COMUNE DI GENOVA

DIREZIONE INFRASTRUTTURE E DIFESA DEL SUOLO
SETTORE ATTUAZIONE OPERE IDRAULICHE

TITOLO

ADEGUAMENTO IDRAULICO DEL TRATTO TERMINALE DEL TORRENTE NERVI

LIVELLO DI PROGETTAZIONE **PROGETTO DEFINITIVO**

REV.	DATA	DESCRIZIONE DELLA REVISIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO
0	APR 2019	PRIMA EMISSIONE	Ing. G. Grosso	Ing. L. Corona	Ing. G. Nobile

AMMINISTRAZIONE PROPONENTE
COMUNE DI GENOVA

OGGETTO

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

R001

SCALA
-

RESP. UNICO DI PROCEDIMENTO
Arch. Roberto Valcalda

COORDINATORE PROGETTO
Ing. G. Nobile

ORDINE DEGLI INGEGNERI DI GENOVA
DOTT. ING. Nobile Giampiero
Sez. A Settori: a) civile e ambientale b) industriale c) dell'informazione
N° 10393A

GRUPPO DI PROGETTO
Ing. G. Nobile
Ing. L. Corona
Ing. G. Grosso

CONSULENZA GEOTECNICA
Ing. M. Leoni

CONSULENZA GEOLOGICA
Dott. Geol. F. Ceccarelli

RILIEVO
Ing. G. Nobile

COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE
Ing. A. De Bastiani

NOME FILE	NOME LAYOUT	FILE STAMPA
CGE02-D-G201R001_0.pdf	-	CGE02-D.ctb

CODICE COMMESSA	DOC.N.	SCALA DI STAMPA	FORMATO	FOGLIO
C G E 0 2	G 2 0 1 R	-	-	1 DI 1

Informazioni Cliente/Progetto	
CLIENTE	**COMUNE DI GENOVA** **DIREZIONE INFRASTRUTTURE E DIFESA DEL SUOLO** **SETTORE ATTUAZIONE OPERE IDRAULICHE** **16149 – GENOVA – Via di Francia, 3**
DOCUMENTO	**ADEGUAMENTO IDRAULICO DEL TRATTO TERMINALE DEL TORRENTE NERVI** **PROGETTO DEFINITIVO** **RELAZIONE TECNICA ILLUSTRATIVA**
PROJECT NUMBER	-
RIFERIMENTO CLIENTE	-

STATO	**DIMENSIONI**	**TIPO DOCUMENTO**	**NUMERO IDENTIFICAZIONE**			
	A4	-	**CGE02-D-G201R001**			
	SCALA	**STATO DOCUMENTO**	**LINGUA**	**REVISIONE**	**DATA**	**PAGINE**
	NESSUNA	-	IT	0	16/04/2019	48

ORDINE DEGLI INGEGNERI DI GENOVA
DOTT. ING. Nobile Giampiero
Sez. A Settori:
a) civile e ambientale
b) industriale
c) dell'informazione
N° 10393A

REVISIONE	**DATA**	**NOTE**	**CREATO**	**CONTROLLATO**	**APPROVATO**
0	16/04/2019	Prima Emissione	Nobile	Corona	Grosso

Via Sottoripa 1A/121, 16124 GENOVA (Italy) - Tel. (+39) 010 8698603 – Fax (+39) 010 8698604
P.IVA (VAT) 01861820999 - email: info@oacingegneria.com – www.oacingegneria.com

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE 4

1.1. NORMATIVA E LINEE GUIDA 5

1.2. DOCUMENTAZIONE 6

2. INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA DI INTERVENTO 8

2.1. LOCALIZZAZIONE E DESCRIZIONE DEL TRATTO DI INTERVENTO 8

2.2. CLASSIFICAZIONE E PREVISIONE SECONDO IL PIANO DI BACINO 9
2.2.1. CARATTERISTICHE DEL BACINO DEL TORRENTE NERVI 9
2.2.1.1. CARATTERISTICHE IDROLOGICHE 9
2.2.1.2. LITOLOGIA 9
2.2.1.3. MORFOLOGIA 9
2.2.1.4. IDROGEOLOGIA 9
2.2.1.5. AREE INONDABILI 10
2.2.1.6. PIANO DEGLI INTERVENTI PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO 10

2.3. CLASSIFICAZIONE E PREVISIONE SECONDO IL P.U.C. 11

2.4. TUTELA DI BENI CULTURALI, AMBIENTALI E PAESAGGISTICI - VINCOLI 12
2.4.1. BENI CULTURALI 12
2.4.2. BENI AMBIENTALI 12

2.5. STUDIO ORGANICO DI INSIEME (SOI) 12

3. STATO ATTUALE – RILIEVO E CONOSCENZE ACQUISITE 13

3.1. RILIEVO IN SITO 13

3.2. CARATTERISTICHE DELL'ALVEO DEL TORRENTE 14

3.3. MANUFATTI PRESENTI IN ALVEO 14

4. ANALISI IDRAULICHE EFFETTUATE 21

4.1. STATO ATTUALE 21

4.2. STATO DI PROGETTO 22
4.2.1. SCENARIO 1 22
4.2.1.1. SOPRAELEVAZIONE ARGINALE 22
4.2.1.2. PROFILO STAZIONARIO 23
4.2.2. SCENARIO 2 25
4.2.2.1. SOPRAELEVAZIONE ARGINALE 26
4.2.2.2. CANALIZZAZIONE TRATTO DI VALLE 29
4.2.2.3. PROFILO STAZIONARIO DI PROGETTO 32

4.2.2.4. EQUILIBRIO MORFODINAMICO DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE 34
4.2.2.5. DEFINIZIONE DELLE QUOTE ARGINALI 38

4.3. STIMA TEMPORALE DELL'EVOLUZIONE VERSO L'EQUILIBRIO 40

4.4. OPERE DI DIFESA SPONDALE E NUOVO SALTO DI FONDO 46

5. INDICE DELLE FIGURE 47

6. INDICE DELLE TABELLE 48

1. INTRODUZIONE

Con Protocollo n°PG102095 in data 27/03/2017, il Comune di Genova ha incaricato il Sottoscritto per redigere la progettazione dell'Intervento di Adeguamento Idraulico del tratto terminale del torrente Nervi, per una lunghezza di circa 250 metri, dall'attuale porticciolo sino allo sbocco della copertura sottostante via Oberdan.

L'intervento progettuale consiste essenzialmente nella realizzazione di nuove arginature in sponda destra e in sponda sinistra in grado di contenere la piena, avente un tempo di ritorno duecentennale, con i franchi minimi previsti da Normativa.

Al fine di consentire una significativa riduzione dell'altezza delle arginature e rendere l'intervento meno impattante dal punto di vista architettonico e strutturale permettendo, quindi, l'integrazione di quest'ultimo nel contesto del tratto focivo del torrente Nervi, come ulteriore componente del progetto di adeguamento idraulico, è stato previsto l'abbassamento dell'alveo in un tratto che si protragga dall'attuale porticciolo, verso monte, sino ad una sezione posizionata poco più a valle dell'attuale stazione di sollevamento della fognatura nera transitante sotto alveo.

Di concerto con la messa in sicurezza idraulica del tratto oggetto di intervento, le esigenze dell'Amministrazione sono volte anche alla realizzazione di un canale navigabile, fruibile da piccole imbarcazioni a ridotto pescaggio, che possa valorizzare la possibilità di sviluppo dell'area e le sue caratteristiche ambientali e naturalistiche.

1.1. NORMATIVA E LINEE GUIDA

DOCUMENTO		*RIFERIMENTO*
Piano di Bacino del Torrente Nervi	*Modificato con D.G.P. n°124 del 22/09/2014*	[1]
Manuale di Morfodinamica Fluviale	*DICAT - Relazione n°34/2008 – REGIONE LIGURIA*	[2]
Ruolo della morfodinamica fluviale nei problemi di pianificazione di bacino e di progettazione idraulica	*DICAT - Relazione n°15/2008 – REGIONE LIGURIA*	[3]
Determinazione delle scale di deflusso in corrispondenza di stazioni di misura idrometrica ed effetti della morfodinamica	*DICAT - 03/2008 – REGIONE LIGURIA*	[4]
Manuale Tecnico-Operativo per la valutazione e il monitoraggio dello stato morfologico dei corsi d'acqua	*IDRAIM - 03/2011 - ISPRA*	[5]
SEDIMENT TRANSPORT MORPHODYNAMICS	*11/2004 – Gary Parker*	[6]
Criteri ed indirizzi tecnici per la verifica e valutazione delle portate e degli idrogrammi di piena attraverso studi idrologici di dettaglio nei bacini idrografici liguri	*DGR359/2008*	[7]
Soil Conservation Service, National Engineering Handbook, SEC.4, HYDROLOGY, Rev. Ed. U.S. Department of Agriculture, Washington D.C., U.S.A., 1986		[8]
Rodriguez-Iturbe I., The Geomorphologic Structure of Hydrologic Response, Water Resour. Res., 15(6), 1409-1420, 1979		[9]
Rodriguez-Iturbe I., A geomorphoclimatic Theory of the Instantaneous Unit Hydrograph, Water Resour. Res., 18(4), 877-886, 1982		[10]
Rosso R., Nash model relation to Horton order ratios, Water Resour. Res., 20(7), 914-920, 1984		[11]
Rosso R., Rulli M.C., Tabella di associazione uso del suolo, 2006		[12]
Rapporto CIMA		[13]
Studio Organico d'Insieme per la valorizzazione dell'area costiera Quinto – Porticcioli di Nervi	*00422/2010*	[14]

1.2. DOCUMENTAZIONE

La presente relazione illustrativa fa riferimento ai seguenti documenti, parte integrante del progetto definitivo.

PARTE GENERALE – G

G200R	R000	Elenco documenti	[G]
G201R	R001	Relazione tecnica illustrativa	
G202R	R002	Relazione geologica	
G203R	R003	Relazione geotecnica	
G204R	R004	Relazione idraulica	
G205R	R005	Relazione di calcolo strutturale e sismico	
G206R	R006	Documento propedeutico alla redazione del Piano di Sicurezza e Coordinamento	
G207R	R007	Quadro economico	
G201T	T001	Rilievo dello stato di fatto	
G202T	T002	Corografia - Planimetria catastale e CTR	
G203T	T003	Piano di bacino - PUC	
G204T	T004	Planimetria generale con individuazione delle opere	
G205T	T005	Viste longitudinali argine destro e sinistro	
G206T	T006	Sezioni tipologiche	
G207T	T007	Planimetria demolizioni	
G208T	T008	Cronoprogramma delle fasi attuative	

STUDI, INDAGINI, RILIEVI – R

R201R	R008	Indagini geologiche e geotecniche - Rapporto finale	[R]
R202R	R009	Studio preliminare ambientale	
R203R	R010	Relazione naturalistica	
R204R	R011	Relazione paesaggistica	
R205R	R012	Relazione archeologica	
R206R	R013	Documentazione fotografica	
R201T	T009	Planimetria indagini geognostiche e geotecniche	

PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA – A

A201T	T020	Planimetria opere a verde - Prescrizioni SOI	[A]
A202T	T021	Rendering - Ponte Romanico	
A203T	T022	Rendering - Sponda destra	
A204T	T023	Rendering - Sponda sinistra	
A205T	T024	Rendering - Foce	
A206T	T025	Dettagli e particolari costruttivi	

PROGETTAZIONE IDRAULICA – I

I201T	T030	Profilo longitudinale argini destro e sinistro - Stato di fatto	[I]
I202T	T031	Profilo longitudinale argini destro e sinistro - Stato di progetto	
I203T	T032	Profilo longitudinale argini destro e sinistro - Confronto all'equilibrio	
I204T	T033	Sezioni idrauliche - Sez 12-7 - Stato di fatto	
I205T	T034	Sezioni idrauliche - Sez 6-0.5 - Stato di fatto	
I206T	T035	Sezioni idrauliche - Sez 12-7 - Stato di progetto	
I207T	T036	Sezioni idrauliche - Sez 6-0.5 - Stato di progetto	

PROGETTAZIONE GEOTECNICA E STRUTTURALE – S

S201T	T040	Sezioni tipiche argini	[S]
S202T	T041	Pianta e sezioni briglia di ritenuta	
S203T	T042	Planimetria tracciamento micropali e tiranti	

CANTIERIZZAZIONE – C

C201R	R022	Relazione sulla cantierizzazione	[C]
C201T	T050	Quaderno fasi di cantierizzazione	
C202T	T051	Cronoprogramma delle lavorazioni	

RISOLUZIONE INTERFERENZE – Y

Y201R	R014	Relazione sui sottoservizi	[Y]
Y201T	T060	Rete fognatura bianca, gas e acqua - Planimetria stato di fatto	
Y202T	T061	Reti Telecom, Fastweb e fibre ottiche, ENEL - Planimetria stato di fatto	
Y203T	T062	Rete fognatura nera - Planimetria stato di fatto	
Y207T	T063	Rete fognatura nera - Risoluzione interferenze	
Y208T	T064	Rete di raccolta acque bianche - Risoluzione interferenze	
Y209T	T065	Reti Telecom, Fastweb e fibre ottiche, ENEL - Risoluzione interferenze	

COMPUTO METRICO ESTIMATIVO – W

W201R	R015	Computo metrico estimativo	[W]
W202R	R016	Elenco prezzi unitari	
W203R	R017	Analisi dei prezzi	
W204R	R018	Stima oneri di sicurezza	

SCHEMA DI CONTRATTO E CAPITOLATO SPECIALE DI APPALTO – D

D201R	R021	Capitolato speciale di appalto	[D]

2. INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA DI INTERVENTO

Gli estratti cartografici che consentono l'individuazione e la definizione dell'intera area di intervento, con riferimento agli aspetti di interesse e secondo gli strumenti urbanistici in vigore, sono raccolti nelle tavole [G], parti integranti del presente progetto definitivo.

Il tratto d'interesse è, inoltre, ampiamente descritto nella documentazione [R], parte integrante del presente progetto definitivo.

2.1. LOCALIZZAZIONE E DESCRIZIONE DEL TRATTO DI INTERVENTO

La lunghezza complessiva del tratto d'interesse è pari a circa 250[m] e presenta il seguente andamento [G]: pressoché rettilineo, per circa 70[m], dallo sbocco della copertura verso valle; curvilineo (con raggio di curvatura di circa 40[m]) proseguendo verso valle per altri 90[m]; leggermente curvilineo con andamento regolare per i successivi 90[m] circa fino allo sbocco nel porticciolo.

