



**INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE E SVILUPPO DEL PORTO
DELLA SPEZIA - AMBITO OMOGENEO 5 "MARINA DELLA SPEZIA"
E AMBITO OMOGENEO 6 "PORTO MERCANTILE"**

PROGETTO PRELIMINARE



DESCRIZIONE

**IDROLOGIA, IDRAULICA E IDROGEOLOGIA
RELAZIONE**

N° TAV.

PP/ST.02.01

SCALA

-

IL Direttore Tecnico Operativo
Ing. Capo Franco Pomo

DATA

GENNAIO 2015

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO

ING. FRANCO POMO



IDROLOGIA, IDRAULICA E IDROGEOLOGIA

ING. DAVIDE VETRALA





INDICE

1	PREMESSA	2
2	INQUADRAMENTO DEL TERRITORIO DI COMPETENZA	3
3	ASSETTO IDROLOGICO DEGLI AMBITI.....	8
4	I CANALI IN PORTO: STATO DELL'ARTE.....	14
4.1	ADEGUAMENTO IDRAULICO DELLA FOCE DEI CANALI NUOVA E VECCHIA DORGIA:	16
4.1.1	Introduzione	16
4.1.2	Il tratto finale: foce Dorgia di levante	17
4.1.3	Sistemazione tratto tombinato del nuovo Dorgia.....	18
4.1.4	I tratti esistenti.....	18
4.1.5	Il software di calcolo	19
4.1.6	Sezioni tipo e caratteristiche idrauliche.....	21
4.1.7	Profili liquidi dei tratti	24
4.1.8	Verifiche puntuali	25
4.1.9	Conclusioni.....	28
5	I CANALI IN PORTO: LE MODIFICHE RICHIESTE CON LA REALIZZAZIONE DEI PROGETTI DI PIANO	29
5.1	INQUADRAMENTO GENERALE	29
5.2	RIO CAPPELLETTO: RELAZIONE IDRAULICA DI ADEGUAMENTO.....	31
5.2.1	Premessa.....	31
5.2.2	Analisi degli studi disponibili	31
5.2.2.1	Il Piano di Bacino.....	31
5.2.2.2	Gli studi specifici per il Rio Cappelletto	33
5.2.2.3	Gli studi per la realizzazione della cassa d'espansione nell'area ex-IP.....	35
5.2.2.4	Elementi essenziali dedotti dagli studi precedenti	35
5.2.3	Profilo idrico nello stato attuale.....	36
5.2.4	Profilo idrico nello stato di progetto	37
5.2.5	Conclusioni	39



1 PREMESSA

La relazione che segue intende descrivere la situazione idrologica del territorio di competenza dell'Autorità Portuale della Spezia, soprattutto laddove detto territorio sia interessato dagli interventi infrastrutturali previsti dal vigente Piano regolatore Portuale per lo sviluppo dei traffici mercantili del Porto (*ambito 6*) e per la riqualificazione delle aree fronte mare della città della Spezia (*ambito 5*).

In particolare, la relazione indicherà quanti e quali siano i canali principali (acque pubbliche) che interessano le aree portuali, ne descriverà sommariamente le caratteristiche degli alvei, l'inquadramento nel Piano di Bacino della Regione Liguria, le eventuali necessità di adeguamento idraulico e le previsioni di risoluzione delle eventuali interferenze con i progetti di ampliamento delle banchine portuali previste nel PRP.

Ciò anche, e soprattutto, allo scopo di fornire elementi utili ai progettisti per la predisposizione di soluzioni coerenti con le indicazioni normative e di Piano, nonché con quanto sino ad ora già attuato da parte dell'Autorità portuale.

Dalla presente relazione sono, pertanto, da ritenersi escluse tutte le opere di raccolta e convogliamento di acque meteoriche (canali di scolo delle principali strade urbane, degli edifici e dei piazzali siti in prossimità degli ambiti 5 e 6 e che costituiscono un reticolo complesso ed articolato di canali di piccole/medie dimensioni di cui, comunque, dovrà tenersi conto negli ampliamenti previsti dal PRP allorquando detti canali minori interferiscano con le nuove opere. Così come non si ritiene utile affrontare in questa sede la problematica inerente le canalizzazioni artificiali in uso alla centrale Enel (opere di presa e di restituzione dell'impianto di raffreddamento della centrale nel terzo bacino portuale), le cui peculiarità dovranno correttamente essere affrontate dal singolo progetto di PRP con queste interferente (vds. Marina di Fossamastra e Terminal del Levante).



2 INQUADRAMENTO DEL TERRITORIO DI COMPETENZA

L'Autorità portuale delle Spezia ha competenza amministrativa e gestionale del demanio marittimo dello Stato compreso tra Punta Calandrello, a levante, e punta Pezzino, a ponente, nel Golfo della Spezia.



Figura 2.1 - Immagine satellitare del Golfo con indicazione dei limiti AP

Gli ambiti demaniali AP sono evidenziati in dettaglio nella tavola che segue, direttamente ricavata dal Piano Regolatore Portuale vigente.



Figura 2.1 - Il demanio marittimo di competenza AP

All'interno di detto demanio l'AP ha sviluppato un Piano Regolatore Portuale per delineare in maniera ordinata e programmata lo sviluppo delle attività marittime del golfo. Il documento di pianificazione territoriale è stato approvato, con prescrizioni, dal Consiglio Regionale della Liguria nel dicembre del 2006.

Il PRP risulta organizzato in Ambiti omogenei d'intervento, suddivisi in base alle funzioni principali da cui il settore territoriale risulta interessato. Come detto, gli ambiti di interesse della presente relazione sono il n.5 – marina della Spezia – ed il n.6 – porto commerciale, così come individuati anche nella figura che segue.



Figura 2.3 - Gli Ambiti 5 e 6 del PRP

Il territorio nel quale ricadono gli ambiti 5 e 6 risulta fortemente antropizzato, interessato da insediamenti di natura sia residenziale che industriale, ma soprattutto, sulla costa, dalle strutture di banchina del Porto mercantile della Spezia.



Figura 2.4 - Planimetria generale del Porto Mercantile

Il PRP prevede, in particolare, interventi specifici già ben delineati all'interno del Porto mercantile (ambito 6), con ampliamenti di banchina alla Marina del Canaletto, alla Marina di Fossamastra e del Terminal del Levante (oggi Terminal del Golfo), ma anche nel secondo bacino portuale con ampliamento della calata Artom. Recentemente è stato introdotto un ATF (Adeguamento tecnico Funzionale) proprio nel secondo bacino, a seguito del quale gli ampliamenti preventivati di calata Artom hanno trovato migliore e più coerente collocazione lungo il lato di levante del molo Garibaldi. Nella planimetria che segue l'assetto complessivo del porto Mercantile a seguito del PRP interamente attuato.

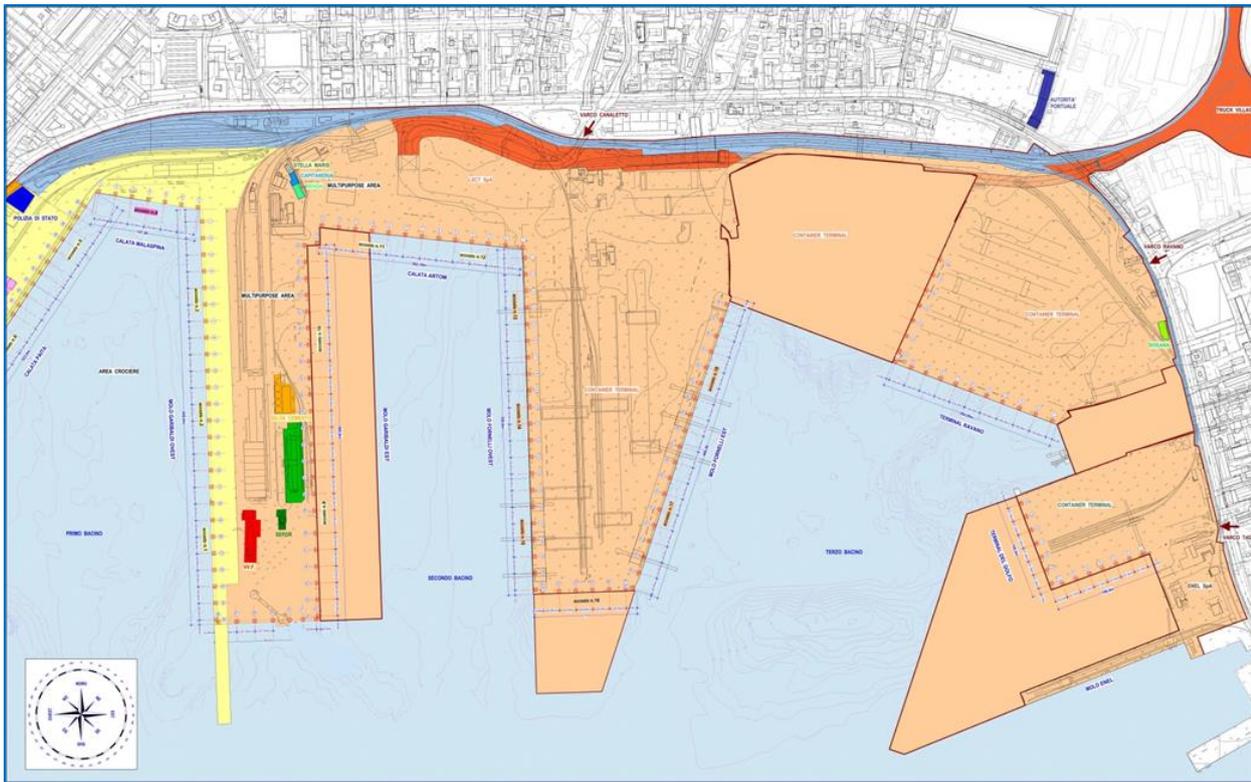


Figura 2.5 - Planimetria generale del Porto Mercantile nell'ipotesi di PRP interamente attuato



3 ASSETTO IDROLOGICO DEGLI AMBITI

Per fotografare l'assetto idrologico del territorio di interesse di è fatto riferimento alle carte ed alle norme di attuazione del vigente Piano di Bacino della Provincia della Spezia (Ambito 20).

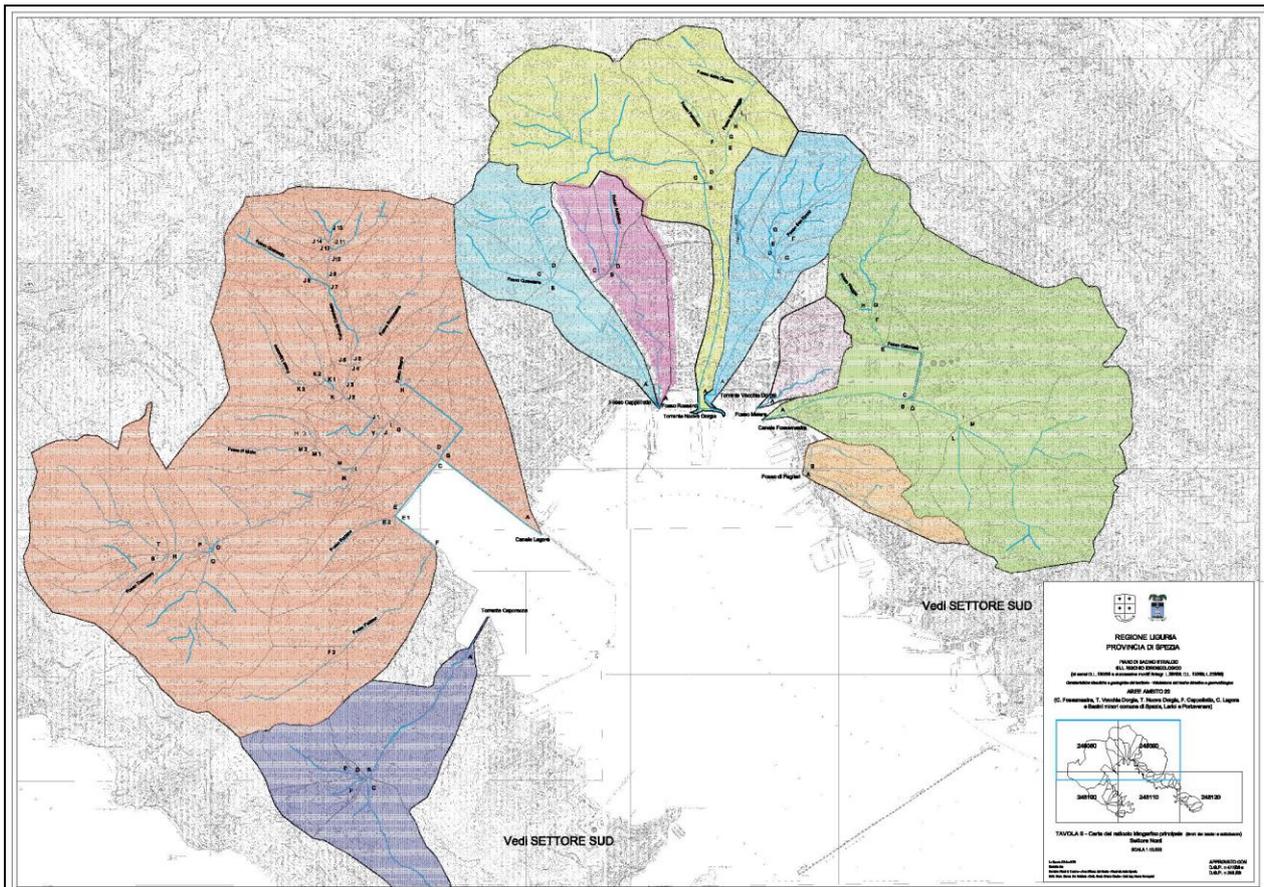


Figura 3.1 - Settore Nord con indicazione dei bacini imbriferi dei principali corsi d'acqua

Dalla planimetria sopra riportata è possibile identificare i corsi d'acqua che più direttamente interessano gli ambiti 5 e 6 del PRP: procedendo da levante a ponente, a confine con l'ambito 6 si trova il Fosso Pagliari (bacino imbrifero di colore arancione) con foce posta alla radice del molo Enel. Successivamente si trova evidenziato in colore verde il bacino imbrifero del **canale Fossamastra**, la cui foce è oggi lungo il fronte di banchina del termina Ravano.

