

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO

NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO–CATANIA

U.O. CORPO STRADALE E GEOTECNICA

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA –CATENANUOVA

RELAZIONE IDRAULICA MODELLO BIDIMENSIONALE FIUME DITTAINO

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

RS0K 10 D 11 RI ID0002 004 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione esecutiva	D. Romicant.	04.16	A. Tortora	04.16	P. Carlesimo	04.16	F. Sacchi	4.16

n. Elab.: 75

ITALFERR S.p.A.
D. CORPO STRADALE E GEOTECNICA
Dott. F. SACCHI
Linea degli Interi della Provincia di Roma
A2/74

	RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA - CATENANUOVA					
RELAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE	PROGETTO RSOK	LOTTO 10	CODIFICA D 11 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A	FOGLIO 2 di 26

INDICE

1	PREMESSA	4
1.1	Elenco elaborati annessi	5
2	DESCRIZIONE INTERVENTO DI PROGETTO	6
3	SINTESI TECNICO DESCRITTIVA	7
4	CONSIDERAZIONI IDROLOGICHE	9
5	MODELLAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE	10
5.1	Il modello numerico	11
5.2	Geometria del modello	12
5.3	Tracciato di progetto	18
5.4	Definizione delle scabrezze modello	21
6	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE	22
7	BIBLIOGRAFIA	26

	RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA - CATENANUOVA						
	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RELAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE	RS0K	10	D 11	RI	ID0002 001	A	3 di 26

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Linea ferroviaria Bicocca – Catenanuova esistente e di progetto.....	6
Figura 2 – Sezioni di riferimento P.A.I. asta del Fiume Simeto e del Fiume Dittaino.....	10
Figura 3 – Inquadramento territoriale dell’area modellata, viabilità stradali principali.	13
Figura 4 – Inquadramento territoriale dell’area modellata, linea ferroviaria esistente e di progetto	14
Figura 5 – DTM.....	15
Figura 6- Dettaglio del DTM	15
Figura 7 – Estratto della mesh di calcolo con sovrapposizione su ortofoto	16
Figura 8 – Ponti inseriti nel modello idraulico.....	17
Figura 9 – Condizioni al contorno.....	17
Figura 10 – Tratta Bicocca-Catenanuova, tratta pk 0+500 – pk 10+000.	19
Figura 11 – Tratta Bicocca-Catenanuova, tratta pk 10+000 – pk 19+000.	20
Figura 12 – Scabrezza (Manning)	21
Figura 13 – Aree allagabili da progressiva chilometrica 0+500 a 5+000	22
Figura 14 – Aree allagabili da progressiva chilometrica 5+500 a 11+500	23
Figura 15 – Aree allagabili da progressiva chilometrica 10+000 a 16+000	24
Figura 16 – Posizione degli affluenti del Dittaino interferenti con la linea di progetto.....	25

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Elenco elaborati annessi.	5
Tabella 2 – Tempi di ritorno.....	8
Tabella 3 – Portate dedotte dal P.A.I. per le sezioni di riferimento al variare del tempo di ritorno.	9
Tabella 4 – Livelli idrici alla confluenza tra i corsi d’acqua	25

	RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA - CATENANUOVA					
RELAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE	PROGETTO RS0K	LOTTO 10	CODIFICA D 11 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A	FOGLIO 4 di 26

1 PREMESSA

Il presente documento è parte integrante della progettazione definitiva dell'intervento di raddoppio della linea ferroviaria Palermo – Catania. La tratta della linea ferroviaria interessata dal presente studio è compresa tra la stazione di Catenuova e quella di Bicocca, per uno sviluppo complessivo di circa 38 km tra la progressiva km 0+000 e la km 37+913.

La presente relazione descrive lo studio idraulico eseguito mediante modellazione numerica bidimensionale del Fiume Dittaino al fine di definire, principalmente, eventuali interferenze tra le aree allagate da eventi di piena e la linea ferroviaria.

Secondariamente sono stati definiti i livelli idrici nel fiume in corrispondenza delle immissioni dei corsi d'acqua interferenti con la linea ferroviaria al fine di definire delle condizioni al contorno per le singole verifiche mediante modello numerico monodimensionale. In tal modo è stato possibile valutare quale fosse l'influenza di un eventuale rigurgito del Dittaino sul profilo idrico degli affluenti che attraversano la linea in progetto.

Lo studio è stato condotto seguendo le indicazioni del Piano di bacino stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI), redatto dal Dipartimento Territorio e Ambiente della Regione Sicilia, con lo scopo di approfondire, attraverso una modellazione numerica più accurata, le conclusioni di tale studio.

Per le simulazioni idrauliche e per la definizione delle aree allagate, nonché dei livelli idrici e delle velocità, si è fatto uso del codice di calcolo denominato Infoworks ICM, sviluppato dalla software house Innovyze.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA - CATENANUOVA						
	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RELAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE	RSOK	10	D 11	RI	ID0002 001	A	5 di 26

1.1 Elenco elaborati annessi

ELABORATO	SCALA	CODIFICA
Relazione idrologica Generale	-	RS0K10D11RIID0001001A
Relazione idraulica opere di attraversamento minori - verifiche in moto permanente	-	RS0K10D11RIID0002001A
Relazione idraulica opere maggiori	-	RS0K10D11RIID0002002A
Allegato alla Relazione Idraulica - Sezioni di Output modello monodimensionale	-	RS0K10D11RIID0002003A
Relazione idraulica Bidimensionale Fiume Dittaino	-	RS0K10D11RIID0002004A
Corografia dei bacini idrografici maggiori	1:30000	RS0K10D11CZID0001001A
Corografia dei bacini idrografici minori (Tav. 1/4)	1:10000	RS0K10D11C4ID0001001A
Corografia dei bacini idrografici minori (Tav. 2/4)	1:10000	RS0K10D11C4ID0001002A
Corografia dei bacini idrografici minori (Tav. 3/4)	1:10000	RS0K10D11C4ID0001003A
Corografia dei bacini idrografici minori (Tav. 4/4)	1:10000	RS0K10D11C4ID0001004A
Planimetria allagamenti derivanti da modello 2D per diversi tempi di ritorno	1:25000	RS0K10D11P3ID0002001A
Planimetria livelli idrici e velocità derivanti da modello 2D TR=50 - Tav.1/2	1:10000	RS0K10D11P4ID0002001A
Planimetria livelli idrici e velocità derivanti da modello 2D TR=50 - Tav.2/2	1:10000	RS0K10D11P4ID0002002A
Planimetria livelli idrici e velocità derivanti da modello 2D TR=100 - Tav.1/2	1:10000	RS0K10D11P4ID0002003A
Planimetria livelli idrici e velocità derivanti da modello 2D TR=100 - Tav.2/2	1:10000	RS0K10D11P4ID0002004A
Planimetria livelli idrici e velocità derivanti da modello 2D TR=200 - Tav.1/2	1:10000	RS0K10D11P4ID0002005A
Planimetria livelli idrici e velocità derivanti da modello 2D TR=200 - Tav.2/2	1:10000	RS0K10D11P4ID0002006A
Planimetria livelli idrici e velocità derivanti da modello 2D TR=300 - Tav.1/2	1:10000	RS0K10D11P4ID0002007A
Planimetria livelli idrici e velocità derivanti da modello 2D TR=300 - Tav.2/2	1:10000	RS0K10D11P4ID0002008A

Tabella 1 – Elenco elaborati annessi.

	RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA - CATENANUOVA						
	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RELAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE	RSOK	10	D 11	RI	ID0002 001	A	6 di 26

2 DESCRIZIONE INTERVENTO DI PROGETTO

La nuova tratta ferroviaria Bicocca-Catenanuova, compresa all'interno della linea Palermo - Catania, ha un'estensione di circa 38 km (Figura 1, linea rossa).

Il nuovo tracciato segue quasi integralmente quello esistente (in Figura 1 in colore arancione) mantenendosi sempre in sinistra idraulica del fiume Dittaino. In realtà il corso d'acqua scorre adiacente alla linea ferroviaria nel tratto compreso tra Catenanuova e la progressiva 13 + 500 circa per poi allontanarsi procedendo verso Bicocca (Figura 1). Lungo il suo percorso la tratta interseca diversi corsi d'acqua minori e il Fiume Simeto (alla progressiva 24+700 circa).

Precedentemente è prevista la realizzazione della tratta Catenanuova-Raddusa.

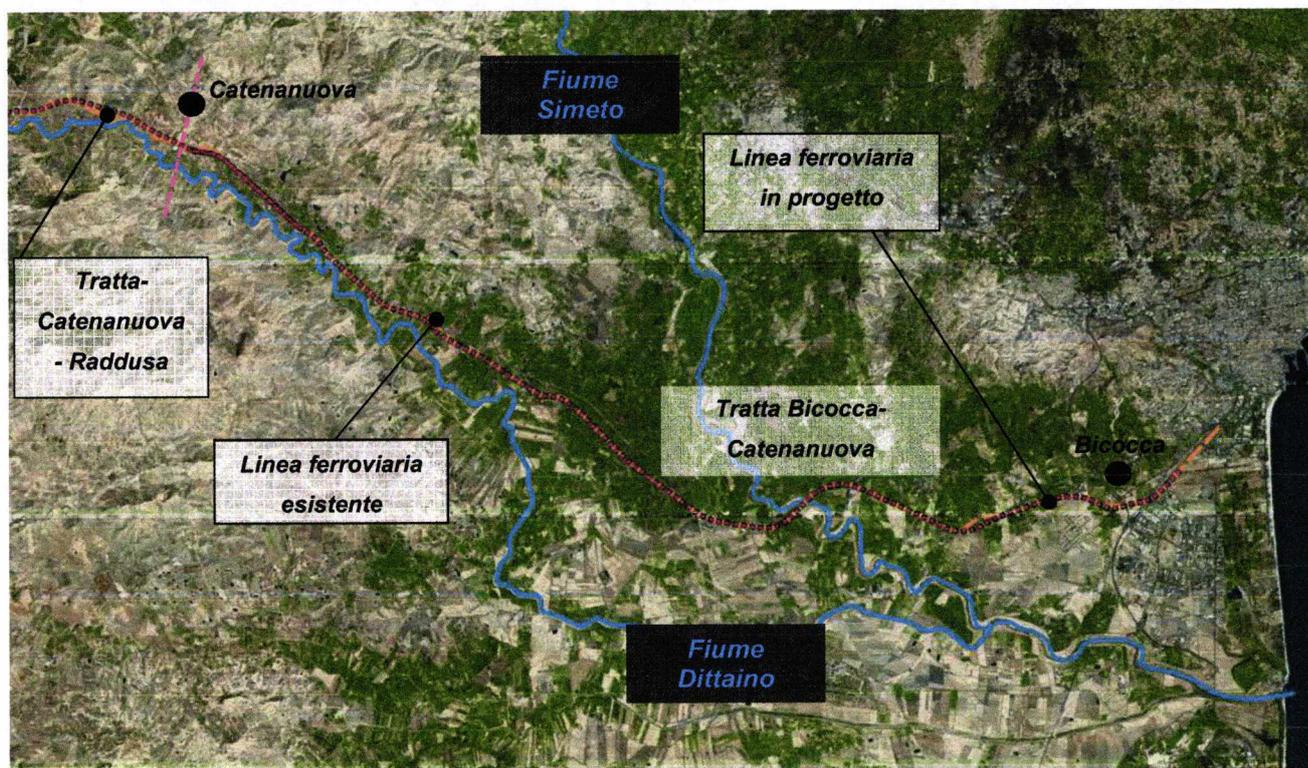


Figura 1 – Linea ferroviaria Bicocca – Catenanuova esistente e di progetto.

	RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA - CATENANUOVA					
RELAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE	PROGETTO RS0K	LOTTO 10	CODIFICA D 11 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A	FOGLIO 7 di 26

3 SINTESI TECNICO DESCRITTIVA

Nell'ambito del "Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) – Bacino Idrografico del Fiume Simeto, Area Territoriale tra il bacino del Fiume Simeto e il bacino del Fiume San Leonardo, Lago di Pergusa, Lago di Maletto", già nel 2005, la Regione Siciliana ha pubblicato i risultati delle analisi idrologiche-idrauliche relativamente al bacino idrografico del Fiume Dittaino.

In particolare nel documento "Appendice C – Risultati delle verifiche idrauliche" allegato al P.A.I. sono riportate le portate idrologiche massime a diverse sezioni di chiusura e per differenti tempi di ritorno.

Inoltre il summenzionato documento riporta i risultati di un'analisi idraulica di tipo monodimensionale a moto permanente, svolta al fine di individuare i livelli idrici in diverse sezioni del Dittaino per le diverse portate idrologiche. I medesimi risultati sono stati impiegati per definire le aree potenzialmente allagabili del corso d'acqua e delimitare in tal modo le aree a pericolosità idraulica nell'intorno del corso d'acqua.

L'analisi svolta all'interno del presente studio è stata eseguita mediante una simulazione numerica di tipo bidimensionale a moto permanente.

I dati di partenza, quali le portate lungo il corso d'acqua e le caratteristiche idrauliche delle superfici sono state ricavate dagli studi riportati all'interno del P.A.I..

La geometria del modello è stata sviluppata basandosi sui rilievi Laser Scan a disposizione. Inoltre sono stati commissionati rilievi di dettaglio delle opere esistenti interferenti con il corso d'acqua come ponti e viadotti.

In altri termini il presente studio costituisce un approfondimento di quanto già fatto nell'ambito del P.A.I., ma con strumenti di indagine più accurati.

Le simulazioni sono state svolte con un modello bidimensionale ai volumi finiti, in grado di risolvere le equazioni del moto Shallow Water Equations (SWE). Le simulazioni sono state eseguite fino al raggiungimento della condizione stazionaria della soluzione, coerentemente a quanto fatto nello studio idraulico della Regione Sicilia.

L'analisi idraulica stazionaria, detta anche a moto permanente, è comunque a favore di sicurezza rispetto a quella a moto vario. Infatti, nelle simulazioni a moto permanente si immettono portate costanti, fino al raggiungimento di valori di velocità e livello invariati nel tempo, condizione che comporta l'occupazione di tutte le possibili aree potenzialmente allagabili, dati i livelli idrometrici calcolati. Nelle simulazioni a moto vario, invece, si immettono nel dominio di calcolo volumi di piena finiti, sottesi dagli idrogrammi di piena; ne segue che i livelli idrici e l'estensione delle aree allagate sono sicuramente minori od uguali a quelli

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA - CATENANUOVA						
	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RELAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE	RS0K	10	D 11	RI	ID0002 001	A	8 di 26

individuati in moto permanente, dove i volumi idrici a disposizione sono potenzialmente infiniti.

Le simulazioni numeriche sono stati svolte nella configurazione progettuale definitiva, applicando portate caratterizzate da differenti tempi di ritorno, 50-100-200 e 300 anni.

La scelta dei tempi di ritorno è stata effettuata in conformità a quanto previsto dal Manuale di Progettazione Italferr e dalle Norme tecniche delle costruzioni. La tabella seguente sintetizza la scelta effettuata per tipologia di opere:

	Manuale di progettazione ferroviaria	NTC 2008 e relativa circolare applicativa
Drenaggio di piattaforma (cunette, tubazioni, etc)	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Piattaforma ferroviaria TR 100 anni</i> • <i>Deviazioni stradali Tr=25 anni</i> 	
Manufatti di attraversamento (ponti e tombini)	<ul style="list-style-type: none"> • <i>linea ferroviaria Tr= 300 anni per $S > 10 \text{ km}^2$</i> • <i>linea ferroviaria Tr= 200 anni per $S < 10 \text{ km}^2$</i> • <i>deviazioni stradali Tr=200 anni</i> 	<i>Tr = 200 anni</i>

Tabella 2 – Tempi di ritorno.

In particolare, i risultati del modello per tempi di ritorno pari a 200 e 300 anni sono stati utilizzati:

1. per la definizione dei livelli idrici di valle degli affluenti interferenti con la linea al fine di valutare il rigurgito provocato dalle piene del Dittaino sul loro profilo idrico;
2. per la definizione delle aree potenzialmente allagabili e la valutazione di eventuali interferenze con la linea ferroviaria in progetto.

Il primo punto dell'elenco è trattato con maggior accuratezza all'interno della "Relazione idraulica dei corsi d'acqua maggiori e minori" (elaborato RS0K10D11RIID0002001-002A).

Le simulazioni con tempo di ritorno pari a 50 e 100 anni sono state condotte invece al fine di determinare le aree allagabili associabili a tali eventi e poterle confrontare rispettivamente con le aree a pericolosità alta (P3) e pericolosità moderata (P2) del PAI, ottenute sulla base di simulazioni monodimensionali di eventi con tempo di ritorno analogo.

Stante la contiguità della tratta Catenanuova-Raddusa e BicoCCA-Catenanuova, è stato realizzato un unico modello numerico. Di seguito sono trattati gli aspetti relativi solo alla seconda tratta.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA - CATENANUOVA						
	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RELAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE	RS0K	10	D 11	RI	ID0002 001	A	9 di 26

4 CONSIDERAZIONI IDROLOGICHE

Nel tratto di Fiume Dittaino oggetto della modellazione, le portate di progetto sono state dedotte dallo studio idrologico riportato nel Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Regione Sicilia dell'anno 2005.

L'analisi degli afflussi e deflussi, riportata nel Piano, prende in considerazione valori di portata associati ai tempi di ritorno di 50, 100 e 300 anni. I valori di portata relativi ad un tempo di ritorno di 200 anni, non disponibili nelle pubblicazioni, sono stati ottenuti tramite interpolazione di quelli disponibili. All'interno dello studio idrologico del P.A.I., il calcolo dei volumi di pioggia, associati ad una certa durata e ad una fissata probabilità di non superamento, è stato stimato per mezzo di un'elaborazione statistica dei dati misurati alle stazioni pluviografiche ricadenti nel bacino idrografico in esame. Per la determinazione della pioggia efficace (P_e) è stata impiegata la metodologia del Curve Number, sviluppata dal Soil Conservation Service del dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti. La determinazione del deflusso di piena è stata ottenuta tramite un modello idrologico basato sul tracciamento delle isocorive, individuate grazie al modello digitale del terreno (DEM, Digital Elevation Model) prodotto per conto dall'Assessorato Regionale. Il software HEC-HMS è stato utilizzato a supporto delle analisi idrologiche brevemente descritte.

Nella relazione del PAI, sono inoltre riportati i valori che corrispondono, al variare del tempo di ritorno, alle portate per alcune sezioni che ricadono lungo il tratto di corso d'acqua studiato. In Tabella 3 sono riportati tali valori e il numero delle sezioni corrispondenti, mentre in Figura 2 è riportata la posizione di quest'ultime.

Sezione PAI	Portate [m^3/s]			
	TR 50	TR 100	TR 200*	TR 300
157	1437	1956	2667	3067
138	1502	2044	2787	3206
129	1570	2137	2913	3351
76	1610	2192	2988	3436

(* valori dedotti per interpolazione dai valori riportati negli studi del P.A.I.)

Tabella 3 – Portate dedotte dal P.A.I. per le sezioni di riferimento al variare del tempo di ritorno.

	RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA - CATENANUOVA						
	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RELAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE	RSOK	10	D 11	RI	ID0002 001	A	10 di 26

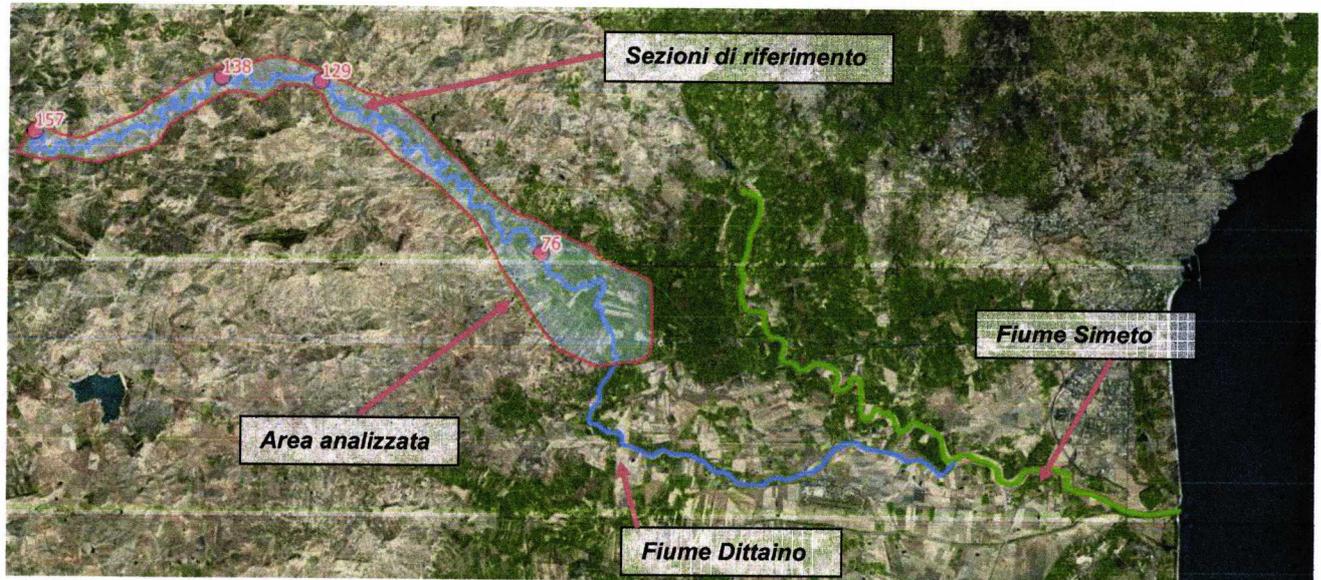


Figura 2 – Sezioni di riferimento P.A.I. asta del Fiume Simeto e del Fiume Dittaino.

5 MODELLAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE

La modellazione del comportamento idrodinamico del fiume Dittaino è stata sviluppata, per il tratto limitato all'area in esame, mediante un modello di calcolo bidimensionale (full 2d) ai volumi finiti.

Il software utilizzato per l'implementazione del modello è InfoWorks ICM sviluppato dalla software house Innovyze con sede a Wallingford nel Regno Unito. La modellazione bidimensionale del corso d'acqua permette di rappresentare con accuratezza la propagazione delle onde di piena nell'asta fluviale e nelle aree ripariali attigue con la peculiarità di mettere in evidenza il comportamento della corrente in prossimità di bruschi restringimenti/allargamenti e forti curvature; è possibile inoltre valutare con un elevato grado di dettaglio gli effetti sulla propagazione del moto in prossimità di attraversamenti o di eventuali interferenze presenti lungo lo sviluppo del tratto fluviale verso valle.

Allo stesso tempo la rappresentazione in termini bidimensionali del campo di velocità consente di analizzare l'evoluzione degli allagamenti indotti dal propagarsi delle onde di piena all'interno dell'area esaminata.

Il modello numerico utilizzato risolve le equazioni in condizioni di moto vario. Sono state condotte diverse simulazioni numeriche imponendo valori di portata costanti alle sezioni di immissione. La durata delle simulazioni è stata scelta in modo tale da raggiungere la condizione di stazionarietà dei livelli e velocità all'interno del dominio di calcolo.

5.1 Il modello numerico

Il modello numerico utilizzato per valutare il campo di moto è basato nella procedura descritta da *Alcrudo and Mullet-Marti (2005), Urban inundation models based upon the Shallow Water Equations*. La rappresentazione bidimensionale del moto si basa sulla risoluzione delle shallow water equations (o SWE). Le ipotesi alla base per la soluzione delle SWE sono che il flusso sia orizzontale e che la variazione della velocità nella verticale rispetto alla direzione del moto sia trascurabile. Inoltre le equazioni sono sviluppate accettando a priori l'ipotesi di idrostaticità del gradiente delle pressioni lungo la direzione verticale. La formulazione delle SWE utilizzate nel software InfoWorks ICM è riassunta di seguito:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y} = q_{1D}$$

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(hu^2 + \frac{gh^2}{2} \right) + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = S_{0,x} - S_{f,x} + q_{1D}u_{1d}$$

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(hv^2 + \frac{gh^2}{2} \right) + \frac{\partial(huv)}{\partial x} = S_{0,y} - S_{f,y} + q_{1D}v_{1d}$$

I termini citati rappresentano rispettivamente:

h il tirante idrico della corrente

u e v rispettivamente le componenti della velocità lungo le direzioni x ed y

t il tempo

g l'accelerazione di gravità

$S_{0,x}$ $S_{0,y}$ le componenti dovute alle tensioni tangenziali al fondo, rispettivamente in direzione x e y

$S_{f,x}$ $S_{f,y}$ le componenti dovute alla pendenza del fondo, rispettivamente in direzione x e y

q_{1D} è la portata immessa per unità di superficie

u_{1d} e v_{1d} sono le componenti di velocità relative alla portata immessa rispettivamente in direzione x e y

In InfoWorks ICM il contributo degli effetti turbolenti viene considerato limitatamente alla turbolenza localizzata alla parete (wall friction), mentre gli effetti turbolenti legati alle fluttuazioni di velocità nelle regioni più interne del fluido vengono trascurate. In genere si ingloba quest'ultimo effetto dissipativo nel termine che rappresenta la dissipazione localizzazione alla parete.

La formulazione conservativa delle SWE è essenziale al fine di preservare la massa e la

	RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA - CATENANUOVA					
RELAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE	PROGETTO RS0K	LOTTO 10	CODIFICA D 11 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A	FOGLIO 12 di 26

quantità di moto. Questo tipo di formulazione permette di rappresentare le discontinuità nel flusso e i cambiamenti tra moto gradualmente e rapidamente vario (gradually varied flow e rapidly varied flow).

Le SWE, applicate in forma conservativa, sono discretizzate usando lo schema esplicito di primo ordine ai volumi finiti. Gli schemi ai volumi finiti utilizzano volumi di controllo per rappresentare le aree di interesse. Il dominio di calcolo è suddiviso in forme geometriche in grado di interpretare le caratteristiche peculiari del campo di moto stesso sulle quali vengono integrate le SWE. Lo schema che risolve le SWE è basato sullo schema numerico di Gudonov con i flussi numerici attraverso i contorni dei volumi di controllo calcolati. La metodologia secondo i volumi finiti è considerata essere vantaggiosa in termini di flessibilità della geometria e semplicità concettuale.

Per ciascun elemento di calcolo il timestep richiesto è calcolato utilizzando le condizioni di Courant-Friedrichs-Lewy al fine di raggiungere la stabilità numerica. La formulazione della condizione di Courant-Friedrichs-Lewy è la seguente:

$$c \frac{\Delta x}{\Delta t} \leq 1$$

dove:

c è il numero di Courant (il valore di default è 0.95)

InfoWorks ICM utilizza mesh non strutturate per rappresentare il dominio di calcolo bidimensionale.

5.2 Geometria del modello

Le caratteristiche geometriche dell'area di interesse (in seguito definita dominio di calcolo) sono riportate all'interno del modello idraulico tramite una rappresentazione semplificata del territorio ad elementi generalmente poligonali, nota come mesh. La mesh di calcolo possiede una risoluzione variabile spazialmente tale per cui l'andamento piano altimetrico del territorio è riprodotto con un livello di accuratezza adeguato a rappresentare il corso d'acqua, alvei e golene, sia i canali secondari e le aree ripariali potenzialmente allagabili.

La Figura 3 riporta l'estensione del dominio di calcolo delimitato dal poligono in colore arancione. E' possibile inoltre intravedere l'andamento del Fiume Dittaino evolversi all'interno del dominio di calcolo.

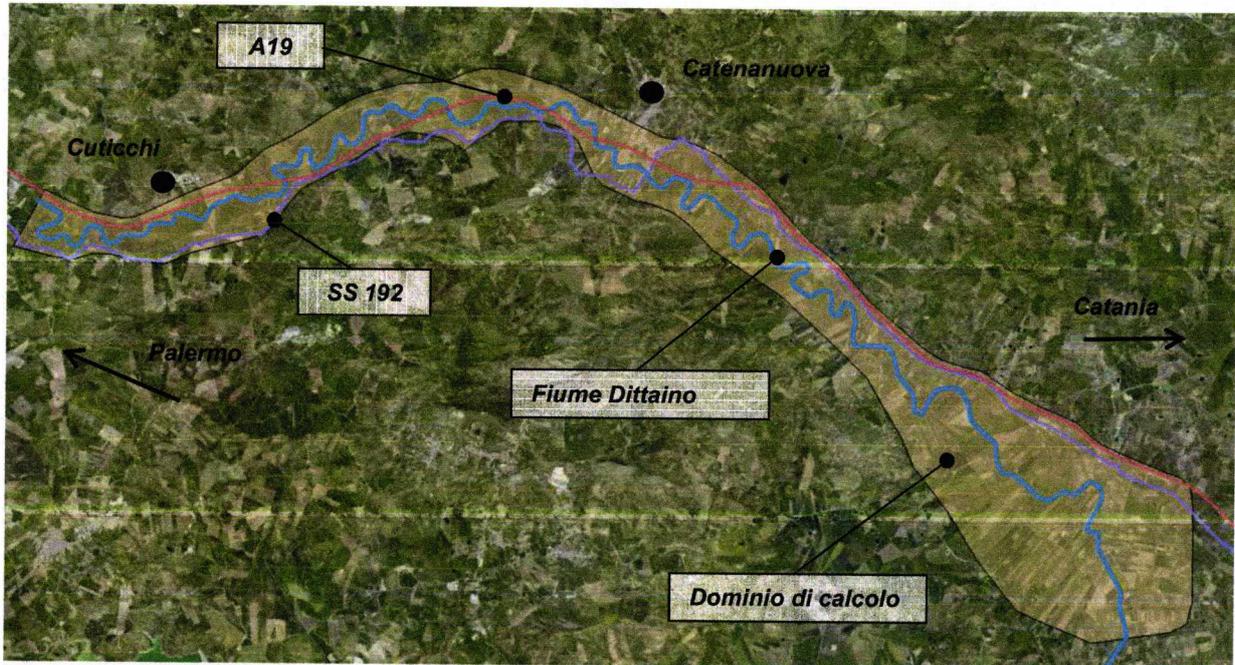


Figura 3 – Inquadramento territoriale dell'area modellata, viabilità stradali principali.

