fine di analizzare l'idrodinamismo nella configurazione di progetto le simulazioni sono state condotte introducendo sia la forzante ondometrica, sia la portata del torrente Barratina.

Si può osservare come il campo idrodinamico non subisce notevoli variazioni rispetto al caso in cui l'unica forzante è il moto ondoso.

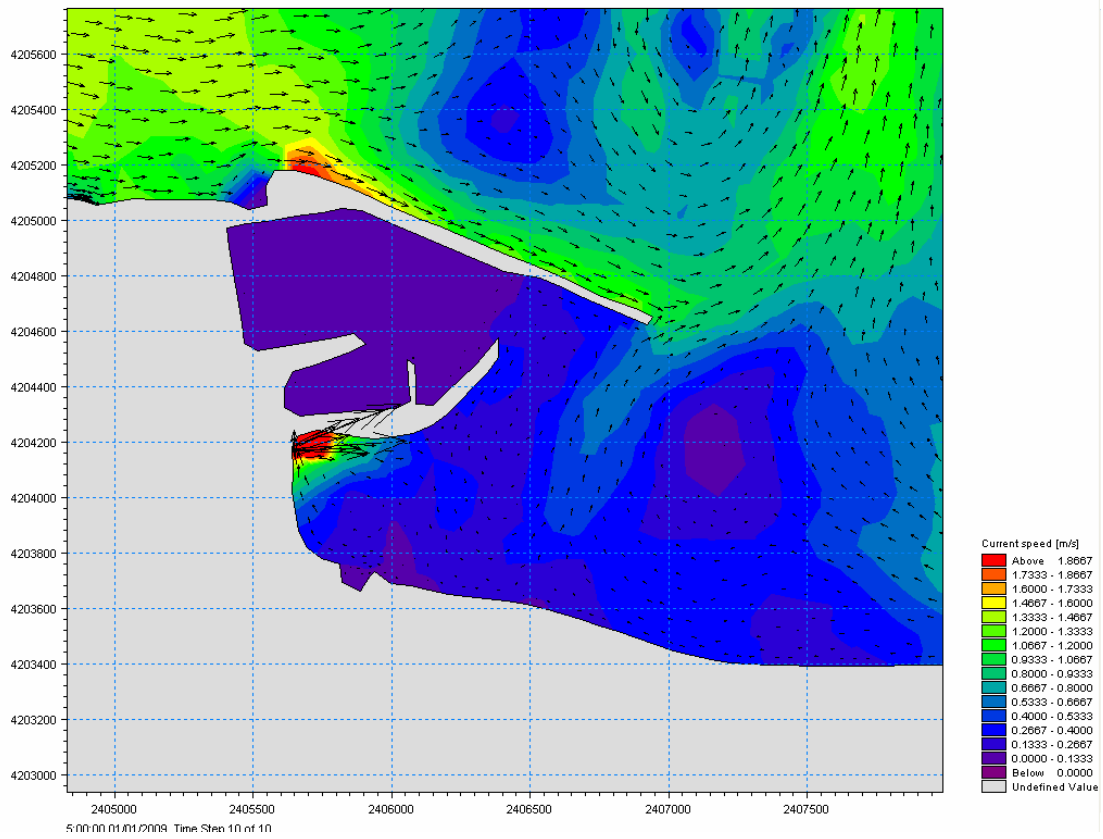


Figura 23 – Correnti indotte dall'onda avente direzione $0^\circ N$ e $T_R=250$ anni e dalla portata Q_{250}

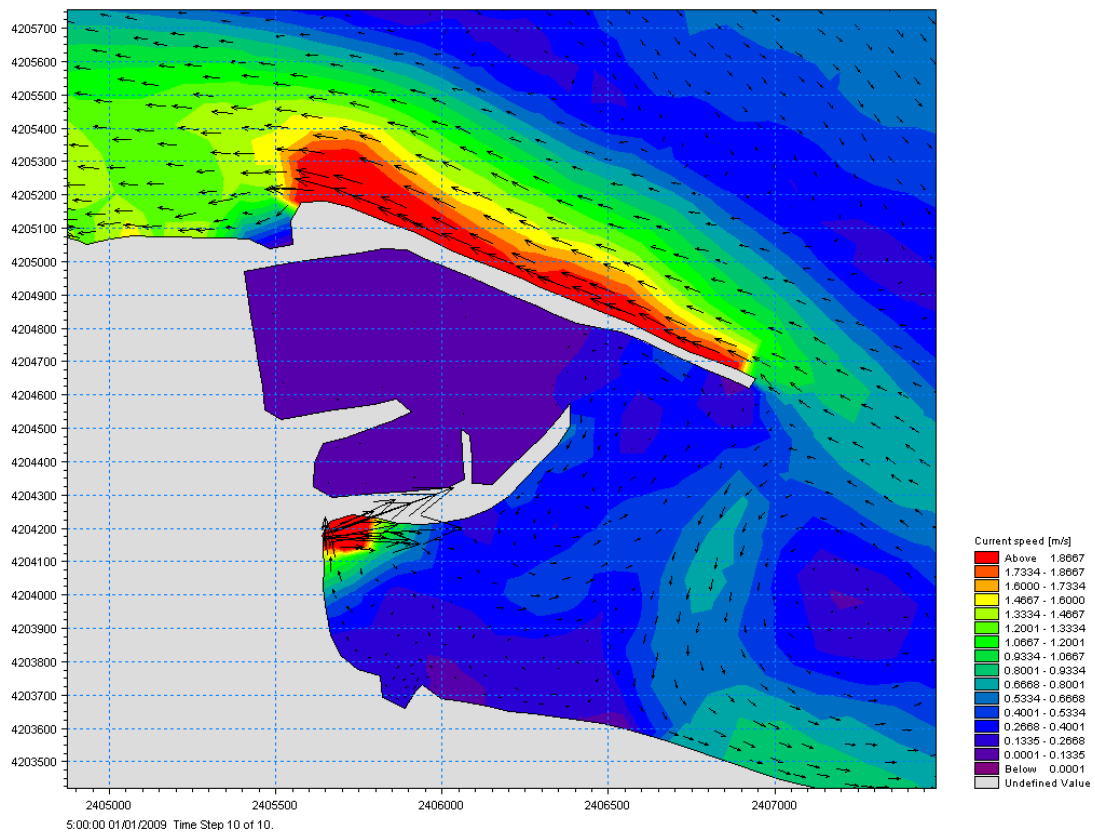


Figura 24 – Correnti indotte dall'onda avente direzione $60^\circ N$ e $T_R=250$ anni e dalla portata Q_{250}

8. CONCLUSIONI

Nel presente studio sono stati analizzati i bacini idrografici dei corsi d'acqua aventi la foce in prossimità del sito portuale di Termini Imerese, e più precisamente:

- bacino del Fiume San Leonardo;
- bacino del Fiume Torto;
- bacino del Torrente Barratina.

Per ciascuno dei corsi d'acqua sono state tratte, ove presenti, dal Piano di Assetto Idrogeologico le informazioni relative alla portata alla foce per prefissati tempi di ritorno ed alla valutazione del rischio idraulico.

Per il bacino del Fiume San Leonardo a valle della Diga Rosamarina le portate stimate sono:

- $Q_{50 \text{ anni}} = 713 \text{ m}^3/\text{s}$;
- $Q_{100 \text{ anni}} = 845 \text{ m}^3/\text{s}$;
- $Q_{300 \text{ anni}} = 1061 \text{ m}^3/\text{s}$.

Per il bacino del Fiume Torto le portate stimate sono:

- $Q_{50 \text{ anni}} = 696 \text{ m}^3/\text{s}$;
- $Q_{100 \text{ anni}} = 825 \text{ m}^3/\text{s}$;
- $Q_{300 \text{ anni}} = 1034 \text{ m}^3/\text{s}$.

Non essendo presenti nel PAI informazioni circa le portate relative al bacino del Torrente Barratina, si è proceduto alla stima dei valori di portata a partire dai dati di pioggia della stazione di Cefalù, ottenendo i seguenti valori:

- $Q_{50 \text{ anni}} = 209 \text{ m}^3/\text{s}$;
- $Q_{100 \text{ anni}} = 232 \text{ m}^3/\text{s}$;
- $Q_{300 \text{ anni}} = 268 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le analisi relative all'individuazione del rischio idraulico indicano chiaramente che la presenza dei corsi d'acqua non implica rischi o vulnerabilità sia per le strutture portuali esistenti che per quelle previste in progetto.

Inoltre, l'analisi idrodinamica condotta alla foce del Torrente Barratina mostra che la presenza del corso d'acqua non implica notevoli variazioni del campo delle correnti.



AUTORITÀ PORTUALE DI PALERMO

Porti di Palermo e Termini Imerese

*LAVORI DI COMPLETAMENTO DEL MOLO DI SOTTOFLUTTO DEL
PORTO DI TERMINI IMERESE*

PROGETTO DEFINITIVO

STUDIO IDROLOGICO E IDRAULICO

INDICE

1. DESCRIZIONE DEI BACINI	3
1.1 BACINO DEL FIUME SAN LEONARDO	3
1.2 BACINO DEL FIUME TORTO E DEL TORRENTE BARRATINA	4
2. IDROGRAFIA	5
2.1 IDROGRAFIA: BACINO DEL FIUME SAN LEONARDO	5
2.2 IDROGRAFIA: BACINO DEL FIUME TORTO E DEL TORRENTE BARRATINA	7
3. CLIMATOLOGIA	7
3.1 CLIMATOLOGIA: BACINO DEL FIUME SAN LEONARDO	7
3.2 CLIMATOLOGIA: BACINO DEL FIUME TORTO	9
4. LO SBARRAMENTO ROSAMARINA SUL FIUME S. LEONARDO	10
5. STUDIO IDROLOGICO	11
5.1 STUDIO IDROLOGICO: BACINO DEL FIUME SAN LEONARDO	11
5.2 STUDIO IDROLOGICO: BACINO DEL FIUME TORTO	19
6. STUDIO IDRAULICO	24
6.1 STUDIO IDRAULICO: BACINO DEL FIUME SAN LEONARDO	24
6.1.1 Perimetrazione delle Aree Potenzialmente Inondabili	25
6.1.2 Perimetrazione delle Aree a Rischio Idraulico	26
6.2 STUDIO IDRAULICO: BACINO DEL FIUME TORTO E DEL TORRENTE BARRATINA	30
7. ANALISI IDRODINAMICA ALL'INTERFACCIA TERRA – MARE	32
7.1 STUDIO IDROLOGICO DEL TORRENTE BARRATINA	32
7.2 MODELLO IDRAULICO UTILIZZATO	36
7.3 ANALISI IDRODINAMICA ALLA FOCE DEL TORRENTE BARRATINA	37
7.3.1 Influenza del moto ondoso	37
7.3.2 Influenza della portata	39
7.3.3 Effetto congiunto del moto ondoso e della portata	39
8. CONCLUSIONI	41

PREMESSA

Il presente studio idrologico analizza i bacini dei corsi d'acqua che sfociano in prossimità del porto di Termini Imerese. L'analisi condotta prende le mosse dal Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Sicilia del 2004, redatto dal Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Applicazioni Ambientali (DIIAA) dell'Università di Palermo. Vengono analizzati il bacino del fiume Torto (423,41 km²) che sfocia a levante del porto, il bacino del fiume San Leonardo (506 Km²) che sbocca a ponente, e quello del torrente Barratina, la cui foce si trova in radice al molo di sottoflutto e che nel suo recente passato ha avuto numerosi eventi di piena in prossimità della foce stessa.

Lo studio idrologico è preceduto dalla descrizione dell'idrografia dei bacini, della pluviometria e della termografia. Sono state ricavate le curve di possibilità pluviometriche per tre tempi di ritorno (50, 100 e 300 anni) che permettono di ricavare gli ietogrammi lordi di progetto. Per la determinazione della "pioggia netta" o "deflusso superficiale" è stato utilizzato il metodo noto come "SCS-Curve Number".

Il calcolo delle portate è stato condotto utilizzando il modello matematico HEC-GeoHMS, mentre la propagazione delle portate è stata studiata con il software HEC-HMS (entrambi sviluppati dal U.S. Army Corps of Engineers).

Le analisi sulle portate al colmo ha permesso di perimetrare le aree a rischio di inondazione. In accordo col PAI, si sono individuate aree a rischio molto elevato in prossimità della foce del Torto (in sinistra idraulica) e in prossimità della foce del Barratina (in sinistra idraulica dentro il centro abitato di Termini Imerese).

Infine, è stata condotta un'analisi idrodinamica alla foce del Torrente Barratina.

1. DESCRIZIONE DEI BACINI

1.1 BACINO DEL FIUME SAN LEONARDO

Il Fiume San Leonardo è il corso d'acqua principale della costa settentrionale della Sicilia. Il suo bacino idrografico si estende per circa 506 Km² di cui circa quattrocento sono stati dichiarati montani con R.D n° 3301 del 2/11/1933. Il bacino si sviluppa tra la catena costiera (Monti di Trabia, Monte S. Calogero) e le propaggini settentrionali dei Monti Sicani (M. Cardellia, M. Barracù, Monti di Prizzi); esso confina ad est con il bacino del F. Torto, a SE con quello del F. Platani, a sud con quello del F. Sosio, a SO con quello del Belice sinistro e ad ovest con quello del F. Milicia.

La forma del bacino idrografico è sub-circolare, con una pronunziata appendice settentrionale che si estende in direzione NNE-SSW dalla foce verso la zona montana. Il bacino raggiunge la sua

massima ampiezza, pari a circa Km 22, a meridione; nella parte settentrionale, invece, la larghezza si riduce sensibilmente, fino a poco più di 1 Km, a circa Km 3,5 dalla foce, in corrispondenza della gola del Rosamarina, dove il corso del fiume è stato sbarrato dalla omonima diga. Quest'ultima è stata realizzata nel corso degli anni '80 dall'E.S.A. (Ente Sviluppo Agricolo) ed il volume dell'invaso creatosi è di circa 100 milioni di m³.

Il bacino idrografico del fiume San Leonardo ricade interamente nel territorio della provincia di Palermo. Nel bacino è possibile riconoscere l'azione antropica, oltre che nei centri abitati e nei territori agricoli, in numerose infrastrutture di trasporto. Tra queste le più importanti sono la sede ferroviaria Palermo-Messina, la sede stradale della S.S. 113 Palermo-Messina; quella dell'autostrada A19 Palermo-Catania, che attraversa la parte settentrionale del bacino a prevalente andamento E-O; infine, le sedi stradali della arteria a scorrimento veloce Palermo- Agrigento (S.S. 121) e delle S.S. 285, S.S. 118 e S.S. 188.

All'interno del bacino sono presenti delle aree naturali protette: la Riserva Naturale Orientata del Bosco Ficuzza che occupa parte dei territori comunali di Godrano e Corleone e la Riserva Naturale Orientata delle Serre di Ciminna che ricade nel territorio comunale di Ciminna.

1.2 BACINO DEL FIUME TORTO E DEL TORRENTE BARRATINA

Il bacino idrografico del Fiume Torto e l'area compresa tra il bacino del Fiume San Leonardo ed il bacino del Fiume Torto ricadono nel versante settentrionale della Sicilia, sviluppandosi principalmente nei territori comunali della provincia di Palermo e marginalmente nei territori delle province di Agrigento e Caltanissetta. Il bacino del Fiume Torto occupa un'area di 423,41 km², mentre l'area intermedia tra il bacino del Fiume San Leonardo ed il bacino del Fiume Torto, che comprende i torrenti Tre Pietre e Barratina, insiste su una superficie complessiva di 32,13 km².