Procedendo verso ovest si trova poi il **canale Melara** (colore lilla), caratterizzato da un bacino imbrifero limitato ma canale ricevente le acque di scarico del depuratore cittadino. La foce è posizionata ancora lungo la banchina del termina Ravano, in prossimità della marina del Canaletto, lungo la parte di questa orientata ad ovest.



Procedendo ancora verso ponente, alla radice del molo Fornelli, troviamo la foce del **canale Vecchia Dorgia** (bacino imbrifero in colore azzurro scuro) e, subito di seguito, il **Nuova Dorgia** il cui bacino interessa buona parte delle colline retrostanti i quartieri di Migliarina e Canaletto (Felettino e Buonviaggio in particolare).

A ovest del Nuova Dorgia si trovano, quasi confluenti nella medesima opera di foce i **canali Rossano e Cappelletto**: il primo contraddistinto da un bacino di colore rosa ed il secondo dal bacino di colore azzurro chiaro. L'Ambito 5 nn è interessato da canali importanti: a confine con l'Ambito 4 del PRP troviamo però il corso d'acqua più importante del Golfo spezzino, il canale Lagora, il cui bacino imbrifero si estende per l'intera zona collinare di nord-ovest.

Come accennato, le aree attraversate dai corsi d'acqua sopra elencati sono caratterizzate da una intensa antropizzazione. Le costruzioni, peraltro, risultano ancora più densamente distribuite proprio in prossimità delle aree focive dei canali, con la conseguenza che, anche a seguito dei recenti mutamenti climatici in atto e che vedono sempre più frequentemente il verificarsi di fenomeni piovosi particolarmente intensi, gli alvei di deflusso, dapprima ridotti e modificati per consentire l'espansione urbana della città, si trovano oggi spesso interessati da esondazioni, con allagamenti diffusi proprio a ridosso delle aree portuali.

Il Paino di Bacino ha, conseguentemente, identificato alcune aree particolarmente esposte al rischio esondazione. Di seguito alcuni estratti cartografici di dette localizzazioni.

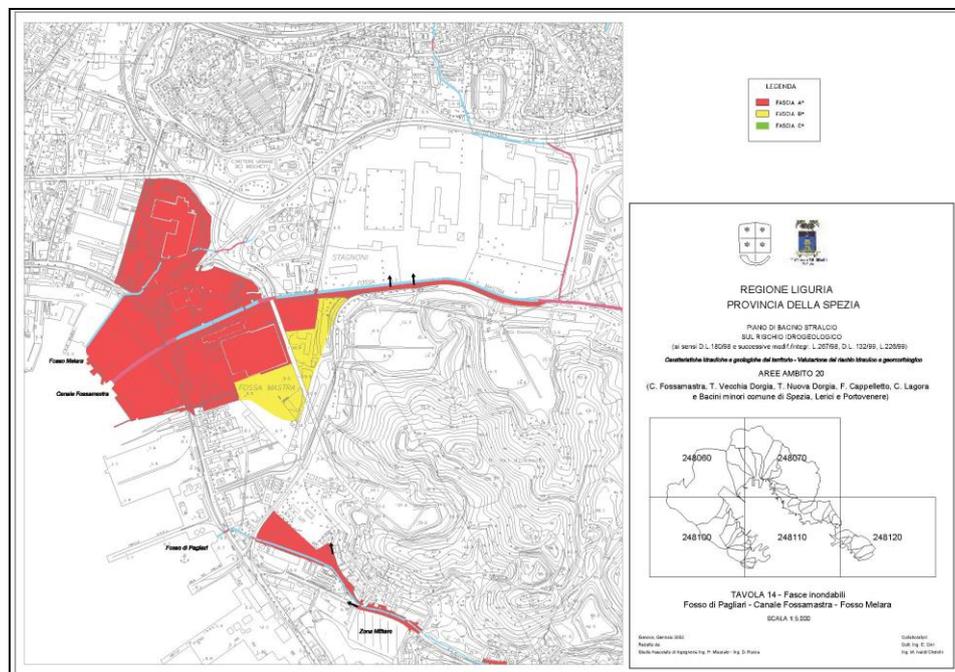


Figura 3.2 - Aree esondabili dei canali Pagliari, Fossamastra e Melara

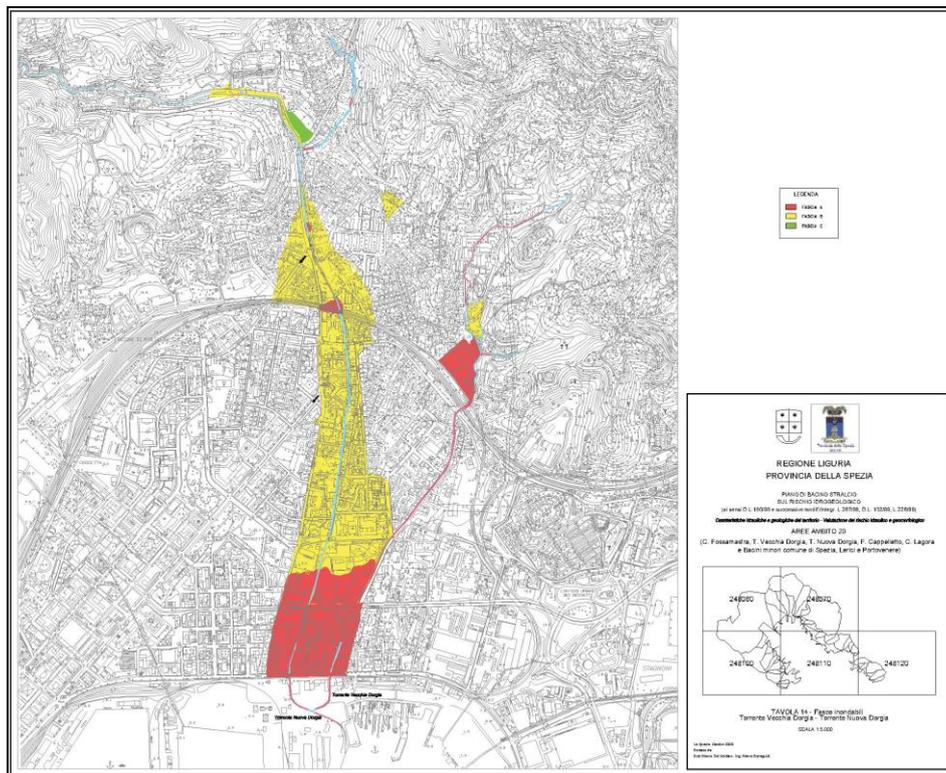


Figura 3.3 - Aree esondabili dei canali Nuova e Vecchia Dorgia

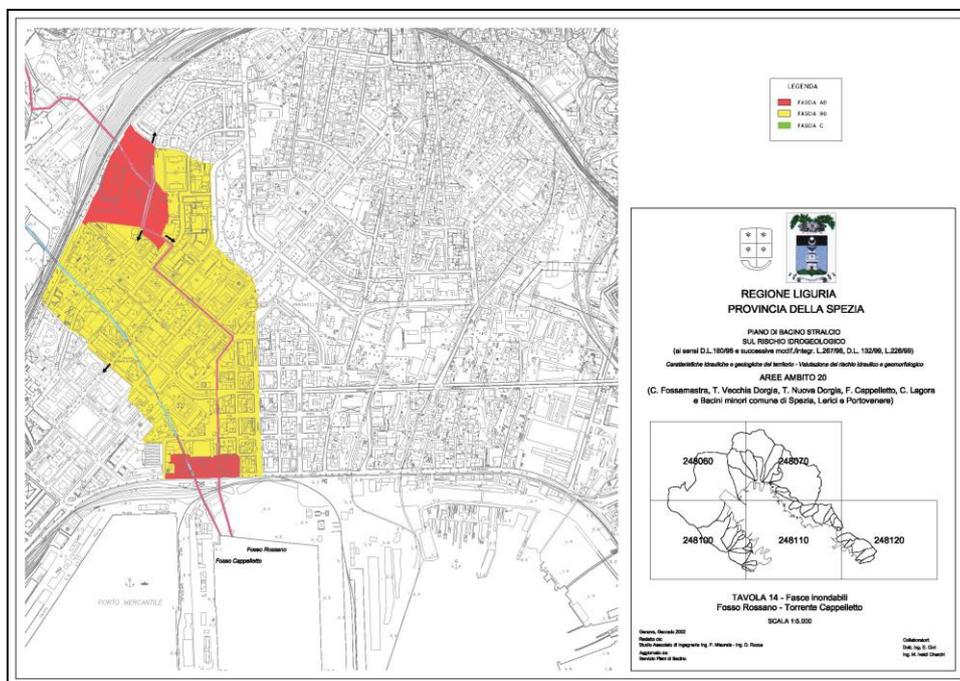


Figura 3.4 - Aree esondabili dei canali Rossano e Cappelletto



Di seguito si riportano le tabelle inerenti le portate di piena cinquantennali, duecentennali e cinquecentennali fissate per ogni torrente di interesse negli ambiti 5 e 6.

Fosso di Pagliari

Corso d'acqua	Sezioni	Area [km ²]	t _c [min]	T=50		T=200		T=500	
				Metodo Razionale [m ³ /s]		Metodo Razionale [m ³ /s]		Metodo Razionale [m ³ /s]	
Fosso di Pagliari	A	0.66	20	15.2		17.4		18.9	
Fosso di Pagliari	B	0.24	10	7.2		8.2		8.8	

Canale Fossamastra

Corso d'acqua	Sezioni	Area [km ²]	t _c [min]	T=50		T=200		T=500	
				Metodo Razionale [m ³ /s]	Metodo CIMA modificato [m ³ /s]	Metodo Razionale [m ³ /s]	Metodo CIMA modificato [m ³ /s]	Metodo Razionale [m ³ /s]	Metodo CIMA modificato [m ³ /s]
C. Fossamastra	A	7.67	60		91.5		132.3		159.2
C. Fossamastra	B	6.63	45		81.2		117.4		141.3
Fosso Calcinara	C	1.29	35	26.9		30.9		33.4	
C. Fossamastra	D	5.34	45		67.9		98.2		118.1
Fosso Calcinara	E	1.07	20	24.6		28.3		30.6	
Fosso Calcinara	F	0.85	20	19.6		22.5		24.3	
Fosso Calcinara	G	0.70	20	16.1		18.5		20.0	

Fosso di Piaggia	H	0.15	15	3.9		4.4		4.8	
C. Fossamastra	I	2.55	30		36.5		52.8		63.6
C. Fossamastra	L	0.41	20	9.4		10.8		11.7	
C. Fossamastra	M	2.14	30		31.5		45.5		54.8

Fosso Melara

Corso d'acqua	Sezioni	Area [km ²]	t _c [min]	T=50		T=200		T=500	
				Metodo Razionale [m ³ /s]		Metodo Razionale [m ³ /s]		Metodo Razionale [m ³ /s]	
Fosso Melara	A	0.54	10	16.2		18.4		19.8	

N.B.: a tali valori va sommato il contributo della portata di scarico del depuratore, stimato in c.a. 0.2 m³/s.

**Torrente Vecchia Dorgia**

Corso d'acqua	Sezioni	Area [km ²]	t _c [min]	T=50		T=200		T=500	
				Metodo Razionale [m ³ /s]	Metodo CIMA modificato [m ³ /s]	Metodo Razionale [m ³ /s]	Metodo CIMA modificato [m ³ /s]	Metodo Razionale [m ³ /s]	Metodo CIMA modificato [m ³ /s]
T. Vecchia Dorgia	A	1.64	45	27.7		32.2		35.0	
T. Vecchia Dorgia	B	0.93	20	21.4		24.6		26.6	
F. Gavatro	C	0.12	10	3.6		4.1		4.4	
T. Vecchia Dorgia	D	0.81	20	18.6		21.4		23.1	
T. Vecchia Dorgia	E	0.71	20	16.3		18.8		20.3	
F. Ponticelli	F	0.21	15	5.4		6.2		6.7	
T. Vecchia Dorgia	G	0.50	20	11.5		13.2		14.3	

Torrente Nuova Dorgia

Corso d'acqua	Sezioni	Area [km ²]	t _c [min]	T=50		T=200		T=500	
				Metodo Razionale [m ³ /s]	Metodo CIMA modificato [m ³ /s]	Metodo Razionale [m ³ /s]	Metodo CIMA modificato [m ³ /s]	Metodo Razionale [m ³ /s]	Metodo CIMA modificato [m ³ /s]
T. Nuova Dorgia	A	4.05	75		49.0		70.9		85.3
T. Nuova Dorgia	B	3.39	45		42.2		61.1		73.5
T. Nuova Dorgia	C	1.95	45	32.9		38.3		41.6	
Fosso Buonviaggio	D	1.44	20	30.4		35.1		38.0	
Fosso Buonviaggio	E	1.26	10	29.0		33.3		36.0	
Fosso Pellizzaro	F	0.53	25	11.2		12.9		14.0	
Fosso Buonviaggio	G	0.73	10	18.8		21.5		23.1	
Fosso della Quercia	H	0.66	10	17.0		19.4		20.9	
Affl. F.Buonviaggio	I	0.19	10	5.7		6.5		7.0	
Fosso Buonviaggio	L	0.47	10	12.1		13.8		14.9	



Fosso Rossano

Corso d'acqua	Sezioni	Area [km ²]	t _c [min]	T=50		T=200		T=500	
				Metodo Razionale [m ³ /s]		Metodo Razionale [m ³ /s]		Metodo Razionale [m ³ /s]	
Fosso Rossano	A	1.22	35	22.7		26.3		28.5	
Fosso Rossano	B	0.56	15	14.4		16.5		17.7	
Fosso Rossano	C	0.33	15	8.5		9.7		10.5	
Fosso Andreino	D	0.23	15	5.9		6.8		7.3	

Fosso Cappelletto

Corso d'acqua	Sezioni	Area [km ²]	t _c [min]	T=50		T=200		T=500	
				Metodo Razionale [m ³ /s]		Metodo Razionale [m ³ /s]		Metodo Razionale [m ³ /s]	
Fosso Cappelletto	A	1.62	50	26.2		30.6		33.3	
Fosso Cappelletto	B	1.09	20	25.1		28.8		31.1	
Fosso Quaresima	C	0.45	15	11.6		13.2		14.3	
Fosso Cappelletto	D	0.64	20	14.7		16.9		18.3	



4 I CANALI IN PORTO: STATO DELL'ARTE

Come è facile immaginare, tutti i corsi d'acqua che interessano l'area portuale sono stati, nel tempo, tombinati. Le opere sono state, progressivamente, oggetto di adeguamento idraulico in conformità alle indicazioni contenute nei piani di bacino via via susseguiti.