Il dominio di calcolo si estende su una superficie di circa 61 km² e contiene al suo interno l'asta del Fiume Dittaino, che si sviluppa, in modo molto sinuoso, per una lunghezza di circa 43 km. Nel tratto iniziale il corso d'acqua si colloca tra l'autostrada A19 e la statale SS 192 (denominata anche *Strada Statale della valle del Dittaino*), rispettivamente in sinistra e destra idrografica. Procedendo circa 2 km verso valle l'autostrada A19 attraversa il Dittaino per proseguire in destra idraulica. Successivamente, entrambe si collocano in sinistra idrografica fino alla fine del dominio.

Come indicato in Figura 4, la valle del Fiume Dittaino è percorsa dalla linea ferroviaria Catania – Palermo, che all'interno dell'area oggetto di analisi, si sviluppa prevalentemente in sinistra idrografica. Nella stessa figura è evidenziato anche il tracciato della linea ferroviaria di progetto, che segue in un primo tratto quasi integralmente il tracciato esistente mantenendosi in destra idraulica del Fiume Dittaino. All'incirca dalla progressiva 1+200 il nuovo tracciato prosegue in variante rispetto a quello esistente attraversando il Dittaino e portandosi in sinistra idraulica del medesimo. Alla progressiva 5+400 si ricongiunge a quello esistente, procedendo allo stesso modo con modeste variazioni di percorso, fino a alla fine della tratta Bicocca-Catenanuova.

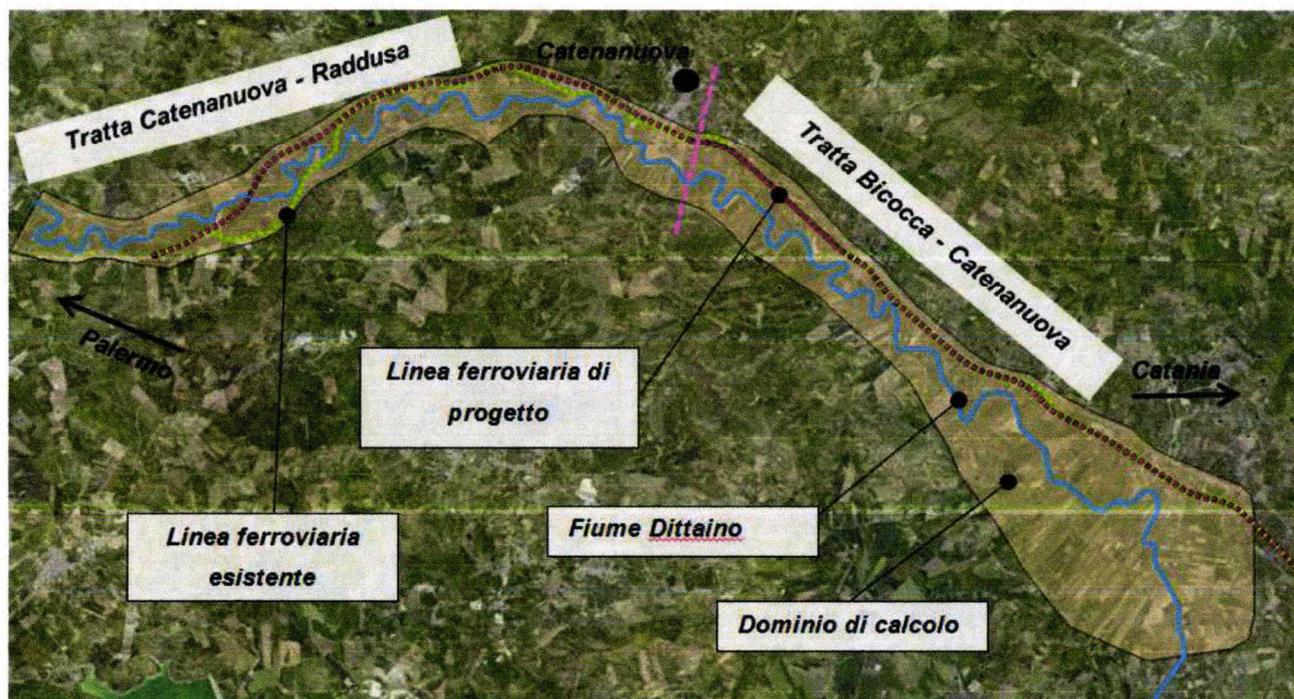


Figura 4 – Inquadramento territoriale dell'area modellata, linea ferroviaria esistente e di progetto

L'andamento piano altimetrico del dominio di calcolo è basato sull'utilizzo di un DTM che è il risultato dell'unione del rilievo LIDAR effettuato dall' Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, la cui risoluzione è dell'ordine del metro, con il rilievo LIDAR messo a disposizione dalla regione Sicilia effettuato con risoluzione di circa due metri a completamento delle porzioni di territorio non coperte dall'altro. Avendo il Dittaino una larghezza media dell'ordine dei 100 metri le risoluzioni del DTM sono adeguate a rappresentarne le caratteristiche piano altimetriche.

In Figura 5 è rappresentata l'estrapolazione tridimensionale della mappa altimetrica dell'area sopra descritta. In questa figura il dominio di calcolo, precedentemente rappresentato da un poligono arancione, è raffigurato da una linea gialla tratteggiata che ne definisce il contorno.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA - CATENANUOVA					
	RELAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE	PROGETTO RS0K	LOTTO 10	CODIFICA D 11 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

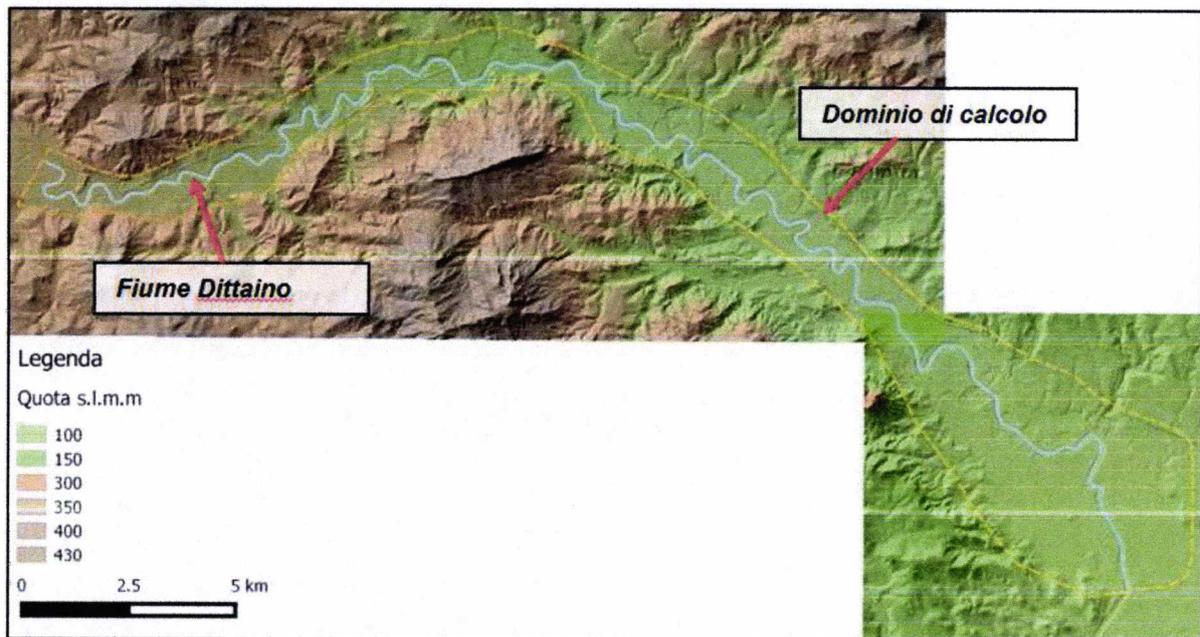


Figura 5 – DTM

In Figura 6 è evidenziato un ingrandimento di una porzione del DTM in cui è possibile apprezzare il livello di dettaglio molto elevato.

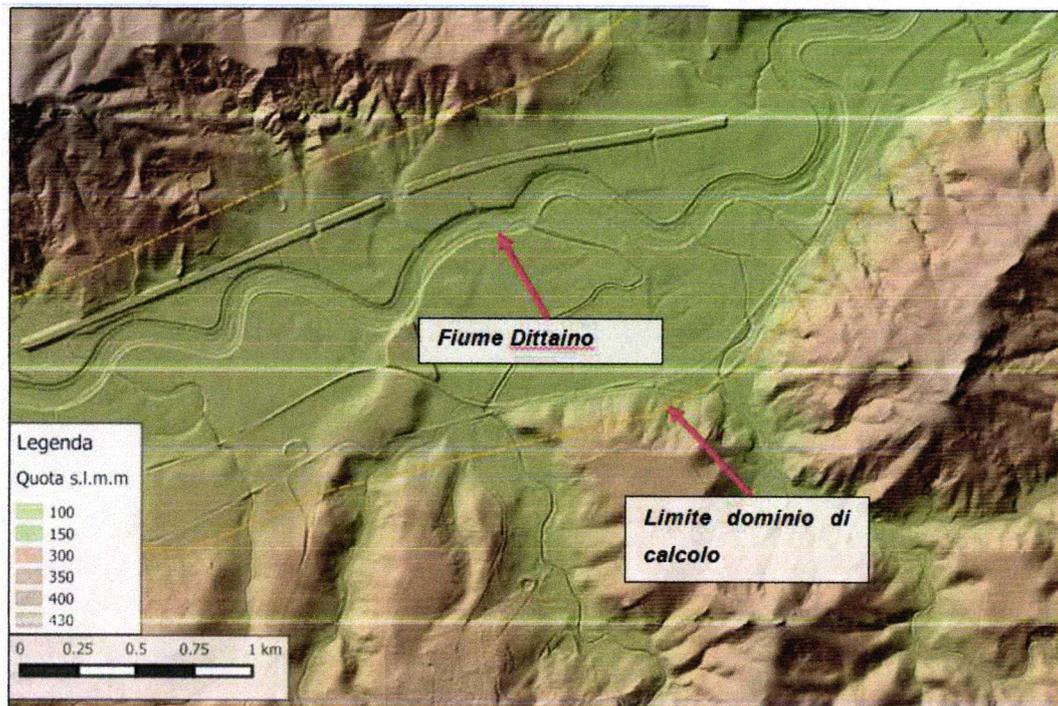


Figura 6- Dettaglio del DTM

	RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA - CATENANUOVA				
	PROGETTO RS0K	LOTTO 10	CODIFICA D 11 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

Al fine di valutare l'accuratezza del modello digitale del terreno utilizzato, sono state considerate alcune sezioni del corso d'acqua dal rilievo topografico di dettaglio allegato al progetto e sono state confrontate con le corrispondenti estratte dai DTM forniti.