Localmente, la continuità tra la viabilità pedonale in sponda destra e sinistra è assicurata dal ponte romanico che collega Via Ganduccio e Via Sarfatti: il ponte interferisce con il regolare deflusso della portata di piena duecentennale, avendo una pila fondata nell'area golenale destra. Sulle due sponde le aree pedonali hanno la principale funzione di consentire l'accesso ai locali privati che delimitano, per tutto il tratto, l'alveo del torrente e, attualmente, fungono essi stessi da arginature.

In sponda destra, per circa 90[m] a valle dello sbocco della copertura, è presente una piccola area golenale, incolta con vegetazione arbustiva che rimane confinata tra l'argine in calcestruzzo della sponda destra, che delimita l'alveo di magra, e l'argine in pietrame avente sommità a quota superiore, che individua l'alveo di piena. Sulla superficie della predetta golena, a valle del ponte, sono visibili i chiusini che permettono l'accesso alla stazione di sollevamento. Proseguendo verso valle, sempre in sponda destra, si sussegue una serie di edifici-argine che presentano accessi ai locali condominiali (porte e finestre) esposti alle portate di piena.

In sponda sinistra, invece, a valle della casa localizzata in prossimità della sezione n°8, l'argine coincide con il muro di sostegno che sostiene la terrazza soprastante situata mediamente a quota 6.0[m slm].

Tra le sezioni n°1 e n°2, circa 15[m] a monte dello sbocco a mare del torrente, c'è l'attraversamento del ponte della ferrovia che però non interferisce con il regolare deflusso della portata avendo entrambe le pile fondate al di fuori dell'alveo e l'impalcato a quote notevolmente superiori al livello di piena.

Nel tratto di interesse, il torrente Nervi non riceve le acque di alcun affluente eccetto quelle provenienti dalle condotte che raccolgono le acque meteoriche.

2.2. CLASSIFICAZIONE E PREVISIONE SECONDO IL PIANO DI BACINO

Il Piano di Bacino Stralcio sul rischio idrogeologico [1], Ambito Regionale di Bacino 14, che comprende il bacino del Torrente Nervi è stato approvato con D.C.P. n°66 del 12/12/2002.

2.2.1. CARATTERISTICHE DEL BACINO DEL TORRENTE NERVI

Il bacino del Torrente Nervi si estende da altitudini variabili dalla quota del mare, sino alla quota di circa 846 [m slm] (Monte Bastia). L'asta principale del torrente Nervi ha una lunghezza totale di circa 5,4[Km]. La superficie del bacino è pari a circa 9.4 [Km^2], come indicato negli estratti cartografici [G].

2.2.1.1. CARATTERISTICHE IDROLOGICHE

I valori della portata di piena Q (riferiti alla sezione di chiusura allo sbocco a mare) ed i corrispondenti valori del periodo di ritorno T assunti ai fini delle verifiche idrauliche, dedotti dai contenuti del Piano di Bacino [1], sono riassunti nella tabella seguente.

T [anni]	50	**200**	500
Q [m^3/s]	*170.0*	***207.0***	*232.0*

2.2.1.2. LITOLOGIA

Dalla Carta Geolitologica [G], risulta che il sedime è interessato da depositi alluvionali terrazzati recenti.

2.2.1.3. MORFOLOGIA

Dalla Carta Geomorfologica [G], risulta che in alveo e nella golena in sponda destra sono presenti depositi alluvionali.

2.2.1.4. IDROGEOLOGIA

Dalla Carta Idrogeologica [G], risulta, per tutto il tratto di interesse, che i terreni sono permeabili per porosità.

2.2.1.5. AREE INONDABILI

Dall'esame della Carta delle Fasce Fluviali [G], si evince come le aree in fregio al tratto d'interesse, che si estende per circa 250[m], siano potenzialmente inondabili per eventi di piena con tempo di ritorno variabile da 50 a 200[anni] ovvero rientrino nella classificazione di fascia A, B e C. In particolare, tutta Via Ganduccio e l'area compresa tra questa e l'alveo risultano potenzialmente inondabili per tempi di ritorno di 50[anni]. L'area rientra anche tra quelle storicamente inondate.

2.2.1.6. PIANO DEGLI INTERVENTI PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO

Con riferimento al tratto terminale del torrente tra lo sbocco a mare e la sezione terminale della copertura, le previsioni del Piano di Bacino, inserite nel Piano degli Interventi [1], comprendono i seguenti provvedimenti:

- adeguamento del parapetto in sponda sinistra a cavallo del ponte romanico per consentire il deflusso della portata di piena corrispondente al periodo di ritorno di T=200[anni] con l'adeguato franco;
- adeguamento dell'argine in sponda destra a valle del ponte romanico per consentire il deflusso della portata di piena corrispondente al periodo di ritorno di T=200[anni] con l'adeguato franco;
- adeguamento del parapetto in sponda destra a cavallo del ponte ferroviario per consentire il deflusso della portata di piena corrispondente al periodo di ritorno di T=200[anni] con l'adeguato franco;
- chiusura degli accessi e delle aperture degli edifici argine ubicati sotto il livello della portata con periodo di ritorno di T=200 [anni];
- non abitabilità dei locali ubicati sotto il livello della portata con periodo di ritorno di T=200[anni];

2.3. CLASSIFICAZIONE E PREVISIONE SECONDO IL P.U.C.

Secondo le indicazioni del vigente P.U.C. il cui procedimento si è concluso con D.D. n°2015/118.0.0/18, entrato in vigore il 3/12/2015, il tratto del torrente oggetto di adeguamento ricade in diverse zone [G]:

- AC-VU, ambito di conservazione del verde urbano strutturato, nell'area compresa tra il ponte ferroviario e la foce, in spoda sinistra;
- AC-IU, ambito di conservazione dell'impianto urbanistico, nell'area compresa tra il ponte ferroviario e la curva, verso monte sino alla sezione n°7, in sponda sinistra;
- AC-AR, ambito di conservazione della via Antica Romana, nell'area compresa tra lo sbocco della copertura e la foce, in sponda destra, e nell'area compresa tra la copertura e la sezione n°7, in sponda sinistra;
- Sistema Antica Romana di Levante, in tutto il tratto a monte della sezione n°7, in entrambe le sponde, e a valle della sezione n°7 in sponda sinistra; il percorso è compreso nel Sistema di Concertazione 6 Levante e inserito nell'obiettivo di recupero e riqualificazione della via storica;
- Ambito di paesaggio costiero, a valle del ponte della ferrovia in entrambe le sponde destra e sinistra;
- Parco, giardino, verde strutturato, nel tratto a valle del ponte della ferrovia in sponda destra;

2.4. TUTELA DI BENI CULTURALI, AMBIENTALI E PAESAGGISTICI - VINCOLI

2.4.1. BENI CULTURALI

Il Ponte romanico sul torrente Nervi (monumento nr. 10-002) deve considerarsi bene culturale sottoposto a tutela ai sensi del D.Lgs.42 del 22/01/2004 "Codice per i Beni Culturali e del Paesaggio" e successive modificazioni ed integrazioni, sottoposto a vincolo con decreto del 15/06/1923, codice NCTN 07/00108421.

2.4.2. BENI AMBIENTALI

Il tratto d'interesse è da considerarsi bene ambientale sottoposto a tutela ai sensi del D.Lgs.42 del 22/01/2004 "Codice per i Beni Culturali e del Paesaggio" e successive modificazioni ed integrazioni, in quanto ricade all'interno di due aree di notevole interesse pubblico classificate come bellezza d'insieme e denominate rispettivamente, "FASCIA COSTIERA DI NERVI" e "FASCIA COSTIERA FINO A QUOTA 100 DAL TORRENTE NERVI AL TORRENTE STURLA NEL COMUNE DI GENOVA - QUARTO E QUINTO".

2.5. STUDIO ORGANICO DI INSIEME (SOI)

L'area oggetto di intervento è stata ampiamente analizzata nel vigente "Studio Organico d'Insieme per la valorizzazione dell'area costiera Quinto – Porticcioli di Nervi (SOI)" [14], adottato in data 25/11/2010 con Delibera della Giunta Comunale di Genova.

Al fine di recepire le indicazioni del SOI, nelle aree golenali, in sponda destra e in sponda sinistra, sono state approntate delle opere a verde mediante piantumazione delle essenze autoctone indicate nel predetto documento e riportate nelle tavole [A], parte integrante del presente progetto definitivo.

3. STATO ATTUALE – RILIEVO E CONOSCENZE ACQUISITE

Oltre alle conoscenze acquisite direttamente durante l'attività di rilievo topografico in sito, è stata ricercata la documentazione tecnica disponibile presso l'Amministrazione, relativa ad interventi effettuati, o da effettuare, sui manufatti esistenti nel tratto d'interesse.

È stata esaminata anche la consistenza attuale delle utenze presenti in alveo e nelle aree prospicienti per l'influenza che determinano sulle scelte progettuali come la realizzazione e/o la sopraelevazione dell'arginatura e l'escavazione del fondo alveo.

3.1. RILIEVO IN SITO

Il rilievo topografico è stato effettuato direttamente dallo Scrivente ed è stato successivamente integrato per risolvere aspetti di maggior dettaglio. La restituzione grafica del rilievo sul posto ha consentito di effettuare le analisi di carattere idraulico [G], fondamentali ai fini dell'individuazione delle criticità, e costituito la base per definire gli interventi a progetto.

Il rilievo ha interessato, oltre l'alveo del corso d'acqua, il ponte romanico e le aree immediatamente adiacenti in sponda sinistra e destra.

L'esame obiettivo dei luoghi ha consentito, inoltre, di acquisire la conoscenza della tipologia dei manufatti inseriti nel tratto di intervento.

Complessivamente, i risultati dell'attività di rilievo sono tradotti in elaborati grafici e documenti [G][R]:

- planimetria generale di rilievo;
- sezioni trasversali;
- documentazione fotografica relativa agli argini e ai manufatti interessati dall'intervento;

Il tratto oggetto di intervento, tra lo sfocio a mare e il termine della copertura, si estende per circa 250[m]. Il rilievo è stato completato all'interno della sezione di sbocco della copertura, per validare i dati reperiti necessari a costituire correttamente il modello necessario ai fini delle analisi idrauliche.

3.2. CARATTERISTICHE DELL'ALVEO DEL TORRENTE

Il tracciato del torrente Nervi si sviluppa secondo un andamento curvilineo, con convessità rivolta verso la sponda sinistra: la curvatura è più accentuata nel tratto compreso tra le sezioni °9 e n°5, con un raggio di circa 40[m].

Le sezioni dell'alveo hanno larghezza al fondo variabile, tra 14[m] e 16[m]. Le aree golenali, quando interessate dalla corrente, aumentano la larghezza sino a un valore compreso tra 21[m] e 26[m].

La pendenza del media del fondo vale circa i_f=6.3[‰].

Nel tratto di interesse, l'accesso in alveo non è agevolato da alcuna rampa naturale o artificiale.

La tipologia degli argini è chiaramente individuabile nella documentazione fotografica [R]. Il piede degli argini attuali, in sponda sinistra, nel tratto in curva, presenta evidenti segni di scalzamento ad opera della corrente.

Il fondo alveo è costituito prevalentemente da ciottoli di medie-piccole dimensioni.

La distribuzione granulometrica superficiale è stata ricavata affiancando la classica tecnica da campo del *"Wolman Pebble Count"* con un approccio di imaging, utilizzando il software BaseGrain© dell'Istituto ETH di Zurigo, a cui si rimanda per ulteriori e più precisi dettagli. Il diametro medio dei sedimenti è stato valutato in circa d_{50}=20[mm], come ampiamente dettagliato nella Relazione Idraulica [G].

3.3. MANUFATTI PRESENTI IN ALVEO

A valle del ponte, in sponda destra, sono presenti i chiusini di accesso alla stazione di sollevamento IRETI della rete nera che riceve i liquami da due condotte interrate in alveo: la prima, proveniente dalla sponda sinistra, attraversa l'alveo; il tracciato della seconda, proveniente dalla copertura a monte, si sviluppa circa in asse del corso d'acqua. Le acque nere sono convogliate al pozzetto in alveo, a quota +0.90[m slm] per poi confluire insieme nella stazione di pompaggio.

Circa 10[m] a valle del salto di fondo localizzato presso lo sbocco a mare è presente il sifone che permette la risalita dei liquami provenienti dalla passeggiata di Nervi verso l'area di Ponente del porticciolo. Da un rilievo batimetrico fornito dall'Amministrazione e risalente all'anno 2003, è possibile posizionare la quota del fondo alveo, nella posizione del sifone, a circa -1.8[m]. La quota fondo-tubo di quest'ultimo risulta essere situata a circa -2.8[m] dal fondo alveo (IRETI – Informazione ricevuta 11/01/2018).

Lungo tutta la sponda destra e parzialmente in sinistra, numerosi adifici aggettano direttamente in alveo con porte e finestre e costituiscono il limite arginale del torrente.



Figura 1 – Vista della sezione oggetto di campionamento granulometrico



Figura 2 – Sbocco della copertura di via Oberdan ripresa dal ponte romanico



Figura 3 – Vista del ponte romanico ripresa dallo sbocco della copertura di via Oberdan



Figura 4 – Sponda destra a valle del ponte romanico – Stazione di pompaggio rete nera



Figura 5 – Sponda sinistra a valle del ponte romanico – Edificio aggettante in alveo



Figura 6 – Sponda destra a valle del ponte romanico – Edificio aggettante in alveo



Figura 7 – Particolare del muro in pietra in sponda destra a monte del ponte romanico



Figura 8 – Particolare del muro in pietra in sponda sinistra a monte del ponte romanico



Figura 9 – Sponda destra in prossimità della curva – Edifici aggettanti in alveo



Figura 10 – Sponda destra a valle della curva – Edifici aggettanti in alveo



Figura 11 – Sponda destra in prossimità del porticciolo – Edifici aggettanti in alveo



Figura 12 – Sponda destra a valle dell'attuale soglia – Scalette di accesso all'alveo

4. ANALISI IDRAULICHE EFFETTUATE

Prima di procedere alle verifiche idrauliche in moto stazionario prescritte dalla Normativa vigente [1] per la definizione dei livelli di sicurezza relativi allo stato di fatto e allo stato di progetto, è stata eseguita l'Analisi di Stabilità Morfodinamica per il tratto di torrente oggetto di adeguamento.

