



Interreg



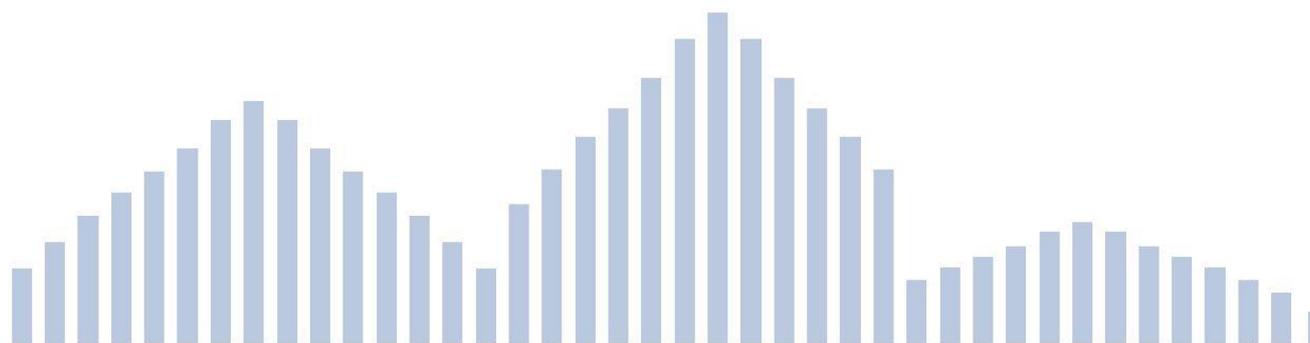
UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

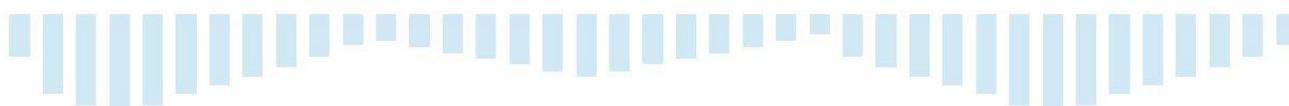
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



ADAPT



**ASSISTERE L'ADATTAMENTO AI
CAMBIAMENTI CLIMATICI DEI SISTEMI
URBANI DELLO SPAZIO
TRANSFRONTALIERO - "ADAPT"
Relazione finale delle attività nell'ambito
della convenzione ANCI-DAGRI**



Lingua: ITALIANO



Interreg



UNIONE EUROPEA



ADAPT

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Introduzione

La presente relazione illustra le principali attività svolte dal Dipartimento DAGRI (ex GESAAF) dell'Università di Firenze nell'ambito del progetto Adapt.

In collaborazione con Anci Toscana, si è scelto di focalizzare lo studio oggetto della convenzione nel territorio di Carrara. La scelta di quest'area, dalle caratteristiche estremamente peculiari dovute alla presenza dell'area estrattiva più estesa della regione, ha comportato una maggiore attenzione sull'area marmifera, in accordo con l'Amministrazione Comunale. In particolare, è emersa la necessità di reperire maggiori informazioni relative alla stabilità dei ravaneti, alla comprensione delle dinamiche di successione vegetazionale, ed alla funzione idrogeologica che i popolamenti vegetali possono svolgere a protezione dei centri abitati ubicati a valle. È stata effettuata una ricerca finalizzata alla sistematizzazione della documentazione già disponibile inerente all'idrologia del bacino del Torrente Carrione e sono state integrate le informazioni disponibili con attività di campo dedicate in particolare alla caratterizzazione dei popolamenti vegetali e del rinforzo radicale associate. Le analisi idrauliche sono invece state condotte su uno dei corsi d'acqua principali della piana carrarina, la Fossa Maestra.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



1. Il ruolo idrologico dei ravaneti

In seguito ad una intensa collaborazione con il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa, in particolare con il gruppo di ricerca coordinato dal prof. Baroni, si è proceduto alla realizzazione di carte tematiche finalizzate all'individuazione dei ravaneti da sottoporre a tutela (cfr. "Carta dei parametri di selezione dei ravaneti da sottoporre a tutela"), predisponendo la sezione relativa alla copertura vegetale. In particolare, si è proceduto ad una categorizzazione della vegetazione basata sul portamento (erbaceo, arbustivo, arboreo) e sulla prevalenza di specie autoctone o alloctone, per individuare i ravaneti di maggior interesse da un punto di vista floristico, privilegiando i depositi colonizzati da vegetazione arborea, nei quali si suppone che l'effetto stabilizzante degli apparati radicali sia maggiore.

L'attività congiunta fra Università di Firenze e Pisa ha prodotto uno studio approfondito sui ravaneti del bacino marmifero di Carrara, intitolato "*Ricerche geomorfologiche applicate ai ravaneti del comune di Carrara, per l'aggiornamento dei dati relativi all'estensione e alla caratterizzazione dei ravaneti dei bacini marmiferi ed all'identificazione dei ravaneti dei bacini marmiferi da sottoporre a tutela e valorizzazione (piani attuativi dei bacini estrattivi)*". La partecipazione del DAGRI ha riguardato in particolare la sezione inerente la realizzazione delle Tav. 2 "Carta dei parametri di selezione dei ravaneti da sottoporre a tutela" e Tav. 3 "Carta dei ravaneti da sottoporre a tutela". Tale analisi ha permesso l'individuazione dei ravaneti maggiormente funzionali nella mitigazione del rischio idrogeologico per gli insediamenti abitativi di valle, tutti ricadenti nel comune di Carrara. L'approccio utilizzato ha privilegiato la conservazione dei depositi i) con maggior capacità di assorbimento di acque meteoriche, finalizzato ad una riduzione dei coefficienti di deflusso dei bacini marmiferi, e ii) con minore probabilità di dissesto, garantita dalle caratteristiche granulometriche e dalle caratteristiche della copertura vegetale, nella prospettiva di tutelare quei depositi che sono meno soggetti a fenomeni erosivi e dissesti gravitativi. Si riporta di seguito il capitolo estratto dal documento conclusivo.

1.1 Sistemizzazione degli studi idrologici disponibili

Grazie alla collaborazione e disponibilità del dott. Fabio Gardin e del prof. ing. Fabio Castelli, sentito l'ing. Gennarino Costabile della Regione Toscana, si è proceduto con l'analisi degli elaborati seguenti (tratti da "Progetto di approfondimento conoscitivo per l'idrologia dei bacini del carrione e del Frigido", dip. DICEA-UniFi), evitando di ricalcolare le portate di assegnato tempo di deflusso, concentrandosi piuttosto sulle caratteristiche dei ravaneti utili ai fini della loro tutela per ragioni idrologiche.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

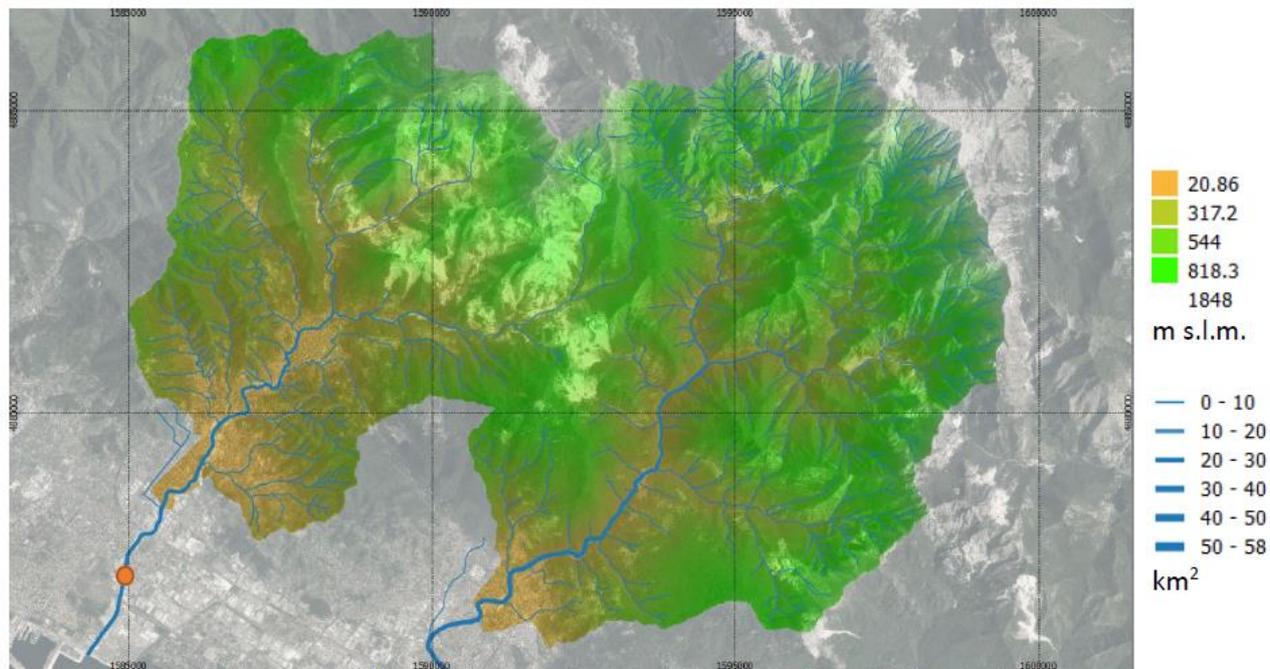


Figura 1 Quote del terreno e reticolo idrografico con indicazione delle aree contribuenti (il simbolo circolare rappresenta la posizione dell'idrometro di Avenza)