La mesh di calcolo, rappresentata in Figura 7, è costituita da 520'925 elementi. La creazione della mesh è stata sviluppata in modo tale che le dimensioni massime degli elementi non fossero superiori a valori di 180 m² e che le dimensioni minime non fossero inferiori ad un area di 70 m².

In Figura 7 le linee tratteggiate in verde e in rosso rappresentano le linee di costruzione, definite 2d line structure, che delimitano planimetricamente ed altimetricamente le arginature e i rilevati, come ad esempio il rilevato autostradale, la linea ferroviaria di progetto e quella esistente. I lati degli elementi della mesh seguono l'andamento di queste linee, la cui quota è stata definita all'interno dell'oggetto "2d line structure" tramite un'analisi dettagliata del DTM o direttamente dagli elaborati progettuali.

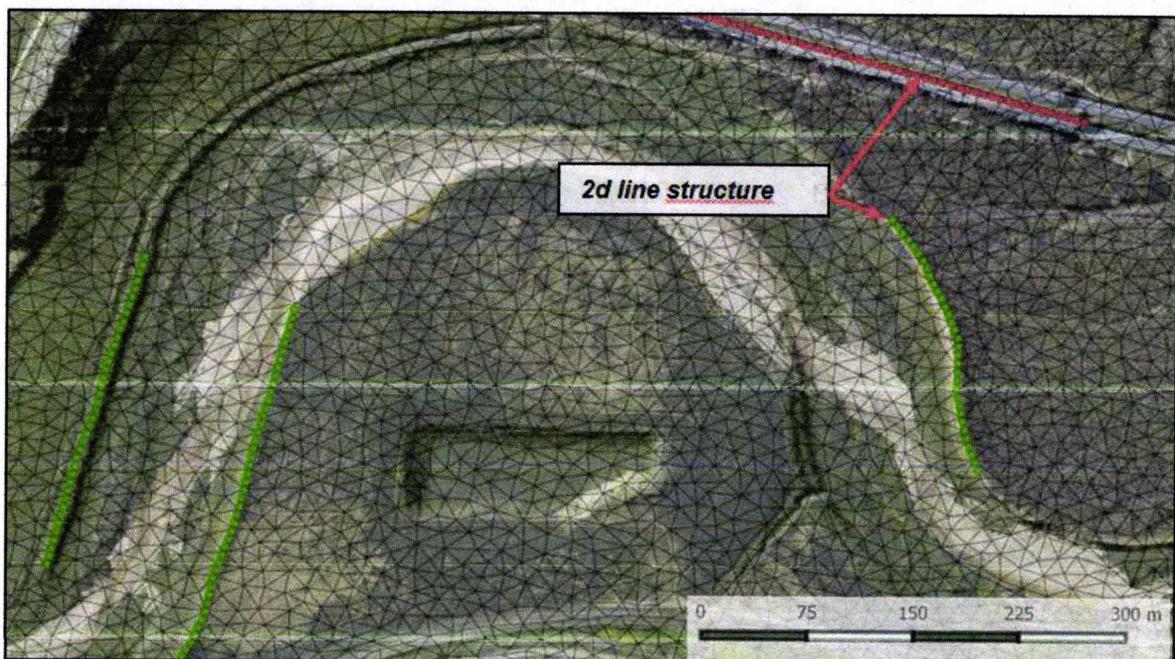


Figura 7 – Estratto della mesh di calcolo con sovrapposizione su ortofoto

Nel modello idraulico sono stati considerati e modellati i ponti che intersecano l'asse del Dittaino: la Figura 8 mostra la loro posizione all'interno del dominio di calcolo, mediante dei triangoli di colore giallo. Le geometrie degli attraversamenti sono state estratte da un rilievo di dettaglio realizzato da Italferr nell'ambito del progetto.

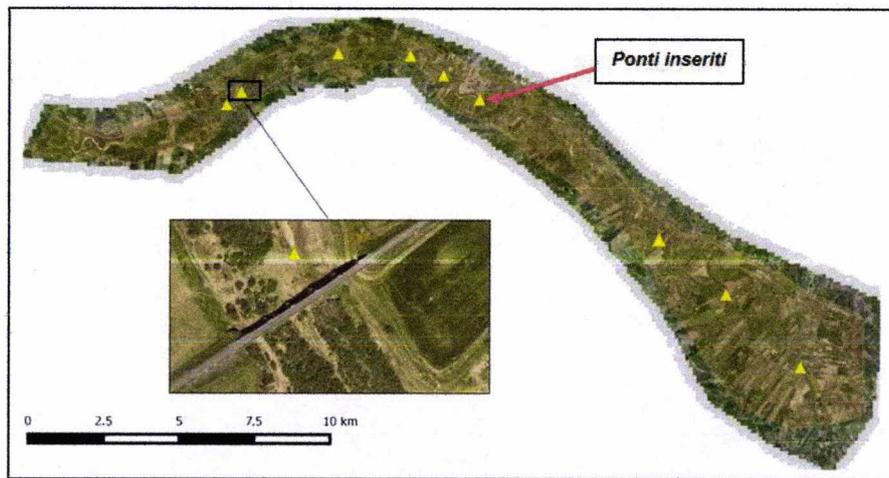


Figura 8 – Ponti inseriti nel modello idraulico

La Figura 9 rappresenta, in modo schematico, le condizioni al contorno del modello realizzato.

In particolare, a valle è stata impostata come “dry” ovvero il flusso che raggiunge la linea esce definitivamente dal dominio di calcolo; l’acqua non può rientrare nel dominio in senso opposto. I punti in rosso, riportati in Figura 9, rappresentano i punti di immissione della portata. Le posizioni delle quattro immissioni sono state scelte in modo tale da rispettare le portate idrologiche stimate alle sezioni indicate dal PAI.

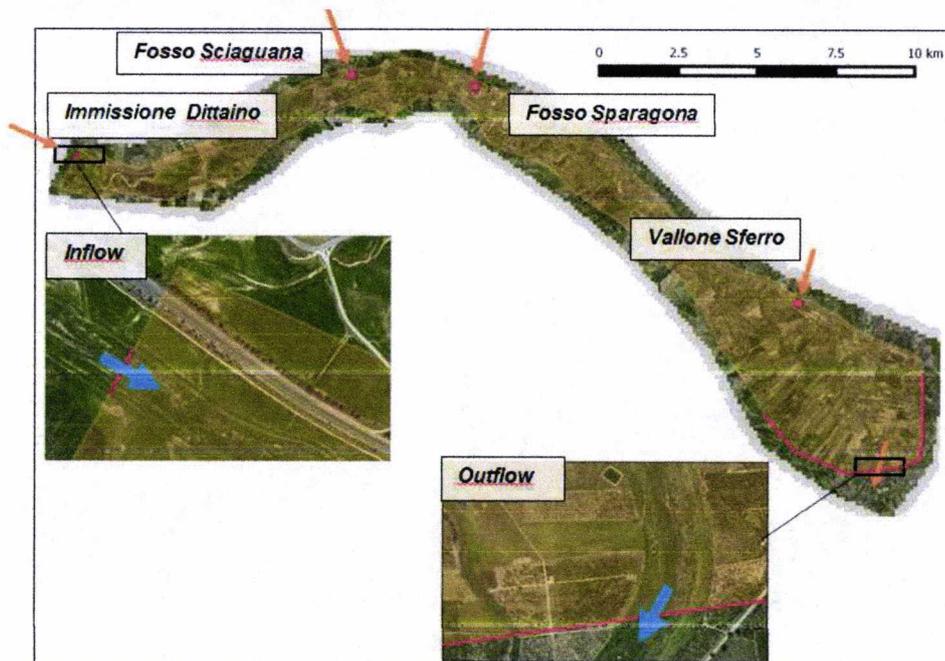


Figura 9 – Condizioni al contorno

	RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA - CATENANUOVA					
RELAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE	PROGETTO RS0K	LOTTO 10	CODIFICA D 11 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A	FOGLIO 18 di 26

I bordi del dominio di calcolo costituiscono un limite all'eventuale fuoriuscita dell'acqua essendo modellati come parete invalicabile. Il dominio pertanto è stato tarato in modo tale che l'estensione spaziale degli allagamenti fosse sempre contenuta all'interno del medesimo.

L'area di maggiore interesse nella presente analisi è quella parte del dominio di calcolo che contiene la linea ferroviaria di progetto (Figura 4). Com'è noto le condizioni al contorno, sia di valle che di monte possono introdurre delle inevitabili forzature numeriche, la cui influenza va limitata. A tale scopo il dominio è stato ulteriormente esteso in senso longitudinale, in modo tale da allontanare la posizione delle condizioni al contorno dall'area di interesse.

5.3 Tracciato di progetto

La Figura 10 e la Figura 11 rappresentano il tracciato di progetto colorato con colori diversi a rappresentare le diverse tipologie costruttive previste, ossia: viadotto, trincea, rilevato, ponte e galleria.

I tracciati sono stati sovrapposti alle aree di pericolosità idraulica definite dal P.A.I.