I risultati dell'analisi, ampiamente descritti nella Relazione Idraulica [G], mostrano un alveo in condizioni di quasi-stabilità morfodinamica nel tratto a monte dell'attuale soglia e, con molta probabilità, un processo di deposito nel tratto a valle di quest'ultima. L'analisi morfodinamica ha permesso, inoltre, di stimare l'evento formativo che dovrebbe aver dato forma all'attuale profilo del torrente e che è stato utilizzato, in seguito, per valutare la stabilità della soluzione progettuale proposta.

Di seguito, si riassumono i risultati che hanno influenzato le fasi di progettazione.

4.1. STATO ATTUALE

Come dettagliatamente descritto nella Relazione Idraulica [G], le quote arginali relative alla configurazione attuale non risultano essere sufficienti a garantire la sicurezza idraulica valutata in accordo alla Normativa di piano [1], nei confronti dell'evento di piena duecentennale. Rissumendo brevemente, il profilo di corrente lenta originato dalla transizione imposta sulla testa della soglia di valle nella sezione n°1 giunge sino al ponte romanico presente nella sezione n°10. Dato che il livello del pelo libero invade la golena e interessa completamente il fornice minore del ponte, il restringimento creatosi innalza ulteriormente le quote del pelo libero a monte della struttura. L'analisi dello stato di fatto per il tratto a cielo aperto, quindi, individua le seguenti criticità:

- nella sezione di sbocco della copertura, sebbene il carico cinetico sia contenuto al di sotto dell'intradosso non è garantito il franco minimo di Normativa pari a 150[cm]. Il pelo libero della corrente transita con un franco superiore ai 100[cm];
- a monte del ponte, in entrambe le sponde, non è garantito il franco minimo di Normativa pari a 50[cm]; l'acqua lambisce le teste arginali le quali, in sponda destra, sono rappresentate dagli stessi edifici che costituiscono il limite demaniale;
- a valle del ponte, in sponda sinistra, non è garantito il franco minimo di Normativa pari a 50[cm]; a valle della sezione n°8.9 l'edificio stesso, aggettante in alveo, costituisce struttura arginale;
- a valle del ponte , in sponda destra, non è garantito il franco minimo di Normativa pari a 50[cm]; a valle della sezione n°9 gli edifici stessi, aggettanti in alveo, costituiscono struttura arginale;

4.2. STATO DI PROGETTO

Dalle risultanze derivanti dall'analisi relativa allo stato di fatto, sono stati considerati due scenari di progetto. Il primo relativo al solo innalzamento dei livelli arginali sino alle quote necessarie al raggiungimento dei franchi di sicurezza imposti da Normativa [1]. Il secondo relativo all'innalzamento delle arginature unitamente ad un generalizzato abbassamento del fondo alveo, all'incirca dalla sezione di sbocco nel porticciolo, con rimozione dell'attuale soglia di fondo, sino alla sezione n°6, posizionata a valle dell'attuale stazione di sollevamento.

A seguito del confronto, lo scenario prescelto è stato lo SCENARIO 2, in grado di garantire i livelli di sicurezza prescritti dalla Normativa[1] integrando l'intervento nel contesto ambientale e urbanizzato del torrente Nervi.

4.2.1. SCENARIO 1

L'analisi del primo scenario ha semplicemente permesso di valutare le quote arginali sufficienti a garantire i livelli di sicurezza imposti da Normativa [1], mantenendo la configurazione geometrica dello stato attuale.

4.2.1.1. SOPRAELEVAZIONE ARGINALE

Gli interventi relativi all'innalzamento delle quote arginali sono, quindi, riassunti brevemente di seguito:

- sponda sinistra: sopraelevazione del parapetto nel tratto compreso tra lo sbocco della copertura (sezione n°12) e il ponte romanico (sezione n°10); raccordo tra il parapetto e il nuovo livello dell'argine in calcestruzzo a valle del ponte, tra la sezione n°9 e la sezione n°7 e conseguente chiusura dell'argine sulla sponda naturale esistente;
- sponda destra: sopraelevazione della muratura perimetrale degli edifici e/o del parapetto che delimita la sede stradale nel tratto compreso tra lo sbocco della copertura di via Oberdan (sezione n°12) e la sezione n°7; sopraelevazione dell'argine in calcestruzzo in sponda destra per il tratto rimanente.

Poiché non sono reperibili affidabili informazioni strutturali relative gli argini esistenti, molti dei quali in pietrame, per la maggior parte delle sopraelevazioni si è ipotizzata la realizzazione di un nuovo argine in aderenza all'esistente, mediante costruzione di berlinesi con pali in acciaio, o di muri a cavalletto con tiranti di fondazione, dimensionati per sopportare la totalità dei carichi di progetto e la spinta delle terre.

4.2.1.2. PROFILO STAZIONARIO

L'analisi del profilo stazionario per la portata con tempo di ritorno duecentennale ha avidenziato un livello del pelo libero quasi totalmente subcritico che si propaga dalla profondità di transizione che si attesta sulla soglia esistente e si propaga verso monte sino allo sbocco della copertura.

A valle della curva, l'entità delle sopraelevazioni arginali, rispetto all'estradosso dei muri attuali, si attesta mediamente intorno ad un valore significativamente alto, variabile in un intervallo compreso tra 200[cm]÷230[cm].

Risulta evidente come il predetto scenario, in termini di percezione del rischio per le abitazioni prospicienti l'alveo ed in termini di impatto rispetto al contesto naturale dell'area oggetto di intervento, rappresenti una soluzione piuttosto invasiva, come riportato in Figura 13.

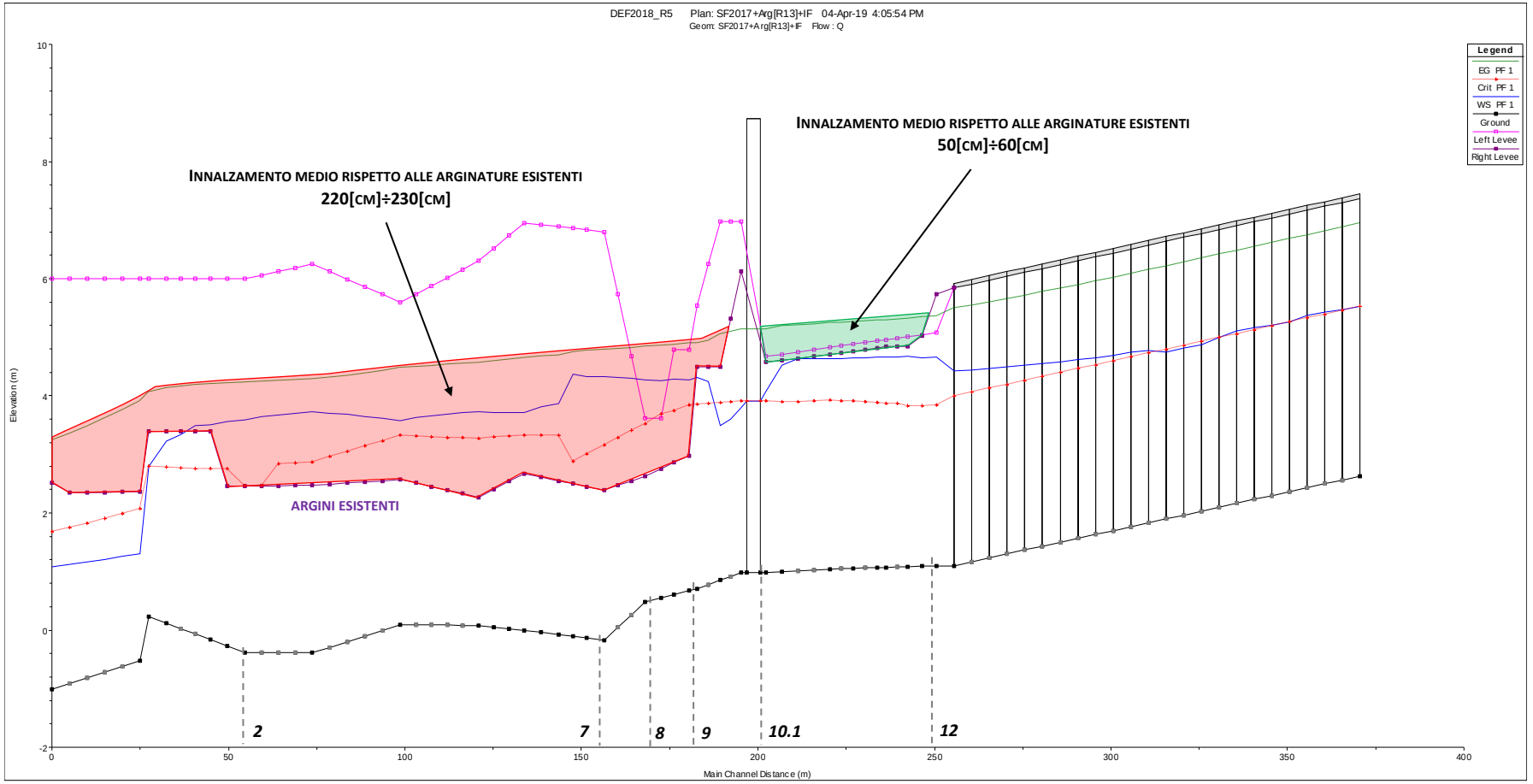


Figura 13 – SCENARIO 1 - Profilo stazionario per portata Q_{200}=207[m^3/s]

4.2.2. SCENARIO 2

Considerate le risultanze del precedente scenario e data l'oggettiva impossibilità di ricorrere all'utilizzo di scolmatori, diversori o, più in generale, presidi utili alla laminazione del picco di piena dell'evento duecentennale, al fine di ridurre l'entità delle elevazioni arginali e minimizzare, per quanto possibile, l'impatto della soluzione progettuale nel contesto ambientale e naturale del torrente Nervi, è stata valutata la possibilità di ricorrere ad un generalizzato abbassamento del fondo alveo nel tratto a valle della sezione n°6.

L'abbassamento dell'alveo, ulteriormente, trova riscontro anche nelle esigenze dell'Amministrazione volte alla realizzazione di un ridotto canale navigabile, fruibile da piccole imbarcazioni, che possa valorizzare il potenziale di sviluppo dell'area e le sue caratteristiche ambientali e naturalistiche, integrando, per quanto possibile, l'intervento progettuale all'interno del tessuto sociale e urbanistico della zona.

Nei pressi della sezione n°6 sarà, quindi, realizzata una nuova soglia per stabilizzare e mantenere inalterato il livello del fondo in tutte le sezioni di monte. L'altezza della nuova soglia, è stata valutata in circa 150[cm] al fine di garantire, a valle della sezione n°6, un pescaggio minimo di almeno 0.8[m]÷1.0[m]. Dal piede della nuova soglia, verso valle, la quota del fondo sarà riprofilata su una pendenza pari a circa i_f=0.004[-], rimuovendo, quindi, il salto esistente, posto nella sezione n°1 e avente attualmente l'estradosso ad una quota di circa +0.23[m].

Il fondo della nuova sezione n°1, pertanto, sarà posto ad una quota pari a circa -1.50[m]. Tale profondità di progetto è compatibile con quanto misurato, a valle dell'esistente soglia, in un precedente rilievo, risalente al 2003 e fornito dall'Amministrazione comunale, pari a circa -1.60[m], valore evidentemente valutato prima del ciclico processo di deposito che si innesca a valle della briglia e compatibile con la quota di fondo-tubo del sifone delle acque nere presente, pari a -280[cm] dal thalweg attuale dell'alveo.

Di seguito sono elencati, nel dettaglio, i principali interventi di realizzazione delle nuove arginature, riportati in Figura 14, Figura 15 e Figura 16. I predetti interventi, qualitativamente, risultano analoghi a quelli descritti brevemente per lo SCENARIO 1.

In Figura 17 e in Figura 18 sono elencati i principali interventi relativi all'abbassamento del fondo alveo.

4.2.2.1. SOPRAELEVAZIONE ARGINALE

TRATTO A MONTE DEL PONTE ROMANICO

SPONDA SINISTRA

1. rifacimento dell'ultima rampa della scala di accesso a via Sarfatti mediante parapetto impermeabile in cemento armato;
2. realizzazione di un nuovo argine in cemento armato e cavalletto in barre autoperforanti, a tergo dell'esistente, tra la sezione n°12 e la sezione n°10;

SPONDA DESTRA

3. sopraelevazione dell'esistente muro andatore d'ala in cemento armato in uscita dalla copertura;
4. realizzazione di un nuovo argine mediante berlinese in micropali in fregio al muro in pietra che, attualmente, costituisce il marciapiede di accesso agli edifici aggettanti in alveo. La nuova struttura avrà anche funzione di parapetto per l'attuale marciapiede;
5. sopraelevazione dell'esistente muro in pietra appena a monte del fornice minore con soluzione strutturale connessa all'adiacente berlinese (4);

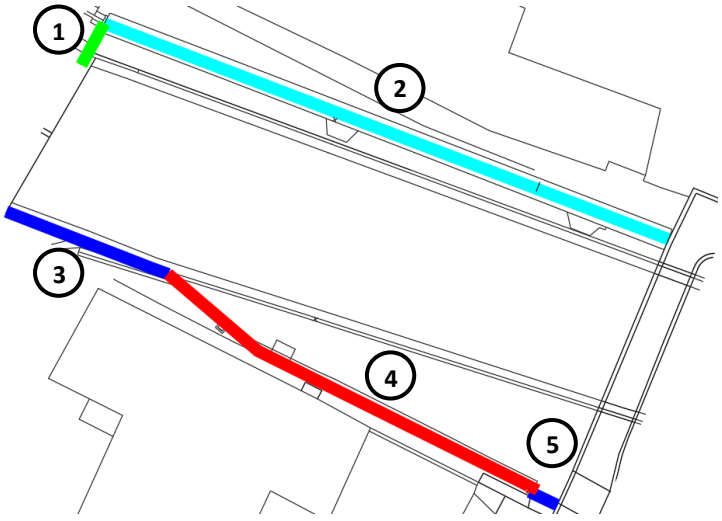


Figura 14 – STATO DI PROGETTO – SCENARIO 2 - Indicazione delle nuove arginature – Tratto a monte del ponte romanico

TRATTO A VALLE DEL PONTE ROMANICO

SPONDA SINISTRA

6. parziale sopraelevazione dell'esistente parapetto della rampa di accesso al ponte romanico;
7. ricostruzione, con relativo innalzamento, dell'argine attuale compreso all'incirca tra la sezione n°9 e la sezione n°8.9 mediante struttura in cemento armato e cavalletto in barre autoperforanti;
8. realizzazione di un nuovo argine mediante berlinese in micropali in fregio all'esistente muro di sponda interno. La struttura si raccorderà verso monte con la nuova arginatura e verso valle si chiuderà sul versante naturale all'incirca presso la sezione n°7;