In particolare, l'Autorità portuale ha potuto seguire direttamente alcune opere idrauliche di grande importanza, il cui risultato si è tradotto in adeguamento delle sezioni di deflusso dei maggiori corsi d'acqua in ambito portuale alle portate di piena duecentennali fissate dal Piano di Bacino vigente e con franchi di sicurezza prossimi al metro anche in condizioni di deflusso peggiorate dalla concomitanza di moto ondoso e/o marea e di navi all'accosto.

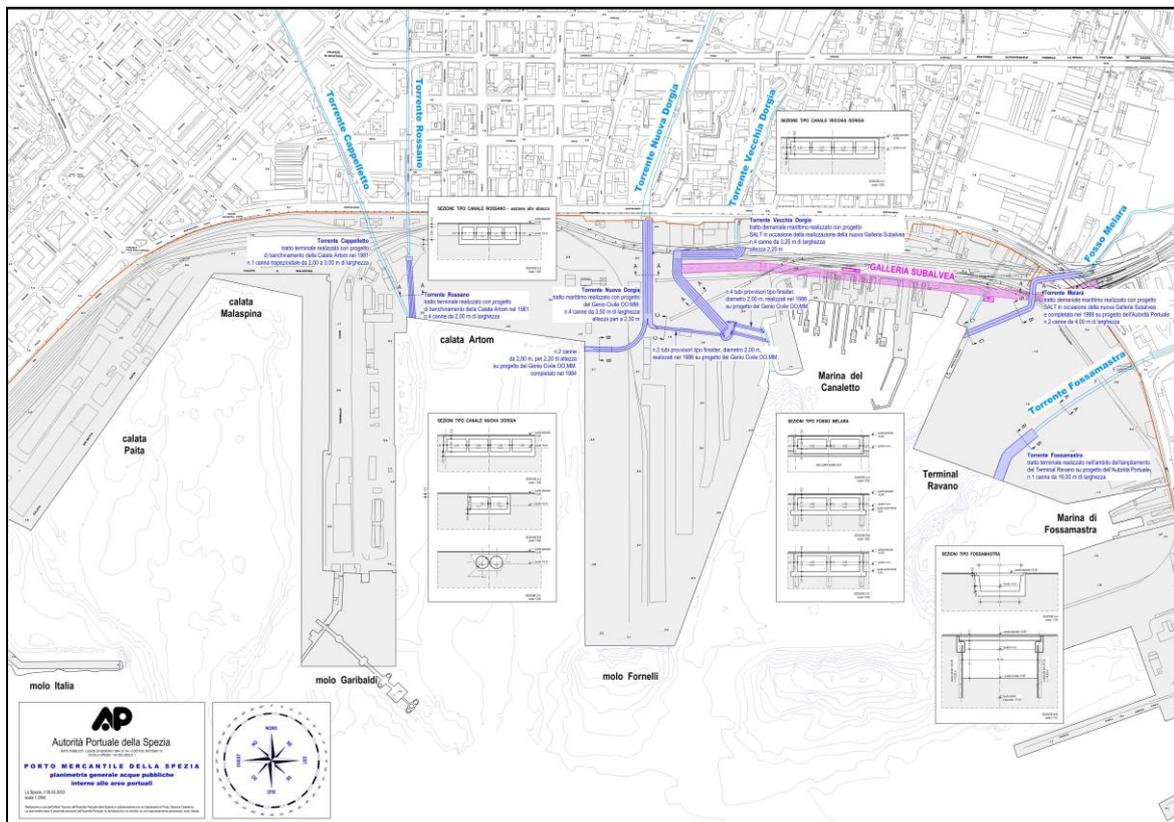


Figura 4.1 - Planimetria complessiva aree portuali con indicazione delle principali sezioni di deflusso

La planimetria che precede indica in colore blu i tracciati delle canalizzazioni in ambito portuale nel 2003. A quella data alcune di queste risultavano già correttamente adeguate alla portata di piena duecentennale (Canale Fossamastra, tratto di foce, e Fosso Melara, al terminal Ravano). Successivamente, nel 2013, sono stati ultimati i lavori di adeguamento idraulico del tratto di foce dei canali Nuova e Vecchia Dorgia, alla radice del molo Fornelli Est.



E' stata recentemente appaltata la gara per l'affidamento dei lavori di adeguamento idraulico della sezione di deflusso del canale Fossamastra nel tratto compreso tra viale S. Bartolomeo ed il tratto di foce già adeguato.

L'adeguamento delle sezioni dei canali Rossano e Cappelletto è, invece, prevista in concomitanza con la realizzazione del progetto di ristrutturazione e potenziamento degli impianti ferroviari della Spezia Marittima, a tergo di calata Artom. Al termine di dette lavorazioni, tutti i corsi d'acqua all'interno dell'ambito 6 saranno adeguati a portate di piena con tempi di ritorno duecentennali con franchi di sicurezza prossimi al metro.

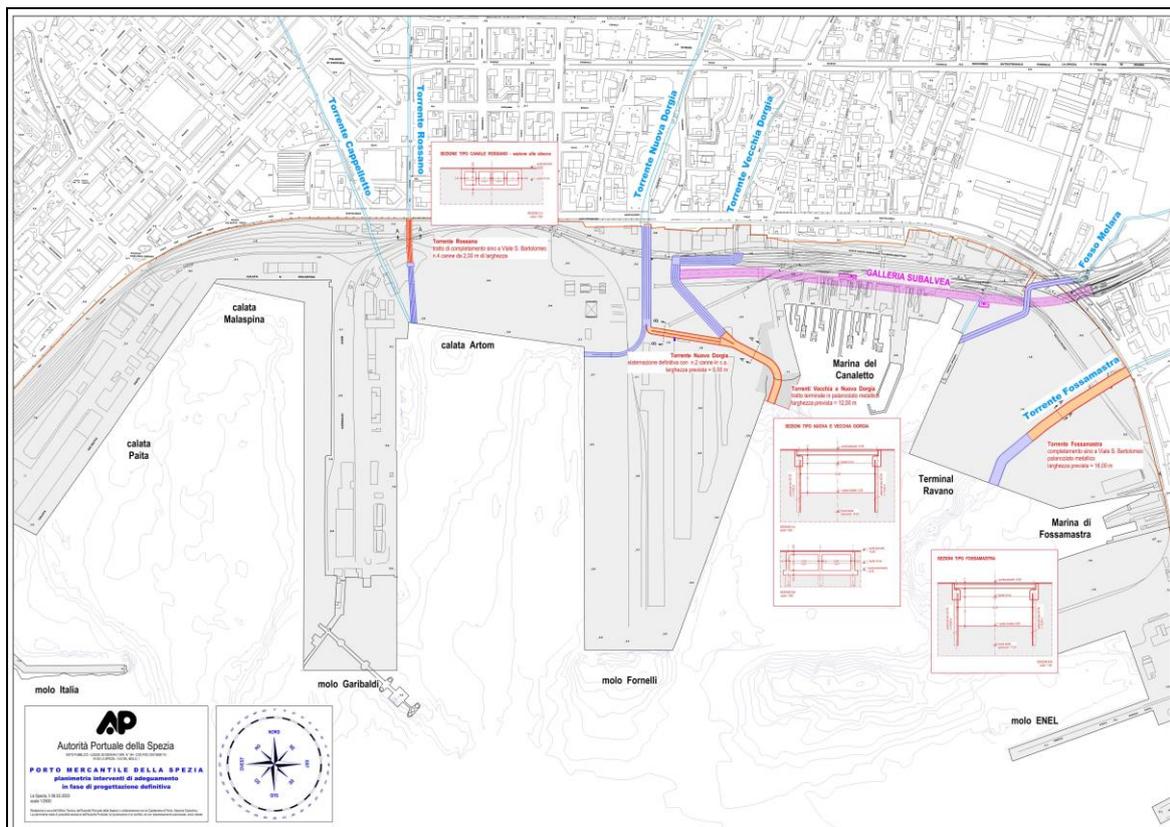


Figura 4.2 - Planimetria complessiva aree portuali con indicazione dei progetti di adeguamento già ultimati o in fase di realizzazione

Per le sezioni di foce, il concetto applicato è stato quello di realizzare non tanto un allargamento della sezione di deflusso, quanto piuttosto quello di realizzare soluzioni che consentissero di "avvicinare" il mare allo sbocco, attraverso banchina su pali (banchine a giorno) o attraverso la realizzazione di vere e proprie darsene coperte, che consentissero il deflusso di portate di piena superiori alla duecentennale ancora con franchi di sicurezza accettabili (verificate anche portate di piena cinquantennali).

E' il caso, ad esempio, del Fossamastra, ma anche, in parte, dei torrenti Nuova e Vecchia Dorgia, come documentato di seguito.



4.1 ADEGUAMENTO IDRAULICO DELLA FOCE DEI CANALI NUOVA E VECCHIA DORGIA:

Si riporta un estratto inerente le verifiche idrauliche eseguite per la redazione del progetto di adeguamento idraulico della foce, comune, dei torrenti Nuova e Vecchia Dorgia, alla radice del molo Fornelli. Come si potrà osservare, le verifiche sono state condotte attraverso l'utilizzo del software HEC-RAS, sviluppato e distribuito gratuitamente dall'esercito americano e buon strumento di valutazione per correnti in regime di moto permanente.

4.1.1 INTRODUZIONE

La presente relazione ha per oggetto la sistemazione idraulica della foce dei canali Nuovo e Vecchio Dorgia, nel Comune della Spezia. In particolare, le opere in progetto riguardano il tratto terminale dei due torrenti, parzialmente confluenti in corrispondenza della radice del molo Fornelli, nel Porto Mercantile della Spezia.

Dette opere sono state dimensionate e verificate già in fase di progettazione definitiva, con la consulenza prestata dal Prof. Ing. Sandro Stura e dal Dott. Ing. Enrico Brizzolaro, mediante redazione di apposita relazione idraulica di proporzionamento opere in data Marzo 2002.

La relazione veniva depositata presso il Dipartimento competente della Provincia della Spezia con nota n. 3324 in data 07.09.2004.

A completamento ed integrazione della pratica, la presente viene redatta alla luce del progetto esecutivo dei lavori e sulla base delle disposizioni contenute nel nuovo Piano di Bacino recentemente adottato dalla Provincia della Spezia. Nella figura che segue si riporta lo stralcio planimetrico della zona interessata dai torrenti.

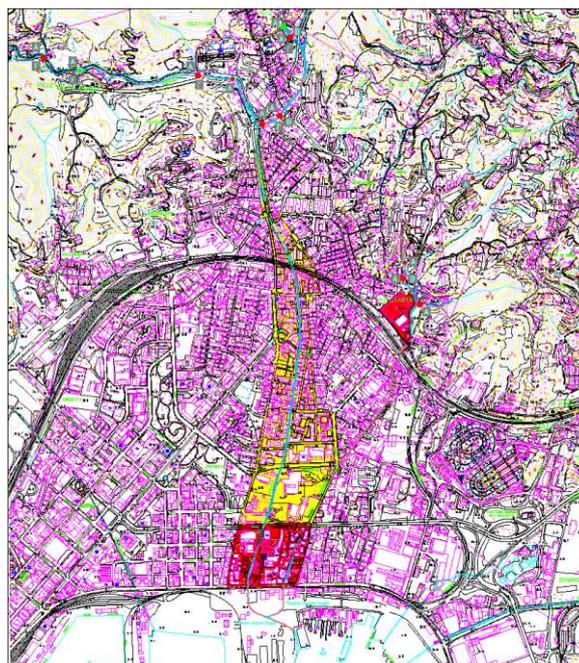


Figura 4.1.1.1 – Stralcio dal Piano di bacino Ambito 20



La particolarità dello studio è da individuarsi nella conformazione assunta dai canali con la realizzazione delle opere e delle infrastrutture a servizio del Porto Mercantile della Spezia, con la necessità di adottare sezioni combinate in luogo delle naturali sezioni di deflusso dei due canali.

Nel dettaglio occorre sottolineare come per il torrente Nuovo Dorgia sia stata adottata una biforcazione del canale per consentire il deflusso delle acque in parte a levante ed in parte a ponente del molo Fornelli.

Con la realizzazione della galleria subalvea di accesso al Porto, modifiche di tracciato e di sezione hanno poi riguardato il torrente Vecchio Dorgia, con la realizzazione di uno scatolare a 4 canne in c.a. lungo un tracciato che consentisse l'agevole inserimento della galleria e delle relative rampe di accesso/uscita.

Entrambe gli interventi non hanno però potuto completare definitivamente la sistemazione delle foci di levante: provvisoriamente si era comunque tentato di porre rimedio ad una situazione difficile con la creazione, all'interno delle aree portuali, di una vasca di confluenza per una parte del canale Nuovo Dorgia e per il canale Vecchio Dorgia, con inserimento di n.4 condotti interrati, in acciaio zincato, per lo scarico finale a mare delle acque.

La complessità del sistema è stata pertanto risolta isolando i diversi tratti da analizzare e procedendo interattivamente allo studio idraulico di questi ponendo condizioni al contorno definite dal mare, per il tratto finale, e dal conseguente profilo idraulico per i tratti a monte.

Inoltre si è provveduto a distinguere i tratti in progetto in funzione delle loro caratteristiche tecniche: la porzione finale di deflusso è, infatti, prevista con sponde in palancoolato metallico, mentre per il tratto di raccordo tra la nuova foce di levante ed il canale Nuovo Dorgia le strutture sono interamente in c.a.