Dalle figure si evince che il tracciato è generalmente esterno alle aree di maggiore pericolosità, si evidenziano però alcune zone di attenzione, in particolare:

1. Tra le progressive 0+800 e 1+150 circa l'asse dell'opera interseca l'area di pericolosità P1 (Figura 10). In questo tratto la linea di progetto è comunque in viadotto;
2. Tra le progressive 6+250 e 6+550 il tracciato quasi lambisce in sinistra idraulica le aree allagabili individuate dal PAI del Dittaino (Figura 10). In questa tratta è previsto un tratto in trincea;
3. Tratto 8+300 – 9+050 la linea ferroviaria in raddoppio dell'esistente delimita di fatto l'area di pericolosità P1. La tipologia costruttiva adottata è quella del rilevato ferroviario;
4. Tratto 13+600 – 14+200 la linea ferroviaria esistente e quella di progetto delimitano l'area di pericolosità P1 (Figura 11). Il tratto è previsto in rilevato;
5. Tra le progressive 14+850 e 15+200 la linea ferroviaria di progetto interseca l'area di pericolosità P1. Il tratto è previsto in rilevato.

A valle della progressiva 15+500 le distanze tra l'asse ferroviario e le aree allagabili del PAI sono tali da ritenere l'opera non interferente con il Fiume Dittaino (Figura 11).

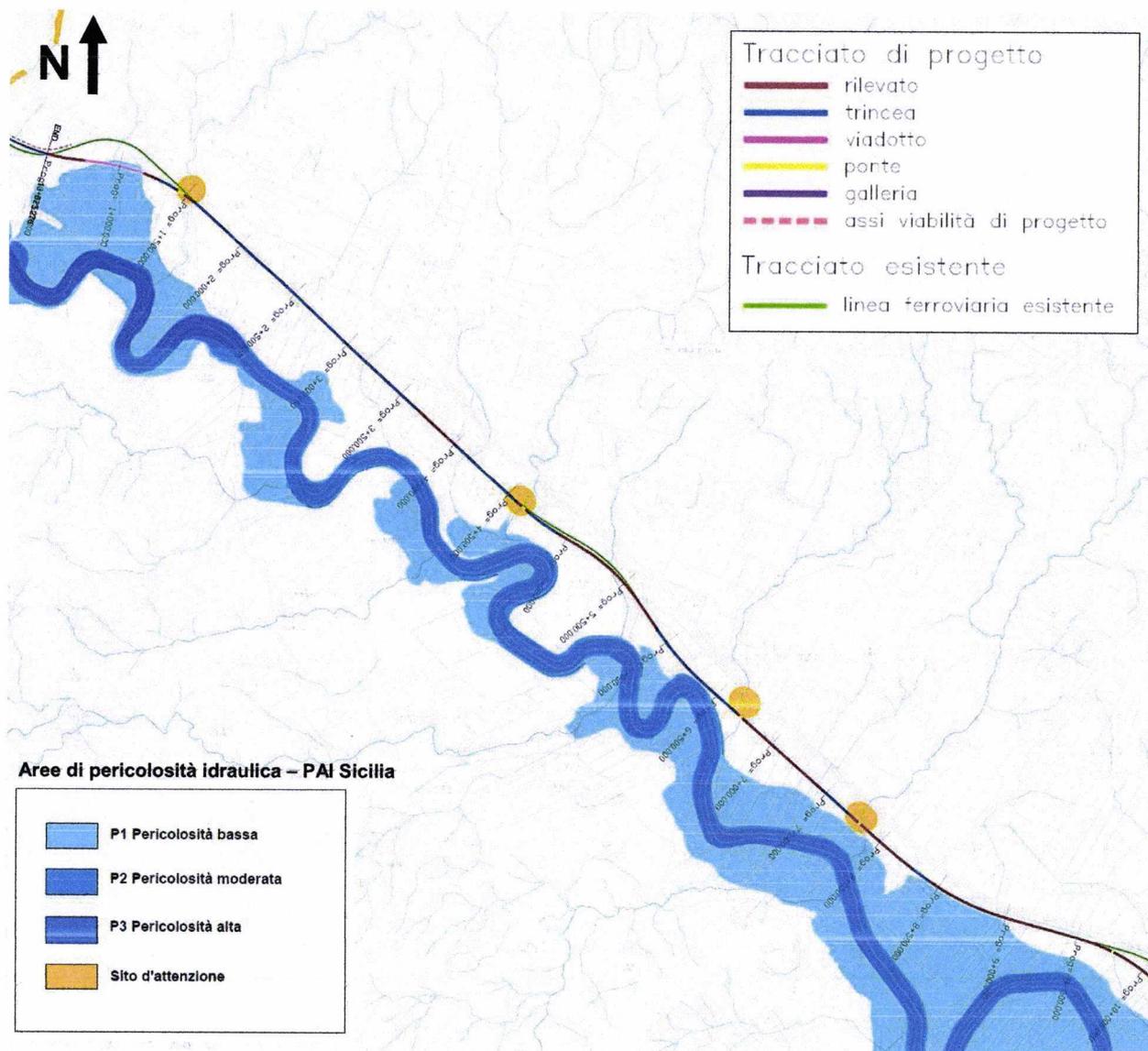


Figura 10 – Tratta BicoCCA-Catenanuova, tratta pk 0+500 – pk 10+000.

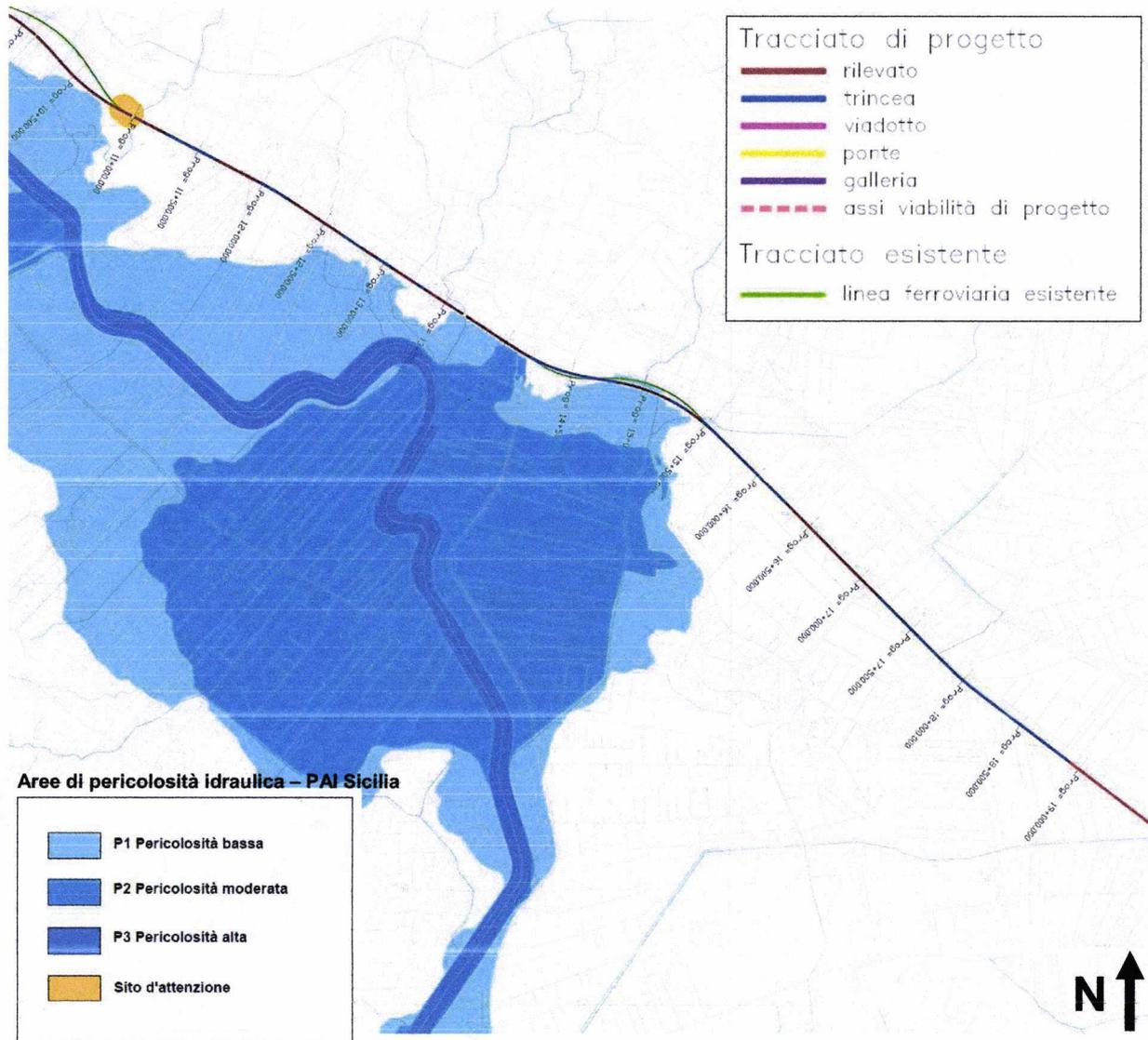


Figura 11 – Tratta BicoCCA-Catenanuova, tratta pk 10+000 – pk 19+000.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA - CATENANUOVA					
	RELAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE	PROGETTO RS0K	LOTTO 10	CODIFICA D 11 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

5.4 Definizione delle scabrezze modello

Per la definizione delle scabrezze dell'area in esame sono stati riproposti i valori adottati negli studi del PAI.

La Figura 12 evidenzia come sono state suddivise le zone di scabrezza delle superfici all'interno del dominio di calcolo (espressi numericamente secondo il coefficiente di Manning n o di Gauckler-Strickler).