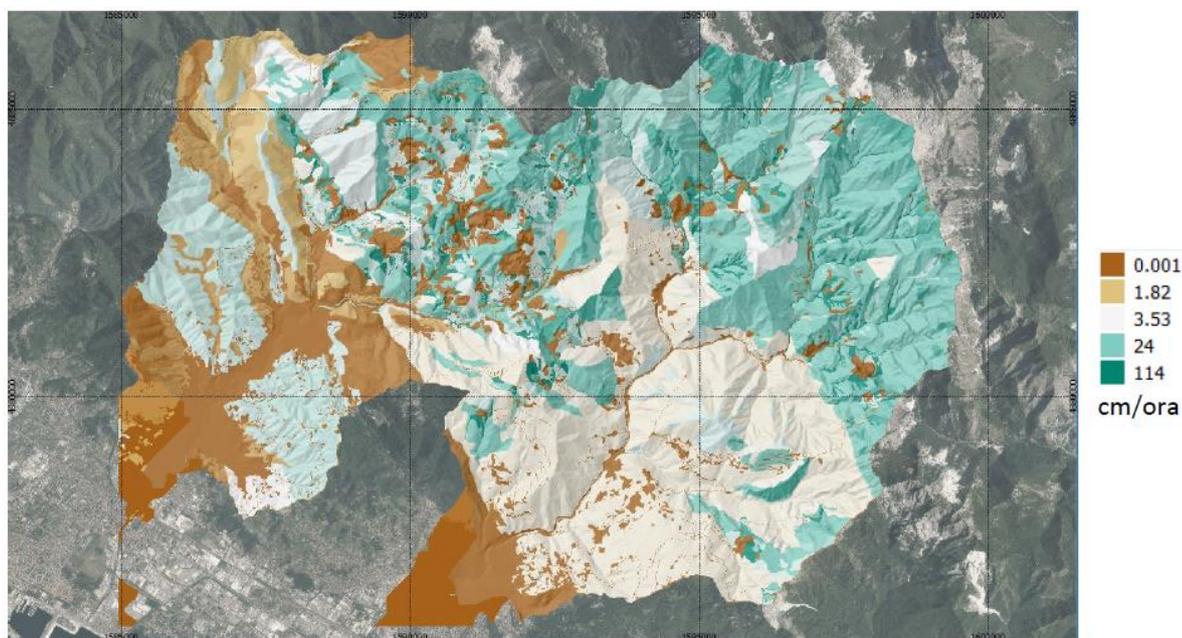


Figura 2 Conducibilità idraulica a saturazione dello strato superficiale del terreno



Interreg



UNIONE EUROPEA



ADAPT

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

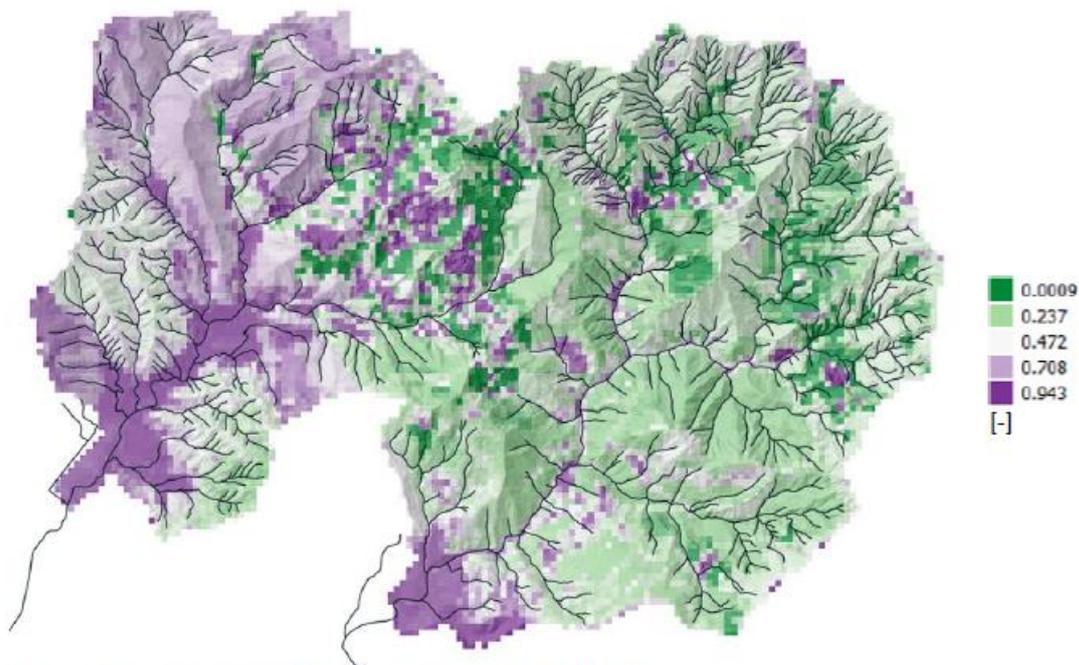


Figura 3 Coefficiente di deflusso superficiale (rapporto dei valori cumulati)