Geograficamente il bacino si sviluppa tra i gruppi montuosi delle Madonie ad Est ed i Monti di Termini a Ovest; dal punto di vista idrografico, invece, esso confina con il bacino del Fiume Imera Settentrionale, a sud con il bacino del Fiume Platani, a ovest con il bacino del Fiume San Leonardo.

Il bacino idrografico del Fiume Torto presenta una variabilità morfologica piuttosto spiccata, sviluppando il suo territorio tra due complessi montuosi (Madonie e Monti di Termini) e comprendendo anche la zona interna collinare tra la catena settentrionale ed i Monti Sicani. Gran parte di Monte San Calogero risulta compreso all'interno del bacino idrografico in corrispondenza dell'ultima sua porzione, in sinistra orografica. Le quote maggiori si riscontrano proprio con la cima di questo monte (circa 1370 m s.l.m.), mentre nella parte alta del bacino le quote diminuiscono, con valori massimi di poco superiori ai 900 metri s.l.m. Tra gli elementi che determinano l'andamento dell'asta principale e dei suoi affluenti principali si ricordano: la dorsale di Monte Roccelito (destra

orografica, 1145 m s.l.m.) e la sua prosecuzione ad ovest con P.zo Bosco; la dorsale nord-sud denominata La Montagna che a partire dall'abitato di Roccapalumba e fino al nucleo abitato di Sambuchi, delimita ad ovest il bacino idrografico; le alture arenarie di P.zo Fico, P.zo Conca, M. Castellazzo, M. Rigiura, La Montagna (Alia) e Serra Tignino che caratterizzano la porzione centrale in destra idrografica. I contrasti morfologici sono maggiormente presenti nei versanti del tratto che attraversa la catena costiera siciliana, a partire dalla stretta morfologica posta subito a valle della stazione ferroviaria di Montemaggiore Belsito e fino all'ultimo tratto del corso del F. Torto, quando questo attraversa la Piana costiera di Bonfornello. A monte prevalgono i paesaggi collinari, generalmente omogenei, se si eccettuano le alture arenarie descritte precedentemente, dove i tratti terminali del reticolo idrografico presentano pendenze elevate. Le aree territoriali comprese tra i due bacini limitrofi, sono morfologicamente differenti.

L'area tra il F. Torto ed il F. S. Leonardo, comprende invece le falde di Monte S. Calogero e quindi presenta morfologie più aspre con pendenze notevoli nei tratti terminali del reticolo, che si dipartono dalle numerose conoidi detritiche poste al piede delle cime del complesso montuoso. Spesso le acque scorrono su incisioni poco sviluppate in ragione delle forti pendenze e del breve tragitto dalle cime alla linea di costa.

2. IDROGRAFIA

2.1 IDROGRAFIA: BACINO DEL FIUME SAN LEONARDO

Il Fiume S. Leonardo presenta un andamento planimetrico dell'alveo che si snoda, procedendo dalle sorgenti alla foce, lungo un percorso di quasi Km 58; esso, a circa 33 chilometri dalla foce, assume la configurazione ad "Y" in seguito alla diramazione in due bracci denominati F. Trinità e F. della Margana. Il Fiume S. Leonardo nasce alle pendici di Pizzo Cangialoso (m. 1.456), ricadente nel territorio comunale di Corleone, e nel suo tratto iniziale, ad andamento NE-SO, prende il nome di "Vallone Margi". Successivamente, il corso d'acqua attraversa i territori comunali appartenenti al Dipartimento di Prizzi e, nuovamente, al comune di Corleone e, a circa Km 8,3 dalla sorgente e alla quota di m. 480, assume il nome di "F. della Mendola". Quest'ultimo segna con il suo percorso il confine tra i territori comunali di Campofelice di Fitalia e Prizzi e, dopo la confluenza con il Vallone Giardo, a quota m. 360 e a circa Km 18 dalla sorgente, prende il nome di "F. Centosalme". Esso si snoda con andamento all'incirca ENE-OSO fino a quando, a quota m. 330 circa e alla distanza dalla sorgente di circa 21 km, cambia il suo nome in "F. Trinità". Il F. Trinità presenta un andamento planimetrico ad orientazione NE-SO e con il proprio corso segna il confine tra i territori comunali appartenenti a Campofelice di Fitalia e Vicari. A quota m. 290 e a circa Km 24,5 dalla

sorgente il fiume riceve in destra idraulica le acque del F. della Margana e dopo tale confluenza viene denominato “F. di Vicari”, nonostante ricada nel territorio comunale di Campofelice di Fitalia, per la vicinanza dell’omonima cittadina situata a pochi chilometri di distanza dal suddetto corso d’acqua. Il F. di Vicari si snoda con andamento ENE-OSO e assume definitivamente il nome di “F. San Leonardo” dopo la confluenza con il Torrente S. Domenica, a quota m. 270 circa e alla distanza dalla sorgente di circa Km 27. Il F. San Leonardo si snoda, con andamento NNE-SSO, per circa Km 30. Durante il suo percorso attraversa il territorio comunale di Vicari; segna, per buona parte, il confine comunale tra quest’ultimo e Ciminna; attraversa i territori comunali di Caccamo e di Termini Imerese e, infine, sfocia nel Mar Tirreno con un estuario a NO e a breve distanza dalla cittadina di Termini. Il profilo di fondo del fiume San Leonardo mostra pendenza media molto bassa, pari a 2,33%. Tuttavia, un’analisi più dettagliata ha permesso di rilevare l’esistenza di tratti a pendenza anomala, dovuti a cambiamenti litologici e/o discontinuità tettoniche, in base ai quali il profilo di fondo è suddivisibile in tre tratti principali. Il primo tratto è compreso tra la sorgente (quota m. 1350) e quota m. 520 circa, dove si localizza il contatto tettonico tra le Unità Numidiche e l’U.S.S. M. Barracù-Colomba. Questo primo tratto ha pendenza poco elevata, pari al 12,73% e coincide all’incirca con il “Vallone Margi”, nome che assume il percorso iniziale del fiume San Leonardo. Questo primo tratto, inoltre, presenta spesso brusche variazioni di pendenza localizzate in corrispondenza di piani di faglia; quelle più evidenti sono alle quote di m. 650 e m. 900. Il secondo tratto del profilo longitudinale è il più lungo e si identifica con il percorso intermedio del fiume San Leonardo, compreso tra il piano di faglia di quota m. 520 e la soglia tettonica localizzata a quota m. 120. Questo secondo tratto ha pendenza media bassissima, pari a 0,89% e si presenta, nel complesso, piuttosto regolare. Attraverso un’analisi più dettagliata, però, è possibile individuare anche lungo questa parte del profilo numerosi gradini morfologici. Essi sono dovuti a piani di faglia che talvolta segnano cambiamenti litologici e lungo i quali sono impostati quasi tutti gli affluenti minori del fiume San Leonardo. In particolare, a quota m. 320 è presente il contatto tettonico tra le Unità Numidiche e le Unità Postorogene. Procedendo verso valle, a quota m. 260, è presente un piano di faglia all’interno del suddetto complesso postorogeno, alla confluenza del Torrente Santa Domenica nel fiume San Leonardo. A quota m. 190, invece, è presente il contatto tettonico tra il Flysch Numidico ed il Complesso tortoniano, contatto lungo il quale si localizza il Vallone Criti. A quota m. 176, in corrispondenza del Vallone Celso, si trova un piano di faglia nelle Unità Sicilidi. A quota m. 164, il fiume San Leonardo riceve le acque del Vallone Fava, impostato su una faglia all’interno del Complesso postorogeno. Anche il Vallone Ciacca, che confluisce nell’asta principale a quota m. 140 circa, è impostato su un piano di discontinuità tettonica, così come il Vallone

Canalotto, che confluisce nel fiume San Leonardo a quota m. 130, ed è localizzato lungo una faglia che pone a contatto le Unità Numidiche e quelle Sicilidi. Infine, il terzo ed ultimo tratto del profilo longitudinale è localizzato, come già detto, a valle della soglia di origine tettonica di quota m. 120 circa. In corrispondenza di questa soglia è stata realizzata la diga Rosamarina. Quest'ultimo tratto ha pendenza media pari a 1,91% e si presenta piuttosto regolare, con un'accentuata concavità verso l'alto. Gli affluenti principali del Fiume S. Leonardo sono, a partire dalle sorgenti: il V.ne Guddemi, il V.ne Giardo, il Fiume della Margana, il T.te Azziriolo ed il V.ne Macaluso.

2.2 IDROGRAFIA: BACINO DEL FIUME TORTO E DEL TORRENTE BARRATINA

L'asta principale del fiume, lungo complessivamente circa 57 Km, nel tratto di monte, si sviluppa in direzione est-ovest, parallelamente allo spartiacque meridionale. In questo primo tronco gli affluenti principali sono: il T. Gian Jacopo ed il V.ne Guccia. Nella zona centrale, fino alla confluenza in sinistra del T. Lisca, il corso d'acqua raccoglie i deflussi del F. S. Filippo e del V.ne Raffo, in sponda sinistra. A valle della confluenza con il T. Lisca, che costituisce il maggiore affluente del F. Torto, il corso d'acqua prosegue fino alla foce raccogliendo i deflussi del V.ne Finantelli e Scarcella, in sponda sinistra, e il Fosso Zimma ed il V.ne Baglio, in sponda destra. Il Fiume Torto ha un regime tipicamente torrentizio, caratterizzato da lunghi periodi di magra, con valore della portata praticamente uguale a zero. In 7 anni di osservazione della stazione idrometrica di località Bivio Cerda, si è registrato un numero massimo di 158 giorni consecutivi a portata nulla, mentre nel 50% degli anni si è raggiunto un numero di 118 giorni. Nell'area compresa tra il F. Torto ed il F. Imera settentrionale si evidenziano solo due incisioni principali: V.ne di Molarà e V.ne di Passo di Vicenza, ad andamento sub parallelo, con inizio in corrispondenza delle colline di Contrada Villaurea. Per l'area tra il F. Torto ed il F. S. Leonardo, solo nella porzione più occidentale si rinvengono incisioni ben sviluppate con i Torrenti Tre Pietre e Barratina, da segnalare quest'ultimo, che sfocia nel porto di Termini Imerese e che nel suo recente passato ha avuto numerosi eventi di piena in prossimità della foce.

3. CLIMATOLOGIA

3.1 CLIMATOLOGIA: BACINO DEL FIUME SAN LEONARDO

Per definire il microclima del settore della Sicilia nord-occidentale nel quale ricade il bacino idrografico del fiume San Leonardo sono stati considerati gli elementi climatici *temperatura* e *piovosità*. In particolare, il regime termico e pluviometrico dell'area è stato ricavato considerando i dati registrati presso le stazioni termopluviometriche e pluviometriche situate all'interno del bacino in esame, di seguito elencate (Tabella 1).

STAZIONE	LOCALITA'	STRUMENTO	QUOTA (m s.l.m.)	COORDINATE (UTM)	
				Lat.	Long.
Caccamo	Caccamo	Pluviometro	521	4.199.326	382.823
Campofelice di Fitalia	Campofelice di Fitalia	Pluviometro	730	4.186.627	366.500
Ciminna	Ciminna	Termo-pluviometro	500	4.195.780	372.512
Mezzojuso	Mezzojuso	Pluviometro	500	4.192.199	365.124
Monumentale	Termini Imerese	Pluviometro	6	4.204.833	385.830
Vicari	Vicari	Pluviometro	650	4.186.511	373.836

Tabella 1 –Stazioni termo pluviometriche (Fonte: relazione per il bacino del F. San Leonardo – PAI della Regione Sicilia, 2004)

Per l'analisi delle condizioni termometriche si è fatto riferimento soltanto ai dati registrati dalla stazione di Ciminna, essendo quest'ultima l'unica tra quelle ricadenti all'interno del bacino del Fiume San Leonardo ad essere dotata di termopluviografo. Prendendo in considerazione i dati rilevati negli ultimi vent'anni e confrontando i valori relativi alle escursioni termiche annuali o a quelle mensili il territorio in esame mostra un andamento termico piuttosto regolare. Inoltre, riferendosi alle medie stagionali si ottengono valori nella norma se si calcola l'escursione tra la temperatura media diurna e quella notturna mentre forti differenze si ricavano dal confronto, per un dato mese, fra la temperatura diurna massima e quella minima notturna. L'analisi dei dati mostra che nei mesi più caldi (Luglio e Agosto) si raggiungono temperature massime di circa 40°C; invece, nel mese più freddo (Gennaio) la temperatura media è pari a 9°C e i valori minimi raggiungono pochi gradi sopra lo zero centigrado, scendendo raramente al disotto e soltanto alle quote più elevate. La temperatura media annua dell'intero territorio in esame è pari a 15°C.

L'analisi del regime pluviometrico è stata effettuata attraverso gli annali idrologici pubblicati dalla Regione Siciliana (Ufficio Idrografico); in particolare, si sono presi in considerazione i dati inerenti al periodo 1976-1994 e registrati dalle stazioni di rilevamento ricadenti all'interno del bacino del San Leonardo. Dalle analisi effettuate si evince che nel periodo suddetto il valore di piovosità media annua è pari a circa 600 mm. Inoltre, nello stesso periodo gli anni più piovosi sono stati il 1976 e il 1982, quando si sono registrati, rispettivamente, 1163 mm e 924 mm di pioggia; l'anno meno piovoso, invece, è stato il 1984, con 314 mm. Il mese più piovoso relativo al periodo considerato è stato quello di Gennaio del 1981 che ha fatto registrare ben 244 mm di pioggia

nell'arco di soli 15 giorni. In generale, nell'arco di ogni singolo anno i giorni più piovosi ricadono nel semestre autunno-inverno e, in particolare, nell'intervallo temporale Ottobre-Febbraio mentre le precipitazioni diventano decisamente di scarsa entità nel periodo compreso tra Maggio e Settembre. In definitiva, i caratteri pluviometrici riportati delineano un clima di tipo *temperatomediterraneo*, caratterizzato da precipitazioni concentrate nel periodo autunnale-invernale e quasi assenti in quello estivo. Gli elementi climatici esaminati influiscono direttamente sul regime delle acque sotterranee e, essendo le piogge concentrate in pochi mesi (essenzialmente nel periodo Ottobre- Febbraio), assumono particolare interesse i fenomeni di ruscellamento superficiale, di infiltrazione e di evaporazione. L'evaporazione è sempre modesta nei mesi freddi e nelle zone di affioramento dei termini litoidi di natura calcareo-dolomitica lo è anche nei mesi caldi, a causa dell'elevata permeabilità di tali litotipi (per fessurazione e/o per porosità nella coltre d'alterazione) che favorisce notevolmente l'infiltrazione delle acque ruscellanti. Inoltre, il ruscellamento superficiale risulta moderato anche a causa della morfologia dell'area in esame la quale mostra rilievi a pendenza generalmente bassa o moderata; esso, pertanto, diviene preponderante soltanto nelle zone in cui affiorano i terreni impermeabili e qualora si verificano forti rovesci della durata di poche ore. Si evince, dunque, che la ricarica degli acquiferi dell'area in esame avviene sostanzialmente nel periodo piovoso suddetto (Ottobre-Febbraio) e che, pur non mancando saltuari eventi piovosi negli altri mesi dell'anno, durante l'estate, caratterizzata generalmente da lunghi periodi di siccità ed elevate temperature, si verificano condizioni di deficit di umidità negli strati più superficiali del terreno per la mancanza di risalita di acqua per capillarità.