Nell'analisi si è proceduto ad una simulazione idraulica puntuale dei canali, adottando coefficienti di scabrezza ragionevolmente cautelativi in corrispondenza di ogni sezione tipo per tenere conto dell'inevitabile degrado delle superfici in c.a. nonché degli inevitabili depositi di fondo.

Per una più esaustiva trattazione dei parametri idraulici impiegati si rimanda al Capitolo dedicato al calcolo del profilo liquido del canale in progetto.

4.1.2 IL TRATTO FINALE: FOCE DORGIA DI LEVANTE

Il tratto finale oggetto di studio riguarda la sistemazione della foce a levante a valle della confluenza dei due torrenti.

Il progetto prevede la realizzazione di sponde in palancoolato metallico sormontate da travi di coronamento in calcestruzzo armato, sulle quali trovano alloggiamento le travi in c.a.p. di copertura del canale. Il fondale è naturale ed a profondità variabili tra i -4,50 m ed i -5,00 m dal livello medio mare.

Detto tratto ha larghezza costante, pari a 12,50 m, tra lo sbocco a mare e l'inizio della sezione di confluenza dei due torrenti, per poi divenire variabile da 12,50 m sino a 25,65 m nel tratto di confluenza. In quest'ultima parte l'allargamento è determinato dall'esigenza di raccordare la sezione unica di deflusso a valle con le sezioni ivi



confluenti da monte; la soletta di copertura trova un appoggio intermedio al centro della confluenza, con la realizzazione di pali di grande diametro e di una trave di ripartizione del carico di piazzale su detta palificata.

La modesta pendenza del canale determina un regime di corrente subcritico, con l'adozione di condizioni di vincolo per lo studio idraulico proprio nella sezione di sbocco. Dette condizioni sono state fissate tenendo conto delle maree e del moto ondoso che può interessare lo specchio acqueo di deflusso, nonché della presenza di eventuali navi all'accosto.

L'altezza di deflusso alla foce è stata, quindi, assunta pari a +0,50 m per tutte le portate di riferimento, siano esse determinate sulla base di tempi di ritorno cinquantennali, che duecentennali, che cinquecentennali.

4.1.3 SISTEMAZIONE TRATTO TOMBINATO DEL NUOVO DORGIA

Si tratta dell'adeguamento idraulico di uno dei due tratti di deflusso in cui risulta biforcata la foce del torrente Nuovo Dorgia. La sistemazione provvisoria di detta porzione di canale aveva visto l'iserimento di n.2 tubi in acciaio zincato, tipo Finsider, del diametro di 2,00 m cadauno. Detti tubi dovranno lasciare spazio ad altrettante canne in c.a. di larghezza pari a 5,00 m cadauna e altezze utili variabili da 2,28 m in corrispondenza della biforcazione, ai 3,05 m in prossimità della confluenza.

Il profilo di fondo alveo è contraddistinto da un primo tratto a monte a pendenza elevata, con un salto di quota di circa 50 cm nello spazio di 12,90 m, e da un tratto a pendenza costante pari allo 0,25% sino alla confluenza.

Nello studio idraulico si è, ovviamente, assunto come condizione vincolante l'altezza di deflusso derivata dal profilo idraulico della tratta di valle.

4.1.4 I TRATTI ESISTENTI

Al fine di dare maggiore validità allo studio idraulico oggetto della presente relazione, si è spinta l'analisi anche alle tratte esistenti del canale sino gli attraversamenti di V.le S. Bartolomeo, valutando le ripercussioni della nuova sistemazione idraulica della foce di levante anche su tali tratti.

Le geometrie di dette porzioni di canale sono note e si possono sintetizzare come di seguito riportato:

Sezione esistente torrente Vecchio Dorgia:

Scatolare in c.a. a 4 canne;

Larghezza per ogni canna: 3,25 m

Pendenza media: 0,24%



Sezione esistente torrente Nuovo Dorgia:

Scatolare in c.a. a 4 canne;

Larghezza per ogni canna: 3,50 m

Pendenza media: 0,24%

4.1.5 IL SOFTWARE DI CALCOLO

L'analisi e le verifiche idrauliche sono state condotte mediante un software largamente impiegato e testato per contesti analoghi: si tratta di *Hec-Ras*, programma dedicato allo studio di profili liquidi di moto permanente a pelo libero in regimi di corrente lenta, veloce o regimi misti.

La procedura di calcolo adottata da detto software si basa sulla soluzione dell'equazione monodimensionale dell'energia. Le perdite considerate sono quelle dovute all'attrito (attraverso l'equazione di Manning) e quelle causate dall'espansione e dalla contrazione delle sezioni di deflusso (attraverso l'utilizzo di un coefficiente che fattorizza la variazione di altezza cinetica della corrente al variare della sezione).

L'equazione della quantità di moto è utilizzata dal programma nei casi in cui il profilo del pelo libero subisca variazioni brusche e repentine. Questo si verifica in correnti a regime misto, allorchando ci si trovi in presenza di un risalto idraulico (passaggio da corrente veloce a corrente lenta), oppure in corrispondenza di ponti con pile di sostegno interne all'alveo, ovvero in caso di confluenza tra più rami di una rete di canali.

Il profilo liquido è calcolato tra una sezione e la successiva attraverso la risoluzione dell'equazione di conservazione dell'energia, con procedura iterativa chiamata "metodo standard passo-passo". Detta equazione assume la forma seguente:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2 \cdot g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2 \cdot g} + h_e \quad (\text{eq. 5.1})$$

in cui:

Y_1 e Y_2 sono le altezze del pelo libero in corrispondenza delle sezioni 1 e 2;

Z_1 e Z_2 sono quote di fondo alveo in corrispondenza delle sezioni 1 e 2;

V_1 e V_2 sono le velocità medie della corrente nelle sezioni 1 e 2;

α_1 e α_2 sono fattori correttivi di dette velocità medie per le sezioni 1 e 2;

h_e è la perdita di energia tra le sezioni 1 e 2.

h_e tiene ovviamente conto di due diverse cause di perdita d'energia tra le due sezioni in esame, una dovuta all'attrito tra liquido e sistemazioni spondali e fondo del canale, l'altra funzione degli allargamenti e dei restringimenti di sezione.

L'equazione che il software utilizza per la stima di tale perdita d'energia è la seguente:



$$h_e = L \cdot \bar{S}_f + C \cdot \left| \frac{\alpha_2 \cdot V_2}{2 \cdot g} - \frac{\alpha_1 \cdot V_1}{2 \cdot g} \right| \quad (\text{eq. 5.2})$$

in cui:

L è la lunghezza del tratto compreso tra le sezioni 1 e 2 (in caso di sezioni caratterizzate da un tratto centrale principale di scorrimento *main channel*, di solito più profondo e stretto, e da aree di deflusso laterali più estese *left* e *right overbank*, L è pari alla media pesata tra le distanze misurate a sinistra a destra e nel tratto centrale di deflusso);

S_f è il coefficiente d'attrito rappresentativo del tratto compreso tra le due sezioni (funzione della scabrezza dell'alveo);

C è il coefficiente di perdita di carico cinetico dovuto alle brusche variazioni di sezione.

Nel caso in esame, il torrente Rossano sarà caratterizzato da sezioni interamente assimilabili a *main channel*; pertanto, per il calcolo di L, non saranno utilizzate medie pesate che il programma si calcolerebbe tenendo conto delle differenti portate di deflusso caratteristiche delle diverse zone della stessa sezione.

In Hec-Ras, dunque, le perdite di carico per attrito sono determinate in base al prodotto tra L e S_f : il coefficiente d'attrito in corrispondenza di ogni singola sezione viene calcolato mediante l'equazione di Manning. Il programma applica la media dei coefficienti calcolati per due sezioni successive al tratto di canale compreso tra queste:

$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2$$

con Q_1 e Q_2 portate di deflusso nelle sezioni 1 e 2 e K_i , coefficiente di sezione, pari a:

$$K_i = \frac{1,486}{n_i} \cdot A_i \cdot R_i^{2/3}$$

in cui n_i è il coefficiente di Manning, funzione del materiale di finitura dell'alveo, nella sezione i-esima;

A_i è l'area di deflusso della sezione i-sima;

R_i è il raggio idraulico, pari al rapporto tra area e perimetro bagnato, nella sezione i-sima;

Il coefficiente con cui fattorare la velocità della corrente, sezione per sezione, è calcolato come fattore correttivo delle velocità del flusso principale per tenere conto della variazione di questa nelle aree di *overbank* (golene) laterali:



$$\alpha \cdot \frac{\bar{V}^2}{2 \cdot g} = \frac{Q_1 \cdot \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + Q_2 \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g}}{Q_1 + Q_2}$$

Nel caso in cui non sussistano settori di deflusso né a sinistra né a destra, il coefficiente α non potrà che assumersi pari a 1.

Per quanto concerne, infine, il fattore C da cui dipende la perdita di carico per allargamento o restringimento repentino di sezione, occorre precisare che il programma ne tiene conto solamente ogniqualvolta dall'analisi idraulica venisse accertata una diminuzione di velocità tra il tratto immediatamente a monte di una data sezione ed il tratto immediatamente a valle della stessa. Quando ciò si verifica, il programma, in automatico, rileva la necessità di applicare un coefficiente di perdita di carico, i cui valori caratteristici possono essere inseriti dall'operatore oppure scelti tra quelli suggeriti dallo stesso software.

La procedura seguita dal programma per la determinazione della quota del pelo libero della corrente in condizioni di moto permanente per ogni sezione significativa dell'alveo prevede, dunque, la risoluzione iterativa delle equazioni 5.1 e 5.2, sino all'individuazione di un valore di convergenza che le soddisfi entrambe.

4.1.6 SEZIONI TIPO E CARATTERISTICHE IDRAULICHE

I torrenti oggetto della presente relazione sottendono bacini imbriferi di tutto rispetto.

Dai dati desunti dal piano di Bacino della Provincia della Spezia, si rilevano tre valori caratteristici delle portate di massima piena stimate per tempi di ritorno pari a 50 anni, 200 anni e 500 anni come di seguito indicato:

<i>Vecchio Dorgia:</i>	T = 50 anni	$Q_{50} = 27,7 \text{ m}^3/\text{s};$
	T = 200 anni	$Q_{200} = 32,2 \text{ m}^3/\text{s};$
	T = 500 anni	$Q_{500} = 35,0 \text{ m}^3/\text{s};$
<i>Nuovo Dorgia:</i>	T = 50 anni	$Q_{50} = 49,0 \text{ m}^3/\text{s};$
	T = 200 anni	$Q_{200} = 70,9 \text{ m}^3/\text{s};$
	T = 500 anni	$Q_{500} = 85,3 \text{ m}^3/\text{s};$

Del Nuovo Dorgia, ai fini del calcolo idraulico si è tenuto conto della divisione della perte terminale della foce attribuendo la portata pari al 50% della totale al tratto esistente a monte della sistemazione di progetto e, cautelativamente, attribuendo una portata pari a circa il 63,3% al tratto in progetto, in considerazione della maggiore capacità di deflusso da questo assicurata.



In base a dette considerazioni, per il tratto finale di sbocco le portate di riferimento sono risultate le seguenti:

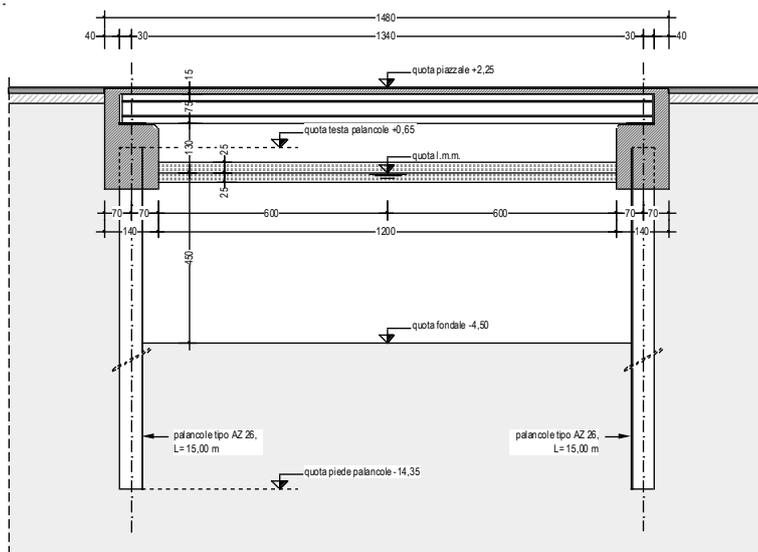
<i>Foce Dorgia:</i>	T = 50 anni	$Q_{50} = 58,7 \text{ m}^3/\text{s};$
	T = 200 anni	$Q_{200} = 77,1 \text{ m}^3/\text{s};$
	T = 500 anni	$Q_{500} = 89,0 \text{ m}^3/\text{s};$

Al fine di una maggiore conoscenza del funzionamento idrodinamico dell'adeguamento in progetto, si è proceduto ad effettuare una analisi per ciascuna delle tre condizioni, estrapolandone dati significativi in merito alle capacità ultime di smaltimento idrico della condotta in esame e del funzionamento globale dei canali anche in condizioni di portate di piena più frequentemente verificabili rispetto a quella da assumersi come portata di calcolo.

Per semplicità di trattazione si è optato per una suddivisione del canale in esame in 3 tronconi: il primo riguarda il tratto denominato Foce Dorgia; il secondo si riferisce al canale Nuovo Dorgia, dalla confluenza all'intersezione con V.le S. Bartolomeo, ed il terzo riguarda il canale Vecchio Dorgia tra V.le S. Bartolomeo ed il tratto di sbocco.