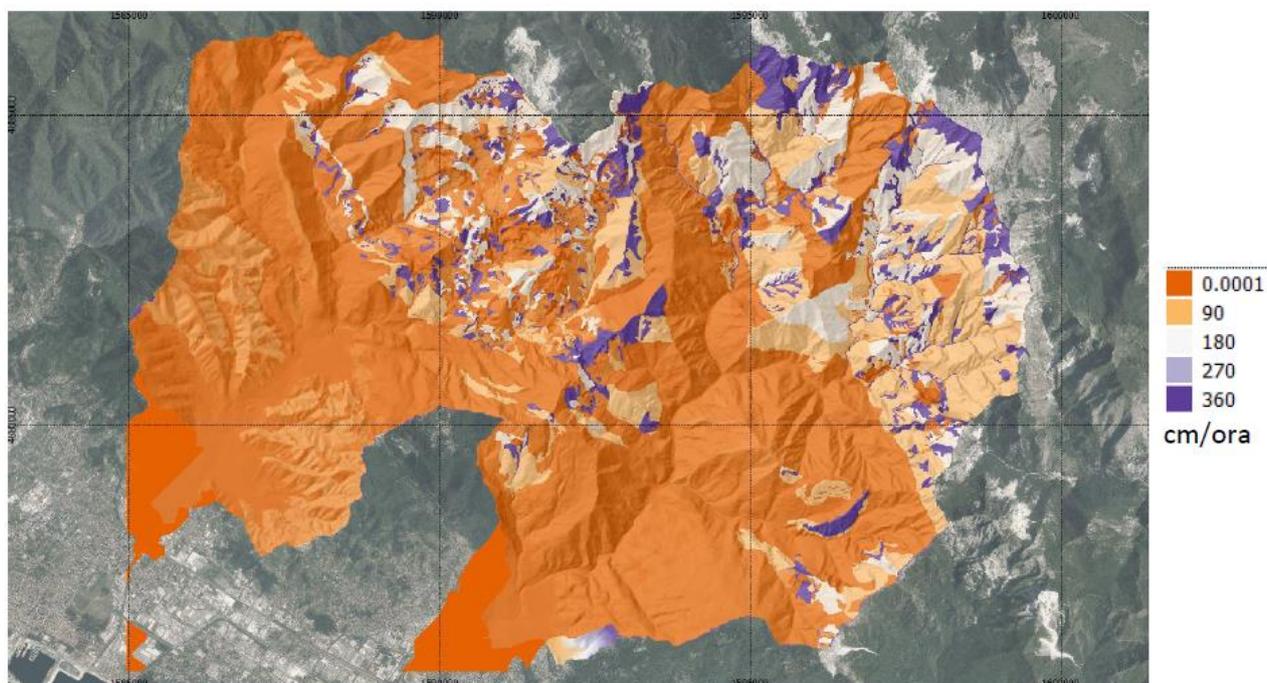


Figura 4 Permeabilità del substrato roccioso



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

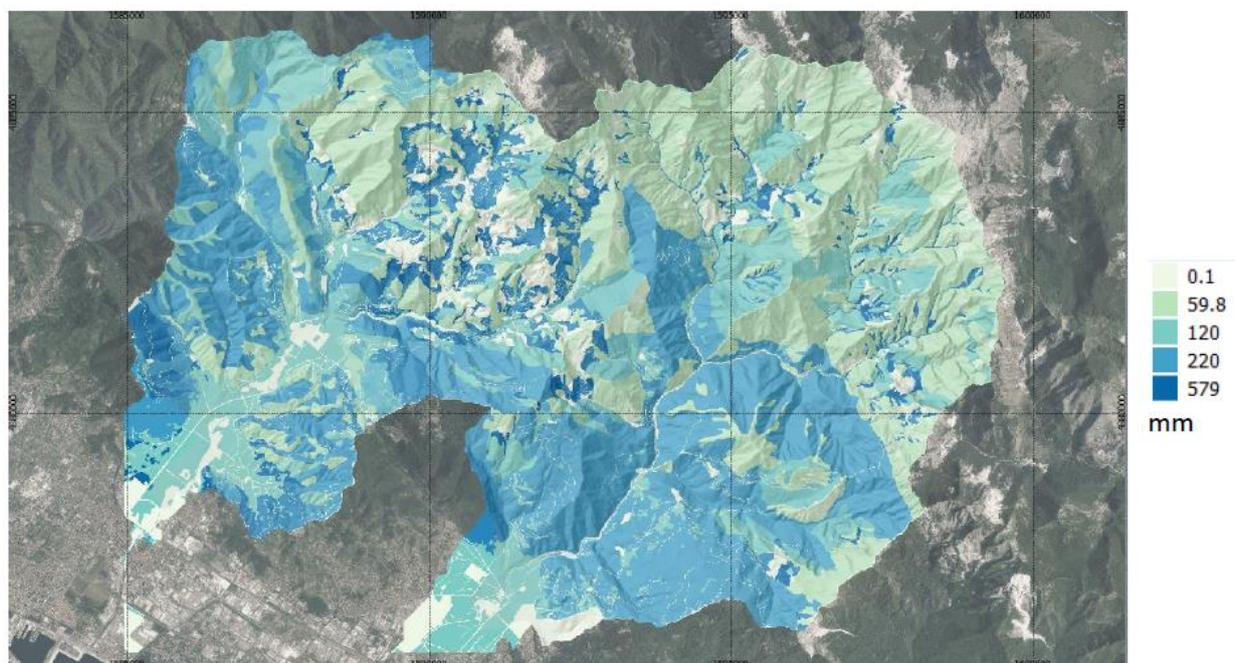


Figura 5 Contenuto massimo di acqua capillare

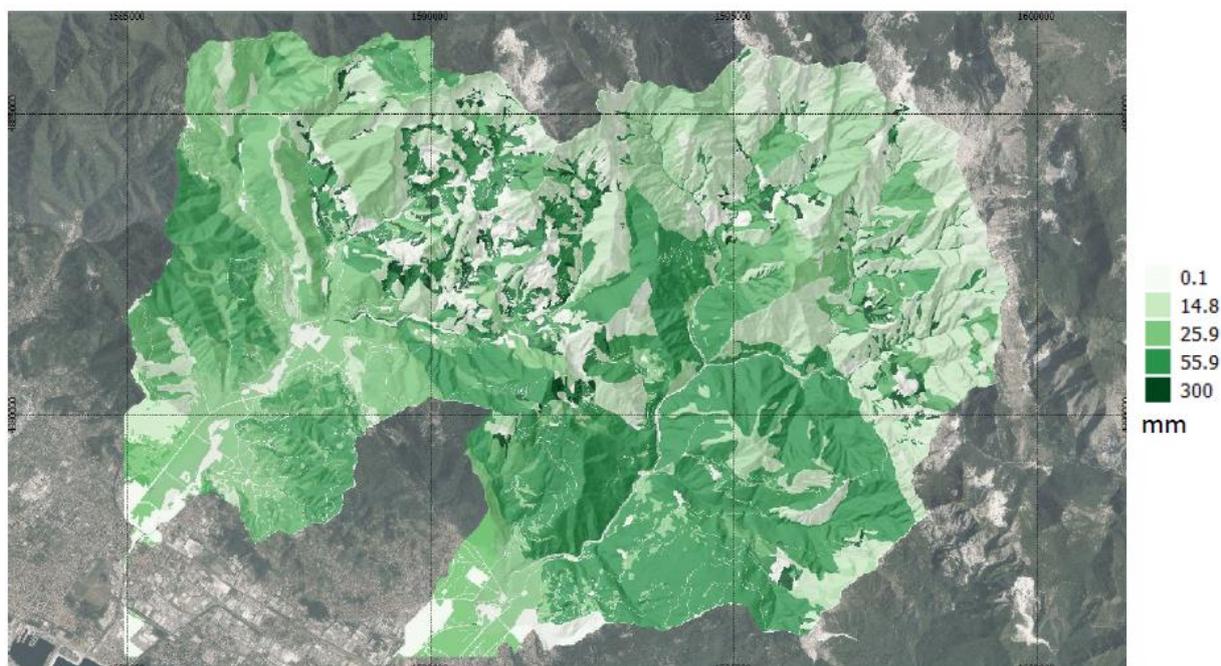


Figura 6 Contenuto massimo di acqua gravitazionale



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



2. La vegetazione presente sui ravaneti

2.1 Lo studio della vegetazione presente sui ravaneti

I ravaneti rappresentano un ambiente estremo per la colonizzazione delle piante e dei popolamenti vegetali. I ravaneti si presentano in maniera molto differenziata in base alla granulometria, alla tessitura e alla permeabilità, e rappresentano quindi habitat diversi (Baroni et al, 2003). La notevole variabilità che si osserva nei sedimenti costituenti i depositi è principalmente legata alle diverse tipologie di lavorazione e tecniche estrattive del marmo che si sono succedute nella storia. I ravaneti antichi affioranti, la cui produzione risale per lo più al periodo tra la fine dell'Ottocento e l'inizio del Novecento, presentano evidenti differenze rispetto a quelli più recenti, legati alle attuali tecniche di estrazione del marmo (Ansaldi e Gentili, 2004).

I primi si sono formati in un periodo in cui i detriti venivano ridotti alla pezzatura di circa 20 cm ed accumulati all'interno di bastioni e muri a secco di contenimento (Bruschi et al, 2003); molti di questi sono ancora oggi in posto e risultano omogenei, essendo costituiti da pezzame selezionato, con presenza di sabbia silicea derivante dall'utilizzo del filo elicoidale per il taglio dei blocchi. In assenza di movimenti di versante o movimentazioni legate all'attività antropica, il marmo di questi depositi si presenta di colore grigio, a causa dell'alterazione superficiale. Su questi ravaneti si osserva qualche sporadica forma di colonizzazione da parte di piante erbacee o suffrutici.

I ravaneti più recenti presentano invece detriti di pezzatura eterogenea, con presenza di blocchi anche di alcune decine di cm di diametro frammisti a polveri e abbondante matrice molto fine ("marmettola"). In molti casi tali depositi subiscono una continua rimobilitazione, dovuta all'apporto di nuovo materiale e da movimenti di versante (principalmente osservabili sottoforma di solchi di erosione colate detritiche) favoriti dalla forte acclività, che può superare i 30°. Tali dissesti, favoriti dalla presenza di matrice fine, compromettono la stabilità dei versanti in caso di forti piogge, tutt'altro che infrequenti nell'area apuana (Baroni et al., 2003). Tutti questi fattori ostacolano la colonizzazione da parte delle piante e non permettono l'insediamento e l'evoluzione di comunità vegetali stabili e mature (Ansaldi e Gentili, 2004).

Dal punto di vista climatico l'area è caratterizzata da un clima umido di tipo B1-B2, con un mese arido ed assenza di mesi freddi (Rapetti e Vittorini, 1994). Dal punto di vista vegetazionale, Ferrarini (1972) inserisce l'area del bacino marmifero nell'ambito della serie del querceto xeromorfo; in particolare alcuni lembi esigui sono inquadrati nel querceto-carpineto, le parti più estese nelle formazioni con *Ostrya* sparsa (Ansaldi e Gentili, 2004).

La vegetazione potenziale dell'area indagata ricade nella fascia dei quercu-ostrieti a *Quercus pubescens* Willd. (roverella) e *Ostrya carpinifolia* Scop. (carpino nero) posto al di sopra della macchia mediterranea, con dominanza di *Ostrya carpinifolia* che sui versanti soleggiati risalgono fin oltre i 1000 m di quota (Ferrarini e Alessandrini, 1988).

Classificazione della vegetazione ai fini della redazione della carta

La copertura vegetazionale dei ravaneti appare fortemente influenzata dalla tipologia di substrato e dal grado di perturbazione che questo ha subito nel corso del tempo, ed è per questo piuttosto eterogenea sia per quanto riguarda la composizione specifica che il grado di copertura.



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Pochi studi sono stati condotti all'interno del bacino marmifero per la caratterizzazione della copertura vegetazionale sui ravaneti. Fra questi, di particolare interesse risulta lo studio condotto da Gentili (2008), che fornisce una dettagliata analisi della copertura vegetazionale in relazione alle caratteristiche geomorfologiche dei vari ravaneti, una mappatura completa della vegetazione all'interno del bacino estrattivo, oltre ad una analisi più dettagliata condotta su 74 siti di rilievo puntuale. Un altro studio di interesse per la presente analisi, di epoca più recente, è stato redatto dal gruppo di lavoro coordinato dalla d.ssa biol. Grazzini (2017). Tale studio ha individuato e digitalizzato diverse tipologie di copertura vegetale, indicando le specie presenti per ciascuna di esse e indicando l'eventuale presenza di habitat di interesse ai sensi della L.R. 56/00 e della Direttiva 92/43/CEE all'interno di ciascun poligono.

Nel corso dell'estate 2018 è stato condotto dal dott. Errico un ulteriore rilievo sugli stessi 74 punti precedentemente censiti dal dott. Gentili, i cui risultati saranno impiegati per una analisi comparativa a distanza di 10 anni finalizzata alla comprensione dei trend evolutivi della copertura vegetale, ad oggi ancora in corso di svolgimento.

Nel corso dello stesso anno, la d.ssa Alderighi ha effettuato una dettagliata digitalizzazione delle aree vegetate presenti sui ravaneti basandosi sulle ortofoto riprese nel 2017, ottenendo quindi una serie di poligoni ricadenti sui ravaneti. Lo shapefile ottenuto è stato combinato con quello prodotto dal gruppo coordinato dalla d.ssa Grazzini, al fine di attribuire a ciascun poligono la tipologia di copertura da loro precedentemente attribuita.

La vegetazione può svolgere un ruolo importante nel contrastare i fenomeni di dissesto e quindi la produzione di sedimenti all'interno di un bacino idrografico. Gli effetti principali si possono riassumere in:

Riduzione della frazione di precipitazioni che genera ruscellamento: grazie all'intercettazione della precipitazione svolta dalle chiome, parte della precipitazione non raggiunge il suolo ma è trattenuta sulla superficie fogliare; un suolo vegetato presenta inoltre una maggiore capacità di infiltrazione grazie alle vie preferenziali aperte dagli apparati radicali;

Riduzione dell'effetto battente della pioggia: soprattutto su substrati a granulometria fine, l'effetto battente della pioggia favorisce la rottura degli aggregati del suolo e quindi rendere le particelle più facilmente erodibili;

Riduzione dell'erosione superficiale: la presenza di vegetazione aumenta la rugosità della superficie su cui l'acqua di ruscellamento si muove; si ha quindi una minor velocità del ruscellamento e una conseguente minor capacità di trasporto solido;

Riduzione dell'umidità del suolo: grazie all'evapotraspirazione, la vegetazione contribuisce ad asportare l'acqua dal suolo, riducendo il rischio di accumulo in periodi piovosi caratterizzati da precipitazioni ravvicinate;

Aumento di coesione del suolo: grazie alla elevata resistenza a taglio e sfilamento degli apparati radicali, la vegetazione incrementa la coesione, contrastando quindi l'insorgere di movimenti di massa. Tale effetto è massimo quando le radici attraversano l'intero spessore di suolo ancorandosi a substrati stabili.