3.2 CLIMATOLOGIA: BACINO DEL FIUME TORTO

L'analisi del regime pluviometrico dell'area in esame è stata effettuata attraverso i dati registrati dalle stazioni elencate in tabella 2 ove si riportano anche i valori delle precipitazioni medie mensili e la precipitazione media annua ricavati per ciascuna delle stazioni pluviometriche considerate nel periodo 1965 - 1994. In generale, nell'arco di ogni singolo anno i giorni più piovosi ricadono nel semestre autunno-inverno e, in particolare, nell'intervallo temporale Ottobre-Marzo mentre le precipitazioni diventano decisamente di scarsa entità nel periodo compreso tra Giugno e Settembre (Tabella 2).

STAZIONE	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	ANNO
ALIA	67,0	61,9	60,5	46,4	23,7	10,0	4,7	7,3	27,1	62,8	60,8	84,4	516,6
CACCAMO	81,4	75,9	68,2	62,5	30,8	10,9	5,6	13,2	36,2	71,3	70,6	84,0	610,6
CERDA	72,8	78,5	66,0	56,8	29,3	8,5	9,5	14,6	38,6	76,1	81,8	83,2	615,7
FATTORIA GIOIA	74,1	63,0	61,0	46,1	25	6,3	3,1	10,1	30,0	58,8	63,6	73,9	515,0
LERCARA FRIDDI	75,5	72,7	61,3	49,8	24,6	6,6	5,0	11,2	29,7	68,7	62,6	83,8	551,5
MONUMENTALE	66,4	68,4	63,0	47,2	27,3	9,4	8,1	11,5	48,5	71,4	65,9	74,1	561,2
VICARI	54,0	53,0	47,3	48,9	25,6	12,0	5,4	13,6	31,8	72,6	55,1	62,9	482,2

Tabella 2 - Dati pluviometrici (Fonte: relazione per il bacino del F. Torto – PAI della Regione Sicilia, 2004)

Dai dati termo-pluviometrici raccolti è possibile evidenziare che l'andamento climatico della zona in studio è assimilabile a quello medio della Sicilia sud-occidentale ovvero è classificabile come temperato-mediterraneo, poiché caratterizzato da un periodo piovoso che ricade nel periodo ottobre-aprile e minimi stagionali da giugno ad agosto, quando si raggiungono le temperature più elevate.

4. LO SBARRAMENTO ROSAMARINA SUL FIUME S. LEONARDO

Caratteristiche del serbatoio artificiale

La diga Rosamarina, opera di ritenuta oggetto dello studio E.S.A., sbarrata il fiume San Leonardo a circa 6 Km dalla foce, sottendendo un bacino imbrifero di 460 Km². La sezione di sbarramento, disposta a quota 90 m s.m., chiude la stretta gola incisa dal fiume nelle formazioni calcaree e dolomitiche dei rilievi di Termini Imerese. L'altezza raggiunge i 93 m consentendo l'invaso di 100 milioni di m³ alla quota massima di regolazione. La diga è in muratura di calcestruzzo del tipo ad arco-gravità, tracimabile nella parte centrale del coronamento. La geometria della sezione maestra è caratterizzata dal profilo parabolico dei paramenti. Il volto della diga, simmetrico rispetto alla sezione maestra, è appoggiato alla roccia tramite un pulvino perimetrale continuo. Tra lo scudo a doppia curvatura ed il pulvino è interposto un giunto perimetrale sagomato a culla provvisto di un dispositivo di drenaggio. Le caratteristiche principali della diga, dedotte dal progetto, sono le seguenti: - quota del piano di coronamento 176 m s.l.m. - quota di massimo invaso 175 m s.l.m. - quota di massima regolazione 169,50 m s.l.m. - altezza massima 93 m - quote di massimo svaso 116,50 m s.l.m. - sviluppo al coronamento 200,33 m - corda di coronamento 171,30 m - spessore alla base del volto 31,49 m - spessore alla base del pulvino 41,91 m - spessore al coronamento 5,00 m - volume utile di regolazione 100 10⁶ m³

5. STUDIO IDROLOGICO

5.1 STUDIO IDROLOGICO: BACINO DEL FIUME SAN LEONARDO

Il bacino idrografico del fiume San Leonardo, di estensione pari a circa 506 km², è stato suddiviso in 5 sottobacini; per ogni sezione di chiusura dei sottobacini sono state calcolate le massime portate al colmo di piena per assegnati tempi di ritorno, utilizzando i modelli matematici HEC-GeoHMS prima, e HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System) dopo, entrambi sviluppati dal U.S. Army Corps of Engineers, interfacciati con il software Arcview GIS. I tempi di ritorno considerati sono di 50, 100 e 300 anni.

Di seguito si riportano la procedura adottata ed i risultati dello studio idrologico condotto. Lo studio è stato sviluppato in due fasi successive: la prima, definita di pre-processing, ha consentito di individuare automaticamente, partendo da un modello digitale delle quote del territorio, denominato DEM (Digital Elevation Model), il reticolo idrografico, le dislivelli e, quindi, i limiti di bacino e dei sottobacini, ciascuno dei quali corredato dai principali parametri morfologici; la seconda, di modellazione idrologica, ha permesso di simulare mediante il modello HEC-HMS, utilizzando come dati di input quelli ottenuti nella fase precedente, i processi di Afflusso-Deflusso, ottenendo, infine, i valori delle massime portate al colmo di piena per i fissati tempi di ritorno in corrispondenza delle sezioni sia di chiusura dei sottobacini considerati, sia di confluenza dei sottobacini stessi con l'asta fluviale principale. In Figura 1 è riportato il DEM relativo al bacino idrografico in studio compreso i limiti ed il reticolo idrografico. Le dimensioni delle celle del DEM utilizzato sono di 100x100 m. In Figura 2 è riportato lo schema idrologico, prodotto dal modello HEC-GeoHMS, utilizzato per il calcolo delle portate al colmo di piena. Per la determinazione della "pioggia netta" o "deflusso superficiale" è stato utilizzato il metodo noto come "SCS-Curve Number". La precipitazione netta si ottiene sottraendo alla precipitazione totale, P, le perdite iniziali, I_a, dovute all'immagazzinamento superficiale, all'intercettazione operata dalla copertura vegetale presente ed all'infiltrazione prima della formazione del deflusso. La precipitazione netta, P_n, si ripartisce completamente tra il volume di deflusso superficiale, V, e l'invaso del suolo, W, secondo la seguente espressione: $P_n = V + W$.

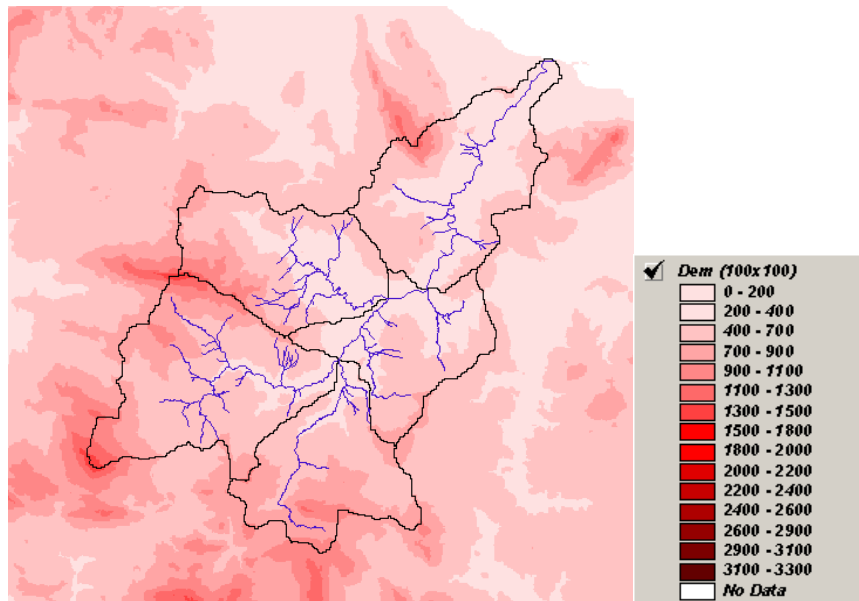


Figura 1: DEM (Digital Elevation Model) relativo al bacino idrografico del Fiume San Leonardo (Fonte: relazione per il bacino del F. San Leonardo – PAI della Regione Sicilia, 2004)

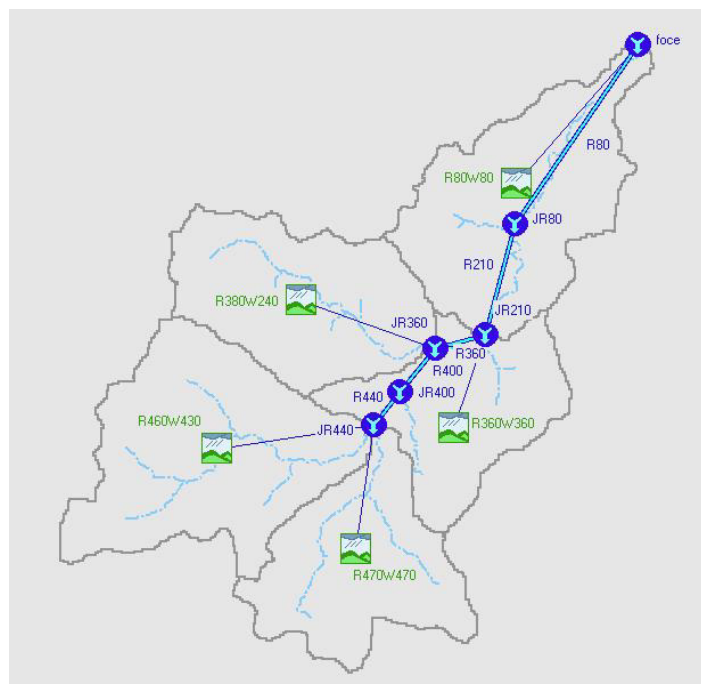


Figura 2: Schema idrologico del bacino idrografico del Fiume San Leonardo utilizzato per il calcolo della massima portata al colmo di piena (Fonte: relazione per il bacino del F. San Leonardo – PAI della Regione Sicilia, 2004)

Le perdite iniziali sono correlate all'invaso massimo del suolo, S , attraverso la seguente relazione: $I_a = 0.2 S$ e tenendo conto che $P_n = P - I_a$, il deflusso superficiale può essere espresso mediante la seguente espressione:

$$V = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

la valutazione del deflusso superficiale presuppone sia la conoscenza della precipitazione totale, P, sia la stima del massimo invaso del suolo, S, che, in teoria, può assumere valori compresi tra 0 ed infinito, in corrispondenza, rispettivamente, di superficie perfettamente impermeabile e di superficie perfettamente permeabile, condizione, quest'ultima, che non dà luogo alla formazione di alcun deflusso superficiale. La valutazione di S è condotta mediante la seguente relazione:

$$S = S_0 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

in cui S_0 è un fattore di scala pari a 254 mm e CN è un parametro, compreso tra 0 e 100, che indica l'attitudine del bacino esaminato a produrre deflusso ed è stimato in relazione alle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale presenti nel bacino. I valori medi areali di CN, relativi ad ogni sottobacino nel quale è stato suddiviso il bacino principale, sono stati ottenuti utilizzando la distribuzione regionale determinata da Maltese (2003), attraverso la metodologia meglio descritta nella relazione metodologica predetta. In Figura 3 è riportata la distribuzione areale del valore CN nel bacino in studio tratta dal DTM (Digital Terrain Model). I valori medi di CN, relativi ai sottobacini considerati, sono riportati in Tabella 1. Mediante tecniche di elaborazione GIS, sono state determinate le curve isocorrive; il massimo valore della curva isocorriva di ciascun sottobacino ne rappresenta il corrispondente tempo di corrivazione. Quest'ultimi valori sono riportati in Tabella 3.

Sottobacino n°	Codice HMS	CN	t _c (ore)
1	R460W430	81	5
2	R470W470	79	4
3	R380W240	79	3
4	R360W360	80	5
5	R80W80	79	4

Tabella 3: Valori medi del parametro CN e valori del tempo di corrivazione per ogni sottobacino (Fonte: relazione per il bacino del F. San Leonardo – PAI della Regione Sicilia, 2004)

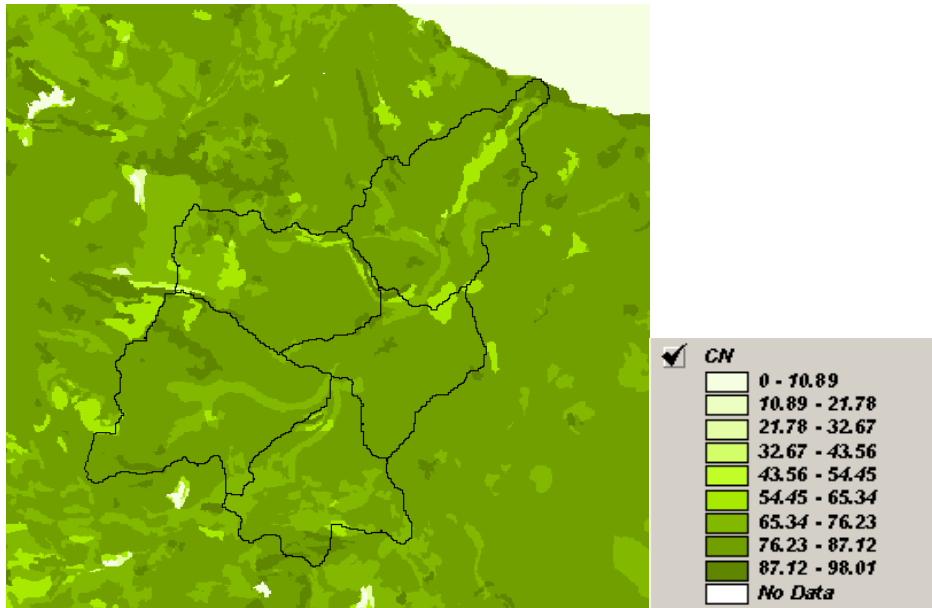


Figura 3: DTM (Digital Terrain Model) relativo alla distribuzione del parametro CN nel bacino idrografico del Fiume San Leonardo (Fonte: relazione per il bacino del F. San Leonardo – PAI della Regione Sicilia, 2004)

Per la determinazione delle massime portate al colmo di piena sono stati ricostruiti, per ciascun sottobacino, gli ietogrammi sintetici di progetto per fissato tempo di ritorno, applicando il modello meteorologico denominato “Frequency Storm”, meglio descritto nella relazione metodologica. Le altezza di pioggia, h , di data durata, t , e fissato tempo di ritorno, T , sono rappresentate attraverso la seguente relazione esponenziale in forma monomia:

$$h = K_T a t^n$$

in cui a ed n sono due parametri caratteristici delle stazioni pluviometriche, mentre K_T è un parametro di scala, denominato coefficiente di crescita, dipendente sia dal tempo di ritorno, T , sia dal coefficiente di variazione della stazione pluviometrica, CV , attraverso la seguente relazione:

$$K_T = 1 - CV \left(0.450 + 0.779 \ln \left(\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right) \right)$$

in Tabella 4 sono riportati, per ogni sottobacino, i valori medi dei parametri a , n e CV , i quali sono stati ottenuti, mediante tecniche GIS. I valori dei predetti parametri relativi all'intero bacino sono stati determinati come media pesata dei valori dei sottobacini, in funzione della loro estensione areale (vedi Tabella 5). In Figura 7 sono rappresentate le curve di possibilità pluviometriche per i tre tempi di ritorno considerati.