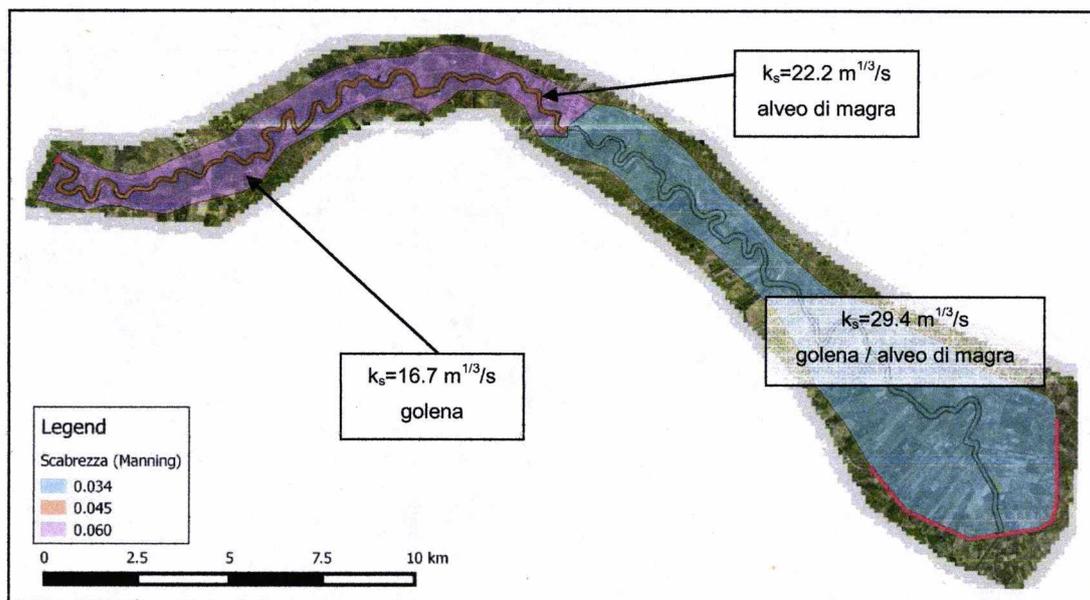


Figura 12 – Scabrezza (Manning)

Per l'alveo di magra sono stati assegnati due valori, $k_s = 22.2 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (scabrezza secondo Gauckler-Strickler) e $k_s = 29.4 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ rispettivamente per la zona evidenziata in arancio e azzurro. Per le golene invece i coefficienti utilizzati sono $k_s = 16.7 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ per la zona più a monte e $k_s = 29.4 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ per quella più a valle.

6 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE

I risultati delle simulazioni numeriche sono riportati negli elaborati grafici allegati in termini di planimetrie delle aree di esondazione. In tali elaborati sono rappresentati i livelli idrici e le velocità ricavati dalle simulazioni numeriche per le portate caratterizzate da tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 300 anni. Inoltre è stata realizzata una planimetria degli allagamenti provocati dalle piene con i medesimi tempi di ritorno.

Le figure seguenti riportano le aree allagate risultanti dal modello bidimensionale, per i diversi tempi di ritorno considerati. La linea di progetto è evidenziata con diversi colori a seconda della tipologia costruttiva. Dall'analisi delle immagini si evince che:

1. L'interferenza, tra la progressiva chilometrica 0+500 e 1+500 circa, già riscontrata nell'analisi della cartografia del PAI, è risolta con un attraversamento in viadotto VI01, ossia garantendo la trasparenza idraulica dell'opera.
2. Nel tratto compreso tra la progressiva chilometrica 5+000 e 5+500 (Figura 13) il rilevato ferroviario di progetto viene lambito dalla piena trecentennale. Non c'è pertanto interferenza tra la nuova linea e l'area allagata.

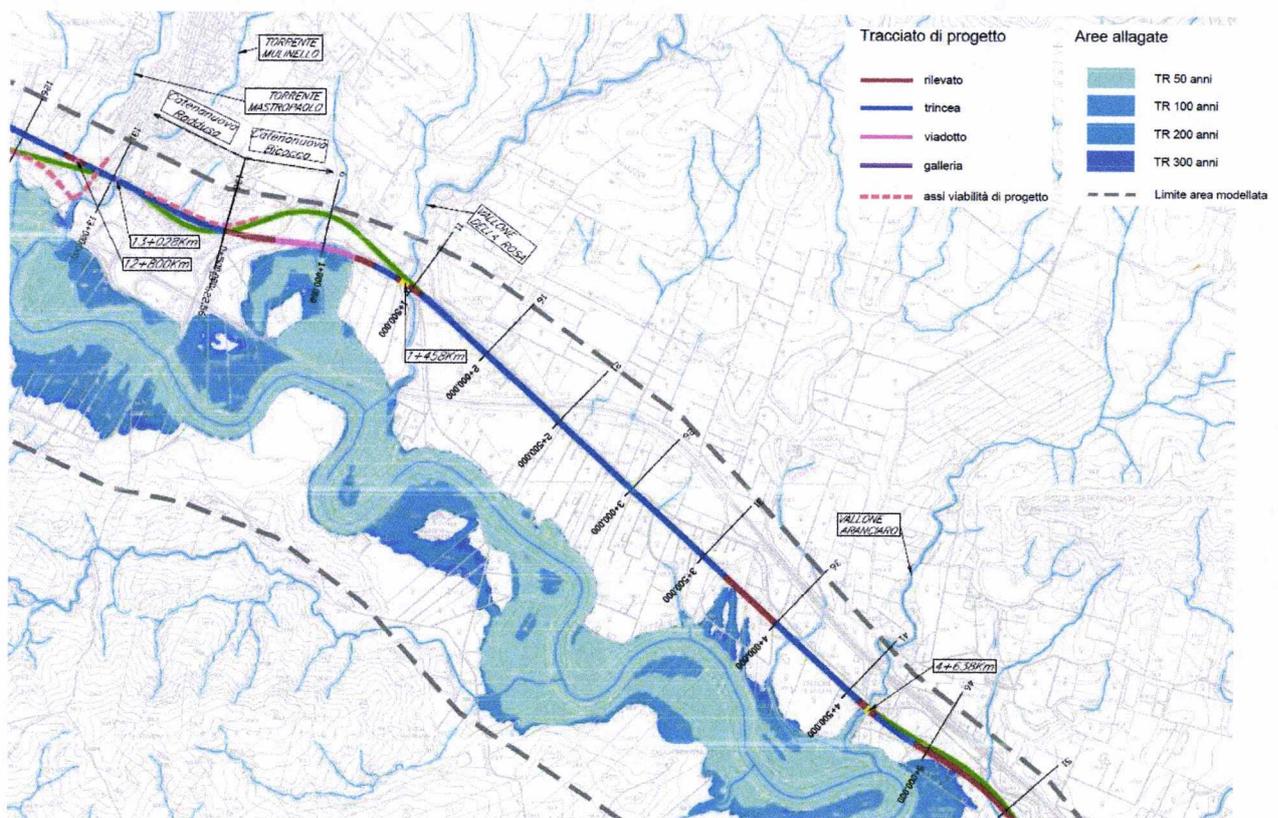


Figura 13 – Aree allagabili da progressiva chilometrica 0+500 a 5+000

3. Attorno alla progressiva chilometrica 6+250 (Figura 14), è prevista una sezione in trincea. Dai risultati delle simulazioni numeriche appare che, per tutti gli eventi di piena simulati, il tratto è in adiacenza alle aree allagabili e non viene interessato dalle piene. E' prevista una protezione in massi della sponda del Dittaino al fine di evitare futuri spostamenti dell'alveo verso la linea.
4. Alla progressiva chilometrica 7+808 è prevista un'opera di attraversamento del Vallone Fontana Murata (Figura 14). In corrispondenza di tale manufatto si osserva, che il rilevato ferroviario di progetto occupa marginalmente l'area allagabile del Fiume Dittaino, in sinistra idraulica del corso d'acqua minore. E' prevista una protezione del rilevato in materassi tipo "Reno".
5. Nel tratto compreso tra le progressive chilometriche 8+300 e 9+050 le aree allagabili PAI indicavano un'interferenza con l'asse ferroviario di progetto (Figura 10). La modellazione bidimensionale condotta non evidenzia interferenze tra le aree di esondazione e l'infrastruttura ferroviaria di progetto (Figura 14).

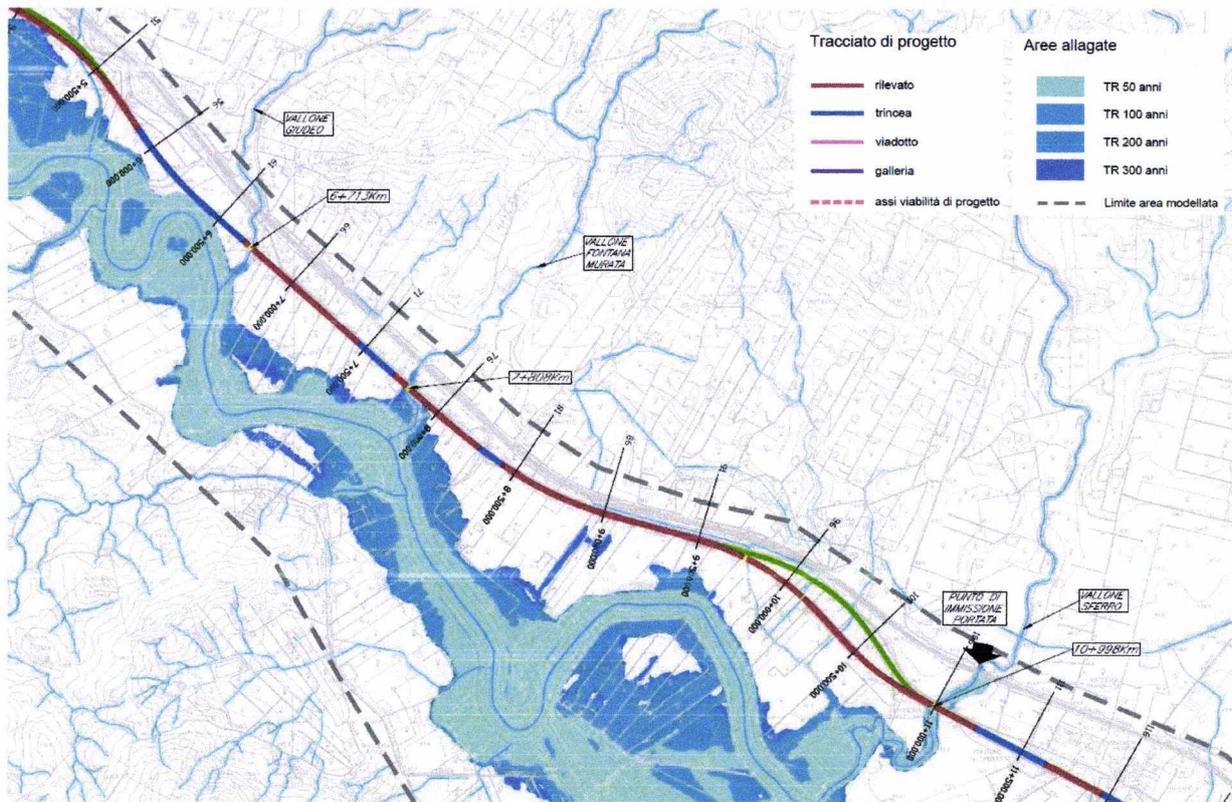


Figura 14 – Aree allagabili da progressiva chilometrica 5+500 a 11+500

	RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA - CATENANUOVA					
	PROGETTO RS0K	LOTTO 10	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. FOGLIO A 24 di 26