Nel contesto dei ravaneti, il comportamento in caso di precipitazioni è estremamente variabile e influenzato anche dalla granulometria e stratigrafia dei depositi. I ravaneti più antichi, caratterizzati da granulometria grossolana, presentano una intrinseca stabilità e capacità di drenaggio delle acque, indipendentemente dal grado di copertura dato dalla vegetazione. Differentemente, i ravaneti più recenti, composti da sedimenti di pezzatura variabile e spesso a prevalenza di materiale fine, possono vedere modificata anche in modo significativo la propria risposta idrologica in presenza o assenza di piante, con benefici tanto maggiori quanto



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



più è sviluppata la vegetazione. Pertanto, per la redazione della presente “Carta dei parametri di selezione dei ravaneti da sottoporre a tutela” si è scelto di adottare un semplice criterio di classificazione basato sul grado di sviluppo della copertura vegetale, assumendo che tale informazione sia strettamente correlata al potenziale effetto stabilizzante che la vegetazione può avere sui depositi di cava. Tale scelta è stata effettuata nella prospettiva di privilegiare la conservazione di quei depositi che mostrano una più bassa propensione al dissesto, nella prospettiva di indirizzare la gestione del bacino marmifero verso una minore produzione di sedimenti. In particolare, si è scelto di classificare la vegetazione sulla base del portamento della copertura dominante, in 3 macroclassi:

- 1) Ravaneto privo di copertura vegetale: ricadono in questa categoria tutte le aree di deposito in cui la vegetazione costituisce una copertura minima o è del tutto assente, e quindi non è presente alcun fattore stabilizzante o antiersivo sull’intera superficie del ravaneto;



Figura 7 Ravaneto composto da materiale fine e privo di copertura vegetale



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Figura 8 Ravaneto recente composto da materiale di pezzatura variabile privo di vegetazione.

- 2) Ravaneto con copertura erbacea: ricadono in questa classe tutte le stazioni in cui vi è presenza di copertura, anche continua, ma limitata ad essenze a portamento erbaceo. Su tali depositi l'effetto della vegetazione si può considerare limitato al contenimento dell'effetto battente della pioggia, all'aumento nella capacità di infiltrazione, ed alla protezione dell'erosione per ruscellamento; l'effetto coesivo degli apparati radicali è da considerarsi limitato ai primi 5-10 cm di suolo, ed è quindi trascurabile per fenomeni di colamento o frana;



Figura 9. Ravaneto a pezzatura variabile parzialmente colonizzato da specie erbacee, a prevalenza di *Brachipodium genuense*.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Figura 10 Ravaneto a granulometria fine e prevalente copertura erbacea, a dominanza di *Inula viscosa*.

- 3) Ravaneto con copertura arbustiva: sono inclusi i ravaneti che presentano una copertura composta da specie a portamento arbustivo, inteso come specie con fusto lignificato di altezza massima 2-3 m. In tali stazioni l'effetto stabilizzante degli apparati radicali si può estendere fino ad alcune decine di cm di profondità, contribuendo quindi ad una maggiore stabilità dei pendii colonizzati. L'effetto è tanto maggiore quanto più il detrito risulta fine, e quindi soggetto al fenomeno della saturazione superficiale. In gran parte delle stazioni si riscontra la presenza di specie invasive, in particolare la *Buddleja davidii*. Nell'individuazione delle aree di maggior interesse per la tutela questo fattore dovrebbe essere preso in considerazione, privilegiando quelle stazioni in cui le invasive sono meno presenti o prevedendo interventi di contenimento ed eradicazione.



Figura 11 Ravaneto colonizzato da specie arbustive ed erbacee xerofile.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Figura 12 Ravaneto con copertura erbacea e arbustiva (*Spartium junceum*) in crescita.

- 4) Ravaneto con copertura arborea: si collocano in questa categoria i depositi che mostrano una prevalente copertura di specie vegetali lignificate e di altezza superiore ai 3 m. Spesso in tali stazioni si osserva la convivenza di strati diversi, comprendenti anche un piano arbustivo ed uno erbaceo, con notevole diversità di specie. In queste stazioni la *Buddleja* è presente ma è spesso contenuta dalla competizione delle specie in grado di raggiungere dimensioni maggiori e quindi di sottrarne lo spazio. In particolare, si sono rinvenuti soprassuoli strutturati a prevalenza di *Ostrya carpinifolia*, *Fraxinus ornus*, *Populus nigra*, *Quercus ilex*. In alcune stazioni si osserva la presenza al suolo di un orizzonte organico, che in taluni casi impedisce il riconoscimento del materiale detritico sottostante. I ravaneti maggiormente colonizzati mostrano limitate perturbazioni legate a movimenti franosi e colamenti: gli apparati radicali profondi ed il grado di copertura elevato contribuiscono a contrastare tali fenomeni. Da un punto di vista della stabilità e della produzione di sedimenti, questi ravaneti si mostrano sicuramente da tutelare, in quanto costituiscono uno stadio avanzato nelle successioni secondarie avvenute nel corso di decine di anni.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Figura 13 Copertura arborea a prevalenza di *Fraxinus angustifolia* e *Quercus ilex*, con compresenza di piano arbustivo (in foto, fra le altre, *Arbutus unedo* e *Viburnum lantana*) ed erbaceo (*Brachipodium genuense*).



Figura 14 Copertura arborea discontinua (*Populus tremula*, *Fraxinus ornus*, *Alnus cordata*) alternata a patch di vegetazione erbacea ed arbustiva (con presenza di *Spartium junceum* e *Buddleja davidii*).

Dall'intersezione con le informazioni fornite dalla d.ssa Grazzini (2017), è stato possibile individuare alcuni poligoni di vegetazione ricadenti su ravaneto in cui è stata rilevata la presenza di habitat di interesse ai sensi della L.R. 56/00 e della Direttiva 92/43/CEE, da ritenersi quindi di particolare valore naturalistico. Nella presente Carta, tali poligoni sono stati contrassegnati da un asterisco rosso.

Partecipazione a seminari, convegni, congressi; titoli delle relazioni presentate inerenti il progetto di ricerca



Interreg



UNIONE EUROPEA



ADAPT

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Lo stato di avanzamento delle ricerche è stato presentato agli altri partner del progetto il 28 febbraio 2019, a Tolone, nell'ambito di un incontro del comitato transfrontaliero.

Titolo dell'intervento: Il bosco e la pianificazione territoriale: **“Comprendere il ruolo della vegetazione per il contrasto al dissesto idrogeologico e l'adattamento ai cambiamenti climatici”**

Pubblicazioni inerenti il progetto di ricerca

“Carta dei parametri di selezione dei ravaneti da sottoporre a tutela” Carlo BARONI , Linda ALDERIGHI, Francesco BORSACCHI, Giuseppe BRUSCHI, Alessandro ERRICO, Alessandra PACCIANI, Federico PRETI, Maria Cristina SALVATORE



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

ADAPT

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

3. Il contributo della coesione radicale sulla stabilità dei ravaneti

Ai fini di analizzare l'effetto stabilizzante della vegetazione sui ravaneti, si sono studiate 15 piante di specie diverse (rappresentative dell'analisi vegetazionale di cui ai paragrafi precedenti) con diametro medio di 6 cm, 2 aree di saggio su ravaneti ed una terza di carpinetto con 44 piante con fusti di diametro variabile da 11 a 44 cm.

Ciascuna delle 15 piante è stata estratta e portata presso i laboratori del DAGRI UniFi per determinare la distribuzione del Rapporto di Area radicata RAR come rapporto fra l'Area di radici e l'Area di suolo radicato alle varie profondità. Il profilo di suolo è stato caratterizzato per presenza di scheletro e stratificazioni, stimando coesione ed angolo d'attrito interno.





Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

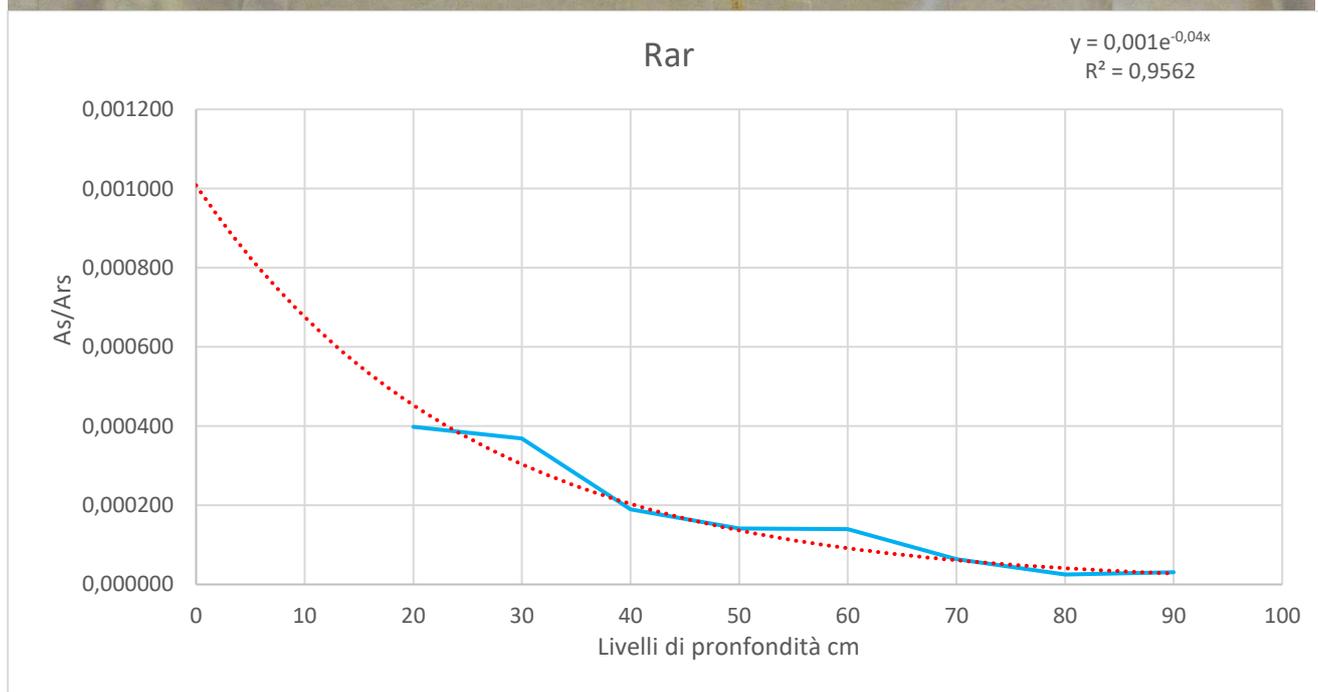
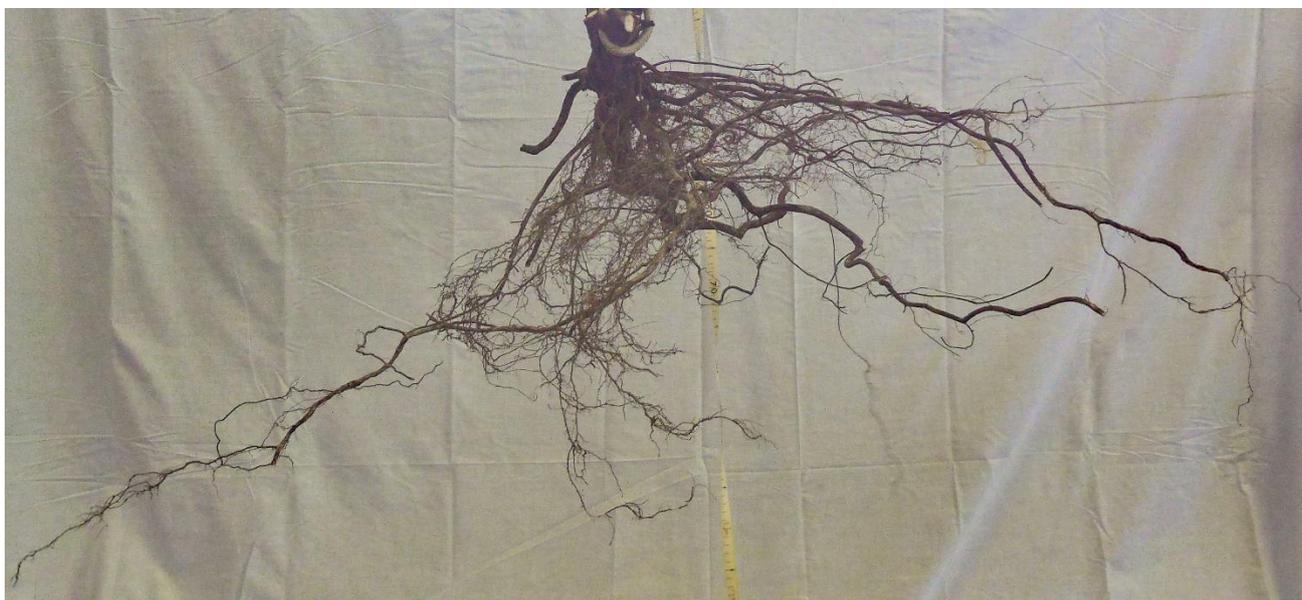


Figura 15 Apparato radicale di *Ostrya carpinifolia* e relativo grafico di distribuzione della densità di radici

L'analisi dell'area basimetrica nell'area di saggio ha consentito di determinare l'andamento della coesione radicale per le analisi di stabilità del versante di ravaneto, anche per la progettazione di interventi di Ingegneria Naturalistica o di rimboschimento (incremento del fattore di stabilità FS con pendio indefinito e Slip4Exe. I metodi di indagine sono quelli di Preti et al., 2010.



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

ADAPT

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

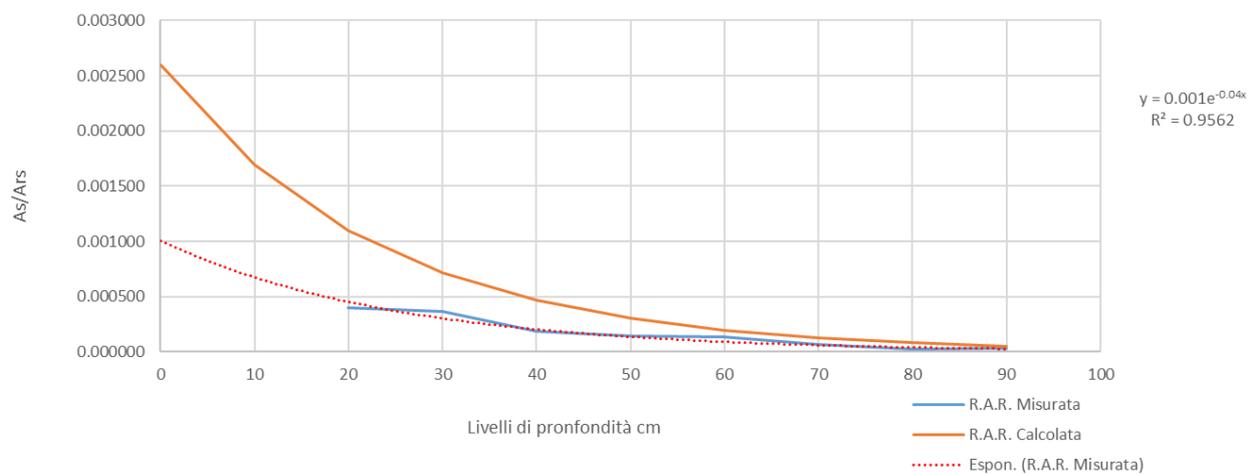


Figura 16 Il confronto dei dati (R.A.R. piante di piccolo diametro e il diametro delle piante dell'area di saggio) ha permesso di ricavare la R.A.R. del popolamento.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

4. Produzione potenziale di detriti legnosi

Ai fini di stimare la produzione di detriti legnosi potenziale dal bacino del Carrione si sono determinati i quantitativi di biomassa forestale presenti nelle aree di dissesto dell'ultimo evento alluvionale (dal 2003 al 2014). In figura seguente si riporta la mappa fornita dall'Ufficio Cartografico del Comune di Carrara.

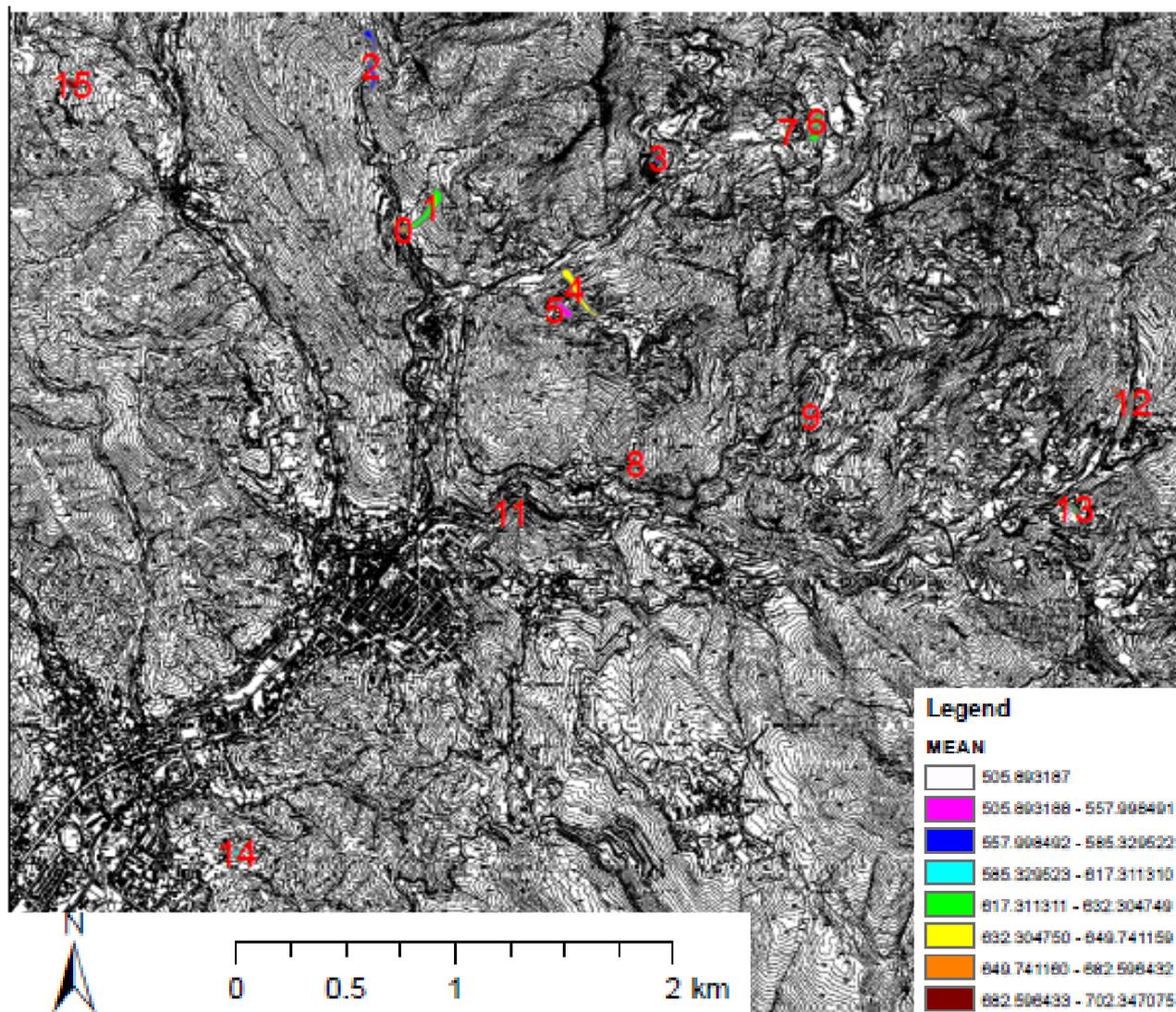


Figura 17 Stima dei volumi di legname/ha per le aree interessate da dissesto fra il 2003 e il 2014



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

ADAPT

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

I risultati sono riportati nella tabella seguente, dove il valore medio e la std si riferiscono ai m³ di legname.