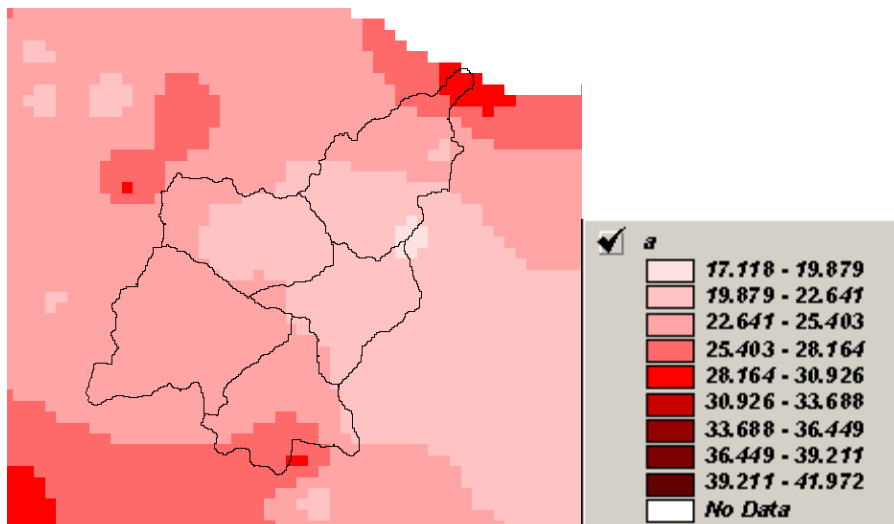


Figura 4: DTM relativo alla distribuzione del parametro a nel bacino idrografico del Fiume San Leonardo (Fonte: relazione per il bacino del F. San Leonardo – PAI della Regione Sicilia, 2004)

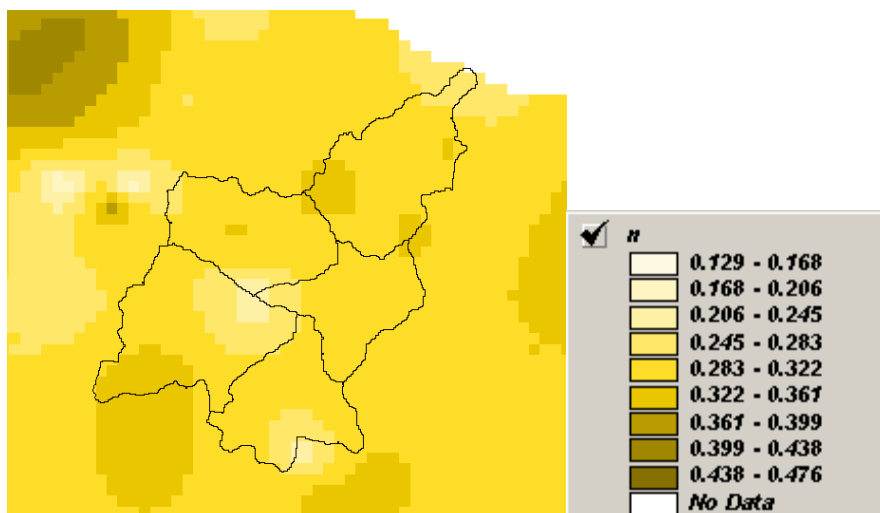


Figura 5: DTM relativo alla distribuzione del parametro n nel bacino idrografico del Fiume San Leonardo (Fonte: relazione per il bacino del F. San Leonardo – PAI della Regione Sicilia, 2004)

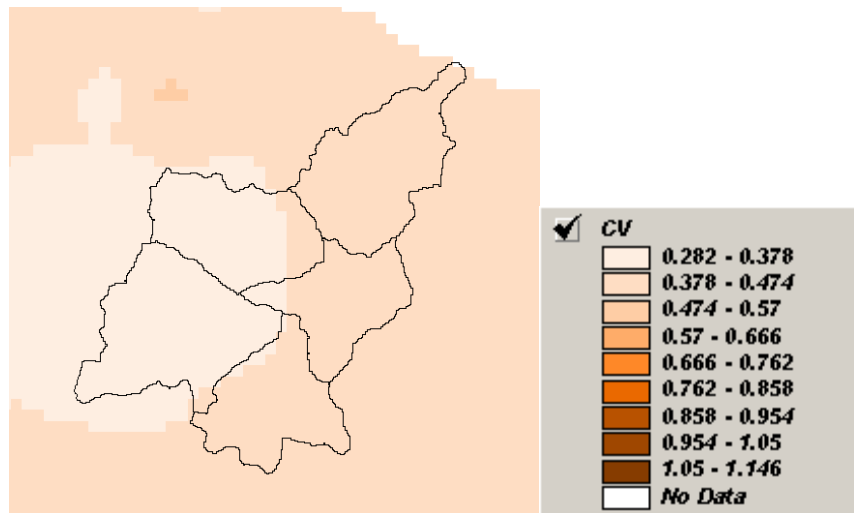


Figura 6: DTM relativo alla distribuzione del parametro CV nel bacino idrografico del Fiume San Leonardo (Fonte: relazione per il bacino del F. San Leonardo – PAI della Regione Sicilia, 2004)

Sottobacino n°	Codice HMS	Superf. (km ²)	<i>a</i>	<i>n</i>	CV
1	R460W430	131,8	23,4	0,29	0,34
2	R470W470	86,6	24,4	0,29	0,40
3	R380W240	97,2	22,7	0,30	0,35
4	R360W360	77,3	22,1	0,30	0,41
5	R80W80	114,2	22,9	0,31	0,42

Tabella 4: Valori medi dei parametri *a*, *n*, e *Cv* relativi ai sottobacini (Fonte: relazione per il bacino del F. San Leonardo – PAI della Regione Sicilia, 2004)

Bacino	Superf. (km ²)	<i>a</i>	<i>n</i>	CV
S. Leonardo	507,0	23,1	0,30	0,38

Tabella 5: Valori medi areali dei parametri *a*, *n*, e *Cv* relativi ai sottobacini (Fonte: relazione per il bacino del F. San Leonardo – PAI della Regione Sicilia, 2004)

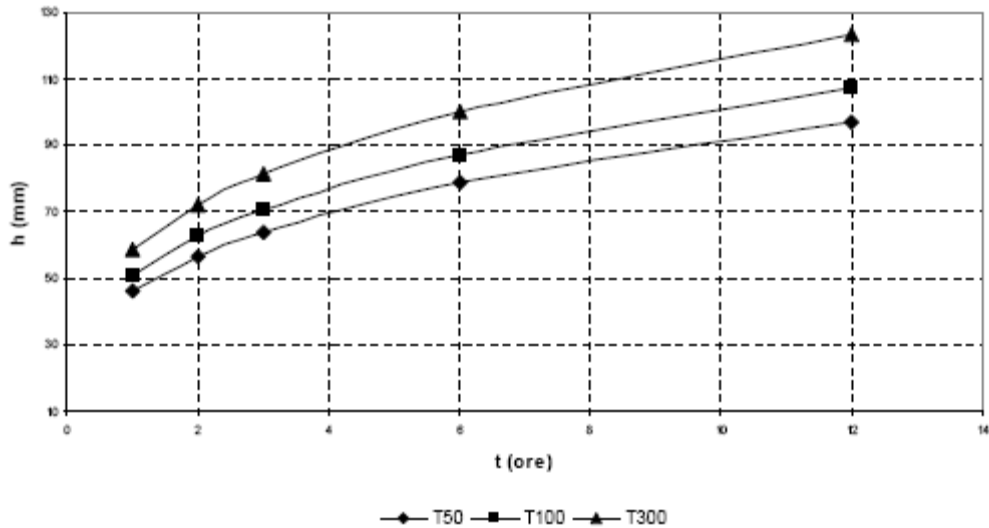


Figura 7: Curve di possibilità pluviometriche per i tempi di ritorno considerati (Fonte: relazione per il bacino del F. San Leonardo – PAI della Regione Sicilia, 2004)

Di seguito, in Figura 8, sono riportati gli idrogrammi di piena relativi alla sezione di chiusura del bacino, in corrispondenza della foce, per i tempi di ritorno considerati. In Tabella 6 sono indicati, per ogni sezione di chiusura dei sottobacini considerati, i valori delle massime portate al colmo di piena, mentre in Tabella 7 i valori in corrispondenza delle confluenze degli stessi sottobacini con l’asta fluviale principale.

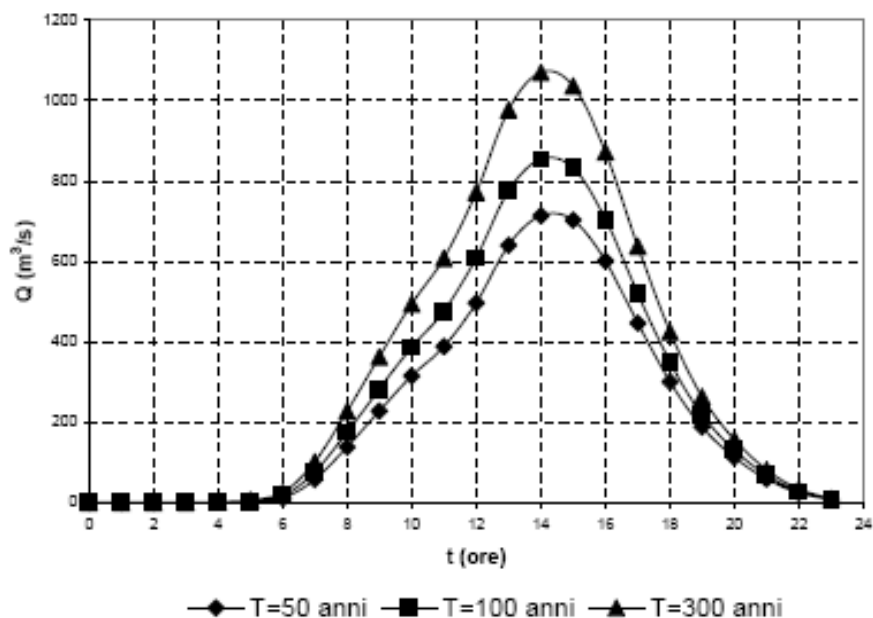


Figura 8: Idrogrammi di piena alla foce del Fiume San Leonardo, per fissati tempi di ritorno, T (Fonte: relazione per il bacino del F. San Leonardo – PAI della Regione Sicilia, 2004)

N°. Sottobacino	Codice HMS	Superf. (km ²)	Q _{t=50} (m ³ /s)	Q _{t=100} (m ³ /s)	Q _{t=300} (m ³ /s)
1	R460W430	131,8	344,3	404,0	500,2
2	R470W470	86,6	246,9	292,8	367,3
3	R380W240	97,2	238,6	283,1	355,2
4	R360W360	77,3	231,6	273,8	342,2
5	R80W80	114,2	260,2	308,2	386,2

Tabella 6: Valori delle massime portate al colmo di piena relativi a ciascun sottobacino per fissati tempi di ritorno (Fonte: relazione per il bacino del F. San Leonardo – PAI della Regione Sicilia, 2004)

N°. Sezione Calcolo	Codice HMS	Superficie Drenata (km ²)	Q _{t=50} (m ³ /s)	Q _{t=100} (m ³ /s)	Q _{t=300} (m ³ /s)
1	JR440	218,4	524,0	622,4	782,3
2	JR360	315,6	650,3	769,4	962,7
3	JR210	392,9	684,1	811,7	1019,4
4	Foce	507,1	713,4	845,7	1061,1

Tabella 7: Valori delle massime portate al colmo di piena per fissati tempi di ritorno in corrispondenza delle confluenze considerate nello schema di calcolo del San Leonardo (Fonte: relazione per il bacino del F. San Leonardo – PAI della Regione Sicilia, 2004)

o.

Si osserva che nel presente studio non è stata considerata la presenza dell'invaso Rosamarina e, quindi, l'effetto della sua capacità di laminazione delle piene, eseguendo delle verifiche idrauliche considerando tutta la portata convogliata dall'intero bacino morfologico originario. La valutazione della massima portata scaricata dall'invaso Rosamarina dovrebbe considerare sia quella in uscita dallo scarico di superficie sia quella dello scarico di fondo, ipotizzandone il loro funzionamento contemporaneo. Tuttavia, poiché tali portate fanno riferimento ad un valore del tempo di ritorno superiore al valore massimo considerato in questo studio (300 anni) e, inoltre, sono certamente valutate sulla base di dati idrologici registrati in un intervallo temporale diverso da quello utilizzato nel presente studio, si è preferito svincolarsi dai suddetti valori ai fini delle verifiche idrauliche. Tale scelta, seppur non rispecchi del tutto la realtà idraulica del bacino, determina dei valori di portata nell'alveo che risultano più elevati rispetto a quelli effettivi conseguenti ad un effetto di laminazione dell'invaso, sovrastimando in tal modo i risultati delle simulazioni idrauliche a vantaggio della sicurezza.

5.2 STUDIO IDROLOGICO: BACINO DEL FIUME TORTO

In Figura 9 è riportato il DEM relativo al bacino idrografico in studio compreso i limiti ed il reticolo idrografico. Le dimensioni delle celle del DEM utilizzato sono di 100x100 m. In Figura 10 è riportato lo schema idrologico, prodotto dal modello HECGeoHMS, utilizzato per il calcolo delle portate al colmo di piena.

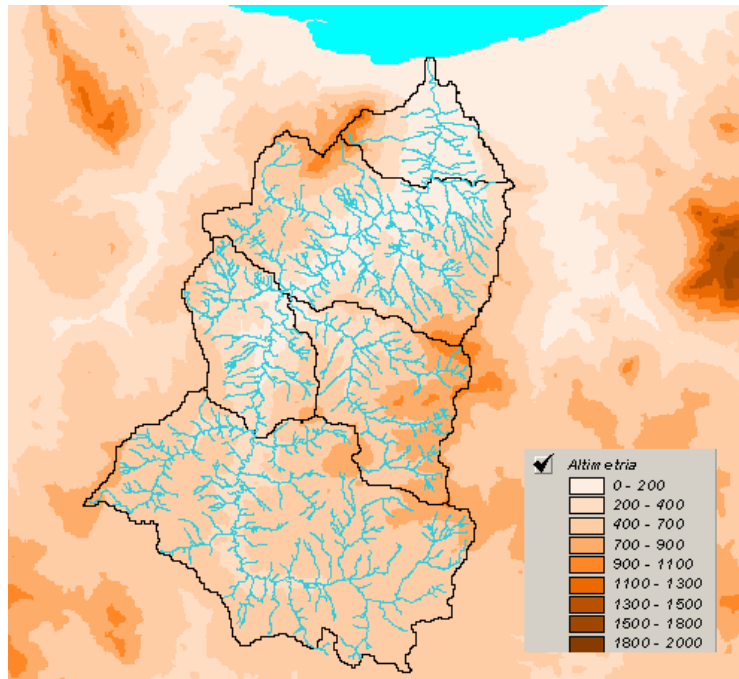


Figura 9 - DEM (Digital Elevation Model) relativo al bacino del Fiume Torto (Fonte: relazione per il bacino del F. Torto – PAI della Regione Sicilia, 2004)

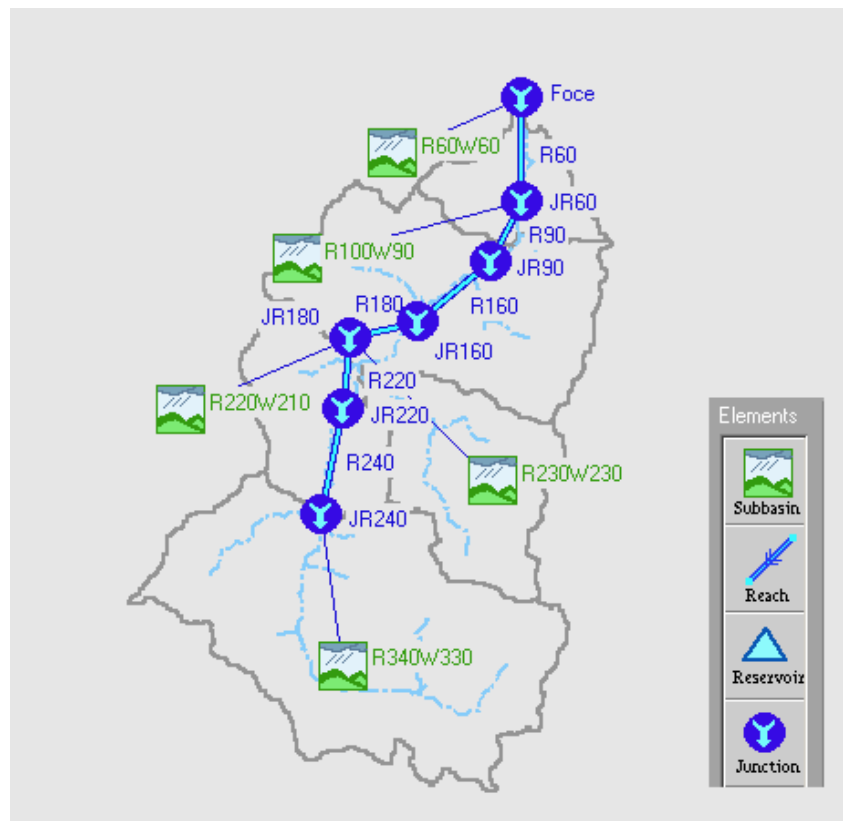


Figura 10 - Schema idrologico del bacino idrografico del Fiume Torto utilizzato per il calcolo della massima portata al colmo di piena (Fonte: relazione per il bacino del F. Torto – PAI della Regione Sicilia, 2004).