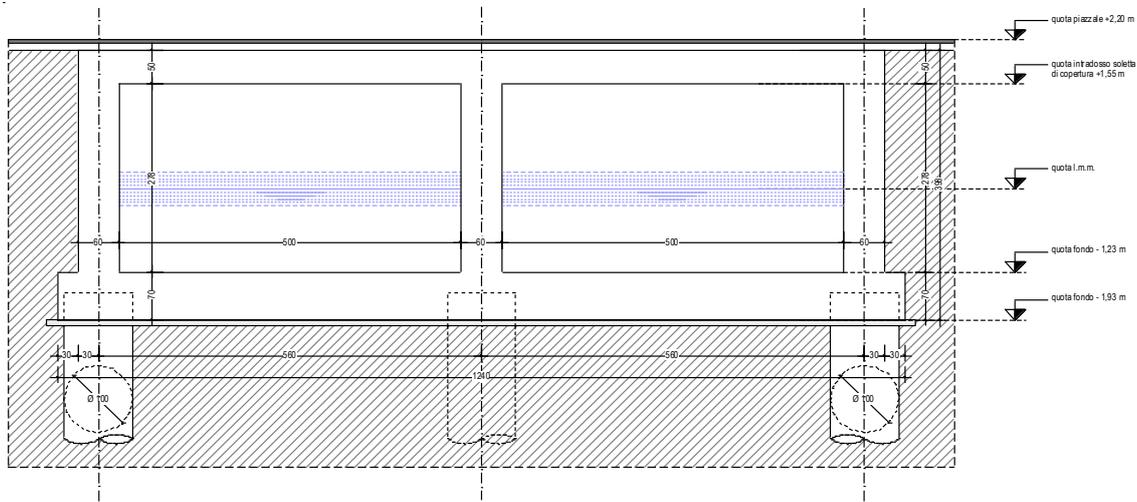
Le sezioni tipo considerate sono:

Tipo 1: scatolare in palancole e travi in c.a.p. (da sez. 100 a sez. 120)

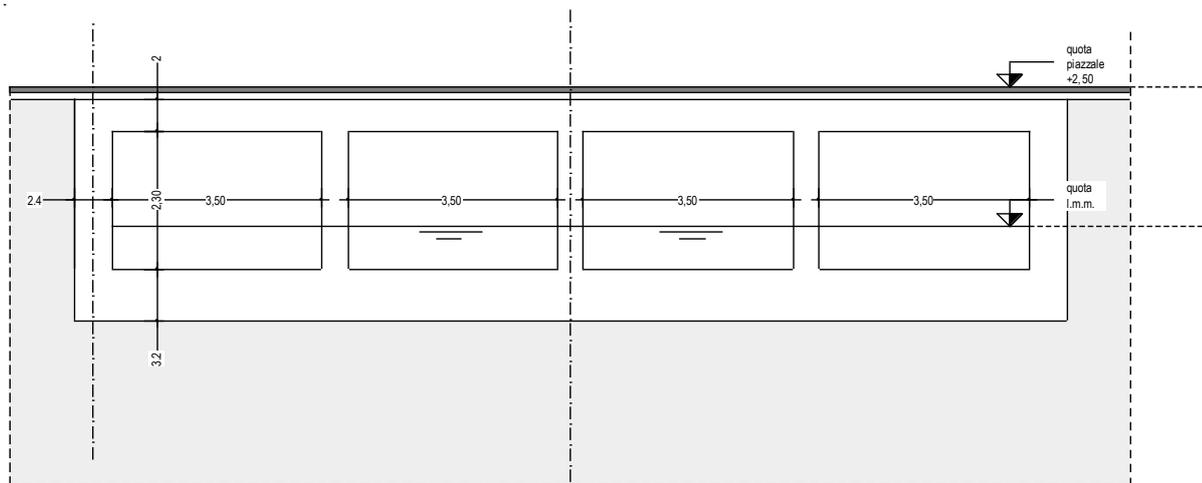




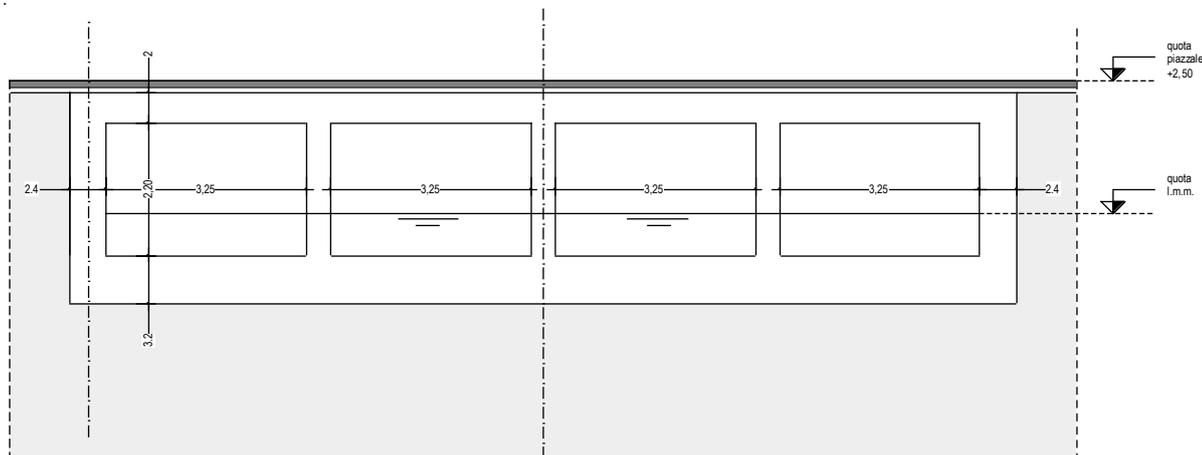
Tipo 2: scotolare in c.a. a due canne (tratto in progetto) (da sez. 200 a sez. 220)



Tipo 3: scotolare in c.a. a 4 canne (tratto esistente) (da sez. 221 a sez. 230)



Tipo 4: scotolare in c.a. a 4 canne (tratto esistente) (da sez. 300 a sez. 310)





Il profilo caratteristico del canale in progetto appare caratterizzato da pendenze contenute, pertanto, nelle analisi idrauliche che seguiranno, verrà preferita una simulazione in regime subcritico.

Il software utilizzato consente, infatti, di procedere ad analisi prettamente subcritiche o supercritiche, procedendo automaticamente ad assegnare la velocità critica alla corrente nei tratti che, per geometria di sezione o per pendenze dell'alveo, non verificano l'una o l'altra condizione di moto.

Con l'analisi contemporanea in moto lento e veloce, il programma procede ad assegnare ad ogni tratto di canale le velocità di moto e l'altezza di deflusso più verosimilmente verificabili in condizioni di piena, calcolando comunque l'altezza critica della corrente per consentire una valutazione del profilo liquido in tutte e tre le condizioni.

A valle la condizione di moto in uscita è stata ricavata dalla presenza del mare.

I coefficienti di Manning impiegati, pari a 0,017 per le sezioni in c.a., 0,025 e 0,045 per i tratti in palancolato metallico e fondale naturale, risultano comunque cautelativi. La bibliografia in merito, infatti, consiglia valori compresi tra 0,01 e 0,02 per il calcestruzzo, dove il valore minore può ritenersi rappresentativo di una sponda in c.a. perfettamente lisciata, mentre il maggiore deve riferirsi ad alvei in c.a. con consistenti depositi di fondo e piuttosto irregolari.

Per le sponde in acciaio, i valori consigliati del coefficiente di Manning variano da 0,015 a 0,035 in funzione della rugosità della superficie, mentre per i fondali naturali il valore di 0,045 è attribuito a casistiche di fondali con depositi e vegetazione. La scelta di tali valori, comunque, appare motivata se si intende considerare, fin da subito, gli inevitabili effetti del deterioramento delle strutture e dei depositi di materiali sul fondo stesso.

4.1.7 PROFILI LIQUIDI DEI TRATTI

In allegato si riportano i risultati delle simulazioni idrauliche condotte con l'ausilio di Hec Ras. Per l'esame dei franchi di sicurezza si dovrà porre particolare attenzione alla quota di fondo canale, alla quota assoluta del pelo libero, nonché alla velocità media della corrente nella sezione in esame.

Come già accennato, il software consente una differenziazione dello studio di corrente in base alle caratteristiche di pendenza e di scabrezza del torrente, con possibilità di studi in regime subcritico, supercritico ovvero misto. Per le caratteristiche proprie di detti tratti di canale, la simulazione di regime subcritico appare quella maggiormente accreditata, come confermano, peraltro, i risultati ottenuti.

La ricostruzione plano altimetrica dei torrenti è stata immessa curando particolarmente i tratti interessati da sezioni di raccordo tra una tipologia e l'altra. Particolare cura è stata dedicata anche all'inserimento delle variazioni di pendenza e dei salti di fondo che caratterizzano il progetto di adeguamento.



4.1.8 VERIFICHE PUNTUALI

Dai risultati della simulazione eseguita si evince che i tratti in esame risultano essere adeguati allo smaltimento delle portate di piena con tempi di ritorno duecentennali, rispettando sostanzialmente, in ogni sezione, franchi di sicurezza piuttosto cautelativi.

I minimi prescritti dalla Normativa di piano non possono essere rispettati contemporaneamente all'adozione di quote di sbocco che presuppongono, assieme alla portata di piena, la contemporanea presenza di alta marea e nave all'accosto. Detti minimi appaiono comunque rispettati nel caso di quote di sbocco fissate a +0,20 dal livello medio mare, corrispondenti quest'ultime a situazioni più frequenti rispetto alle precedenti.

Nel dettaglio, quindi, si procede ad una verifica dell'altezza del pelo libero nei vari tratti di canale, rapportando tale valore alla quota assoluta del fondo alveo ed alla quota di intradosso della soletta di copertura, nelle tre situazioni di piena (tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni). Una ulteriore verifica dei franchi è stata eseguita per la sola portata di piena duecentennale con una quota allo sbocco fissata a +0,20 sul livello medio mare, proprio al fine di verificare la rispondenza dei franchi ai minimi prescritti.

Reach 3: da sez. 100 a sez. 120:

Il tratto riguarda lo sbocco a mare dei canali; è caratterizzato da sezione rettangolare in palancole tipo AZ 26; la pendenza del tratto risulta molto modesta, con quote di fondo comprese tra i -4,50 ed i -5,00 m.

Dall'analisi condotta in condizioni di piena duecentennale, si rilevano velocità medie molto contenute, compatibili con la presenza del mare.

Si riporta la verifica dei franchi minimi in corrispondenza della sezione a valle della confluenza (n.110) ed in corrispondenza della confluenza stessa (n.120).

Sezione 110:

$T = 200$ anni; $H_{sbocco} = +0,50$ m s.l.m.

$Q_{200} = 77,10$ m³/s;

$H_{fondo} = -4,50$ m; $H_{soletta} = +1,30$ m; $H_{corrente} = +0,52$ m; Vel.U = 1,30 m/s

$F_{prog} = H_{soletta} - H_{corrente} = 1,30 - 0,52 = \mathbf{0,78}$ m

$T = 200$ anni; $H_{sbocco} = +0,20$ m s.l.m.

$Q_{200} = 77,10$ m³/s;

$H_{fondo} = -4,50$ m; $H_{soletta} = +1,30$ m; $H_{corrente} = +0,23$ m; Vel.U = 1,38 m/s

$F_{prog} = H_{soletta} - H_{corrente} = 1,30 - 0,23 = \mathbf{1,07}$ m



Sezione 120:

$T = 200$ anni; $H_{sbocco} = +0,50$ m s.l.m.

$Q_{200} = 77,10$ m³/s;

$H_{fondo} = -4,40$ m; $H_{soletta} = +1,30$ m; $H_{corrente} = +0,60$ m; Vel.U = 0,62 m/s

$F_{prog} = H_{soletta} - H_{corrente} = 1,30 - 0,60 = \mathbf{0,70}$ m

$T = 200$ anni; $H_{sbocco} = +0,20$ m s.l.m.

$Q_{200} = 77,10$ m³/s;

$H_{fondo} = -4,40$ m; $H_{soletta} = +1,30$ m; $H_{corrente} = +0,31$ m; Vel.U = 0,66 m/s

$F_{prog} = H_{soletta} - H_{corrente} = 1,30 - 0,31 = \mathbf{0,99}$ m

Reach 2: da sez. 300 a sez. 310:

Il tratto in esame riguarda il canale Vecchio Dorgia, già realizzato in concomitanza con la galleria subalvea: la verifica ha il solo scopo di verificare la compatibilità della foce in progetto con la soluzione adottata in tale sede.

Si riporta la verifica dei franchi minimi in corrispondenza della sezione in corrispondenza della confluenza (n.300) ed in corrispondenza dell'ultima sezione in scatolare in prossimità di V.le S. Bartolomeo (n.310).

Sezione 300:

$T = 200$ anni; $H_{sbocco} = +0,50$ m s.l.m.

$Q_{200} = 32,20$ m³/s;

$H_{fondo} = -1,30$ m; $H_{soletta} = +1,60$ m; $H_{corrente} = +0,60$ m; Vel.U = 1,30 m/s

$F_{prog} = H_{soletta} - H_{corrente} = 1,60 - 0,60 = \mathbf{1,00}$ m

Sezione 300:

$T = 200$ anni; $H_{sbocco} = +0,20$ m s.l.m.

$Q_{200} = 32,20$ m³/s;

$H_{fondo} = -1,30$ m; $H_{soletta} = +1,60$ m; $H_{corrente} = +0,31$ m; Vel.U = 1,54 m/s

$F_{prog} = H_{soletta} - H_{corrente} = 1,60 - 0,31 = \mathbf{1,29}$ m

Sezione 310:

$T = 200$ anni; $H_{sbocco} = +0,50$ m s.l.m.

$Q_{200} = 32,20$ m³/s;

$H_{fondo} = -0,64$ m; $H_{soletta} = +1,60$ m; $H_{corrente} = +0,76$ m; Vel.U = 1,77 m/s

$F_{prog} = H_{soletta} - H_{corrente} = 1,60 - 0,67 = \mathbf{0,84}$ m



Sezione 310:

$$T = 200 \text{ anni}; H_{sbocco} = +0,20 \text{ m s.l.m.}$$

$$Q_{200} = 32,20 \text{ m}^3/\text{s};$$

$$H_{fondo} = -0,64 \text{ m}; \quad H_{soletta} = +1,60 \text{ m}; \quad H_{corrente} = +0,57 \text{ m}; \quad \text{Vel.U} = 2,04 \text{ m/s}$$

$$F_{prog} = H_{soletta} - H_{corrente} = 1,60 - 0,57 = \mathbf{1,03 \text{ m}}$$

Reach 1: da sez. 200 a sez. 220:

Il terzo e ultimo tratto riguarda il ramo diretto a levante del canale Nuovo Dorgia, provvisoriamente realizzato in canne tubolari tipo Finsider e previsto in progetto in scatolare di c.a. a due canne.