Rowid	FID	COUNT	AREA	MEAN	STD
1	0	3	1586.96497	168.992169	6.095112
2	1	22	11637.743116	127.190562	8.079868
3	2	20	10579.766469	151.024514	18.946221
4	3	3	1586.96497	125.322037	1.892722
5	4	21	11108.754793	159.29805	19.238605
6	5	8	4231.908588	153.216217	19.251241
7	6	12	6347.859881	147.562557	23.937799
8	7	2	1057.976647	154.47767	1.659344
9	8	3	1586.96497	105.976141	11.49239
10	9	2	1057.976647	145.48206	2.594065
11	12	8	4231.908588	160.203635	18.730828
12	13	3	1586.96497	172.156859	3.120985
13	14	3	1586.96497	119.665491	27.966993
14	15	8	4231.908588	100.026944	14.807306



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

5. Studio eco-idraulico della Fossa Maestra

All'interno del territorio comunale di Carrara, una criticità particolarmente rilevante è rappresentata dal reticolo di bonifica, un tempo adibito al mantenimento del franco di coltivazione nelle aree agricole e ad oggi adibito a ricevere e smaltire le acque di pioggia proveniente da aree intensamente urbanizzate. La rete scolante delle acque basse ha fra i suoi assi principali la Fossa Maestra, la cui manutenzione è in carico al Consorzio di Bonifica 1 Toscana Nord. Nell'ambito del progetto Adapt, si è proceduto ad una valutazione modellistica dell'efficienza idraulica del suddetto corso d'acqua, con particolare attenzione agli effetti idraulici di differenti scenari gestionali. Tale studio è stato oggetto di una tesi di Laurea Magistrale in Scienze e Tecnologie dei Sistemi Forestali, Curriculum Ingegneria Forestale, svolta da Tiziano Viani. Il prof. F. Preti ha svolto il ruolo di relatore ed il Dott. A. Errico il ruolo di correlatore. Si riporta di seguito l'abstract della tesi ed un estratto dello studio che ha riguardato la Fossa Maestra.

Titolo della Tesi: GESTIONE DELLA VEGETAZIONE RIPARIA IN CANALI DI BONIFICA: ANALISI MODELLISTICHE A SUPPORTO DELLE SCELTE OPERATIVE VERSO UNA MAGGIORE SOSTENIBILITÀ DEGLI INTERVENTI

Tesi di Tiziano Viani, Relatore prof. Preti, Correlatore Dott. Agr. Alessandro Errico

Riassunto

La presente Tesi ha la finalità di fornire un supporto alla futura gestione della vegetazione presente all'interno e sulle sponde dei canali di Bonifica nella zona della Versilia e di Massa – Carrara, attraverso elaborazioni modellistiche sui softwares Excel e Hec – Ras. I due principali casi di studio considerati nel presente elaborato sono la Fossa maestra (comune di Carrara) ed il fosso Bresciani, ubicato nell'entroterra di Viareggio e ritenuto rappresentativo di gran parte dei canali delle acque basse presenti nella Bonifica circostante il Lago di Massaciuccoli.

Al fine di stimare il coefficiente di scabrezza (n di Manning) è stato scelto il metodo di Luhar & Nepf, il quale quantifica l'impatto della vegetazione sull'area frontale di una sezione di un canale. Il coefficiente di scabrezza è stato calcolato per sottosezioni e poi mediato per trovare il coefficiente di scabrezza equivalente. Avendo considerato una distribuzione disomogenea della scabrezza all'interno della sezione, si è resa necessaria la stima di un coefficiente di scabrezza equivalente, stimato con il metodo proposto da Colebatch per le sezioni composte.

Per la modellazione in moto permanente su software Hec – Ras si è tenuto conto dei coefficienti di scabrezza calcolati nell'area della Versilia negli studi scientifici condotti dall'Università di Firenze, oltre ai coefficienti di scabrezza desunti dalle elaborazioni modellistiche ottenute nella precedente fase di modellazione in ambiente Excel.

Per la Fossa Maestra i risultati dimostrano come allo stato attuale appaia difficile applicare una gestione gentile a causa della difficile localizzazione del canale stesso e delle aree depresse poste lungo la sua asta fluviale. Anche una eventuale modifica della sezione, ipotizzata nell'allargamento della base maggiore, appare difficilmente praticabile per la presenza di infrastrutture ai margini del canale che non permettono un allargamento continuo lungo tutta l'asta.



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Riguardo il Fosso Bresciano dalle modellazioni effettuate risulta che, in seguito ad una opportuna riprofilatura del canale, la capacità di smaltimento ottenuta consentirebbe di lasciare crescere la vegetazione almeno su una sponda. Sull'altra sponda, un possibile valore aggiunto potrebbe essere dato dalla messa a dimora di specie arboree che non interferirebbero con il deflusso delle acque all'interno della sezione, ma che fornirebbero ombreggiamento all'alveo del canale, con notevoli benefici in termini di qualità dell'acqua e miglioramento del paesaggio.

La possibilità di creare fasce destinate alla rinaturalizzazione secondo le ipotesi di gestione valutate nel presente elaborato, possono trovare applicabilità in numerosi canali afferenti al reticolo di Bonifica in gestione al Consorzio di Bonifica 1 Toscana Nord. La messa in pratica di tecniche gestionali meno impattanti richiederà però una valutazione caso per caso, finalizzata a quantificarne la sostenibilità economica e la compatibilità idraulica. La presente Tesi ha proprio la finalità di fornire un metodo di lavoro applicabile per l'individuazione dello scenario gestionale più adatto a ciascun contesto.

5.1 Le aree di studio: i Canali di Bonifica della Versilia e di Massa-Carrara (dal Piano di Classifica del Consorzio Toscana Nord).

La situazione del territorio della Toscana già dal IX sec a.c. era caratterizzata da grandi estensioni boschive non solo in collina, ma anche in pianura. C'erano gravi situazioni di disordine idraulico dovute a straripamenti dei fiumi e alla formazione di paludi e lagune costiere che, per esempio, nella zona dell'attuale Versilia particolarmente depressa, davano vita ad acquitrini. Da segnalare, altresì, la mancanza di scolo naturale di molti corsi d'acqua, dovuta principalmente alla presenza di dune sul litorale.

I primi interventi di difesa del suolo nella fascia costiera si registrarono fin dai tempi degli Etruschi, ma l'opera proseguì e s'intensificò in epoca romana, quando la pacificazione dei territori ad opera di Roma portò una maggiore urbanizzazione delle zone dove correvano le prime grandi vie di comunicazione, un contestuale sviluppo dell'agricoltura e una intensificazione dei lavori di bonifica. Sono di epoca romana per esempio, le Fosse Papiriane del Massaciuccoli realizzate per consentire lo scolo delle acque stagnanti: forse il primo intervento in Versilia di un programma di difesa del suolo che durò per secoli, fino all'avvento delle pompe idrovore che consentirono di effettuare una "bonifica" vera e propria in un territorio depresso le cui acque necessitavano di essere sollevate per scolare.

L'attività di Bonifica costituisce il complesso degli interventi finalizzati ad assicurare lo scolo delle acque, la salubrità e la difesa idraulica del territorio, la regimazione dei corsi d'acqua naturali, la provvista e la razionale utilizzazione delle risorse idriche a prevalenti usi agricoli in connessione con i piani di utilizzazione idropotabile ed industriale, nonché a adeguare, completare e mantenere le opere di bonifica e di irrigazione già realizzate.

Dunque, con il termine bonifica s'intende l'atto di rendere buono, rendere migliore: e in questo senso, tale termine può essere usato in varie accezioni. Tutte però pervengono alla definizione di bonifica come esigenza di "costruzione" e mantenimento del territorio.

Possiamo distinguere due tipi di bonifica:

- l'insieme di attività che consentono di sfruttare in modo ottimale i terreni, nella misura in cui ciò serve per la messa a coltura degli stessi e, questo concetto, ha dato vita alla bonifica agraria;



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

- quando invece il fine è quello di regolare il flusso delle acque superficiali, controllare le falde acquifere, il fine è la difesa del territorio e si parla, quindi, di bonifica idraulica.