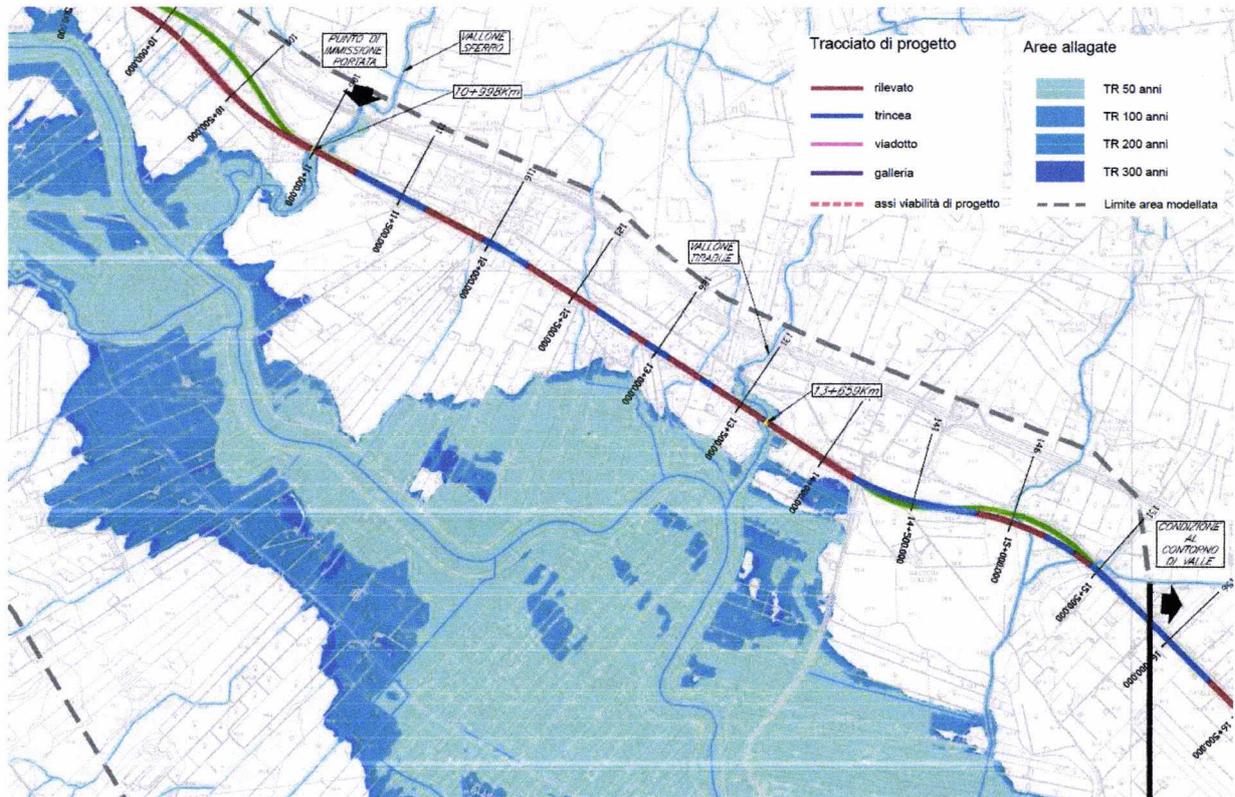


Figura 15 – Aree allagabili da progressiva chilometrica 10+000 a 16+000

6. In base ai risultati numerici, tra le progressive 7+808 e 16+000 non si osservano particolari interferenze con le aree allagabili, a meno delle intersezioni con i corsi d'acqua minori come il Vallone Sferro e il vallone Tirabue dove è prevista una protezione del rilevato nei tratti interessati dalla piena.

I risultati della modellazione bidimensionale sono stati impiegati per definire le condizioni al contorno di valle dei corsi d'acqua maggiori, affluenti del Fiume Dittaino, e interferenti con la linea di progetto nelle simulazioni numeriche a moto permanente riportate nella relazione idraulica allegata al progetto (RS0K10D11RIID0002002A). In Figura 16 è riportato un inquadramento di tali corsi d'acqua all'interno del dominio di calcolo.

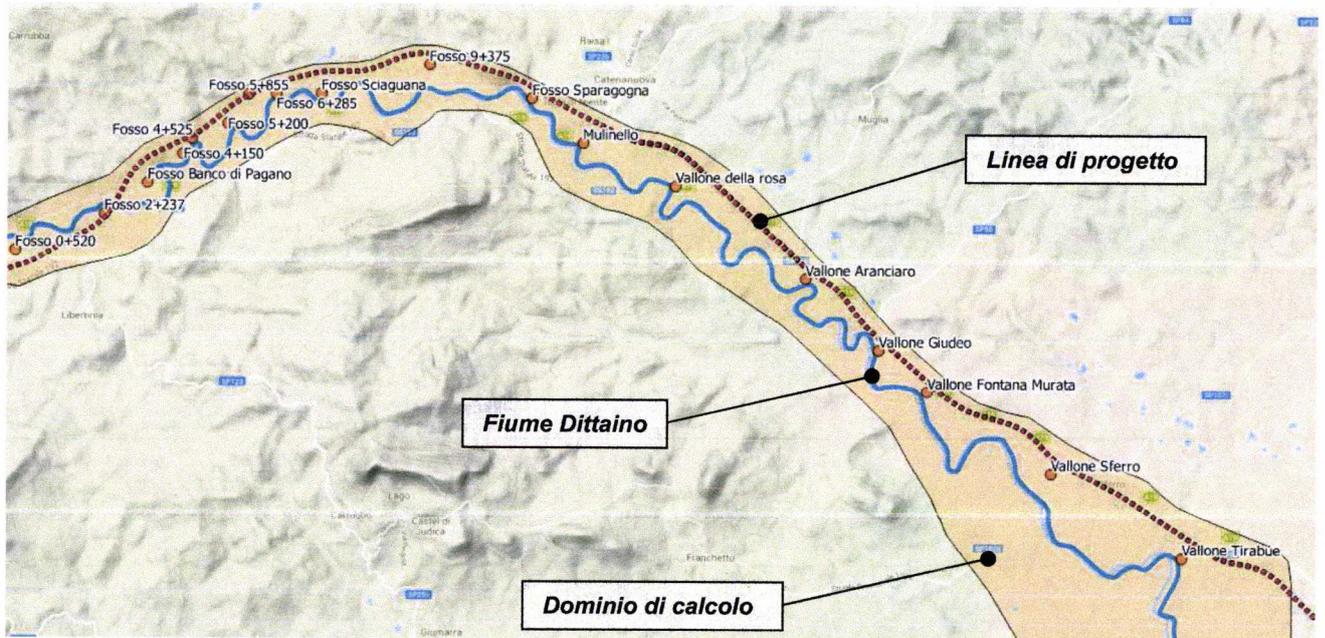


Figura 16 – Posizione degli affluenti del Dittaino interferenti con la linea di progetto.

Nella tabella seguente sono riportati invece i livelli idrici desunti dalla simulazione bidimensionale.

Progressiva	Superficie bacino [km²]	Denominazione	Manufatto di progetto	Livello 2D TR200 [m.s.m.]	Livello 2D TR300 [m.s.m.]
1+458	15.7	V. della Rosa	VI02	116.30	116.60
4+638	6.4	V. Aranciario	VI03	99.15	-
6+713	5.0	V. Giudeo	VI05	86.46	86.78
7+809	8.2	V. Fontana Murata	VI06	81.55	81.75
10+998	21.8	V. Sferro	VI09	68.05	68.30
13+659	9.1	V. Tirabue	VI10	58.05	58.13

Tabella 4 – Livelli idrici alla confluenza tra i corsi d'acqua .

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA - CATENANUOVA</p>												
<p>RELAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE</p>	<table border="1"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>RSOK</td> <td>10</td> <td>D 11 RI</td> <td>ID0002 001</td> <td>A</td> <td>26 di 26</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RSOK	10	D 11 RI	ID0002 001	A	26 di 26
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RSOK	10	D 11 RI	ID0002 001	A	26 di 26								

7 BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., *Manuale di ingegneria Civile e ambientale*, vol. 1, IV edizione, Zanichelli-ESAC.
- Dipartimento Territorio e Ambiente Regione Sicilia, *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Sicilia*, anno 2004.
- Autorità di Bacino del Fiume Po, *Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico PAI*
- Cavalli M., Tarolli Paolo, *Application of LIDAR technology for river analysis, Italian Journal of engineering Geology and Environment. Special Issues 1 (2011)*.
- Chow V. T. (1959). *Open Channel Hydraulics. McGraw-Hill, New York*.
- Da Deppo L., Datei C. e Salandin P. (2005) *Sistemazione dei corsi d'acqua*, V edizione, Libreria internazionale Cortina, Padova.
- King I. P., and Norton W. R. (1978). "Recent application of RMA's finite element models for twodimensional hydrodynamic and water quality". *Finite elements in Water Resources II, Pentech Press, London, 2.81-2.99*.
- Rodi W. (1993), "Turbulence models and their application in hydraulics - A state of the art Review". *International Association for Hydraulic Research*.
- Shioni K., and Knight D. W. (1991). "Turbulent open-channel flows with variable depth across the channel". *J. Fluid. Mech.*, 222, 617-646.
- Zanichelli G., Caroni e Fiorotto V.(2004) On parameter selection in 2D numerical modeling of a River bifurcation, *ASCE Journal of hydraulics engineering*, vol. 130 n.3 .