Lo studio è stato effettuato in tre fasi: *1. Studio della piovosità*. E' stato condotto uno studio delle piogge al fine di calcolare i parametri statistici necessari per la costruzione delle curve di probabilità pluviometrica per l'intero bacino in esame. Questa fase ha richiesto la determinazione dei parametri meteorologici, "a", "n" e "CV" per il bacino in studio. A partire dalle carte dei valori di "a", "n" e "CV" a scala regionale, sono stati ottenuti i valori medi a scala di bacino utilizzando il software Arc-View. Nelle Figg. 11-12-13 sono riportate le carte dei valori di "a", "n" e "CV" in corrispondenza del bacino in esame, in Fig. 14 sono riportate le curve di probabilità pluviometrica (CPP) ricavate in seguito ai parametri prima calcolati e per i tre tempi di ritorno considerati. La ricostruzione degli ietogrammi sintetici lordi a partire dalle CPP per i tre tempi di ritorno considerati è stata effettuata a partire dalle serie storiche di pioggia registrate nelle stazioni pluviografiche ricadenti nell'area di studio. Lo ietogramma utilizzato è del tipo "Chicago". In particolare si è ipotizzato uno ietogramma centrato ed una durata critica pari a 12 ore.

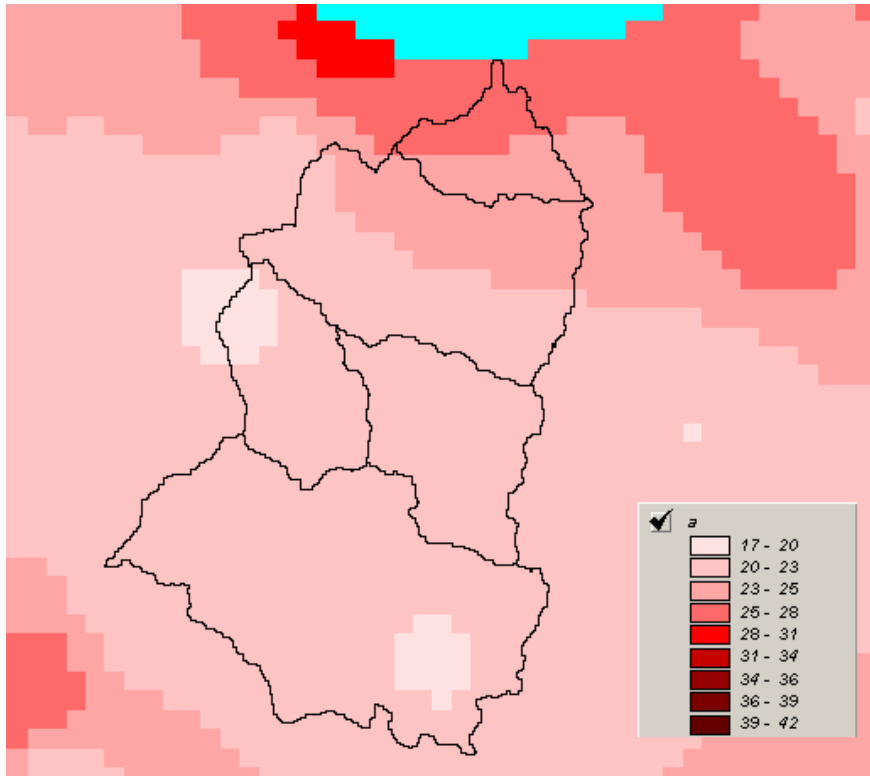


Figura 11 - DTM relativo alla distribuzione del parametro “a” nel bacino idrografico del F. Torto (Fonte: relazione per il bacino del F. Torto – PAI della Regione Sicilia, 2004).

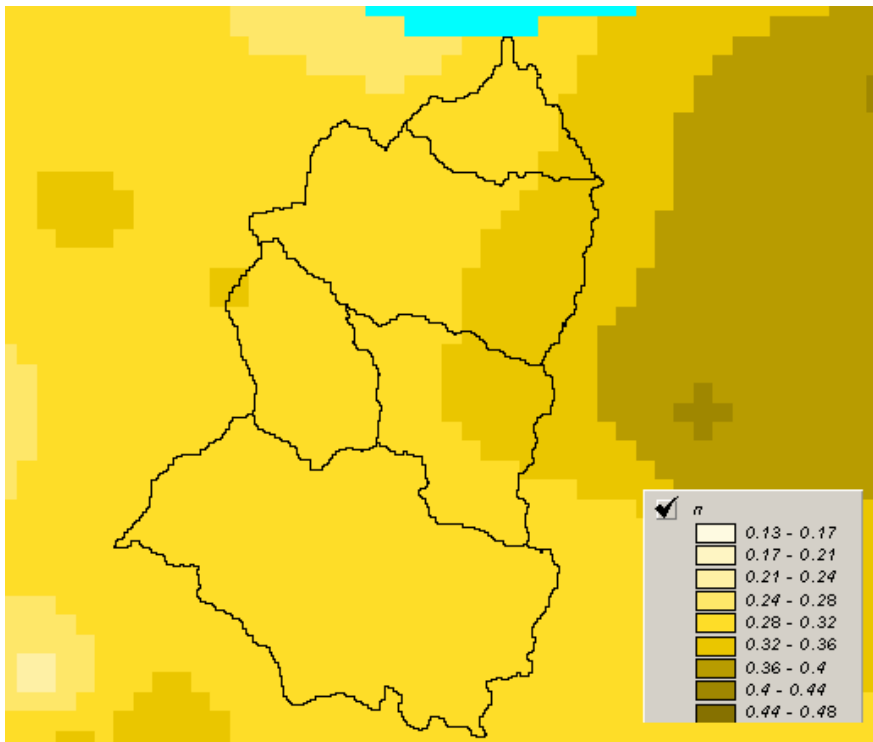


Figura 12 - DTM relativo alla distribuzione del parametro “n” nel bacino del F. Torto (Fonte: relazione per il bacino del F. Torto – PAI della Regione Sicilia, 2004).

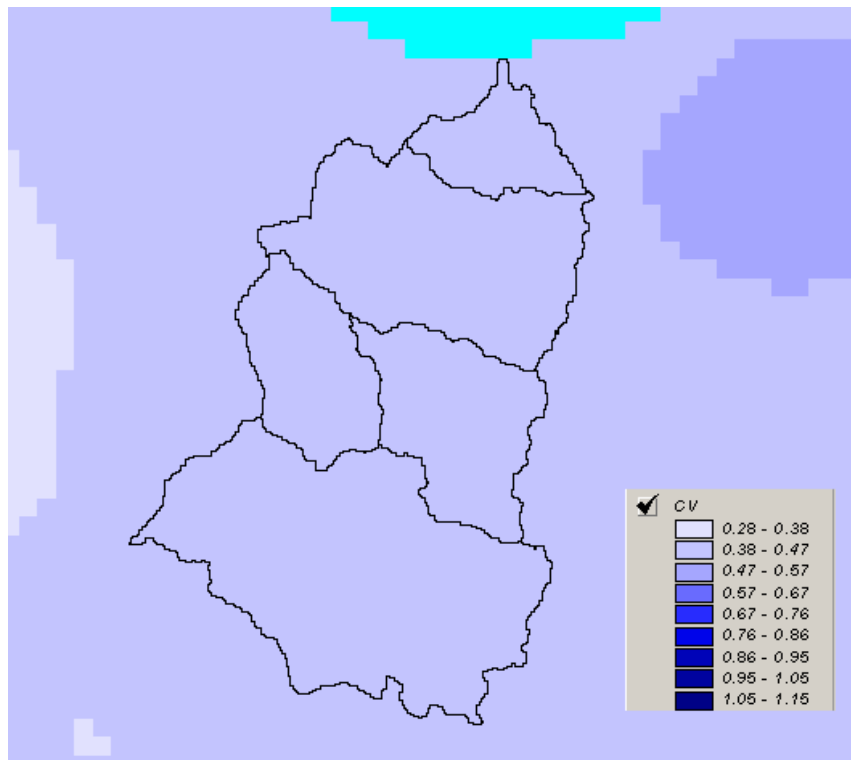


Figura 13 - DTM relativo alla distribuzione del parametro "CV" nel bacino del F. Torto (Fonte: relazione per il bacino del F. Torto – PAI della Regione Sicilia, 2004).

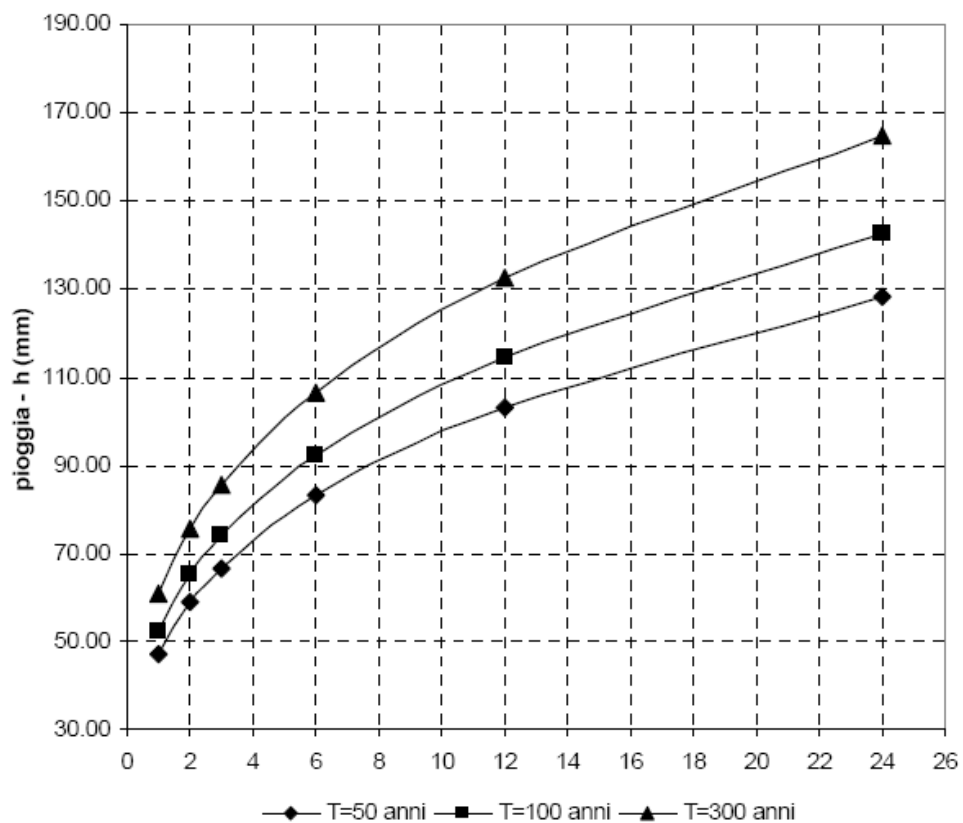


Figura 14 - Curve di possibilità pluviometrica del F. Torto per fissati tempi di ritorno (Fonte: relazione per il bacino del F. Torto – PAI della Regione Sicilia, 2004).

Per la determinazione della pioggia netta o deflusso superficiale è stato utilizzato il metodo SCS-Curve Number descritto in dettaglio nella Relazione Generale. I valori medi areali di CN, relativi ad ogni sottobacino nel quale è stato suddiviso il bacino principale, sono stati ottenuti utilizzando la distribuzione regionale determinata da Maltese (2003). In Figura 15 è riportata la distribuzione areale del valore CN per il bacino in studio tratta dal DTM (Digital Terrain Model)

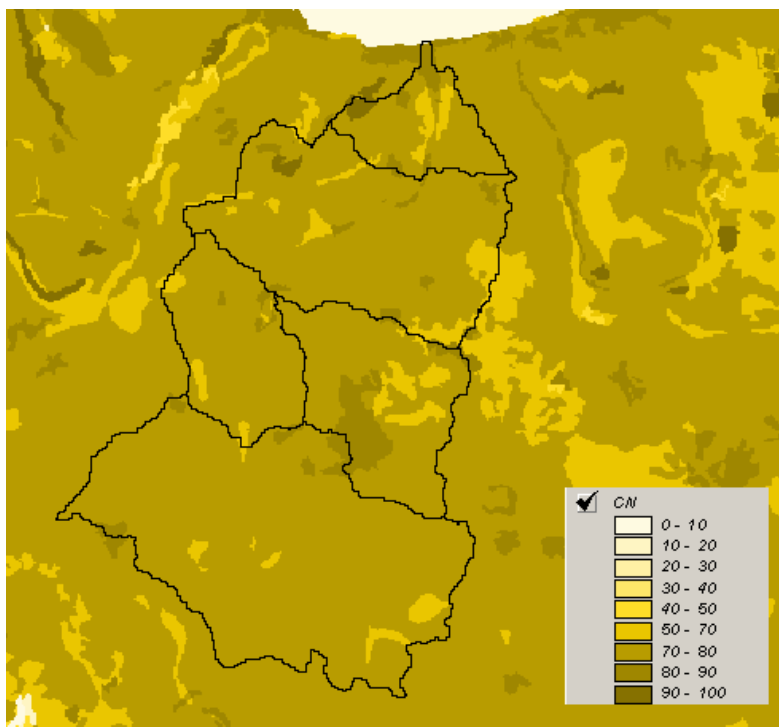


Figura 15 - DTM (Digital Terrain Model) relativo alla distribuzione del parametro “CN” nel bacino idrografico del Fiume Torto (Fonte: relazione per il bacino del F. Torto – PAI della Regione Sicilia, 2004).

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. A partire dal DEM del bacino, prodotto dall’Assessorato Regionale BB.CC.AA., caratterizzato da una maglia quadrata di dimensioni 100 x 100 m, sono stati ricavati automaticamente i percorsi di drenaggio, è stato individuato il reticolo idrografico e la lunghezza delle linee di drenaggio. A quest’ultima è stata associata una velocità di scorrimento superficiale costante e pari ad 1,5 m/s. Ottenuta così la carta delle isocorrive è stato possibile ricavare la curva aree-tempi e quindi i tempi di corrivazione dei sottobacini in esame. 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. 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 del corso d'acqua (lunghezza, pendenza, scabrezza) e della velocità della corrente supposta pari ad 1,5 m/s.