5.1.1 Inquadramento *geografico* ed evoluzione geomorfologica della costa apuana.

L'ambito della Costa Apuana è costituito da un mosaico di paesaggi che si sono modellati nel tempo nel contesto delle dinamiche di formazione ed evoluzione geologica e geomorfologica di questo settore dell'Appennino settentrionale. I paesaggi dominanti sono quelli del nucleo montuoso delle Alpi Apuane, paragonato dal geografo Emanuele Repetti nel XIX secolo ad "un mare in burrasca istantaneamente pietrificato", che si contrappone alla vasta pianura litoranea, ormai ampiamente urbanizzata. Le Alpi Apuane, come tutta la catena Alpi - Appennino, sono il risultato del corrugamento e della dislocazione tettonica terziaria dei domini Ligure e Toscano.

La pianura appare attualmente costituita da una coalescenza di coni di deiezione olocenici, originati dai principali corsi d'acqua della pianura (Torrente Carrione, Fiume Frigido, Fiume Versilia, ecc), poggianti su conoidi pleistoceniche. Il substrato è costituito da più cicli di sedimenti di origine marina e continentale che hanno colmato una depressione tettonica subsidente (Bacino Versiliese – Pisano) delimitata da un sistema di faglie dirette a direzione appenninica che si sono formate durante la fase distensiva dell'orogenesi appenninica, a partire dal Miocene superiore. La depressione fa parte di un più ampio bacino che si estende tra le Apuane e i Monti Pisani (Dorsale Medio Toscana) ad est, i Monti Livornesi verso sud, e la dorsale sommersa di Viareggio ad ovest. La creazione della pianura è stata condizionata dalla tendenza alla subsidenza del bacino che, assieme alle oscillazioni del livello marino nel Pliocene e nel Pleistocene, ha favorito la deposizione dei sedimenti provenienti dall'erosione delle Alpi Apuane, e, a partire dal Pleistocene medio, dai Fiumi Magra, Serchio e Arno.

Attualmente il processo di subsidenza è ancora in corso, accentuato in alcune aree come quelle interessate da bonifiche dove il fenomeno è indotto a causa della costipazione dei terreni conseguente agli interventi effettuati nei primi anni del secolo XX. L'evoluzione naturale del fenomeno è influenzata anche dall'intensificarsi dei prelievi di acque di falda per usi agricoli, industriali e civili. La zona costiera è caratterizzata da un esteso litorale sabbioso che un tempo presentava un sistema di dune e aree retrodunali di cui rimangono attualmente pochi residui. Aree umide, un tempo estese su tutta la costa, si riconoscono lungo il litorale nelle aree retrodunali.

5.1.2 Geologia, geomorfologia e idrogeologia del comprensorio

La porzione di territorio gestita dal Consorzio Toscana Nord è caratterizzata dalla presenza di grossi ammassi rocciosi, in gran parte ricoperti da sottili strati di materiale sciolto e copertura vegetativa, che occupano tutta la frazione montana delle Valli del Serchio e del Magra oltre i Monti Pisani.

In queste zone, con particolare riferimento alle Alpi Apuane e a buona parte dell'Appennino, le pendenze del suolo sono molto elevate, tali da renderle difficilmente accessibili e percorribili con gli usuali mezzi di trasporto. In queste zone il potere di ritenzione idrica del suolo è molto basso, ad esclusione della fascia Apuana che si estende a ridosso della Versilia dove sono presenti fenomeni carsici rilevanti.

Nelle porzioni di fondo valle del Serchio e del Magra, la presenza di depositi alluvionali di grossa pezzatura, caratterizza lo strato superficiale del suolo. La costa è invece caratterizzata dall'ampia presenza di depositi fluvio-marini ad esclusione di alcune porzioni di territorio concentrate particolarmente nel bacino del Lago di Massaciuccoli, dove la presenza di strati torbosi anche di spessore rilevante diventa significativa. Nelle aree



Interreg



UNIONE EUROPEA



ADAPT

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

costiere sono presenti ampie zone paludose, in parte bonificate e l'influenza del cuneo marino determina un elevato grado di salinizzazione delle acque del sottosuolo.

5.1.3 Impermeabilizzazione del Suolo

Il territorio gestito dal Consorzio 1 Toscana Nord è caratterizzato da ampie aree verdi localizzate nelle Valli e propaggini del Magra e del Serchio oltre che sui Monti Pisani e colline della Pianura Lucchese e delle Cerbaie. Le superfici rocciose sono presenti in abbondanza lungo tutto l'arco delle Alpi Apuane e sulle vette dell'Appennino Tosco-Emiliano. Un elevato grado di superficie urbanizzata caratterizza invece l'area Costiera da Massa a Viareggio così come la Pianura Lucchese che comprende il centro storico di Lucca e relativa periferia. Nell'area dell'ex Alveo del Lago di Sesto è invece molto ampia l'estensione della campagna a destinazione prevalentemente agricola. La figura 18 mostra l'indice d'impermeabilizzazione del suolo (Estratto "Piano di indirizzo territoriale con valenza di Piano paesaggistico-Rapporto Ambientale"). Si evince dalla mappa in questione che la zona studiata trattasi di un'area dove l'intervento antropico fa da padrone in quanto l'indice di impermeabilizzazione supera il 25 %.

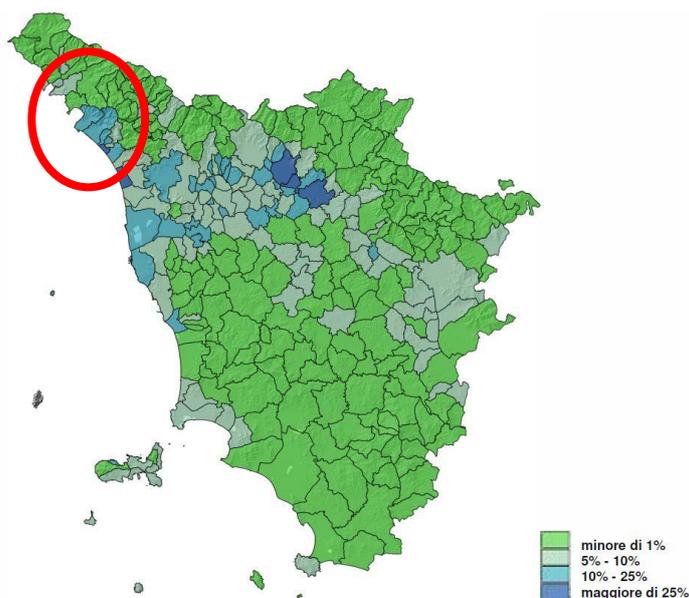


Figura 18 Mappa dell'indice d'impermeabilizzazione del suolo con focus sull'area studiata (cerchiato in rosso)

5.1.4 Considerazioni sul rischio geologico/idrogeologico dell'areale di studio

La porzione di territorio gestita dal Consorzio 1 Toscana Nord è senza dubbio tra le più complesse a livello nazionale dal punto di vista della gestione del rischio geologico ed idrogeologico. Il microclima particolare che la caratterizza, oltre all'ubicazione geografica e morfologica del territorio, favoriscono lo sviluppo di fenomeni pluviometrici frequenti, talvolta intensi e di tipo impulsivo.

L'orografia, caratterizzata dal brusco impennarsi delle quote altimetriche dalle pianure presenti sulla costa procedendo verso l'interno, massimizza gli effetti al suolo derivanti dagli eventi meteorici di breve e forte intensità. La porzione montana è per lo più caratterizzata da ammassi rocciosi ricoperti da sottili strati di materiale sciolto e vegetazione, estremamente instabili, che favoriscono lo sviluppo di fenomeni franosi mentre la porzione di pianura è caratterizzata da vaste aree di terreni bonificati ma soggetti a fenomeni di ristagno delle



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

acque ed in alcune porzioni del territorio (ex alveo del Lago di Sesto e entroterra versiliese su tutti) fenomeni di subsidenza dei terreni determinati dalla presenza di imponenti substrati torbosi.

5.2 La Fossa Maestra

La Fossa Maestra presenta una morfologia differente rispetto alle geometrie canoniche descritte finora, in quanto la pendenza sul fondo non è costante, e la geometria stessa del canale è diversa in tutte le sezioni. Questo ha portato ad avere delle portate massime di riferimento in base alla gestione, con tempi di ritorno molto bassi in alcune sezioni, aventi dimensioni e pendenze inadeguate.

Ricordiamo che la Fossa Maestra presenta allo sbocco, che si ha direttamente a mare, un'idrovora con paratoia di chiusa, in quanto quando a mare si ha l'alta marea, questa viene chiusa in modo da non far entrare acqua dal mare a causa del livello maggiore della quota di sbocco naturale del canale. Nelle elaborazioni Hec si è fatto riferimento alla condizione di moto uniforme con sbocco naturale senza l'ausilio dell'idrovora che il suo funzionamento fa cambiare la pendenza motrice dell'acqua dalla pendenza del fondo alla quota del pelo libero dell'acqua. Questi ulteriori studi potranno essere oggetto di un'altra tesi. Le gestioni ipotizzate dunque, come per il Fosso Bresciani, partono da uno scenario altamente invasivo fino a scenari meno invasivi come il canale di corrente e lo sfalcio parziale su sezione riprofilata.

Canale in terra in "cattivo stato di manutenzione": è previsto un intervento di pulizia a mezzo escavatore con benna grigliata che riporti il canale alle condizioni di progetto (n di Manning pari a 0.03). Ipotesi di abbandono parziale su una sponda: in sponda sinistra e sponda destra si interviene come sopra (n di Manning pari a 0.03), e sulla sponda destra si lascia crescere la vegetazione riparia (n di Manning pari a 0.2).

Lo scenario di seguito descritto prevede una risagomatura del canale in sponda destra, allargando di circa il doppio la base al colmo, rispetto alla sezione originale. In questo caso, le geometrie sono irregolari dunque è stata fatta una media delle varie larghezze al colmo, risultante essere circa 5 metri. La scelta di riprofilare la sponda destra è scaturita dal fatto che in destra idrografica si hanno quasi tutte aree verdi eccetto qualche edificio posto a confine con la Fossa Maestra, mentre in sponda sinistra si ha viabilità comunale parallela a ridosso della sponda, oltre alla maggior concentrazione di edifici a ridosso del canale stesso.