SPONDA DESTRA

9. parziale sopraelevazione dell'esistente parapetto della rampa di accesso al ponte romanico;
10. realizzazione di un nuovo cancello stagno in sostituzione dell'esistente;
11. realizzazione di un nuovo argine mediante berlinese in micropali in fregio all'edificio esistente aggettante in alveo, all'incirca tra la sezione n°9 e la sezione n°7;
12. realizzazione di un nuovo argine mediante berlinese in micropali in fregio all'esistente muro di sponda interno. La struttura si raccorderà verso monte con la nuova arginatura e verso valle con il parapetto esistente all'incirca presso la sezione n°2;

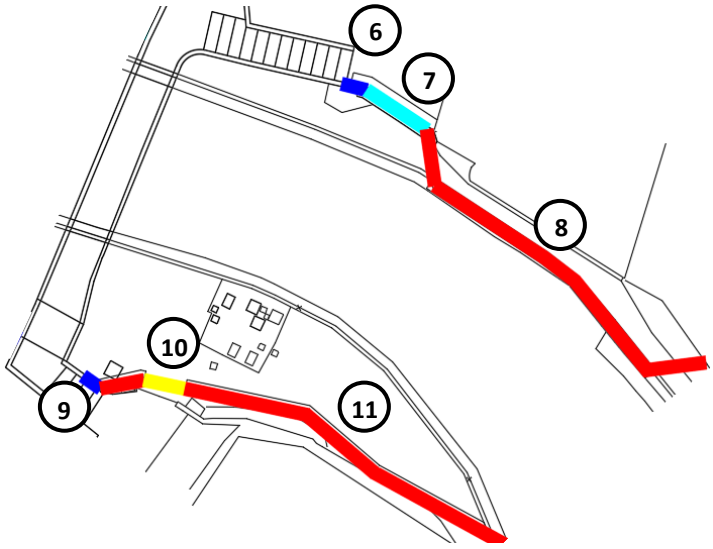


Figura 15 – STATO DI PROGETTO – SCENARIO 2 - Indicazione delle nuove arginature – Tratto a valle del ponte romanico – Monte curva

13. sopraelevazione dell'esistente argine rivestito in mattoni e realizzazione di due cancelletti stagni a presidio della rampa di scale per l'accesso in alveo;

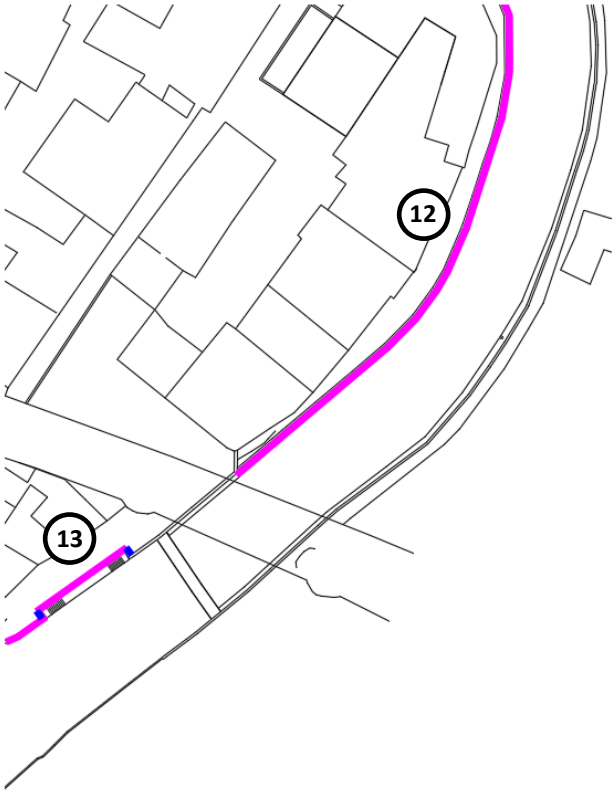


Figura 16 – STATO DI PROGETTO – SCENARIO 2 - Indicazione delle nuove arginature – Tratto a valle del ponte romanico – Valle curva

4.2.2.2. CANALIZZAZIONE TRATTO DI VALLE

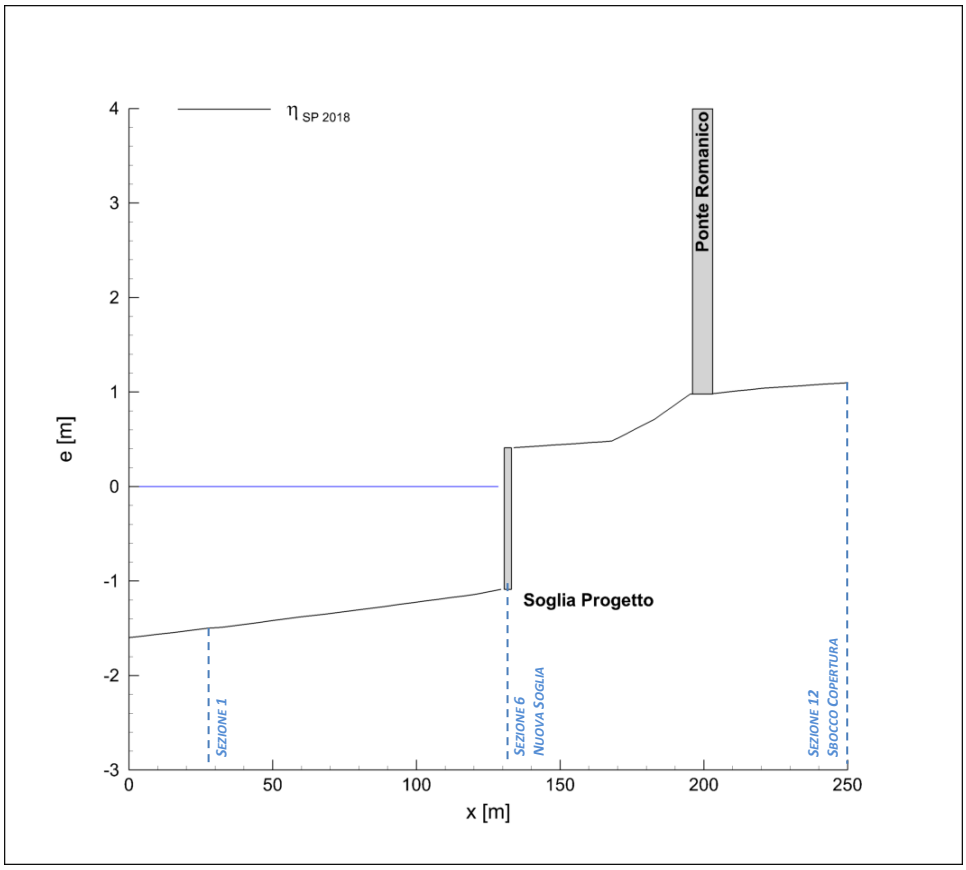


Figura 17 – STATO DI PROGETTO – SCENARIO 2 - Profilo del fondo in condizioni di portata nulla

In aggiunta all'innalzamento degli argini descritto al paragrafo §4.2.2.1 e alla realizzazione del nuovo salto di fondo, il nuovo canale necessita degli interventi aggiuntivi riassunti di seguito e indicati in Figura 18:

14. protezione del fondo con massi di 3ª categoria, a monte e a valle della nuova briglia, al fine di evitare l'erosione e lo scalzamento delle strutture durante gli eventi estremi;
15. lieve riprofilatura dell'alveo tra la sezione n°8 e la sezione n°6 per consentire un regolare raccordo con la testa della nuova briglia;
16. abbassamento generalizzato dell'alveo tra la sezione n°1 e la sezione n°6 a valle della stazione di sollevamento della rete nera;
17. dalla sezione n°6 sino a valle, sottomurazione degli argini esistenti in sponda sinistra per mezzo di una protezione realizzata mediante dei gabbioni; questi ultimi, come evidenziato nei successivi capitoli, avranno anche la funzione di delineare un alveo inciso per le correnti di magra contribuendo significativamente a diminuire il deposito previsto nel tratto;

18. in sponda destra, a valle della sezione n°2 in cui termina l'argine di nuova realizzazione sino alla soglia esistente, cordolo di sottomurazione mediante berlinese per proteggere l'esistente arginatura lastricata in mattoni;

19. in sponda sinistra, a valle della sezione n°2 in prossimità dell'esistente pila del ponte ferroviario, cordolo di sottomurazione mediante berlinese in aggiunta alle gabbionate;

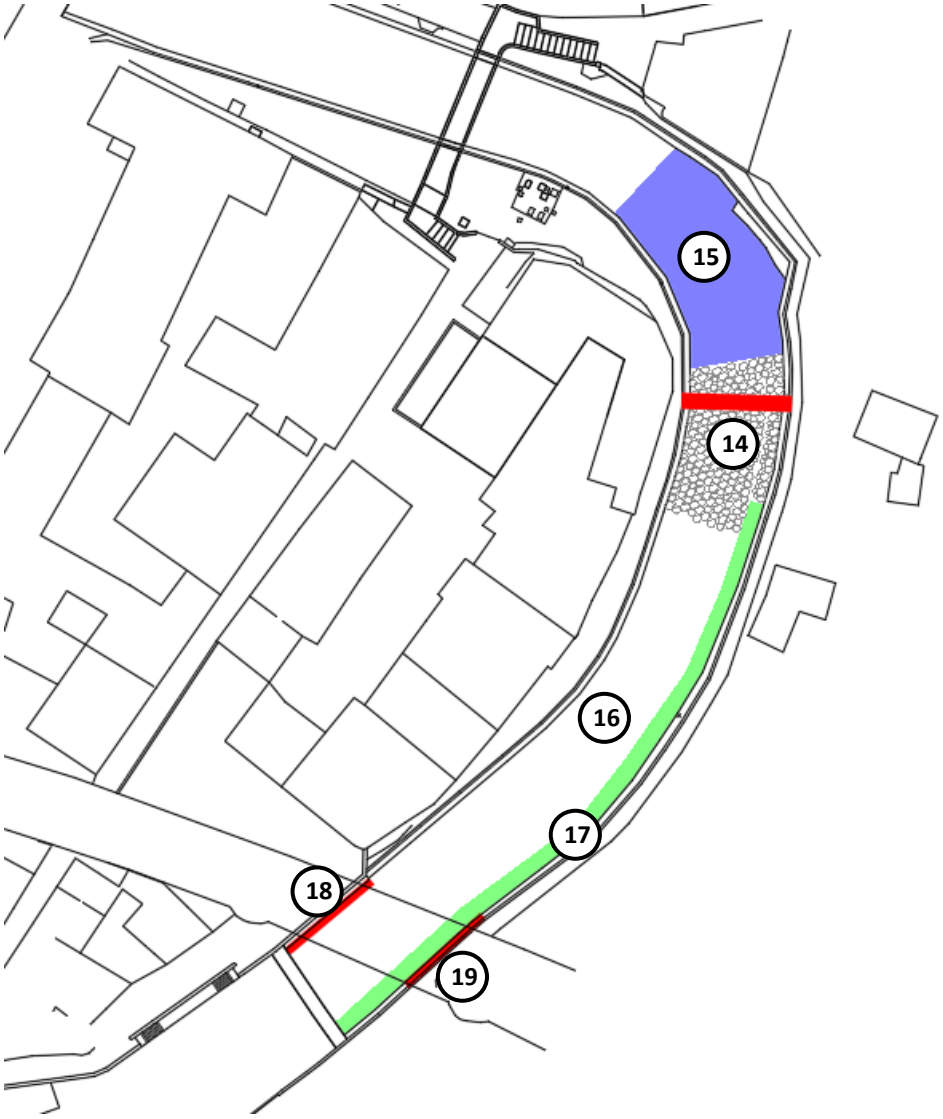


Figura 18 – STATO DI PROGETTO – SCENARIO 2 - Abbassamento alveo e relativi interventi

In Figura 19 sono riportate alcune sezioni tipologiche.

In sponda destra, la nuova arginatura è progettualmente posta in aderenza, sul lato interno, ai muri esistenti. Tale configurazione, se comparata con un intervento posto a tergo, a fronte di un minimo incremento del pelo libero, valutabile in solo qualche centimetro, garantisce una soluzione molto più vantaggiosa dal punto di vista economico, realizzativo e strutturale. Vengono evitate, infatti, alternativamente, o la demolizione e la rimozione delle opere esistenti oppure, nel tratto soggetto ad abbassamento, la realizzazione di una seconda fila di berlinesi a sottomurazione delle vecchie arginature. In sponda sinistra, la scelta di sottomurare gli argini esistenti per mezzo di gabbionate garantisce la realizzazione di un alveo di magra che, come mostrato nei successivi paragrafi, avrà la funzione di diminuire il deposito previsto nel canale con la conseguente riduzione dei livelli e delle operazioni di manutenzione.