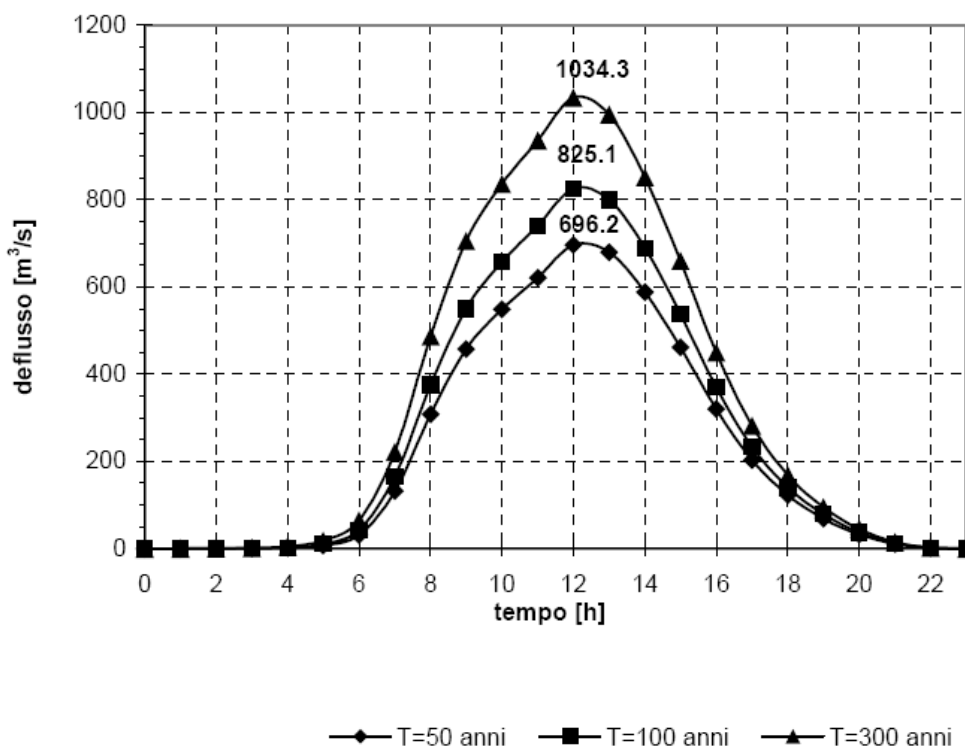


Figura 16 - Idrogrammi di piena alla foce del F. Torto, per fissati tempi di ritorno (Fonte: relazione per il bacino del F. Torto – PAI della Regione Sicilia, 2004)

6. STUDIO IDRAULICO

6.1 STUDIO IDRAULICO: BACINO DEL FIUME SAN LEONARDO

La modellazione idraulica del corso d'acqua è stata condotta utilizzando il codice di calcolo monodimensionale HEC-RAS. In particolare, attraverso un'operazione preliminare di preprocessing sono stati importati i dati di input all'interno del modello HEC-RAS. Tali dati sono stati integrati con tutte le indicazioni, di seguito descritte, che derivano dall'analisi cartografica, territoriale e dai sopralluoghi di campagna (rilevo di alcune sezioni trasversali non disponibili dallo studio E.S.A., verifica dello stato di fatto del fondo alveo, raccolta di una documentazione fotografica, ecc.) predisposti in questa fase.

Il ramo fluviale del S. Leonardo, dalla diga alla foce, è costituito da due tratti morfologicamente diversi. Nel tratto a monte dell'autostrada A19 l'alveo è caratterizzato da una elevata pendenza media ed è costituito da depositi alluvionali e da materiale proveniente dalla disgregazione e dal crollo di volumi lapidei di natura carbonatica dai versanti. La pezzatura, ovunque grossolana,

raggiunge le dimensioni maggiori a monte con blocchi di diametro massimo pari a 3÷5 m e medio pari a 0,5 m. Le dimensioni dei blocchi diminuiscono verso valle (diametro medio pari a 0,30 m); tuttavia sono sempre presenti, anche se con frequenza minore, blocchi di grande diametro. L'alveo del tratto a valle dell'autostrada A19, è caratterizzato da passati interventi di sistemazione idraulica costituiti da difese di sponda realizzate in gabbioni o con muri in c.a. ed arginature. Relativamente alle caratteristiche di resistenza idraulica, è noto che esse si differenziano a seconda che la sede di deflusso sia l'alveo o le aree golenali o di allagamento. Nel primo caso le caratteristiche dipendono principalmente dalle dimensioni del materiale di fondo, dalla presenza e qualità della vegetazione fluviale e dalla morfologia plano-altimetrica delle sezioni e del tracciato fluviale. Per le aree limitrofe golenali o di allagamento giocano un ruolo determinante la natura del suolo, la tipologia di coltivazione, la frammentazione poderale, la densità delle infrastrutture e delle costruzioni (macro rugosità) e le irregolarità naturali della superficie. L'osservazione diretta delle suddette caratteristiche sull'area in esame ha indirizzato ad una scelta di opportuni valori del coefficiente di Manning compresi tra 0,03 e 0,06 $m^{-1/3} s$, tratti dalla tabella relativa ai valori dell'indice di scabrezza per i corsi d'acqua naturali proposta da Chow (1959).

E' stata condotta la verifica idraulica del tronco fluviale del San Leonardo compreso tra la diga Rosamarina e la foce, per una lunghezza complessiva di circa 6 km. I valori delle portate al colmo di piena utilizzati sono quelli corrispondenti al codice HMS "Foce" riportato in Tabella 5. Come detto precedentemente, per la simulazione idraulica è stato applicato il modello monodimensionale HEC-RAS nell'ipotesi di regime di moto permanente. Sono state condotte tre simulazioni, una per ogni portata al colmo di piena per fissato tempo di ritorno (50, 100 e 300 anni). Per la simulazione idraulica sono state considerate 53 sezioni, di cui 31 a monte del ponte dell'Autostrada A19 (tratto montano) e 22 a valle del ponte stesso (tratto vallivo).

6.1.1 Perimetrazione delle Aree Potenzialmente Inondabili

Nel tratto montano, caratterizzato da un alveo decisamente incassato, per tutte le condizioni studiate (T=50, 100 e 300 anni) non sono state registrate situazioni di esondazione. Al contrario, nel tratto vallivo, a più modesta pendenza, sono state individuate delle aree inondabili di estensione crescente all'aumentare del tempo di ritorno dell'evento di piena considerato. La perimetrazione delle aree inondabili è stata condotta determinando la linea di intersezione tra il pelo libero del corso d'acqua ed il terreno; nei casi in cui, non è stato possibile ottenere tale intersezione, si è proceduto alla determinazione della possibile area inondabile basandosi su considerazioni relative al valore del tirante idrico rispetto all'andamento morfologico del terreno, deducibile dalla cartografia di base. L'estensione delle aree inondabili per tempo di ritorno 50, 100 e 300 anni sono,

rispettivamente circa 52, 73 e 97 ha. La valutazione della pericolosità, (P) è stata condotta seguendo la metodologia predisposta dal DIAA che consiste nel valutare la pericolosità solo in funzione del tempo di ritorno, e in particolare, in modo inversamente proporzionale ad esso (all'evento con tempo di ritorno più basso, T=50 anni, corrisponde l'indice di pericolosità più elevato, P3) come si evince dalla Tabella 8.

T (anni)	P
50	P3
100	P2
300	P1

Tabella 8 – Definizione delle pericolosità idraulica, P.

Per fissata condizione dell'alveo, è stato attribuito a ciascuna delle aree inondabili ricavate un indice di pericolosità seguendo il criterio esposto in tabella 6.

6.1.2 Perimetrazione delle Aree a Rischio Idraulico

Gli elementi a rischio interessati dall'esondazione sono:

- tratto della Strada Statale n. 113 in prossimità dell'attraversamento del corso d'acqua;
- tratto della linea ferroviaria PA-ME nelle vicinanze del ponte stradale sulla SS 113;
- cabina di trasformazione dell'ENEL ed alcuni tralicci dell'elettrodotto;
- case sparse ed insediamenti agricoli a bassa tecnologia.

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). Le possibili combinazioni tra i due indici, P ed E, sono riportate nella seguente tabella 9.

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

Tabella 9 – Valutazione del rischio idraulico.

La classificazione del Rischio adottata è la seguente:

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 10 – *Definizione delle classi di rischio, R.*

Le aree a rischio idraulico sono indicate nelle figure 16 e 17. Dall'esame delle figure è possibile osservare che un tratto della SS113 ed il relativo attraversamento del corso d'acqua ricadono in un'area a rischio idraulico molto elevato, R4; un ulteriore tratto della SS113 ed un tratto della linea ferroviaria PA-ME ricadono in un'area a rischio idraulico elevato, R3; la cabina di trasformazione ricade in un'area a rischio medio, R2; le case sparse e gli insediamenti agricoli a bassa tecnologia ricadono in aree a rischio idraulico compreso tra moderato, R1, e medio, R2; alcuni tralicci dell'elettrodotto che giunge alla cabina di trasformazione ricadono in aree a rischio compreso tra molto elevato e medio.

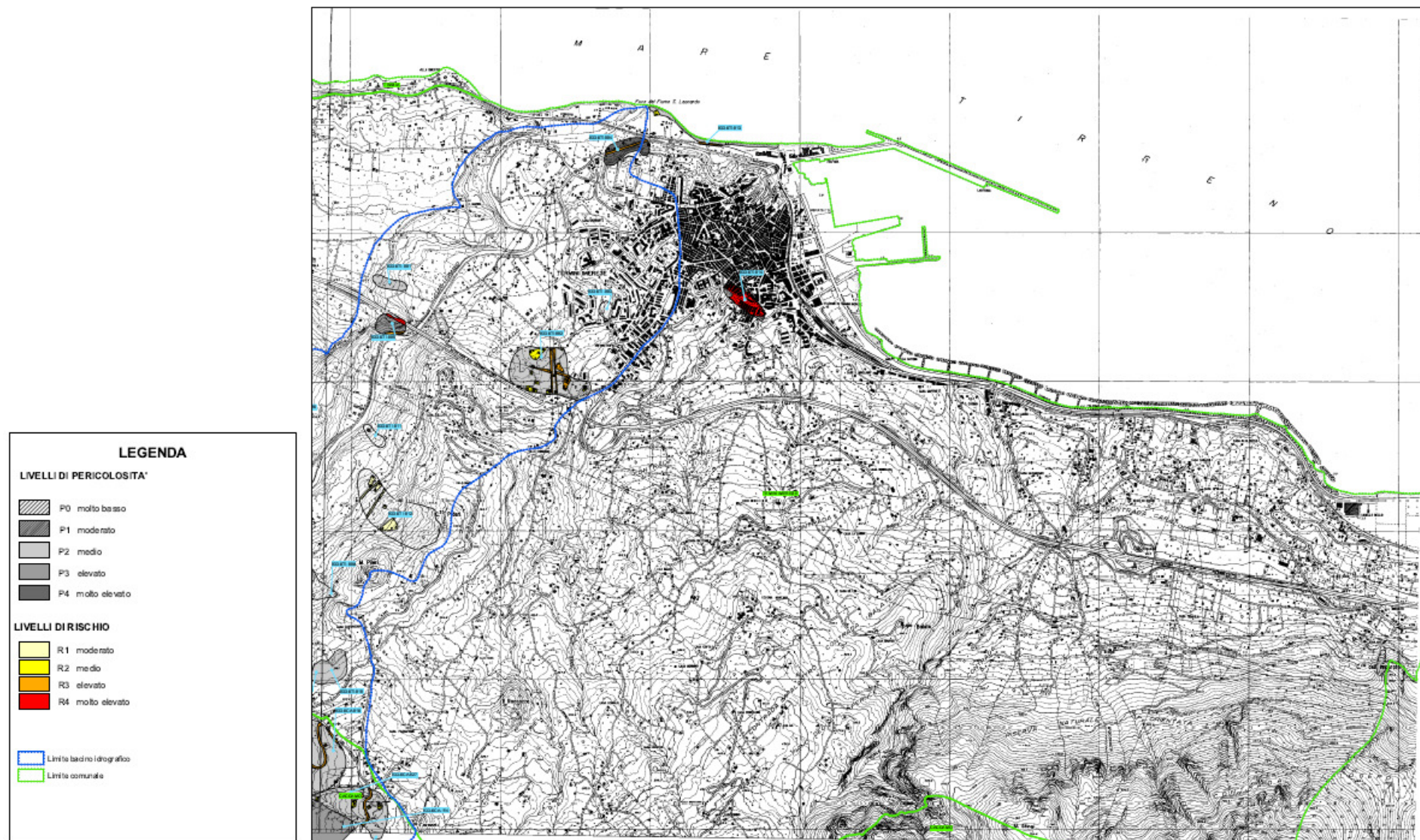


Figura 16: Carta della pericolosità e del rischio: zona valliva del San Leonardo (Fonte: PAI della Regione Sicilia, 2004)



Figura 17: Carta della pericolosità e del rischio: zona montana del San Leonardo (Fonte: PAI della Regione Sicilia, 2004)

6.2 STUDIO IDRAULICO: BACINO DEL FIUME TORTO E DEL TORRENTE BARRATINA

Calcolate le portate di piena occorre verificare se le sezioni del corso d'acqua riescano a trasportarle senza dar luogo ad esondazioni. La modellazione idraulica del corso d'acqua è stata condotta utilizzando il codice di calcolo monodimensionale HEC-RAS. In particolare, attraverso un'operazione preliminare di pre-processing sono stati importati i dati di input all'interno del modello HEC-RAS. Tali dati sono stati integrati con tutte le indicazioni, di seguito descritte, che derivano dall'analisi cartografica, territoriale e dai sopralluoghi di campagna (rilievo delle sezioni trasversali necessarie allo studio mediante cartografia in scala 1:2000, verifica dello stato di fatto del fondo alveo, raccolta di una documentazione fotografica, ecc.) predisposti in questa fase. Come detto precedentemente, per la simulazione idraulica è stato applicato il modello monodimensionale HEC-RAS nell'ipotesi di regime di moto permanente e corrente lenta (*subcritical*). Nelle condizioni al contorno si è imposta l'altezza critica della corrente nell'ultima sezione dell'alveo (foce). Sono state condotte tre simulazioni, una per ogni portata al colmo di piena, valutata alla foce del fiume, per fissato tempo di ritorno (50, 100 e 300 anni). Per la simulazione idraulica sono state considerate 33 sezioni.

In figura 18 si riportano le aree a rischio di inondazione. L'unica area che desta preoccupazione è la foce in sinistra idraulica. Quest'area risulta assai distante dalle aree operative portuali .

Relativamente al torrente Barratina, si evidenzia la presenza di una zona R4 in prossimità della foce, dentro il centro abitato di Termini Imerese. Tale condizione è visibile in figura 16.