Si riporta la verifica dei franchi minimi in corrispondenza della sezione in corrispondenza della confluenza (n.200), al termine del tratto in curva (n.210) ed in corrispondenza della sezione di innesto all'esistente (n.220).

Sezione 200:

$$T = 200 \text{ anni}; H_{sbocco} = +0,50 \text{ m s.l.m.}$$

$$Q_{200} = 44,90 \text{ m}^3/\text{s};$$

$$H_{fondo} = -1,50 \text{ m}; \quad H_{soletta} = +1,55 \text{ m}; \quad H_{corrente} = +0,60 \text{ m}; \quad \text{Vel.U} = 2,14 \text{ m/s}$$

$$F_{prog} = H_{soletta} - H_{corrente} = 1,55 - 0,60 = \mathbf{0,95 \text{ m}}$$

Sezione 200:

$$T = 200 \text{ anni}; H_{sbocco} = +0,20 \text{ m s.l.m.}$$

$$Q_{200} = 44,90 \text{ m}^3/\text{s};$$

$$H_{fondo} = -1,50 \text{ m}; \quad H_{soletta} = +1,55 \text{ m}; \quad H_{corrente} = +0,31 \text{ m}; \quad \text{Vel.U} = 2,48 \text{ m/s}$$

$$F_{prog} = H_{soletta} - H_{corrente} = 1,55 - 0,31 = \mathbf{1,24 \text{ m}}$$

Sezione 210:

$$T = 200 \text{ anni}; H_{sbocco} = +0,50 \text{ m s.l.m.}$$

$$Q_{200} = 44,90 \text{ m}^3/\text{s};$$

$$H_{fondo} = -1,23 \text{ m}; \quad H_{soletta} = +1,55 \text{ m}; \quad H_{corrente} = +0,67 \text{ m}; \quad \text{Vel.U} = 2,36 \text{ m/s}$$

$$F_{prog} = H_{soletta} - H_{corrente} = 1,55 - 0,67 = \mathbf{0,88 \text{ m}}$$

Sezione 210:

$$T = 200 \text{ anni}; H_{sbocco} = +0,20 \text{ m s.l.m.}$$

$$Q_{200} = 44,90 \text{ m}^3/\text{s};$$

$$H_{fondo} = -1,23 \text{ m}; \quad H_{soletta} = +1,55 \text{ m}; \quad H_{corrente} = +0,44 \text{ m}; \quad \text{Vel.U} = 2,68 \text{ m/s}$$

$$F_{prog} = H_{soletta} - H_{corrente} = 1,55 - 0,44 = \mathbf{1,11 \text{ m}}$$



Sezione 220 (esistente):

$$T = 200 \text{ anni}; H_{sbocco} = +0,50 \text{ m s.l.m.}$$

$$Q_{200} = 44,90 \text{ m}^3/\text{s};$$

$$H_{fondo} = -0,73 \text{ m}; \quad H_{soletta} = +1,55 \text{ m}; \quad H_{corrente} = +0,81 \text{ m}; \quad \text{Vel.U} = 3,89 \text{ m/s}$$

$$F_{prog} = H_{soletta} - H_{corrente} = 1,55 - 0,81 = \mathbf{0,74 \text{ m}}$$

Sezione 220 (esistente):

$$T = 200 \text{ anni}; H_{sbocco} = +0,20 \text{ m s.l.m.}$$

$$Q_{200} = 44,90 \text{ m}^3/\text{s};$$

$$H_{fondo} = -0,73 \text{ m}; \quad H_{soletta} = +1,55 \text{ m}; \quad H_{corrente} = +0,81 \text{ m}; \quad \text{Vel.U} = 3,89 \text{ m/s}$$

$$F_{prog} = H_{soletta} - H_{corrente} = 1,55 - 0,81 = \mathbf{0,74 \text{ m}}$$

4.1.9 CONCLUSIONI

Dalle verifiche sopra riportate e viste le conclusioni già contenute nella relazione di predimensionamento idraulico delle strutture, si può concludere che il progetto di sistemazione definitiva della foce dei canali appare in grado di smaltire portate di piena anche superiori ai valori di riferimento contenuti nel Piano di bacino della Provincia di La Spezia, anche in condizioni limite allo sbocco ed assicurando franchi di sicurezza sempre accettabili.

5 I CANALI IN PORTO: LE MODIFICHE RICHIESTE CON LA REALIZZAZIONE DEI PROGETTI DI PIANO

5.1 INQUADRAMENTO GENERALE

Gli ampliamenti previsti dal Piano regolatore interagiscono con la foce del Fosso Melara (progetto di ampliamento del terminal Ravano alla Marina del Canaletto) e con la foce dei torrenti Rossano e Cappelletto (ampliamento del lato di levante del molo Garibaldi).

Per entrambe le situazioni di interferenza, la soluzione proposta in sede di progettazione preliminare è quella di realizzare una darsena a fondo naturale, di ampiezza adeguata a consentire, in presenza di marea, il deflusso in sicurezza della piena duecentennale.

In particolare, per il Fosso Melara la darsena è prevista di ampiezza non inferiore a 10 metri, da realizzarsi con pareti in palancole metalliche per l'intera lunghezza della banchina Ravano, lato Marina del Canaletto. Detta Darsena potrà essere interamente coperta con soletta in travi accostate in c.a.p. completata da soletta di ripartizione in c.a. gettato in opera. Detta tipologia costruttiva è già stata impiegata nell'adeguamento della sezione di deflusso del canale Fossamastra e si è rivelata una soluzione tecnica funzionale, efficace e di semplice e rapida realizzazione.

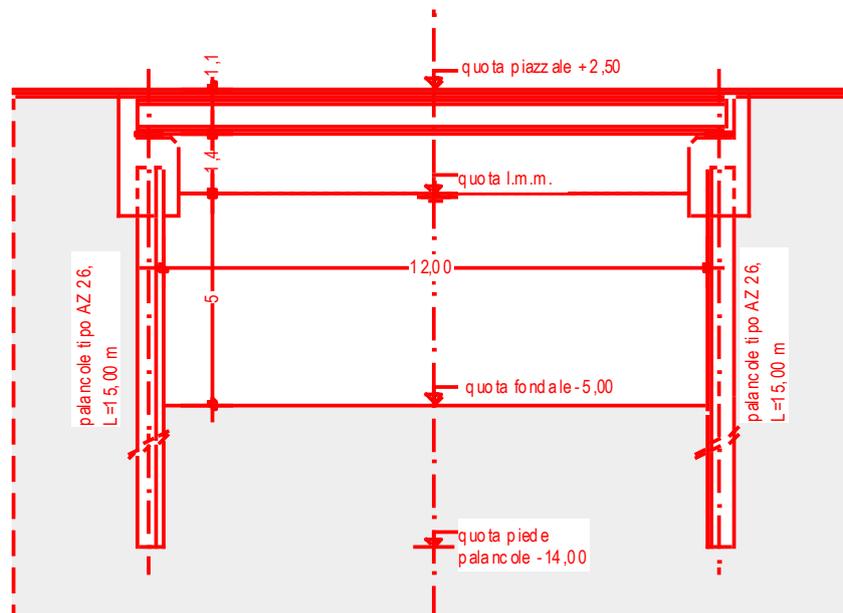


Figura 5.1 - Sezione tipo di riferimento per la darsena coperta alla foce del Fosso Melara, terminal Ravano.

Per il progetto di ampliamento del molo Garibaldi, lungo gli accosti di levante nel secondo bacino portuale, si è optato per una darsena di circa 20 metri interamente a giorno, da realizzarsi ancora in palancole metalliche tirantate in sommità per la parte a sostegno dei nuovi piazzali. Occorre evidenziare come dette soluzioni,



Per il canale Cappelletto, invece, vista la criticità del canale anche dopo la realizzazione di una vasca di laminazione a monte dell'attraversamento ferroviario di via del Cappelletto (aree ex IP), si è optato per sviluppare uno studio idraulico già piuttosto approfondito in fase preliminare, ciò al fine di identificare una sezione di deflusso a valle di Viale S. Bartolomeo che consentisse di ottenere benefici significativi anche nei tratti di canale immediatamente a monte della stessa via.

Di detta progettazione preliminare si è occupato su incarico AP il Prof. Ing. Giorgio Roth, dell'Università di Genova. Alla presente, dunque, si ritiene utile allegare le valutazioni preliminari eseguite ai fini dell'adeguamento idraulico del torrente Cappelletto nel tratto compreso tra Viale S. Bartolomeo e la foce.

5.2 RIO CAPPELLETTO: RELAZIONE IDRAULICA DI ADEGUAMENTO

5.2.1 Premessa

La presente relazione è finalizzata all'identificazione della conformazione da assegnare all'alveo del Rio Cappelletto nel suo tratto terminale, tratto nel quale il corso d'acqua scorre sotto a Viale San Bartolomeo e all'area di pertinenza dell'Autorità Portuale della Spezia fino allo sbocco a mare. La conformazione ricercata dovrà consentire il transito della portata duecentennale. È dapprima analizzato – Capitolo 1 – lo sviluppo recente degli studi e degli interventi che hanno riguardato il Rio Cappelletto. Lo stato attuale, sotto il profilo idraulico, è descritto nel Capitolo 2 mentre quello di progetto è oggetto del Capitolo 3.

Questa relazione non identifica la portata di progetto, specificatamente la portata caratterizzata dal tempo di ritorno duecentennale per il Rio Cappelletto alla foce, ma assume i valori definiti a seguito degli interventi recentemente realizzati nel tratto immediatamente a monte della ferrovia Genova-La Spezia. In particolare, si assume che la realizzazione della vasca di espansione nella zona ex-IP sia in grado di ridurre la portata di piena dal valore 30.6 m³/s definito dal Piano di Bacino al valore 22.6 m³/s, conseguente alla laminazione della piena. È appunto questo valore, $Q_{200}=22.6$ m³/s, che è assunto come portata di progetto per la presente verifica.

5.2.2 Analisi degli studi disponibili

5.2.2.1 Il Piano di Bacino

Il Piano di Bacino stralcio sul rischio idrogeologico per le Aree Ambito 20, cui appartiene il Rio Cappelletto, definisce la portata duecentennale per il tratto posto a valle dell'attraversamento ferroviario ponendola pari a $Q_{200}=30.6$ m³/s. La Figura 2 riporta l'andamento planimetrico della rete idrografica e dello spartiacque del Rio Cappelletto, la Tabella 1 riporta le portate significative per diverse sezioni e per diversi tempi di ritorno mentre la Figura 3 evidenzia come l'area a valle dell'attraversamento ferroviario sia soggetta ad elevata pericolosità per fenomeni di esondazione dai Rii Cappelletto e Rossano.

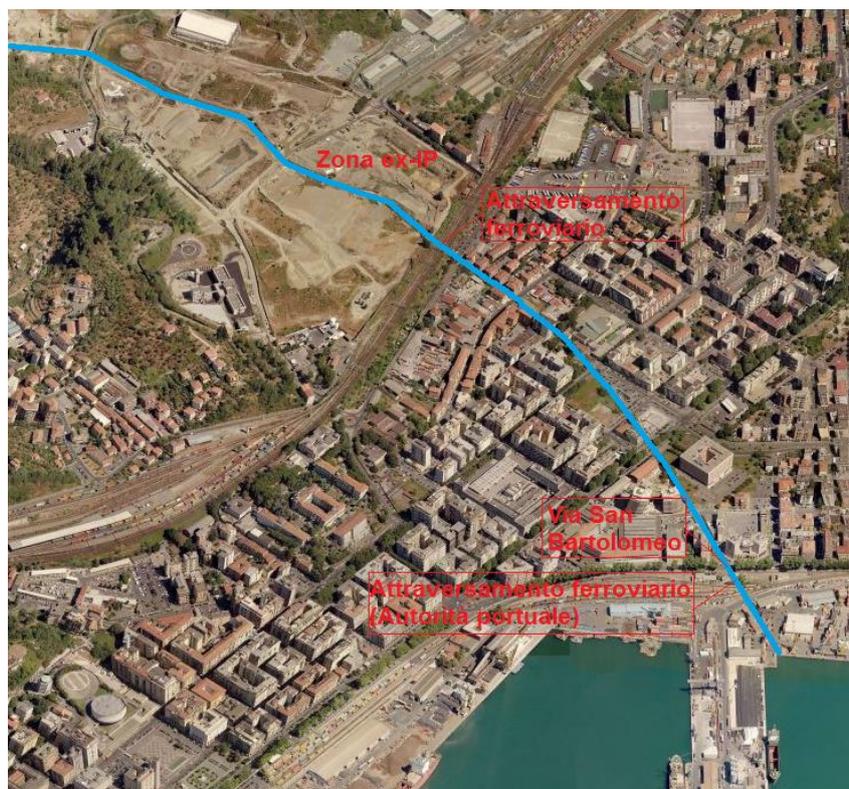


Figura 5.1.2.1 - Inquadramento generale dell'area in esame. Il Rio Cappelletto è evidenziato in azzurro, in rosso gli elementi maggiormente significativi.

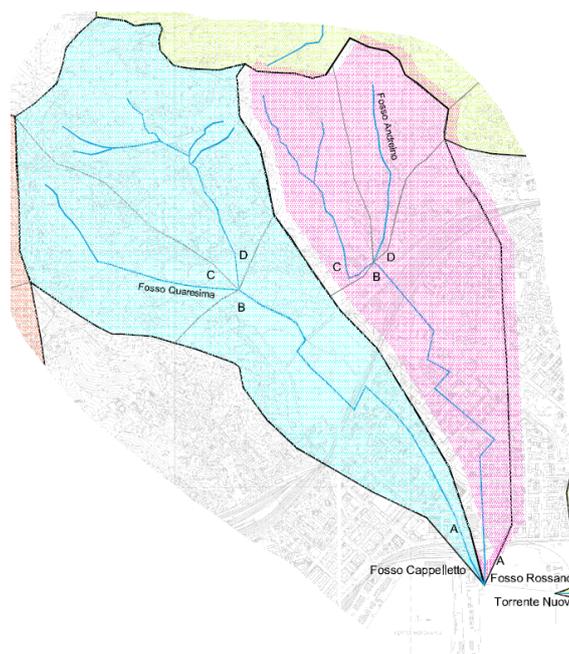


Figura 5.1.2.2 - Estratto dal Piano di Bacino stralcio sul rischio idrogeologico, Aree Ambito 20. Tavola 6 – Carta del reticolo idrografico principale dei Rii Rossano e Cappelletto.