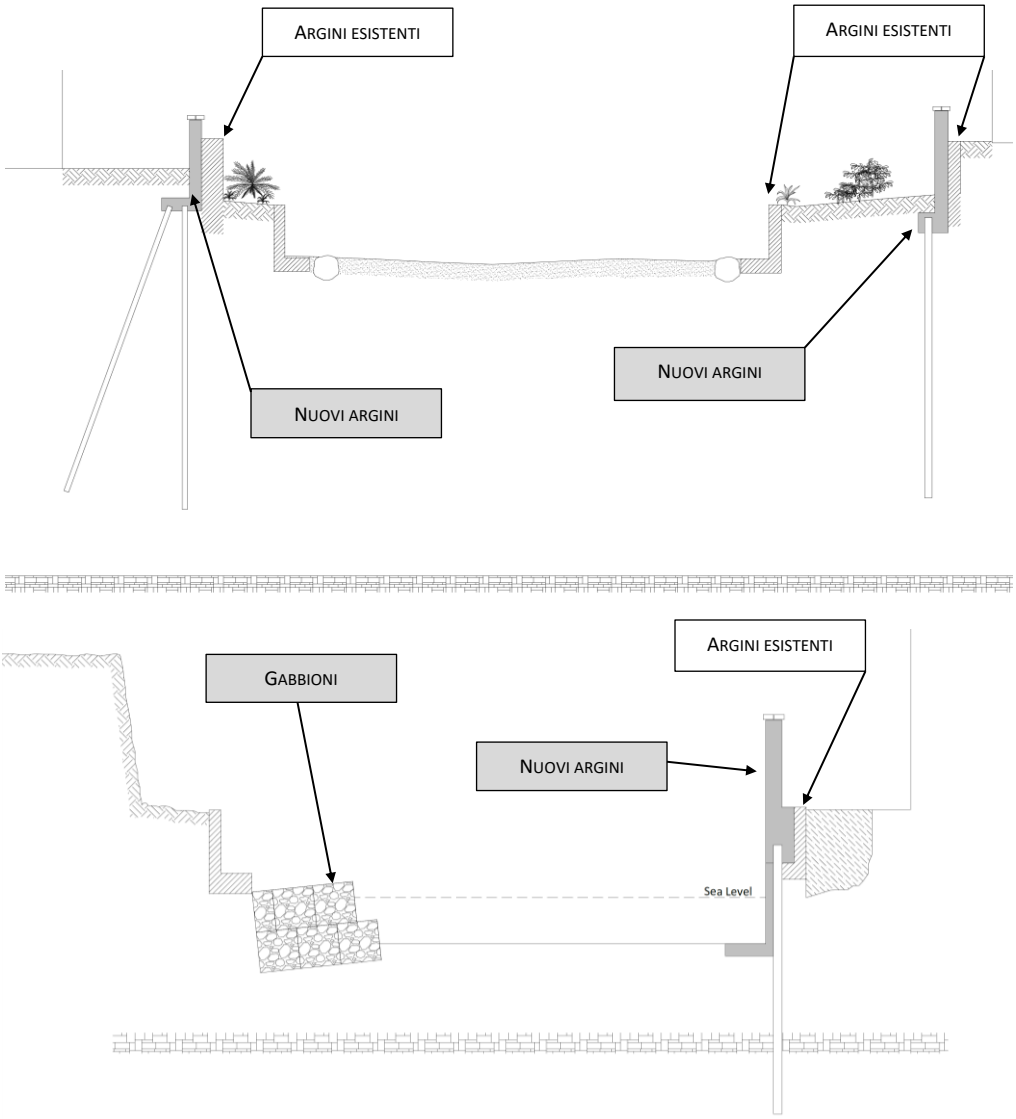


Figura 19 – STATO DI PROGETTO – SCENARIO 2 - Sezioni tipologiche

4.2.2.3. PROFILO STAZIONARIO DI PROGETTO

Gli effetti benefici dell'abbassamento del fondo risultano evidenti dal confronto con la soluzione relativa allo SCENARIO 1, riportato in Figura 20. La rimozione della soglia esistente nella sezione n°1 e il conseguente abbassamento del fondo eliminano la transizione per la profondità critica e, pertanto, la propagazione verso monte della soluzione subcritica parte da un livello altimetrico minore, generando una significativa riduzione globale del profilo sino alla sezione n°6, con abbassamenti medi del tirante pari a circa 150[cm]. La corrente lenta, a questo punto, non possedendo l'energia sufficiente per transitare attraverso la nuova soglia, si raccorda, mediante un risalto idraulico, con la corrente veloce generata dalla transizione che si innesca sulla testa della nuova briglia.

Parrebbe ovvio, pertanto, a seguito dell'abbassamento generalizzato dei livelli, procedere ad una rivalutazione delle quote arginali di progetto definite nello SCENARIO 1 per rendere l'intervento meno impattante da un punto di vista strutturale.

In realtà, come ampiamente descritto nella Relazione Idraulica [G], ogni intervento progettuale che implichi una variazione plano-altimetrica della configurazione geometrica dell'alveo, necessita sempre di essere validato mediante una verifica della sua stabilità a medio/lungo termine, onde esaminare la bontà della soluzione proposta nel lungo periodo e la necessità di operazioni di manutenzione e/o modifiche all'approccio di progetto.

Nel caso dello SCENARIO 2, la verifica di stabilità morfodinamica ottenuta con l'analisi del profilo di equilibrio nelle condizioni formative, ha evidenziato chiaramente come l'abbassamento del fondo non costituisca un intervento completamente stabile e duraturo, sebbene sia l'unico in grado di creare una riduzione dei livelli arginali.

L'abbassamento è, infatti, parzialmente destinato a sparire per l'effetto dei sedimenti in arrivo da monte.

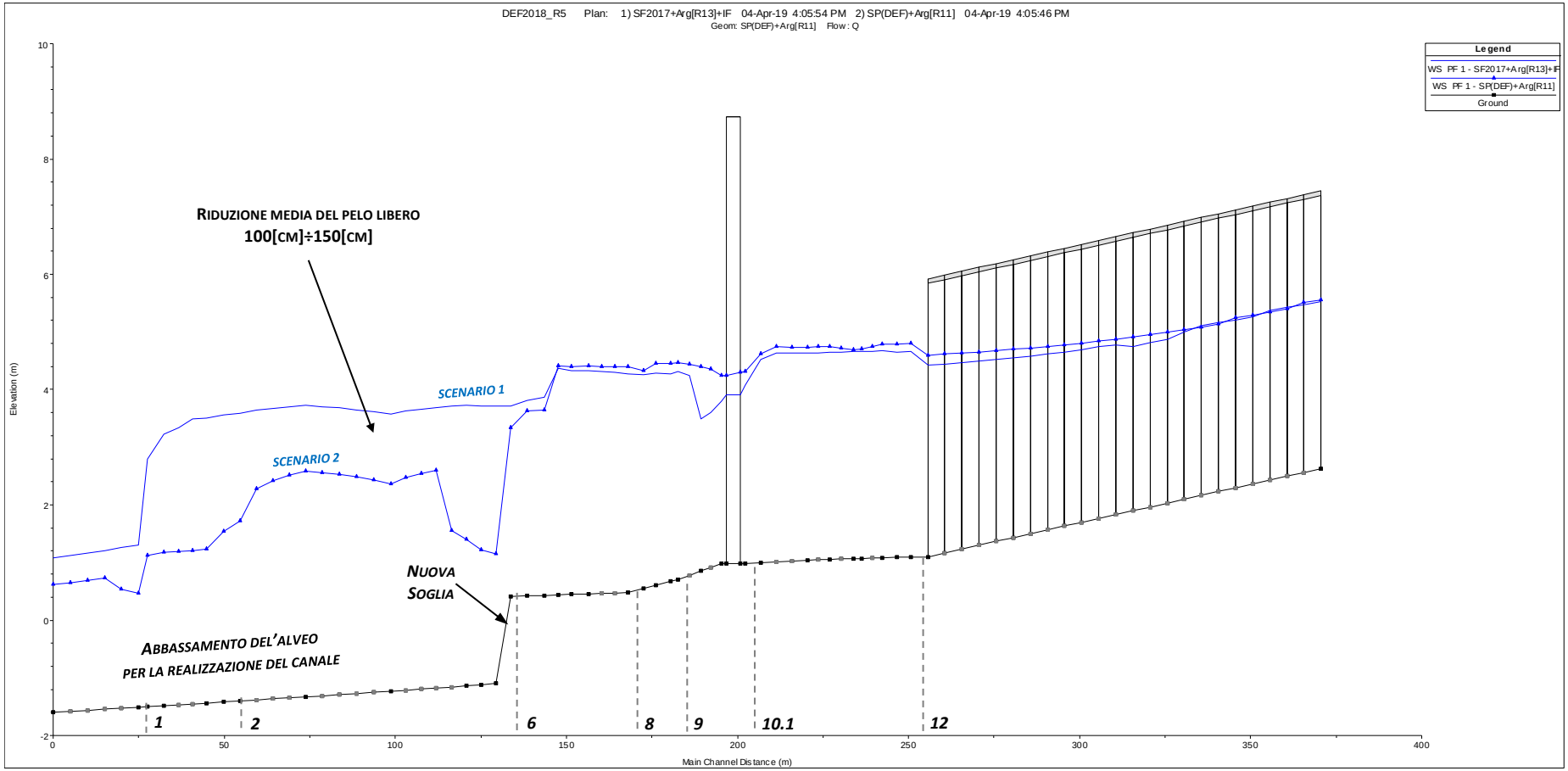


Figura 20 – STATO DI PROGETTO - SCENARIO 2 – Effetti migliorativi generati dall'abbassamente dell'alveo. Confronto con lo SCENARIO 1

4.2.2.4. EQUILIBRIO MORFODINAMICO DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE

Al fine di determinare la stabilità a medio/lungo termine della predetta soluzione progettuale, è necessario tracciare il suo profilo di equilibrio morfodinamico onde evidenziare gli eventuali interventi di manutenzione ordinaria e/o di eventuali modifiche all'approccio di progetto che si dovessero rendere necessari per il mantenimento dei requisiti e dei livelli di sicurezza nel tempo.

La procedura è ampiamente descritta nella Relazione Idraulica [G], a cui si rimanda per ogni approfondimento.

Come precedentemente illustrato, l'intervento di abbassamento del fondo, necessario per la realizzazione del canale, genera senza dubbio effetti migliorativi anche per l'idrodinamica della corrente poiché diminuisce i livelli del pelo libero e, quindi, anche le relative quote arginali, in tutte le sezione poste a valle della nuova soglia.

Tuttavia, la presenza del trasporto solido e l'inevitabile evoluzione del profilo potrebbero alterare significativamente questa situazione.

Da semplici considerazioni morfodinamiche appare evidente come la quota del fondo attualmente presente a valle della sezione n°1 sia determinata dalla condizione al contorno imposta dal livello di medio mare. Durante le condizioni formative, infatti, per far transitare la portata solida in arrivo da monte, la corrente necessità di un certo e ben definito tirante idraulico. Quest'ultimo, accoppiato con la condizione imposta dal livello di medio mare, determina una certa e ben definita quota del fondo. L'equilibrio del torrente, quindi, non potrà che tendere a rispristinare tale valore, quantunque si cerchi di modificare la quota di fondo alveo.

L'abbassamento dell'alveo, pertanto, sebbene certamente benefico dal punto di vista idrodinamico, con molta probabilità non costituisce un intervento di progetto stabile e duraturo.

Parimenti, tuttavia, è l'unica soluzione in grado di determinare un abbassamento delle quote arginali nelle sezioni poste a valle della nuova briglia e minimizzare l'impatto degli interventi di adeguamento idraulico nel contesto antropico.

A valle delle precedenti considerazioni, quindi, si è calcolato il profilo di equilibrio del fondo relativo alla soluzione progettuale proposta, nelle condizioni formative calcolate e definite nella Relazione Idraulica [G].

I risultati sono riportati in Figura 21.

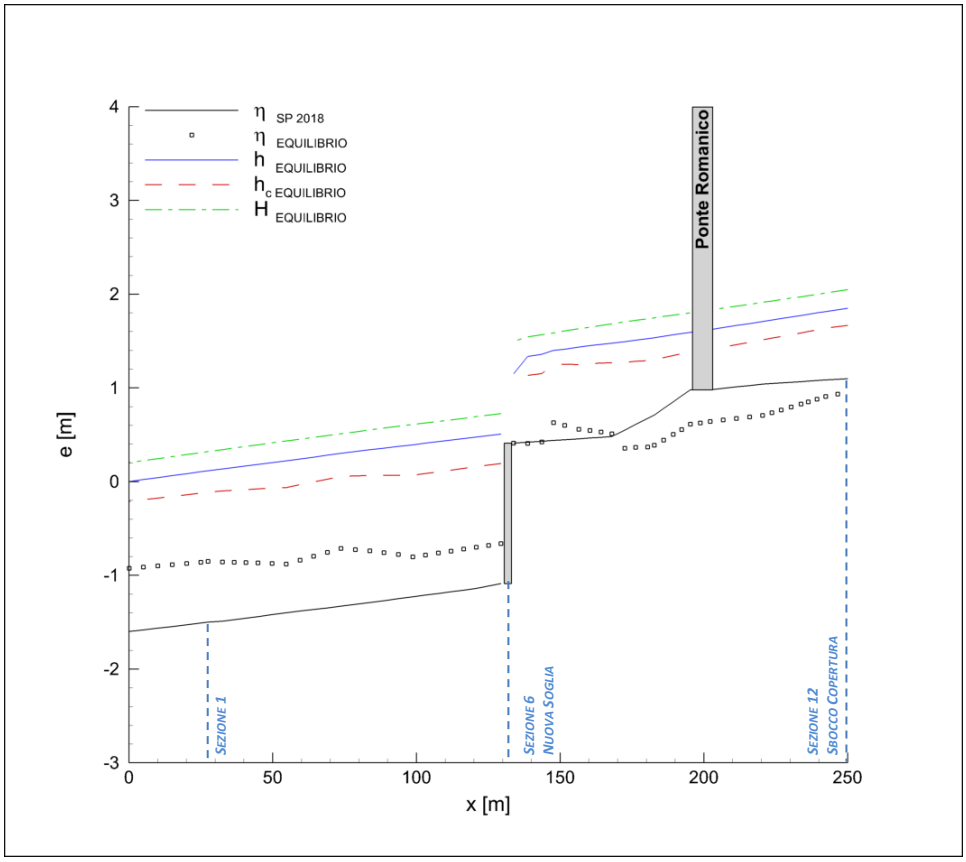


Figura 21 – STATO DI PROGETTO – SCENARIO 2 - Equilibrio della soluzione progettuale. Fondo (η), pelo libero (h) e profondità critica (h_c)

L'intervento progettuale di abbassamento del fondo risulta essere benefico per l'idrodinamica ma non risulta essere un intervento completamente stabile a medio/lungo termine.

Il nuovo canale è destinato, infatti, ad essere riempito parzialmente dai sedimenti in arrivo da monte. A valle della nuova soglia, le portate formative inizieranno a sedimentare del materiale, creando un fronte di deposito che si propagherà verso valle secondo il profilo di equilibrio valutato in Figura 21.

Risulta evidente, pertanto, che l'intervento progettato, per mantenere le caratteristiche di fruibilità del canale preposto alla navigazione, necessiterà di una costante manutenzione da effettuarsi a valle di ogni significativo deposito di materiale, al fine di garantire i pescaggi minimi previsti.

Parimenti, in assenza di manutenzione, nelle condizioni standard di apporto solido valutate nella Relazione Idraulica [G], le quote del fondo tenderanno ad evolvere verso il profilo di equilibrio.

Come specificato nella Relazione Idraulica [G], l'entità della portata solida in arrivo da monte durante gli eventi formativi non influenza affatto la forma del profilo di equilibrio, ma determina solamente la celerità con la quale quest'ultimo si svilupperà.