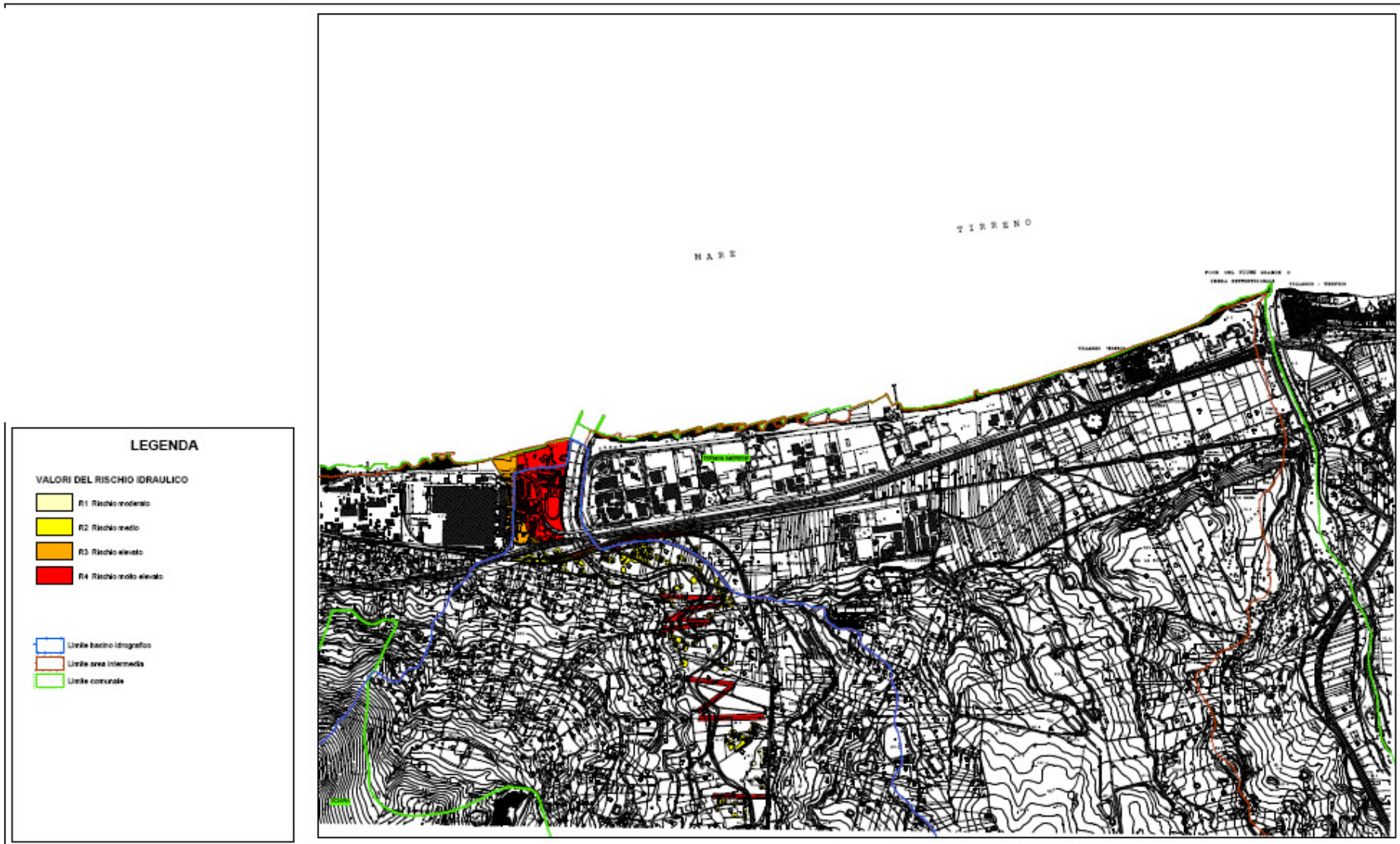


Figura 18: Carta del rischio idraulico alla foce del fiume Torto (Fonte: PAI della Regione Sicilia, 2004)

7. ANALISI IDRODINAMICA ALL'INTERFACCIA TERRA – MARE

L'influenza di una corrente che si sovrappone ad un moto ondoso in un tratto di mare a largo o sottocosta è un fenomeno fisico molto frequente le cui caratteristiche sono sostanzialmente quelle di apportare delle trasformazioni, più o meno intense al campo di moto, e delle modifiche alla morfologia del fondo.

Nel presente paragrafo si vuole studiare l'interazione tra moto ondoso e corrente lungo la fascia costiera rappresentato dai processi di moto che si determinano in prossimità della foce del torrente Barratina. In questo caso la corrente si sviluppa in opposizione alla direzione di propagazione del moto ondoso e la zona interessata dal fenomeno di interazione si estende allo specchio d'acqua di mare prospiciente la foce stessa.

7.1 STUDIO IDROLOGICO DEL TORRENTE BARRATINA

In virtù delle conclusioni cui è giunto il PAI, ossia della presenza di una zona R4 in prossimità della foce del torrente Barratina, si è ritenuto necessario effettuare uno studio idrologico dello stesso.

Non essendo presente in loco una stazione di misura diretta delle portate, bisogna risalire alle portate stesse a mezzo di una modellazione matematica del problema, che parte dalla conoscenza del regime pluviometrico. Si studieranno, quindi, le piogge massime di durata pari ad un'ora: al campione di dati disponibili si applicherà la nota legge di Gumbel. Per assegnato tempo di ritorno, si può, così, ricavare la pioggia massima con esso compatibile. La portata che attraversa l'asta fluviale di valle verrà ricavata con il metodo della formula razionale.

Sono state prese in esame le registrazioni della stazione pluviometrica di Cefalù molto vicina al sito in esame e dotata di ben 47 anni di registrazioni. Dagli annali sono stati tratti i valori massimi delle piogge di durata pari ad un'ora. Il campione di dati disponibili è molto numeroso, e ciò consente di trattarlo come una realizzazione del processo aleatorio delle piogge massime di durata pari a un'ora.

ANNO	Pioggia max di 1h (mm)	ANNO	Pioggia max di 1h (mm)
1931	12.5	1966	26.2
1932	28.5	1967	22.8
1933	45.6	1968	35.6
1938	16	1969	24.8
1943	26.4	1970	16.6
1945	29.2	1971	25.4
1946	20.6	1972	28.2
1948	29.6	1973	17.8
1949	29	1974	9
1950	35	1975	29.6
1951	30.8	1976	27.2
1952	25.6	1977	14
1953	15	1978	29.8
1954	22.8	1979	42.2
1955	30	1980	44.6
1956	13.8	1981	49.2
1957	25.4	1983	29.8
1958	23	1984	63.6
1959	30.4	1985	14.4
1960	27.4	1986	23.4
1962	22	1987	48.6
1963	30	1988	32.8
1964	66	1989	15.4
1965	36		

Ai dati è stata imposta la legge di Gumbel, la cui funzione distribuzione cumulativa assume la forma:

$$F = \exp[-\exp(-\alpha(x-u))]$$

dove i parametri sono calcolati come:

$$\alpha = \frac{1.283}{\sigma}$$

$$u = \mu - 0.450\sigma$$

essendo μ e σ la media e lo scarto della distribuzione, che nella pratica si stimano direttamente sul campione dei dati disponibili. Nel caso in esame è risultato:

μ	28.54468
σ	12.073

e di conseguenza:

α	0.10627
u	23.11183

Si riporta in Figura 19 il confronto tra la funzione distribuzione cumulata propria dei dati, denominata PP (Plotting Position), e quella teorica associata alla distribuzione di Gumbel con parametri calcolati sui dati disponibili.

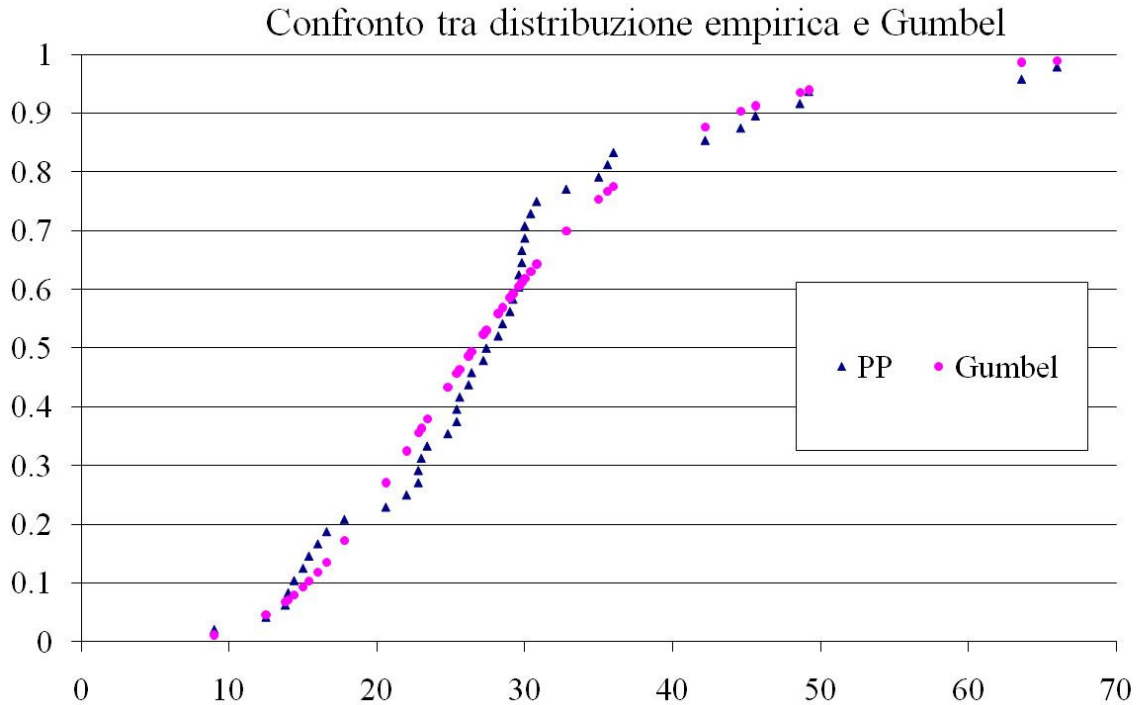


Figura 19: Adattamento dei dati alla legge di Gumbel

Si noti la presenza di una coincidenza pressoché perfetta tra le due forme.

La conoscenza della funzione F, consente, per assegnato tempo di ritorno, di calcolare l'altezza di pioggia di durata un'ora o, in maniera equivalente, l'intensità di pioggia che, in questo caso l'una e l'altra, sono numericamente espresse dallo stesso valore, tramite la:

$$h_T = u - \frac{1}{\alpha} \ln\left(-\ln \frac{T-1}{T}\right) \tag{1}$$

Il passaggio successivo è il calcolo dell'altezza di pioggia per durate pari al tempo di corrivazione dell'area interessata.

Il tempo di corrivazione è definito come il tempo che la particella liquida più svantaggiata impiega per arrivare alla sezione di chiusura, cioè alla caditoia.

Nel caso in esame il tempo di corrivazione è stato calcolato con la formula messa a punto dal *Civil Engineering Department dell'università del Maryland*:

$$\tau_c = 26.3 \frac{(L/K_s)^{0.6}}{j^{0.4} \cdot i^{0.3}}$$

nella quale le grandezze sono:

τ_c [s] il tempo di corrivazione;

L [m] la lunghezza della superficie scolante;

K_s [$m^{1/3}/s$] il coefficiente di resistenza di Gauckler-Strickler;

j [m/h] l'intensità della precipitazione;

i [] la pendenza media della superficie scolante.

Il tempo di corrivazione ottenuto per l' area in studio è di circa 60 minuti.

L'intensità di pioggia dipendente dal tempo di ritorno T si ricava a mezzo dell'equazione (1).

Per il calcolo delle portate associate a diversi tempi di ritorno si farà riferimento al metodo cinematico, tradotto in formula dalla ben nota:

$$Q = \phi \cdot i \cdot A$$

dove

Q è la portata;

ϕ è il coefficiente di afflusso, che, in relazione alle caratteristiche dell'area scolante si assume pari a 0.9.

A è l'area del bacino considerato, pari a 14 Km².

La tabella che segue riporta i valori di portata espressi in m³/s associati a differenti tempi di ritorno.

Tr (anni)	Q (m ³ /s)
5	130,29
20	178,71
50	209,40
100	232,40
150	245,81
250	262,67
300	268,69
500	285,54

7.2 MODELLO IDRAULICO UTILIZZATO

L'analisi è stata condotta utilizzando il software Mike 21 HD. Il codice di calcolo Mike 21 HD è in grado di tener conto di diversi fenomeni tra i quali:

- floowing/drying, cioè della fascia di battigia dove si passa dalla zone immersa a quella emersa;
- La dispersione di quantità di moto;
- Lo stress al fondo;
- La forza di Coriolis;
- L'azione del vento;
- I gradiente di pressione;
- Copertura di ghiaccio, non attiva nelle condizioni in esame;
- Le maree;
- Precipitazione/evaporazione;
- Radiation stresses.

Il modello si basa sulla soluzione numerica delle equazioni di Navier-Stokes per fluido incomprimibile soggette alle assunzioni di Boussinesq e di pressione idrostatica. Quindi il modello consta di equazioni di continuità, di quantità di moto, di temperatura, di salinità e di densità ed è definito da uno schema di chiusura turbolento. La densità non dipende dalla pressione ma solo dalla temperatura e dalla salinità.

Le equazioni seguenti sono presentate usando un sistema di coordinate cartesiane, nelle quali quella di continuità locale è scritta come:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S$$

E le due equazioni per la quantità di moto orizzontale per l'asse x e l'asse y rispettivamente:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial vu}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} = fv - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial x} dz + F_u + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial wv}{\partial z} = -fu - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial y} dz + F_v + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_s S$$

La discretizzazione spaziale delle equazioni primitive è eseguita usando il metodo ai volumi finiti.

Il dominio spaziale è discretizzato dalla suddivisione del continuo in elementi/celle non sovrapposte. Per ogni elemento della mesh e per ogni time step i risultati forniti dal modello sono:

- profondità dell'acqua ed elevazione della superficie;
- velocità nelle direzioni principali;
- velocità e direzione della corrente;
- courant/CFL number.

Gli output possono essere salvati in un punto, lungo una linea o su tutta l'area in studio.

7.3 ANALISI IDRODINAMICA ALLA FOCE DEL TORRENTE BARRATINA

7.3.1 Influenza del moto ondoso

Al fine di analizzare l'idrodinamismo indotto dal solo moto ondoso si confrontano nel seguito le immagini che mostrano l'intensità delle correnti nel caso di onda proveniente da Nord e nel caso di onda proveniente da 60°N, entrambe associate ad un tempo di ritorno di 250 anni.

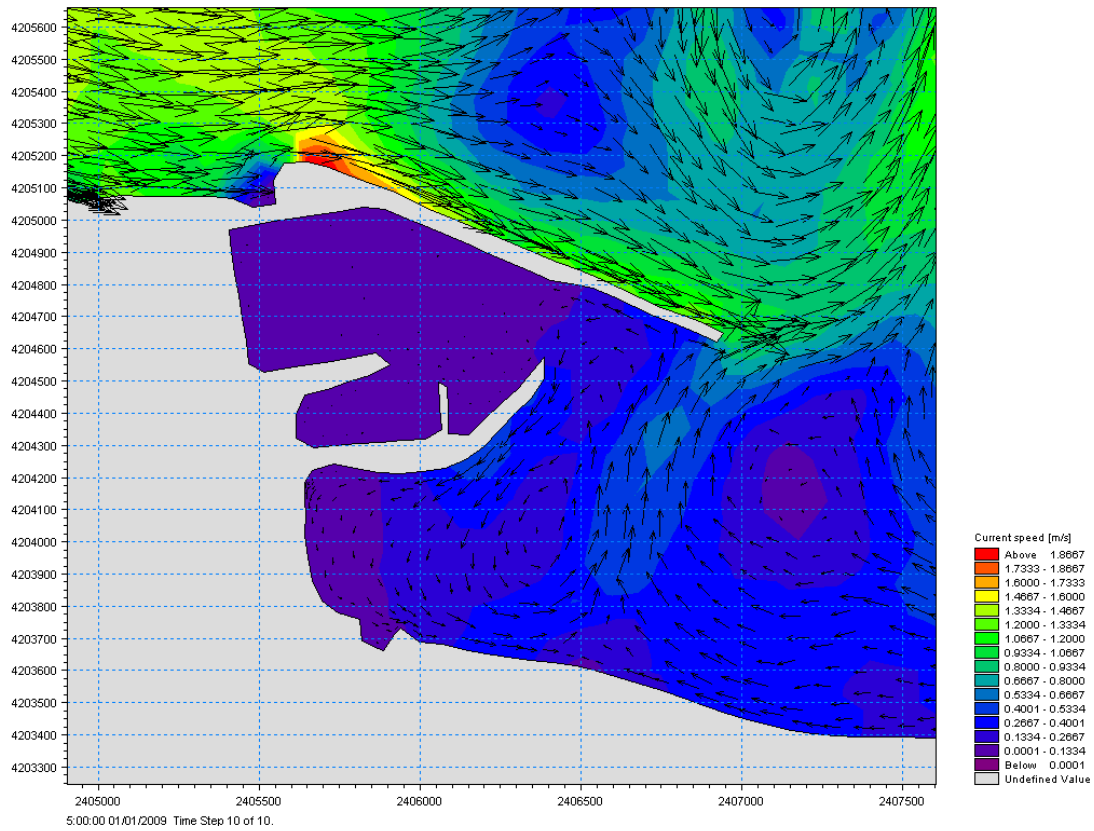


Figura 20 – Correnti indotte da onda proveniente da 0° N e tempo di ritorno 250 anni.