Fosso Cappelletto

Corso d'acqua	Sezioni	Area [km ²]	t _c [min]	T=50		T=200		T=500	
				Metodo Razionale [m ³ /s]		Metodo Razionale [m ³ /s]		Metodo Razionale [m ³ /s]	
Fosso Cappelletto	A	1.62	50	26.2		30.6		33.3	
Fosso Cappelletto	B	1.09	20	25.1		28.8		31.1	
Fosso Quaresima	C	0.45	15	11.6		13.2		14.3	
Fosso Cappelletto	D	0.64	20	14.7		16.9		18.3	

Tabella 5.1.2.1 - Estratto dal Piano di Bacino stralcio sul rischio idrogeologico, Aree Ambito 20. Portate di piena relative alle sezioni di chiusura riportate in Tavola 6 (vedi Figura 2).

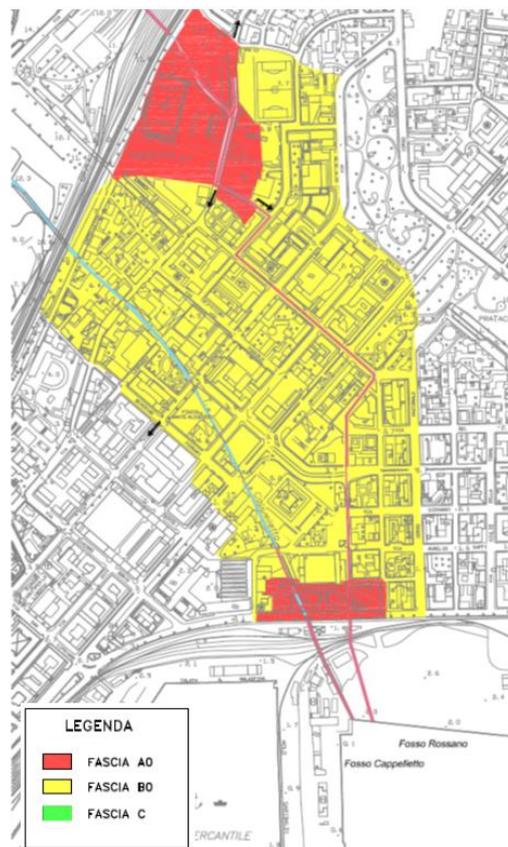


Figura 5.1.2.3 - Estratto dal Piano di Bacino stralcio sul rischio idrogeologico, Aree Ambito 20. Tavola 14 – Fasce d'inondabilità dei Rii Rossano e Cappelletto.

5.2.2.2 Gli studi specifici per il Rio Cappelletto

Studi specifici relativi al Rio Cappelletto, condotti nell'ottobre 2004, evidenziano come le maggiori problematiche idrauliche siano tutte all'interno dell'area compresa tra il rilevato ferroviario e la foce. La situazione maggiormente critica è data dalla copertura del tratto terminale da Viale San Bartolomeo fino allo sbocco. Infatti, la portata 11m³/s può defluire, pur senza franco di sicurezza, per tutto questo tratto ad eccezione della copertura di Viale San Bartolomeo. Le dimensioni degli attraversamenti ferroviari sembrano permettere il



transito di una portata pari a 15 m³/s, con un franco di sicurezza inferiore a quanto richiesto dal Piano di Bacino.

Nelle sue conclusioni, questo documento formula alcune ipotesi d'intervento, fra le quali è privilegiata la realizzazione di una cassa di espansione localizzata nella parte di bacino idrografico posto a monte della linea ferroviaria. Tale intervento non è però in grado di ridurre la portata al colmo di piena a valori tali da consentire il deflusso senza interferenza nel tratto terminale, motivo per cui lo studio riporta come appaia “opportuno considerare un intervento idraulico che uniformi la sezione alle condizioni di deflusso di monte”.



Figura 5.1.2.4 - Rio Cappelletto: il tratto critico da Viale San Bartolomeo fino allo sbocco.



Figura 5.1.2.5 - Rio Cappelletto: imbocco dell'attraversamento di Viale San Bartolomeo.

5.2.2.3 Gli studi per la realizzazione della cassa d'espansione nell'area ex-IP

L'intervento è associato al cambiamento di destinazione d'uso dell'area ex-IP e comprende la rinaturalizzazione del Rio Cappelletto per il tratto che è inserito in quest'area. La soluzione progettuale prevede l'inserimento di una cassa di espansione in derivazione, costituita dall'opportuna sagomatura dell'area a verde collocata in sponda destra (Figura 6). Riducendo la portata defluente, questo intervento consente di ridurre il rischio idraulico nell'area urbana interessata dal corso d'acqua, a valle della linea ferroviaria. L'analisi idrologica parte dall'identificazione dell'idrogramma di piena duecentennale nella sezione dell'attraversamento ferroviario, in uscita dall'area ex-IP. La portata di picco di 29.1 m³/s risulta in linea con le previsioni del Piano di Bacino.

La modellazione idraulica complessiva condotta nello studio ora in esame ha consentito di disegnare una cassa d'espansione in grado di abbattere il valore di portata al colmo dell'onda di piena, riducendolo a quello che è in grado di transitare nella sezione del rilevato ferroviario in assenza di franco di sicurezza. A seguito della realizzazione dell'intervento relativo alla cassa d'espansione nell'area ex-IP, la portata di piena duecentennale che transita a valle della linea ferroviaria è quindi ridotta al valore $Q_{200}=22.6$ m³/s.

Resta da notare come il valore $Q_{200}=22.6$ m³/s sia comunque ben superiore alla portata di 11m³/s che, secondo gli studi specifici condotti per il Rio Cappelletto (vedi 1.2) possono defluire, pur senza franco di sicurezza, per tutto il tratto valle della linea ferroviaria, sempre ad eccezione della copertura di Viale San Bartolomeo. Permane, conseguentemente, l'elevata pericolosità che caratterizza l'area urbana.



Figura 5.1.2.6 Schema planimetrico con ubicazione delle sezioni e della cassa di espansione.

5.2.2.4 Elementi essenziali dedotti dagli studi precedenti

Il Piano di Bacino identifica la portata $Q=30.6$ m³/s come portata duecentennale nel tratto del Rio Cappelletto dal rilevato ferroviario fino allo sbocco (Tabella 1). Tale portata provoca lo scenario d'inondazione di Figura 3.



Gli studi specifici condotti per il Rio Cappelletto (ottobre 2004) specificano che la portata $Q=11$ m³/s può defluire senza franco di sicurezza nel tratto che va dal rilevato ferroviario fino allo sbocco, ad eccezione della copertura di Viale San Bartolomeo, che risulta essere la sezione maggiormente critica. Lo stesso studio stima che le sezioni dell'attraversamento ferroviario di monte consentono il deflusso di 15 m³/s con franco di sicurezza ridotto.

La relazione idraulica relativa agli interventi nell'area Ex-IP (febbraio 2008) stima che, grazie alla cassa di espansione, a valle dell'attraversamento ferroviario la portata duecentennale si riduce a $Q_{200}=22.6$ m³/s. Secondo tale studio questo valore di portata transita sotto il rilevato ferroviario di monte con franco di sicurezza nullo. Lo studio conferma che tale portata non può defluire nelle sezioni della zona di foce, in particolare sotto a Viale San Bartolomeo e all'area dell'Autorità Portuale.

5.2.3 Profilo idrico nello stato attuale

L'analisi dell'andamento spaziale del profilo idrico della corrente è stata condotta con riferimento ad un modello di moto permanente delle correnti a pelo libero assumendo le sezioni già utilizzate nel febbraio 2008, integrate da un rilievo appositamente realizzato per lo sbocco a mare. Coerentemente con le prescrizioni del Piano di bacino è stato assunto un coefficiente di scabrezza secondo Strikler pari a $k_s=35$ m^{1/3} s⁻¹. La modellazione è condotta assumendo l'ipotesi di argini infiniti, secondo la quale la corrente idrica è artificialmente contenuta all'interno dell'alveo da sponde di altezza indefinita, caratterizzate da un coefficiente di scabrezza nullo. Le quote di pelo libero descritte dal modello nelle sezioni in cui questo abbia a superare le sponde sono quindi da considerare indicative di una pericolosità per le zone confinanti l'alveo, che saranno inondate. Allo stesso modo, aver artificialmente impedito l'esondazione trasferisce verso valle portate idriche superiori a quelle che si avrebbero ponendo in conto i fenomeni d'inondazione che, permettendo la sottrazione di parte della portata di piena, ne riducono l'impatto sulle sezioni di valle. Quest'assunzione, pur severa, è giustificata in un'ottica di progressivo adeguamento delle sezioni del corso d'acqua a contenere le portate aventi tempo di ritorno duecentennale e garantisce che quanto si va oggi a realizzare sia adeguato anche in futuro, a seguito appunto del progressivo adeguamento delle sezioni idriche anche nel tratto di monte. La quota del pelo libero allo sbocco a mare è posta a 0.50 m s.l.m. in modo tale da porre in conto del sovrizzo di marea e dell'effetto del moto ondos.

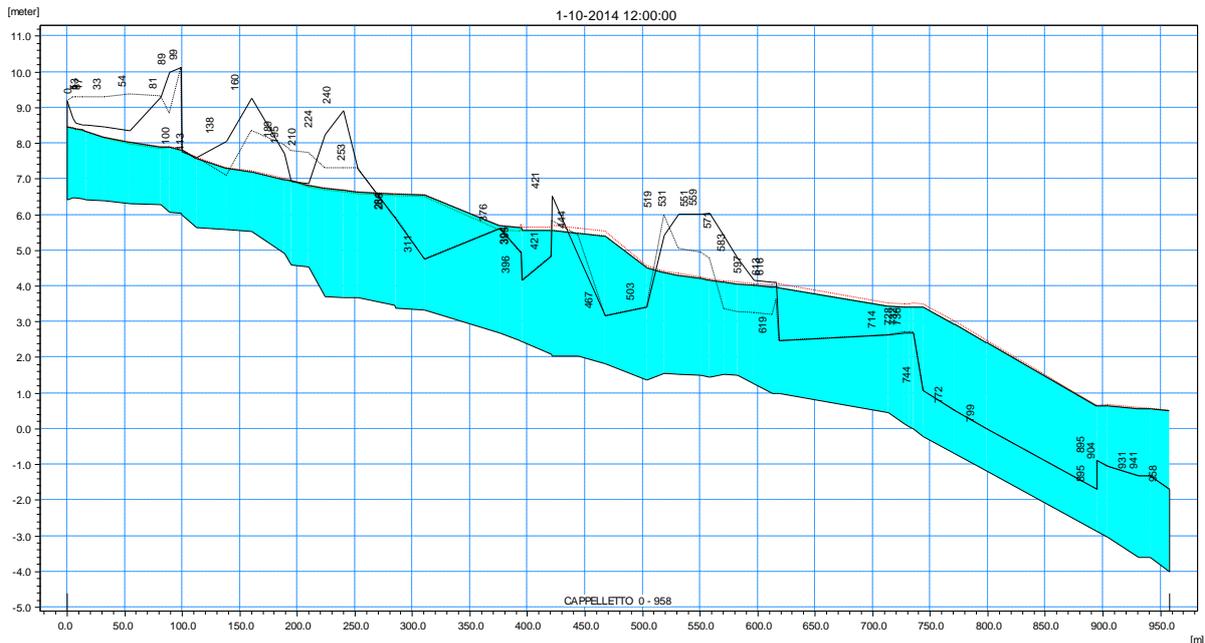


Figura 5.1.2.7 - Profilo di corrente per $Q_{200}=22.6$ m³/s nell'alveo del Rio Cappelletto per il tratto a valle del rilevato ferroviario. La simulazione è condotta in moto permanente sotto l'ipotesi di argini infinitamente alti assumendo un coefficiente di Strikler pari a $ks=35$ m^{1/3} s⁻¹.

I risultati ottenuti sono riassunti graficamente in Figura 7, dalla quale emerge chiaramente come l'alveo del Rio Cappelletto sia caratterizzato da una conformazione particolarmente complessa sia per il fondo alveo sia per la quota delle sponde. In molti tratti, e in particolare in quello terminale, la dimensione delle sezioni trasversali è tale da non contenere il deflusso della portata duecentennale, pur ridotta al valore $Q_{200}=22.6$ m³/s, che darà quindi luogo ad inondazioni del centro abitato.

5.2.4 Profilo idrico nello stato di progetto

Lo stato di progetto è conseguente all'intervento nel tratto terminale del Rio Cappelletto a partire dal breve tratto scoperto posto a monte dell'attraversamento di Viale San Bartolomeo incluso, fino allo sbocco a mare, così come rappresentato schematicamente in Figura 8 e 9. La quota del piazzale nell'area di pertinenza dell'Autorità Portuale è vincolata a quella dei binari ferroviari e pari a 2.50 m s.l.m., l'assunzione di uno spessore complessivo dell'impalcato sovrastante il corso d'acqua pari a 0.70 m porta ad una quota d'intradosso pari a 1.80 m s.l.m. Maggiormente problematico appare l'attraversamento di Viale San Bartolomeo. La quota attuale del piano strada, stimata pari a 1.50 m s.l.m. consentirebbe ipoteticamente il rispetto di un franco di sicurezza 1 metro con quota mare posta a 0.50 m s.l.m. solo con spessore nullo dell'impalcato e perdite di carico trascurabili. Si è quindi ipotizzato un rialzo del piano stradale a quota 2.20 m s.l.m. con spessore dell'impalcato pari a 0.40 m.