Un'informazione interessante può essere ricavata confrontando il fondo attualmente rilevato con il profilo di equilibrio della soluzione progettuale nel tratto a valle della nuova soglia, in cui verrà realizzato lo scavo. Il risultato è riassunto in Figura 22.

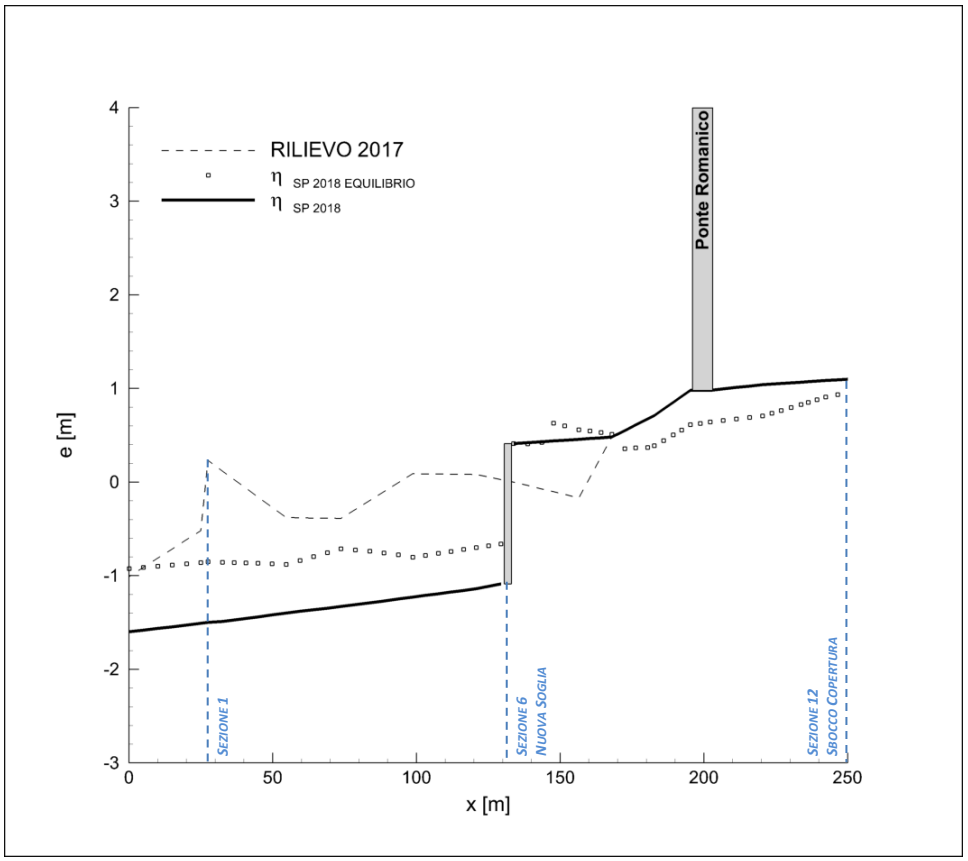


Figura 22 – STATO DI PROGETTO – SCENARIO 2 - Confronto tra il profilo di equilibrio della soluzione progettuale e il fondo rilevato

Dall'analisi della figura precedente, appare evidente come il fondo di equilibrio a lungo termine relativo alla soluzione progettuale, sebbene in deposito rispetto alle quote di progetto, risulti in generale più basso del profilo esistente. Ciò dipende dal fatto che la quota d'imposta della soglia attuale, sulla quale la corrente transita per la profondità critica, risulta più alta del fondo di equilibrio nella medesima sezione. Quindi, sebbene in generale l'intervento di progetto non risulti essere stabile nel medio/lungo periodo, il suo profilo di equilibrio morfodinamico a lungo termine, risulta essere comunque migliorativo, in termini idrodinamici, rispetto alla condizione attuale definita nello SCENARIO 1.

Infine, per valutare l'efficacia del nuovo alveo di magra realizzato mediante le gabbionature a valle della nuova soglia, in Figura 23 è riportato il confronto tra l'attuale soluzione progettuale definita nello SCENARIO 2 e la medesima valutata in assenza dell'alveo inciso a progetto. Dalla comparazione risulta evidente come l'alveo di magra, nell'intervallo delle portate formative, abbia il benefico effetto di accelerare la corrente e diminuire l'entità del deposito previsto nell'equilibrio a lungo termine. La configurazione progettuale prescelta e descritta nello SCENARIO 2, pertanto, presenta il vantaggio di generare un deposito minore e, quindi, una riduzione delle necessarie operazioni di manutenzione, nonché una diminuzione delle quote arginali di progetto.

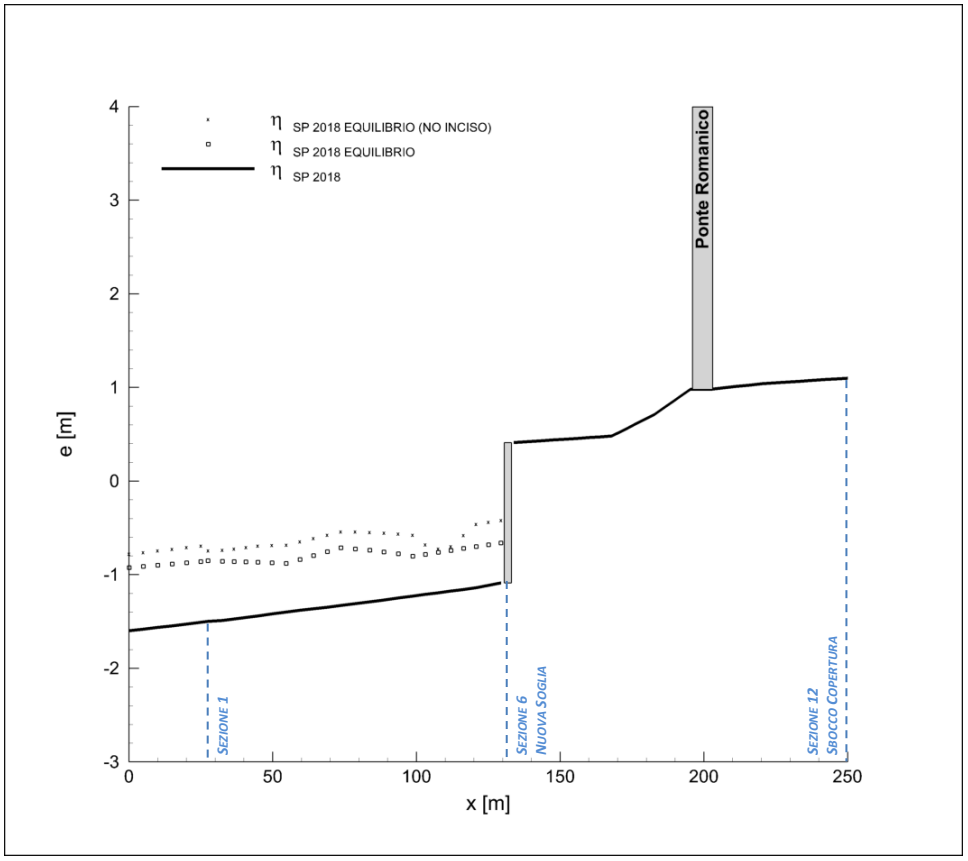


Figura 23 – STATO DI PROGETTO – SCENARIO 2 - Profilo di equilibrio della soluzione con e senza alveo di magra

4.2.2.5. DEFINIZIONE DELLE QUOTE ARGINALI

Dato che la soluzione progettuale non risulta essere morfodinamicamente stabile, la definizione delle quote arginali per la valutazione dei franchi di sicurezza idraulici non può effettuarsi sul profilo del fondo di progetto, poiché essa non risulterebbe una soluzione a favore di sicurezza, in quanto destinata ad evolvere verso il profilo di equilibrio e, quindi, strettamente legata alle operazioni di manutenzione eseguite.

Pertanto, la corretta valutazione della sicurezza idraulica prevista da Normativa è stata definita sui profili idrodinamici stazionari per l'evento con tempo di ritorno duecentennale computati mediante la geometria di progetto che tenga però in conto l'evoluzione a lungo termine delle quote di fondo alveo, ossia il profilo di equlibrio progettuale, come ampiamente descritto nella Relazione Idraulica [G] e riportato sinteticamente in Figura 24.

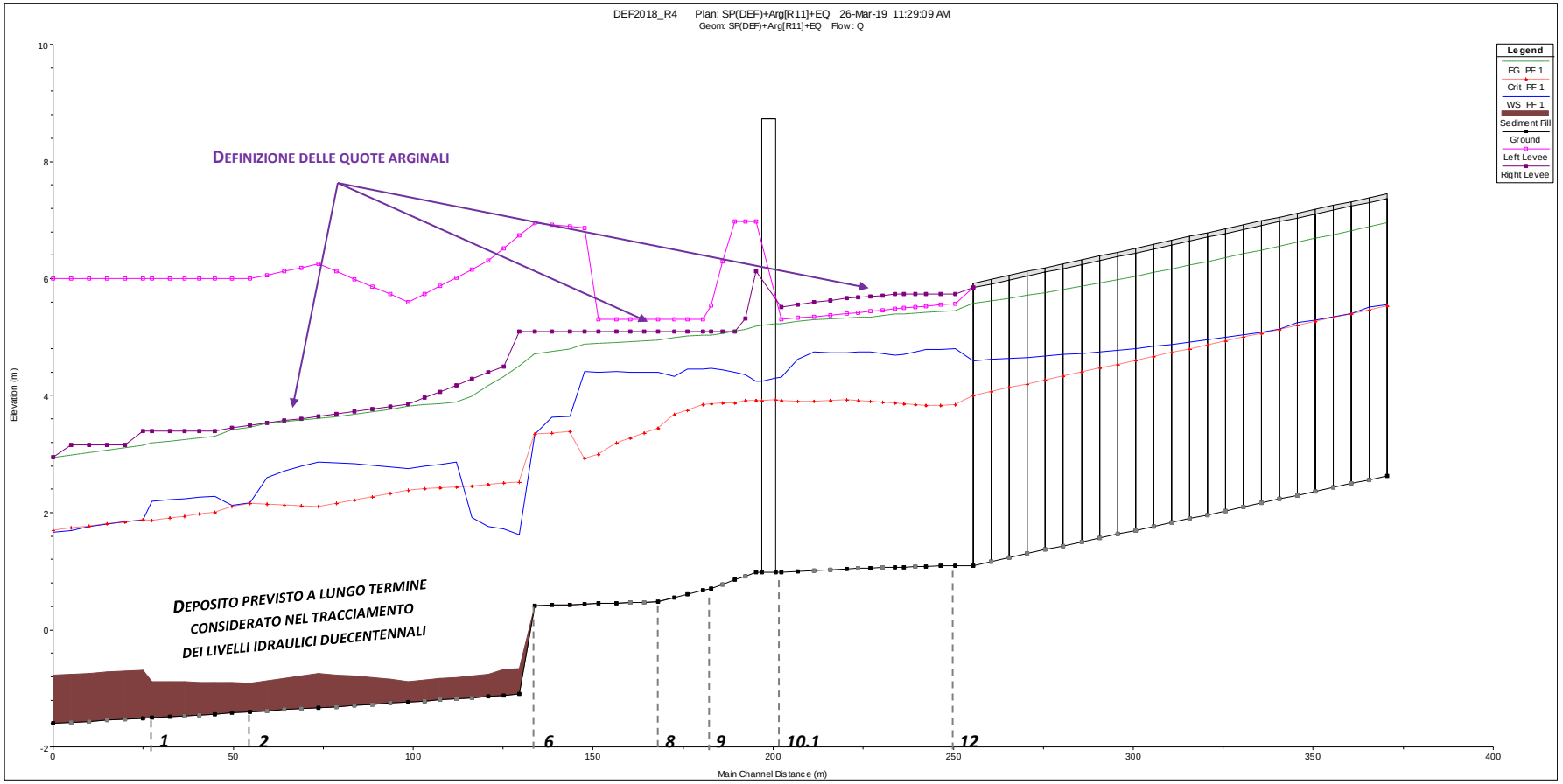


Figura 24 – STATO DI PROGETTO - SCENARIO 2 - Profilo stazionario per portata Q_{200}=207[m³/s] – Geometria in equilibrio morfodinamico

4.3. STIMA TEMPORALE DELL'EVOLUZIONE VERSO L'EQUILIBRIO

Per il bacino del torrente Nervi non sono attualmente disponibili né dati relativi alle portate realmente transitanti, né sono presenti rilievi temporalmente spaziati utili ad una valutazione e/o calibrazione dei modelli di evoluzione a breve/lungo termine.

Al fine di stimare la celerità dei processi morfodinamici, pertanto, è stato necessario, in primo luogo, ricorrere ad una valutazione dei volumi in arrivo mediante la definizione di opportuni sedimentogrammi e, successivamente, cercare di modellare la dinamica dell'evoluzione per mezzo di una simulazione non stazionaria a fondo mobile per corroborare le stime iniziali.

Come anticipato nei paragrafi precedenti, nella Relazione Idraulica [G] sono state identificate le condizioni formative del torrente, riportate in Tabella 1. Queste ultime sono associate ad un tempo di ritorno piuttosto frequente, inferiore a T=2[anni], in linea con quanto evidenziato dalla numerosa letteratura scientifica disponibile.

PORTATA LIQUIDA Q [m^3/s]	PORTATA SOLIDA Q_S [m^3/s]
25.5	*0.0187*

Tabella 1 – Stima delle condizioni formative per il torrente Nervi

Nella valutazione dell'evento formativo, come ampiamente descritto nella Relazione Idraulica [G], si è optato per la definizione di due approcci congiunti:

1. in prima battuta, si è definitito un idrogramma caratteristico avente come portata di picco la portata formativa Q_L=25.5[m^3/s]. Quindi, utilizzando la sezione di riferimento e l'associata pendenza i_R, si è ricavato il relativo sedimentogramma avente come portata di picco la portata solida formativa Q_S=0.0187[m^3/s]. I risultati sono riportati in Figura 25 e in Figura 26;
2. successivamente, si è ricavato un sedimentogramma caratteristico avente come media integrale il valore della portata solida formativa $Q_{S\ MEDIA}$=0.0187[m^3/s]. Quindi, utilizzando la sezione di riferimento e l'associata pendenza i_R, si è ricavato il relativo idrogramma. I risultati sono riportati in Figura 27 e in Figura 28;

Integrando i sedimentogrammi di Figura 26 e di Figura 28, è possibile ricavare il volume totale di materiale compatto in arrivo da monte durante un singolo evento. Quindi, utilizzando la medesima porosità definita per l'equazione di Exner, pari a circa p=0.4[-], è possibile valutare il volume efficace di sedimenti mobilitato V_S. Ad ogni sedimentogramma, inoltre, può essere associato un tempo di ritorno.