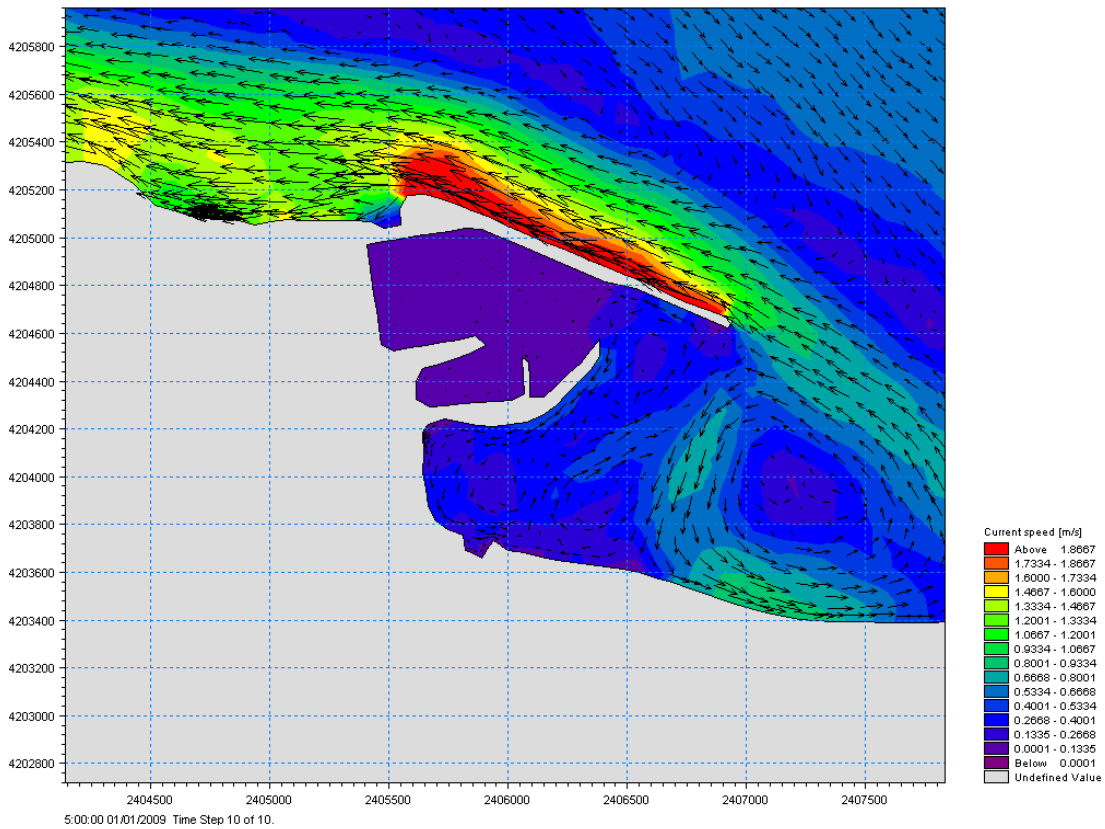


Figura 21 – Correnti indotte da onda proveniente da 60° N e tempo di ritorno 250 anni.

7.3.2 Influenza della portata

L'immagine che segue mostra l'intensità della corrente nel caso di assenza di moto ondoso e ingresso di una portata associata ad un tempo di ritorno di 250 anni.

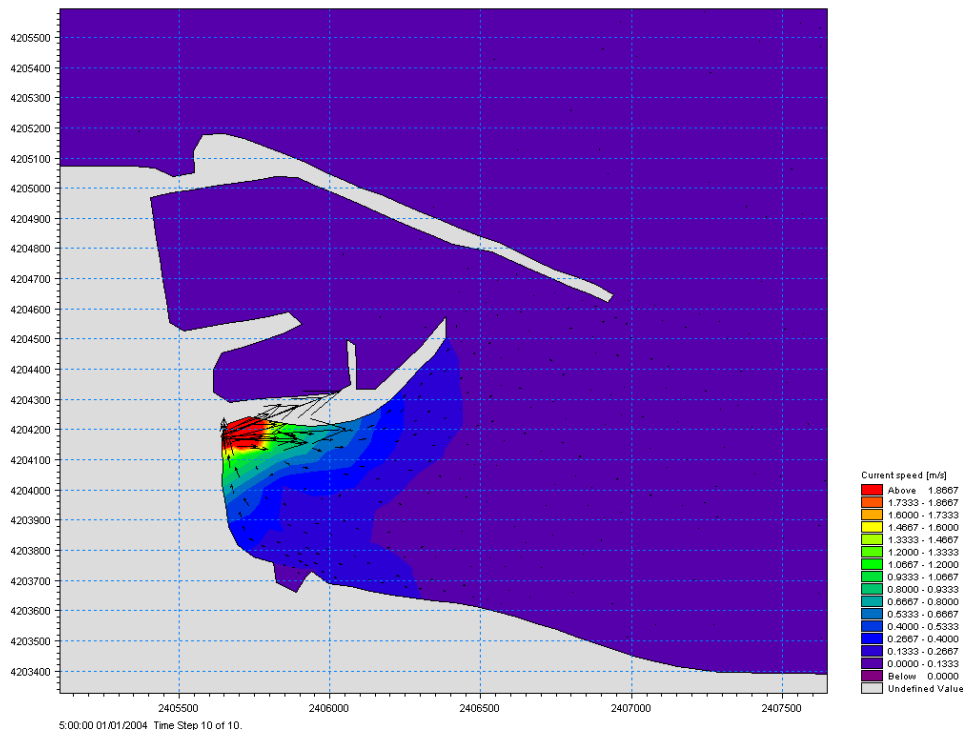


Figura 22 – Correnti indotte dalla portata associata al tempo di ritorno 250 anni.

7.3.3 Effetto congiunto del moto ondoso e della portata

Al fine di analizzare l'idrodinamismo nella configurazione di progetto le simulazioni sono state condotte introducendo sia la forzante ondometrica, sia la portata del torrente Barratina.

Si può osservare come il campo idrodinamico non subisce notevoli variazioni rispetto al caso in cui l'unica forzante è il moto ondoso.

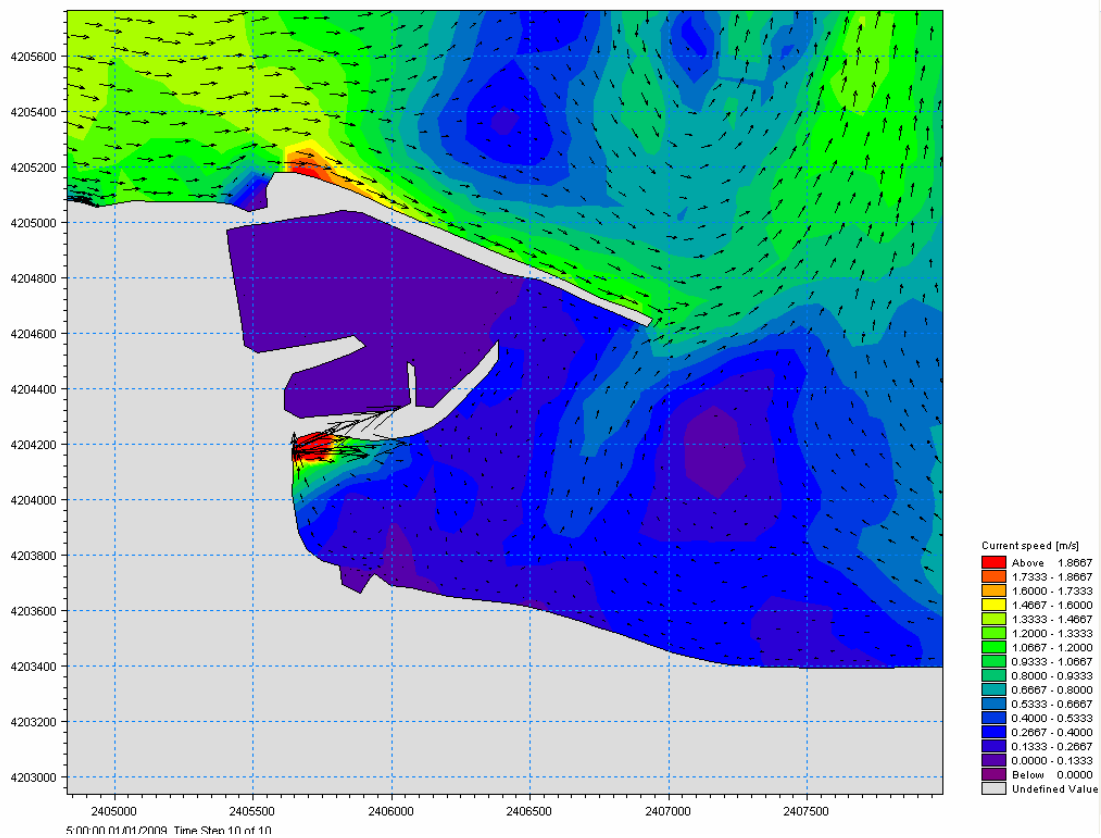


Figura 23 – Correnti indotte dall'onda avente direzione $0^\circ N$ e $T_R=250$ anni e dalla portata Q_{250}

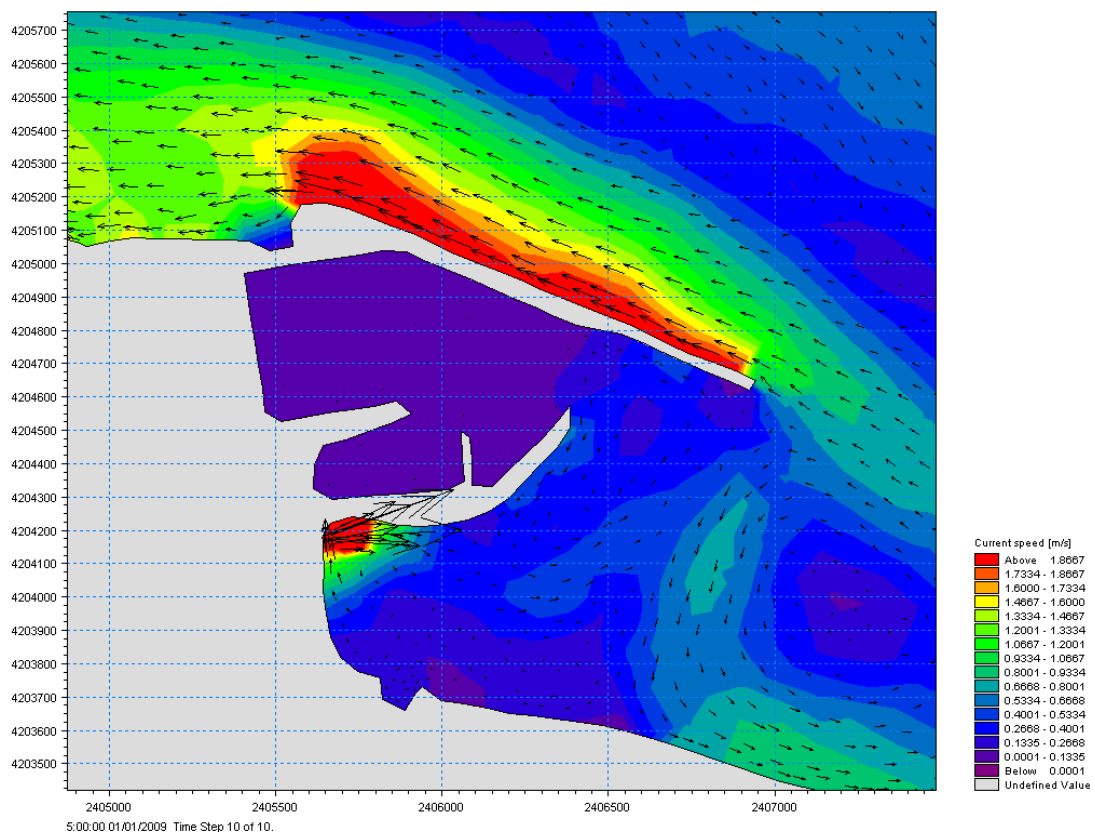


Figura 24 – Correnti indotte dall'onda avente direzione $60^\circ N$ e $T_R=250$ anni e dalla portata Q_{250}

8. CONCLUSIONI

Nel presente studio sono stati analizzati i bacini idrografici dei corsi d'acqua aventi la foce in prossimità del sito portuale di Termini Imerese, e più precisamente:

- bacino del Fiume San Leonardo;
- bacino del Fiume Torto;
- bacino del Torrente Barratina.

Per ciascuno dei corsi d'acqua sono state tratte, ove presenti, dal Piano di Assetto Idrogeologico le informazioni relative alla portata alla foce per prefissati tempi di ritorno ed alla valutazione del rischio idraulico.

Per il bacino del Fiume San Leonardo a valle della Diga Rosamarina le portate stimate sono:

- $Q_{50 \text{ anni}} = 713 \text{ m}^3/\text{s}$;
- $Q_{100 \text{ anni}} = 845 \text{ m}^3/\text{s}$;
- $Q_{300 \text{ anni}} = 1061 \text{ m}^3/\text{s}$.

Per il bacino del Fiume Torto le portate stimate sono:

- $Q_{50 \text{ anni}} = 696 \text{ m}^3/\text{s}$;
- $Q_{100 \text{ anni}} = 825 \text{ m}^3/\text{s}$;
- $Q_{300 \text{ anni}} = 1034 \text{ m}^3/\text{s}$.

Non essendo presenti nel PAI informazioni circa le portate relative al bacino del Torrente Barratina, si è proceduto alla stima dei valori di portata a partire dai dati di pioggia della stazione di Cefalù, ottenendo i seguenti valori:

- $Q_{50 \text{ anni}} = 209 \text{ m}^3/\text{s}$;
- $Q_{100 \text{ anni}} = 232 \text{ m}^3/\text{s}$;
- $Q_{300 \text{ anni}} = 268 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le analisi relative all'individuazione del rischio idraulico indicano chiaramente che la presenza dei corsi d'acqua non implica rischi o vulnerabilità sia per le strutture portuali esistenti che per quelle previste in progetto.

Inoltre, l'analisi idrodinamica condotta alla foce del Torrente Barratina mostra che la presenza del corso d'acqua non implica notevoli variazioni del campo delle correnti.