Figura 5.1.2.8 - Rio Cappelletto: il tratto oggetto d'intervento.



Figura 9. Rio Cappelletto: il tratto oggetto d'intervento.

Per quanto riguarda specificatamente il corso d'acqua, è adottata una sezione rettangolare di larghezza pari a 6 metri con un andamento del fondo alveo che, a partire dalla quota 0.12 m s.l.m. (sezione posta alla progressiva 727.70 m, 14 metri a valle dello sbocco della copertura Coop) porta con andamento rettilineo a pendenza costante, alla quota -4 m s.l.m. allo sbocco a mare (sezione posta alla progressiva 957.88 m).

I risultati ottenuti dalla modellazione del deflusso della corrente idrica in corrispondenza al transito della portata $Q_{200}=22.6$ m³/s sono riportati graficamente in Figura 10. Tutti i parametri e le ipotesi di modellazione sono inalterati rispetto a quanto descritto al Capitolo 2. I corrispondenti valori numerici costituiscono l'Allegato 1 alla presente relazione. La Figura 11 è un ingrandimento delle condizioni di deflusso che si determinano allo sbocco, con indicazione esplicita delle quote che caratterizzano gli intradossi e gli estradossi in corrispondenza di Viale San Bartolomeo e del piazzale dell'Autorità Portuale, quote non riportate in Figura 9.

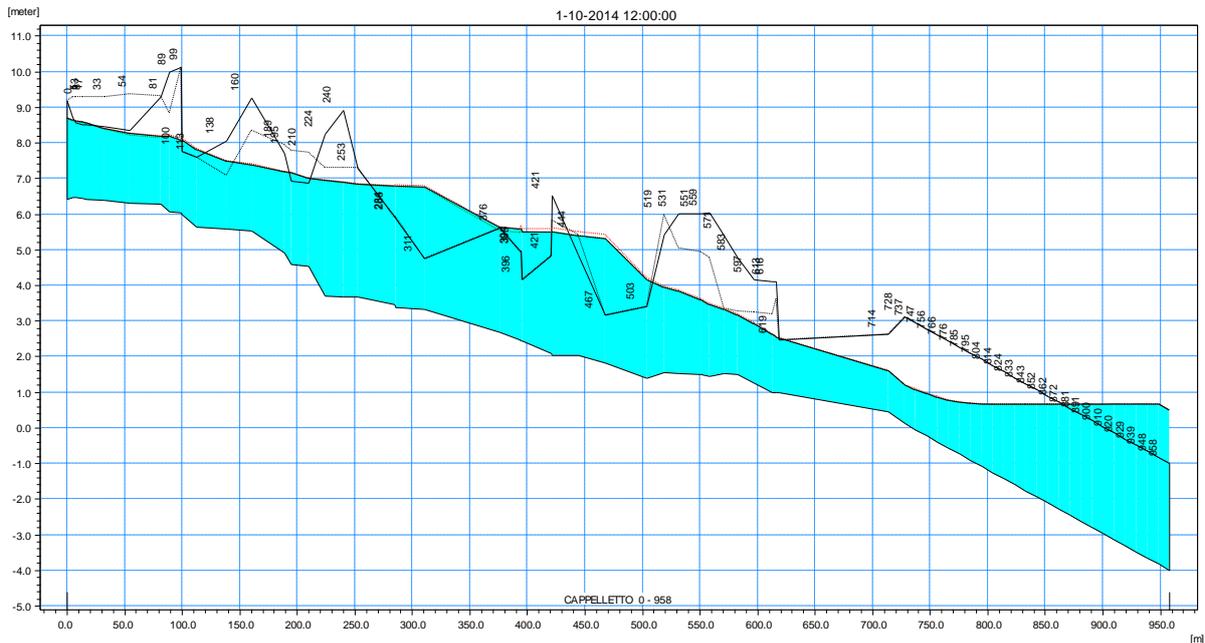
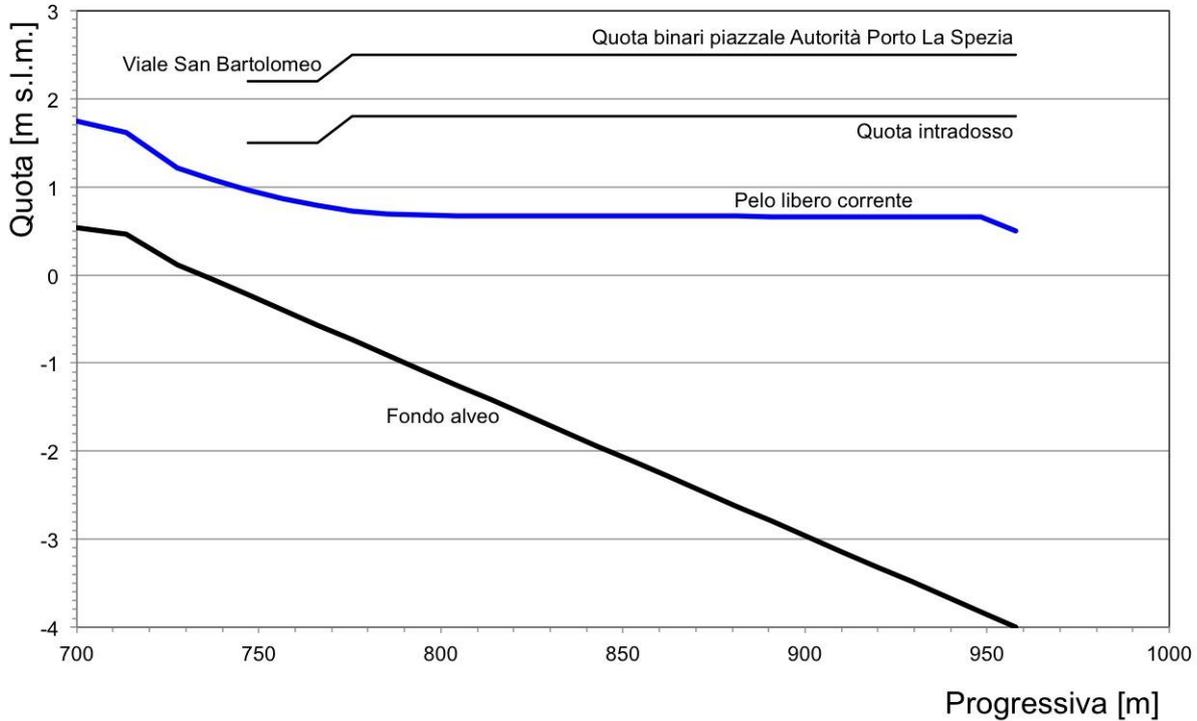


Figura 5.1.2.10 - Profilo di corrente per $Q_{200}=22.6 \text{ m}^3/\text{s}$ nell'alveo del Rio Cappelletto per il tratto a valle del rilevato ferroviario nella conformazione di progetto. La simulazione è condotta in moto permanente sotto l'ipotesi di argini infinitamente alti assumendo un coefficiente di Strikler pari a $k_s=35 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$.

5.2.5 Conclusioni

L'alveo del Rio Cappelletto nel suo tratto terminale, nel quale il corso d'acqua scorre sotto a Viale San Bartolomeo e all'area di pertinenza dell'Autorità Portuale della Spezia fino allo sbocco a mare, è riconosciuto da diversi studi come il maggiormente critico. La presente relazione ne propone la modifica dalla sezione posta 14 metri a valle della copertura Coop fino allo sbocco a mare, che è posto a quota -4 m s.l.m. In questo tratto la pendenza del fondo sarà costante, così come la larghezza d'alveo, definita pari a 6 metri.

Dall'analisi dei risultati presentati alle Figure 10 e 11 e dei relativi valori numerici, riportati in Allegato, si desume come l'ipotesi progettuale proposta consente il transito della portata di piena caratterizzata da tempo di ritorno duecentennale, pari a $Q_{200}=22.6 \text{ m}^3/\text{s}$, senza interferenza con le strutture di attraversamento di Viale San Bartolomeo e dell'impalcato del piazzale dell'Autorità Portuale. La quota del pelo libero determina un franco di sicurezza pari a 1.10 m nel tratto del piazzale dell'Autorità Portuale e variabile fra 0.8 e 1.0 metri in corrispondenza all'attraversamento di Viale San Bartolomeo. Un auspicabile incremento di questi ultimi valori dovrà essere verificato rispetto all'ipotesi d'ulteriore aumento della quota del piano strada in Viale San Bartolomeo, pur limitata dalle pendenze adottabili per la categoria di strada e dalla presenza di accessi veicolari limitrofi all'area d'intervento.



Figura

Figura 5.1.2.11 - Profilo di corrente per $Q_{200}=22.6$ m³/s nell'alveo del Rio Cappelletto per il tratto terminale oggetto d'intervento nella conformazione di progetto. La simulazione è condotta in moto permanente sotto l'ipotesi di argini infinitamente alti assumendo un coefficiente di Strikler pari a $k_s=35$ m^{1/3} s⁻¹.

Allegato 1

Rio Cappelletto – Profilo di corrente per T=200 anni –

Stato di progetto (Sezioni a monte dell'intervento in studio)

ID Sezione	Progressiva [m]	Portata totale [m ³ /s]	Fondo Alveo [m]	Pelo libero [m s.l.m.]	Energia [m s.l.m.]
45	0	22.6	6.4	8.7	9.0
44	5.3	22.6	6.5	8.7	9.0
43	7.8	22.6	6.5	8.6	9.1
42	13.3	22.6	6.4	8.6	9.1
41	17	22.6	6.4	8.6	9.1
40	33	22.6	6.4	8.4	8.8
39	54.2	22.6	6.3	8.3	8.6
38	81.2	22.6	6.3	8.2	8.4
37	89.3	22.6	6.1	8.2	8.3
36	98.8	22.6	6.0	8.1	8.4
35	99.9	22.6	6.0	8.1	9.0
34	112.5	22.6	5.6	7.8	8.4
33	138.4	22.6	5.6	7.5	7.8
32	160.4	22.6	5.5	7.4	7.9
31	188.9	22.6	4.9	7.2	7.6
30	194.5	22.6	4.6	7.2	7.7
29	210.1	22.6	4.5	7.0	7.5
28	224.2	22.6	3.7	7.0	7.1
27 bis	240.1	22.6	3.7	6.9	7.1
27	253	22.6	3.7	6.8	7.1
26	284.4	22.6	3.5	6.8	7.0
25	285.7	22.6	3.4	6.8	7.0
24	310.5	22.6	3.3	6.8	7.7
23	375.9	22.6	2.7	5.6	5.9



22 bis	393.8	22.6	2.5	5.6	5.8
22	394.5	22.6	2.4	5.7	5.7
21	395.5	22.6	2.4	5.6	5.9
20	420.5	22.6	2.1	5.6	5.7
19	421.1	22.6	2.0	5.6	5.7
18	444.2	22.6	2.0	5.5	5.8
17	467.2	22.6	1.8	5.4	6.9
16	503.4	22.6	1.4	4.2	5.0
15	518.8	22.6	1.6	4.0	4.5
14	531.2	22.6	1.5	3.9	4.5
13	550.5	22.6	1.5	3.6	4.4
12	558.6	22.6	1.5	3.5	4.1
11	570.6	22.6	1.5	3.4	4.1
10	582.6	22.6	1.5	3.2	4.0
9	597	22.6	1.3	2.9	3.9
8	612.7	22.6	1.0	2.6	3.8
7	615.9	22.6	1.0	2.6	3.3
6	618.7	22.6	1.0	2.5	3.0
5	713.7	22.6	0.5	1.6	2.9



**Rio Cappelletto – Profilo di corrente per T=200 anni –
Stato di progetto (Sezioni intervento in studio)**

Sezioni intervento in progetto

Autorità Portuale

ID Sezione	Progressiva [m]	Portata totale [m ³ /s]	Fondo Alveo [m]	Pelo libero [m s.l.m.]	Franco [m]	Energia [m s.l.m.]	Velocità [m/s]	Numero di Froude [-]
4	727.7	22.6	0.1	1.2	0.6	1.8	3.5	1.1
3	737.29	22.6	-0.1	1.1	0.7	1.7	3.4	1.0
2	746.88	22.6	-0.2	1.0	0.8	1.5	3.2	1.0
1	756.47	22.6	-0.4	0.9	0.9	1.3	3.1	0.9
0	766.06	22.6	-0.6	0.8	1.0	1.2	2.9	0.8
-1	775.65	22.6	-0.7	0.7	1.1	1.1	2.7	0.7
-2	785.24	22.6	-0.9	0.7	1.1	1.0	2.4	0.6
-3	794.84	22.6	-1.1	0.7	1.1	0.9	2.2	0.5
-4	804.43	22.6	-1.3	0.7	1.1	0.9	2.0	0.5
-5	814.02	22.6	-1.4	0.7	1.1	0.8	1.9	0.4
-6	823.61	22.6	-1.6	0.7	1.1	0.8	1.7	0.4
-7	833.2	22.6	-1.8	0.7	1.1	0.8	1.6	0.3
-8	842.79	22.6	-1.9	0.7	1.1	0.8	1.5	0.3
-9	852.38	22.6	-2.1	0.7	1.1	0.8	1.4	0.3
-10	861.97	22.6	-2.3	0.7	1.1	0.8	1.3	0.2
-11	871.56	22.6	-2.5	0.7	1.1	0.7	1.3	0.2
-12	881.15	22.6	-2.6	0.7	1.1	0.7	1.2	0.2
-13	890.74	22.6	-2.8	0.7	1.1	0.7	1.1	0.2
-14	900.34	22.6	-3.0	0.7	1.1	0.7	1.1	0.2
-15	909.93	22.6	-3.1	0.7	1.1	0.7	1.0	0.2
-16	919.52	22.6	-3.3	0.7	1.1	0.7	1.0	0.2
-17	929.11	22.6	-3.5	0.7	1.1	0.7	0.9	0.1
-18	938.7	22.6	-3.7	0.7	1.1	0.7	0.9	0.1
-19	948.29	22.6	-3.8	0.7	1.1	0.7	0.9	0.1
-20	957.88	22.6	-4.0	0.5	1.3	0.9	2.6	0.1