I risultati sono riassunti in Tabella 2.

EVENTO [-]	V_S [m³]	T [anni]
1	87	< 1.0
2	340	≈ 4

Tabella 2 – Valutazione dei volumi mobilitati dagli eventi caratteristici

Inoltre, occorre ricordare che l'evoluzione verso l'equilibrio rappresenta, in generale, un processo asintotico. Di frequente può accadere, infatti, che nei primi eventi il fondo progredisca molto velocemente verso l'equilibrio per poi rallentare negli eventi successivi. Ciò precisato, risulta evidente come una stima verosimile della celerità e del periodo di evoluzione temporale della soluzione non possano prescindere da una simulazione non stazionaria a fondo mobile del fenomeno.

A tal fine, quindi, sono stati impostati tre scenari morfodinamici, riassunti in Tabella 3.

Lo scenario A è costituito da due eventi successivi di tipo (1).

Lo scenario B è costituito da due eventi successivi di tipo (2).

Lo scenario C è costituito da un evento di tipo (2) seguito da un evento di tipo (1).

SCENARIO [-]	DESCRIZIONE		
A	EVENTO 1	+	EVENTO 1
B	EVENTO 2	+	EVENTO 2
C	EVENTO 2	+	EVENTO 1

Tabella 3 – Definizione degli scenari morfodinamici

L'analisi dei risultati delle simulazioni morfodinamiche non stazionarie è ampiamente descritta nella Relazione Idraulica [G], a cui si fa riferimento per una trattazione più approfondita.

In sintesi, in Figura 29, Figura 30 e Figura 31 è riportato il confronto tra il fondo iniziale della soluzione progettuale (η_{t0}), il fondo alla fine del primo evento dello scenario (η_{t1}), il fondo alla fine del secondo evento dello scenario (η_{t2}) ed il fondo di equilibrio a lungo termine (η_{EQ}).

Tutte le risultanze confermano la tendenza al deposito dei sedimenti nel canale.

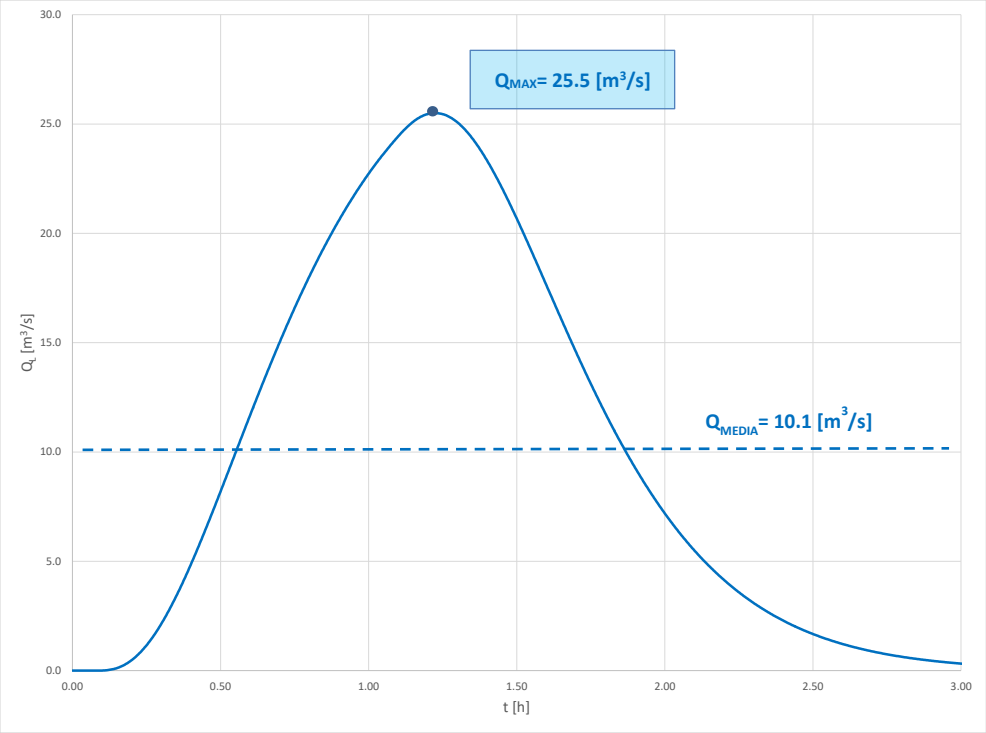


Figura 25 – Stima dell'Idrogramma Formativo – Q_{PICCO} = 25.5 [m³/s]

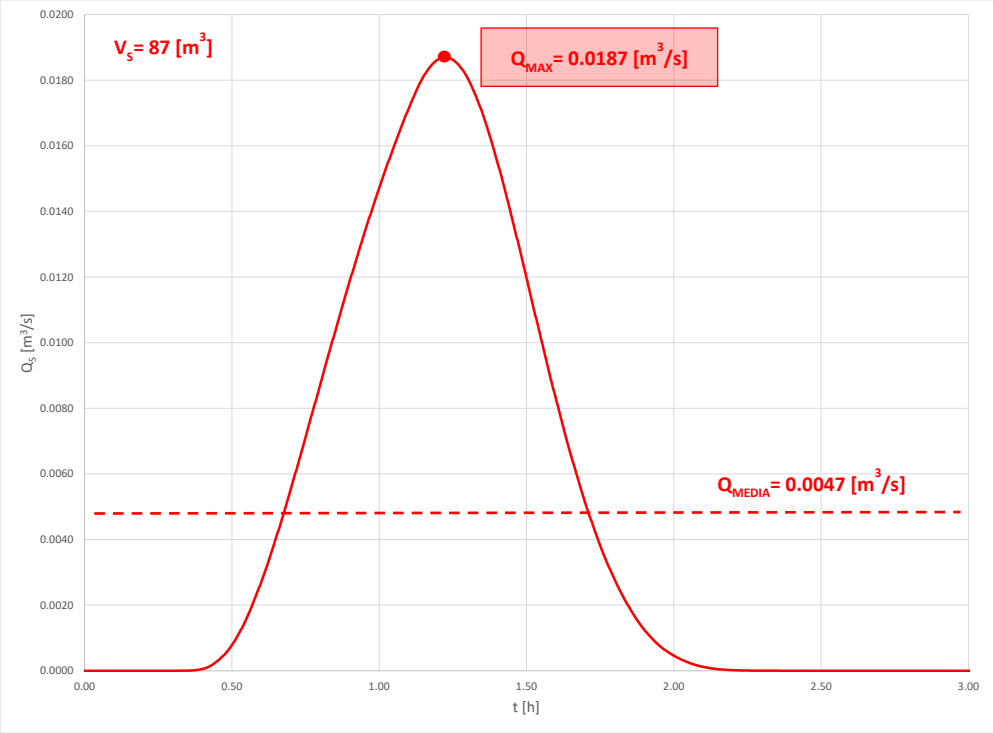


Figura 26 – Stima del Sedimentogramma Formativo – Q_{PICCO} = 0.0187 [m³/s]

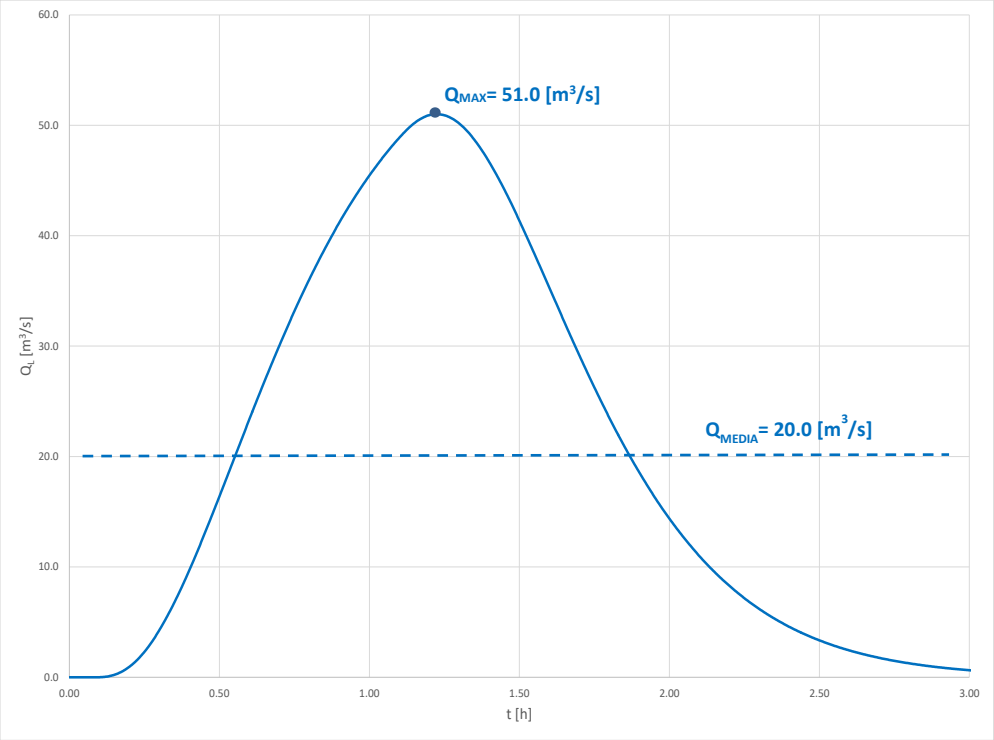


Figura 27 – Stima dell'Idrogramma Formativo – Q_{MEDIA} = 20.0 [m³/s]

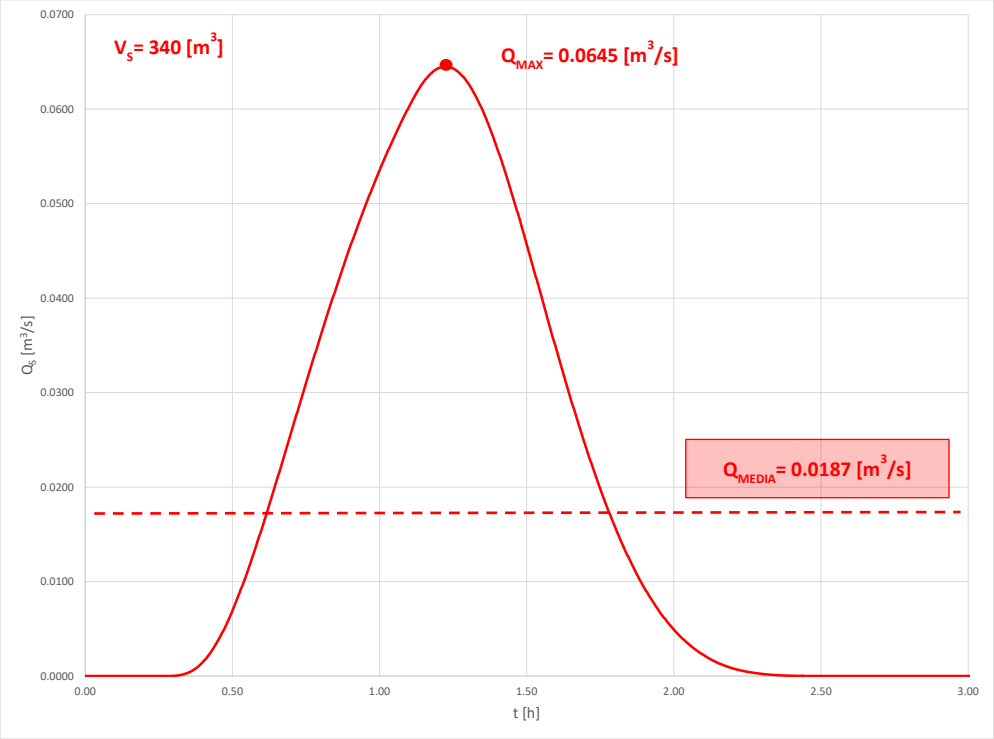


Figura 28 – Stima del Sedimentogramma Formativo – Q_{MEDIA} = 0.0187 [m³/s]

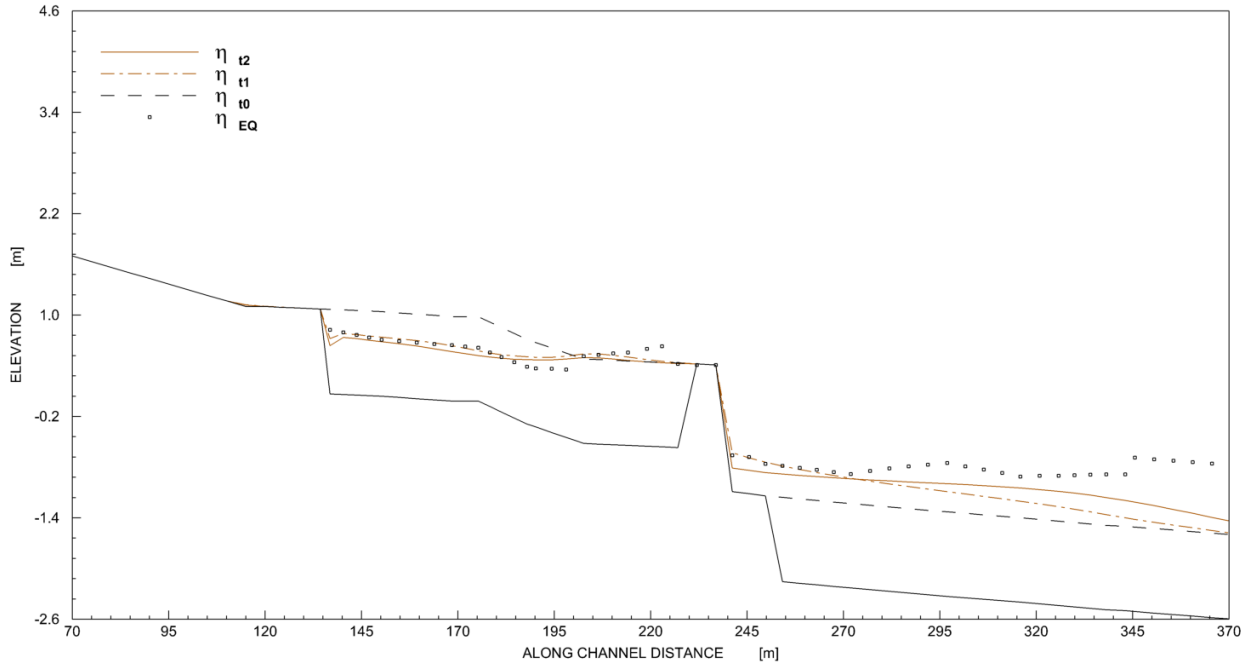


Figura 29 – SCENARIO A - Evoluzione morfodinamica del fondo – Confronto tra il primo evento [Tipo (1)] ed il secondo evento [Tipo (1)]

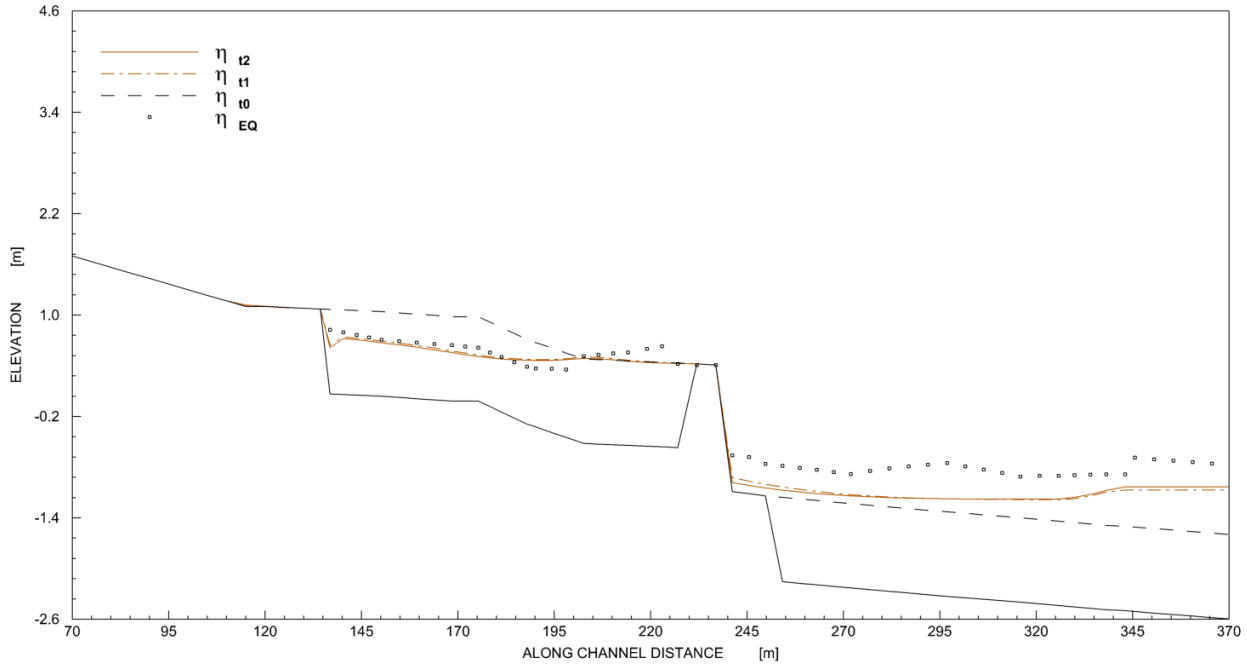


Figura 30 – SCENARIO B - Evoluzione morfodinamica del fondo – Confronto tra il primo evento [Tipo (2)] ed il secondo evento [Tipo (2)]

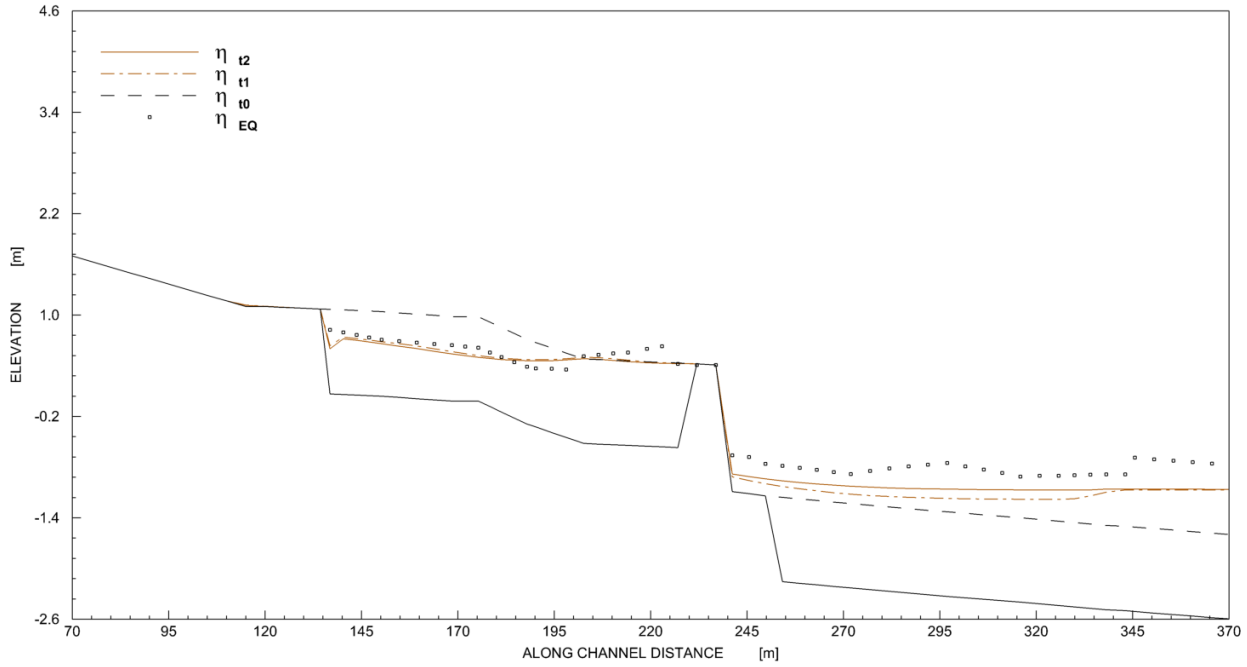


Figura 31 – SCENARIO C - Evoluzione morfodinamica del fondo – Confronto tra il primo evento [Tipo (2)] ed il secondo evento [Tipo (1)]

In generale, la modellazione morfodinamica ha permesso di confermare come, in condizioni di alimentazione standard, il sedimento tenda a depositare a valle della nuova briglia, nel canale realizzato mediante l'abbassamento del fondo alveo, caratteristica effettivamente prevista dai profili di equilibrio che rappresentano la soluzione a lungo termine delle analisi non stazionarie.

Considerando, quindi, come significativo, un riempimento superiore ad un valore di soglia fissato all'incirca nel 40% del volume necessario al raggiungimento dell'equilibrio, le precedenti analisi permettono di stimare regionevolmente il periodo di evoluzione morfodinamica nell'intervallo compreso tra:

$$2\ [\text{anni}] \leq T \leq 13\ [\text{anni}]$$

Come prescrizione al piano di manutenzione dell'opera, sarà buona norma dotare l'alveo di aste graduate su entrambe le sponde utili a monitorare l'evoluzione del fondo medio dell'alveo e a correlare tale variazione con la portata prevista e registrata, al fine di acquisire sempre più informazioni sul bacino e poter tarare al meglio eventuali interventi o correzioni successive.

4.4. OPERE DI DIFESA SPONDALE E NUOVO SALTO DI FONDO

Le caratteristiche delle opere a progetto sono indicate nelle sezioni tipiche degli elaborati progettuali [G][S].

Il dimensionamento statico delle opere strutturali è stato condotto in considerazione dei contenuti della Relazione Geologica e della Relazione Geotecnica costituenti parti del progetto, per ciò che attiene gli aspetti inerenti i terreni interessati dalle opere, nonché dai risultati delle analisi idrauliche effettuate.

Il dimensionamento delle nuove opere è stato condotto in conformità alla Normativa vigente in materia.

Le berlinesi realizzate in fregio ai muri esistenti sono state dimensionate per sostenere tutti i carichi derivanti dalla spinta del terreno e della corrente, trascurando il contributo delle strutture esistenti.

Il piede delle opere è protetto dai fenomeni di scalzamento mediante la posa in opera di massi naturali o gabbioni. Per l'esecuzione dell'intervento di sottomurazione, si prevede di operare a campioni longitudinali.

Il nuovo salto di fondo, localizzato in corrispondenza della sezione n°6, è previsto come opera strutturale in calcestruzzo armato. Il dimensionamento è stato condotto considerando i tiranti idrici che si realizzano in condizioni di moto permanente con portata pari a quella duecentennale. Al fine di proteggere la fondazione da fenomeni di erosione e scalzamento al piede è stata prevista la posa di massi di naturali.

Lo Scrivente

Ing. Giampiero Nobile



5. INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1 – VISTA DELLA SEZIONE OGGETTO DI CAMPIONAMENTO GRANULOMETRICO 15
FIGURA 2 – SBOCCO DELLA COPERTURA DI VIA OBERDAN RIPRESA DAL PONTE ROMANICO 15
FIGURA 3 – VISTA DEL PONTE ROMANICO RIPRESA DALLO SBOCCO DELLA COPERTURA DI VIA OBERDAN 16
FIGURA 4 – SPONDA DESTRA A VALLE DEL PONTE ROMANICO – STAZIONE DI POMPAGGIO RETE NERA 16
FIGURA 5 – SPONDA SINISTRA A VALLE DEL PONTE ROMANICO – EDIFICIO AGGETTANTE IN ALVEO 17
FIGURA 6 – SPONDA DESTRA A VALLE DEL PONTE ROMANICO – EDIFICIO AGGETTANTE IN ALVEO 17
FIGURA 7 – PARTICOLARE DEL MURO IN PIETRA IN SPONDA DESTRA A MONTE DEL PONTE ROMANICO 18
FIGURA 8 – PARTICOLARE DEL MURO IN PIETRA IN SPONDA SINISTRA A MONTE DEL PONTE ROMANICO 18
FIGURA 9 – SPONDA DESTRA IN PROSSIMITÀ DELLA CURVA – EDIFICI AGGETTANTI IN ALVEO 19
FIGURA 10 – SPONDA DESTRA A VALLE DELLA CURVA – EDIFICI AGGETTANTI IN ALVEO 19
FIGURA 11 – SPONDA DESTRA IN PROSSIMITÀ DEL PORTICCIOLO – EDIFICI AGGETTANTI IN ALVEO 20
FIGURA 12 – SPONDA DESTRA A VALLE DELL'ATTUALE SOGLIA – SCALETTE DI ACCESSO ALL'ALVEO 20
FIGURA 13 – SCENARIO 1 - PROFILO STAZIONARIO PER PORTATA Q_{200}=207[M^3/S] 24
FIGURA 14 – STATO DI PROGETTO – SCENARIO 2 - INDICAZIONE DELLE NUOVE ARGINATURE – TRATTO A MONTE DEL PONTE ROMANICO 26
FIGURA 15 – STATO DI PROGETTO – SCENARIO 2 - INDICAZIONE DELLE NUOVE ARGINATURE – TRATTO A VALLE DEL PONTE ROMANICO – MONTE CURVA 27
FIGURA 16 – STATO DI PROGETTO – SCENARIO 2 - INDICAZIONE DELLE NUOVE ARGINATURE – TRATTO A VALLE DEL PONTE ROMANICO – VALLE CURVA 28
FIGURA 17 – STATO DI PROGETTO – SCENARIO 2 - PROFILO DEL FONDO IN CONDIZIONI DI PORTATA NULLA 29
FIGURA 18 – STATO DI PROGETTO – SCENARIO 2 - ABBASSAMENTO ALVEO E RELATIVI INTERVENTI 30
FIGURA 19 – STATO DI PROGETTO – SCENARIO 2 - SEZIONI TIPOLOGICHE 31
FIGURA 20 – STATO DI PROGETTO - SCENARIO 2 – EFFETTI MIGLIORATIVI GENERATI DALL'ABBASSAMENTE DELL'ALVEO. CONFRONTO CON LO SCENARIO 1 33
FIGURA 21 – STATO DI PROGETTO – SCENARIO 2 - EQUILIBRIO DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE. FONDO (H), PELO LIBERO (H) E PROFONDITÀ CRITICA (H_C) 35
FIGURA 22 – STATO DI PROGETTO – SCENARIO 2 - CONFRONTO TRA IL PROFILO DI EQUILIBRIO DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE E IL FONDO RILEVATO 36
FIGURA 23 – STATO DI PROGETTO – SCENARIO 2 - PROFILO DI EQUILIBRIO DELLA SOLUZIONE CON E SENZA ALVEO DI MAGRA 37
FIGURA 24 – STATO DI PROGETTO - SCENARIO 2 - PROFILO STAZIONARIO PER PORTATA Q_{200}=207[M^3/S] – GEOMETRIA IN EQUILIBRIO MORFODINAMICO 39
FIGURA 25 – STIMA DELL'IDROGRAMMA FORMATIVO – Q_{PICCO} = 25.5 [M^3/S] 42
FIGURA 26 – STIMA DEL SEDIMENTOGRAMMA FORMATIVO – Q_{PICCO} = 0.0187 [M^3/S] 42
FIGURA 27 – STIMA DELL'IDROGRAMMA FORMATIVO – Q_{MEDIA} = 20.0 [M^3/S] 43
FIGURA 28 – STIMA DEL SEDIMENTOGRAMMA FORMATIVO – Q_{MEDIA} = 0.0187 [M^3/S] 43
FIGURA 29 – SCENARIO A - EVOLUZIONE MORFODINAMICA DEL FONDO – CONFRONTO TRA IL PRIMO EVENTO [TIPO (1)] ED IL SECONDO EVENTO [TIPO (1)] 44
FIGURA 30 – SCENARIO B - EVOLUZIONE MORFODINAMICA DEL FONDO – CONFRONTO TRA IL PRIMO EVENTO [TIPO (2)] ED IL SECONDO EVENTO [TIPO (2)] 44
FIGURA 31 – SCENARIO C - EVOLUZIONE MORFODINAMICA DEL FONDO – CONFRONTO TRA IL PRIMO EVENTO [TIPO (2)] ED IL SECONDO EVENTO [TIPO (1)] 45

6. INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 1 – STIMA DELLE CONDIZIONI FORMATIVE PER IL TORRENTE NERVI 40
TABELLA 2 – VALUTAZIONE DEI VOLUMI MOBILITATI DAGLI EVENTI CARATTERISTICI 41
TABELLA 3 – DEFINIZIONE DEGLI SCENARI MORFODINAMICI 41