Come detto nel paragrafo precedente si cerca di creare un possibile scenario di gestione a basso impatto ambientale, che migliori le caratteristiche microclimatiche all'interno del canale e favorire lo sviluppo della biodiversità:

Ipotesi di abbandono totale in sponda destra: è previsto un intervento di pulizia del canale a mezzo escavatore con benna grigliata montata su braccio articolato, sulla sponda sinistra e sul fondo (n di Manning pari a 0.03), mentre in sponda destra è previsto l'abbandono totale (n di Manning pari a 0.2).

5.2.1 Verifiche idrauliche in moto permanente della Fossa Maestra

La Fossa Maestra come spiegato in precedenza, presenta una variabilità morfologica importante che si ripercuote sostanzialmente sullo straripare in alcune sezioni rispetto ad altre con eventi di basso Tempo di ritorno; inoltre nella parte verso valle alcune sezioni si trovano al di sotto del livello del mare, dunque trattasi di un territorio soggetto spesso ad alluvioni. Si è scelto di rappresentare nel presente elaborato solo alcune delle sezioni della Fossa Maestra, le più rappresentative in termini di straripamento precoce in caso di evento di piena. Per la modellazione sono stati utilizzati coefficienti di scabrezza di Manning, di progetto scaturiti dal



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

ADAPT

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

presente studio, e valori di portata estrapolati dalle curve Tr/Q trovate grazie agli studi precedenti sul territorio (Benvenuti, 2016). La planimetria mostrata di seguito, figura 19 mostra l'ubicazione delle sezioni di monte, centrale e di valle scelte per la modellazione Hec.

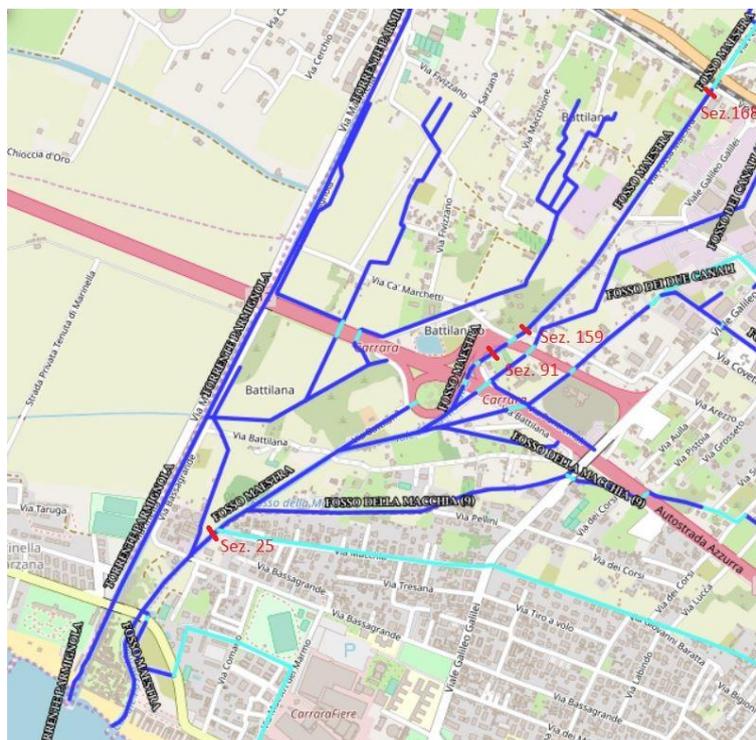


Figura 19 Planimetria Fossa Maestra con ubicazione delle sezioni scelte nella modellazione (fonte Geo-portale Lamma Regione Toscana)

Si riporta di seguito il profilo longitudinale della Fossa Maestra (figura 20) calcolato secondo i canoni di progetto per un evento di piena di Tempo di ritorno pari a 30 anni; la linea tratteggiata verde rappresenta l'energia (EG), la linea blu il profilo liquido per Tempo di ritorno di 30 anni (WS), la linea nera descrive il fondo del canale (Ground). In rosso tratteggiato possiamo notare i punti critici (Crit Tr 30) in particolare trattasi delle due sezioni agli estremi: a monte è presente una tombatura che sfocia in canale a cielo aperto, mentre a valle si riscontra una contropendenza negativa.



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

ADAPT

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

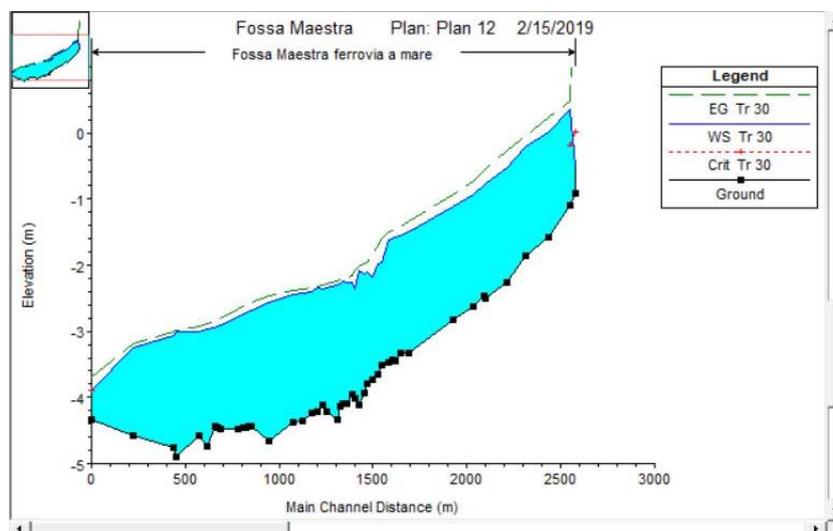


Figura 20 Profilo di corrente della Fossa Maestra per Tr 30 anni

Le sezioni scelte si trovano rispettivamente a monte (figura 21), nella zona intermedia (figura 22) e nella zona di valle (figura 23); mostrano il livello idrico per un evento di portata di Tempo di ritorno inferiore a 1 anno con sbocco naturale, senza l'accensione dell'idrovora. Come si può notare il livello idrico risulta a piene rive in due delle tre sezioni rappresentate. I coefficienti di scabrezza inseriti nelle 3 sottosezioni risultano essere pari a 0.03 (condizione presunta di progetto). All'interno della sezione del canale non si prevede la presenza di vegetazione.

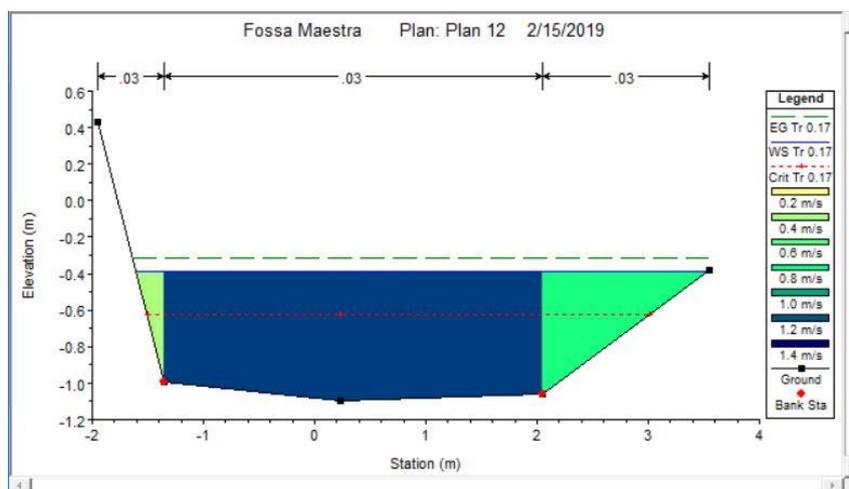


Figura 21 Sezione trasversale a monte – Fossa Maestra

Si riportano di seguito in tabella 6.19 i parametri caratteristici per tempi di ritorno pari a circa 2 mesi, della sezione numero 168 situata nella zona di monte della Fossa Maestra.



Tabella 1 Consistenza dati della sezione 168 – Fossa Maestra

Plan: Plan 12 Fossa Maestra ferrovia a mare RS: 168 Profile: Tr 0.17					
E.G. Elev (m)	-0.31	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.07	Wt. n-Val.	0.030	0.030	0.030
W.S. Elev (m)	-0.39	Reach Len. (m)	114.96	114.96	114.96
Crit W.S. (m)	-0.63	Flow Area (m2)	0.08	2.31	0.50
E.G. Slope (m/m)	0.002386	Area (m2)	0.08	2.31	0.50
Q Total (m3/s)	3.30	Flow (m3/s)	0.03	2.90	0.37
Top Width (m)	5.14	Top Width (m)	0.26	3.40	1.49
Vel Total (m/s)	1.14	Avg. Vel. (m/s)	0.39	1.26	0.74
Max Chl Dpth (m)	0.71	Hydr. Depth (m)	0.30	0.68	0.34
Conv. Total (m3/s)	67.6	Conv. (m3/s)	0.6	59.3	7.6
Length Wtd. (m)	114.96	Wetted Per. (m)	0.66	3.40	1.63
Min Ch El (m)	-1.10	Shear (N/m2)	2.75	15.85	7.19
Alpha	1.11	Stream Power (N/m s)	1.08	19.91	5.33
Frctn Loss (m)	0.29	Cum Volume (1000 m3)	0.69	8.65	0.97
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	1.62	10.98	2.11

Si riporta di seguito la sezione trasversale numero 91 scelta nella fascia intermedia; come si può notare presenta in destra idrografica una sponda verticale; anche in questo caso con livello idrografico a piene rive scaturito dalla simulazione di un evento di Tempo di ritorno minore di 1 anno.

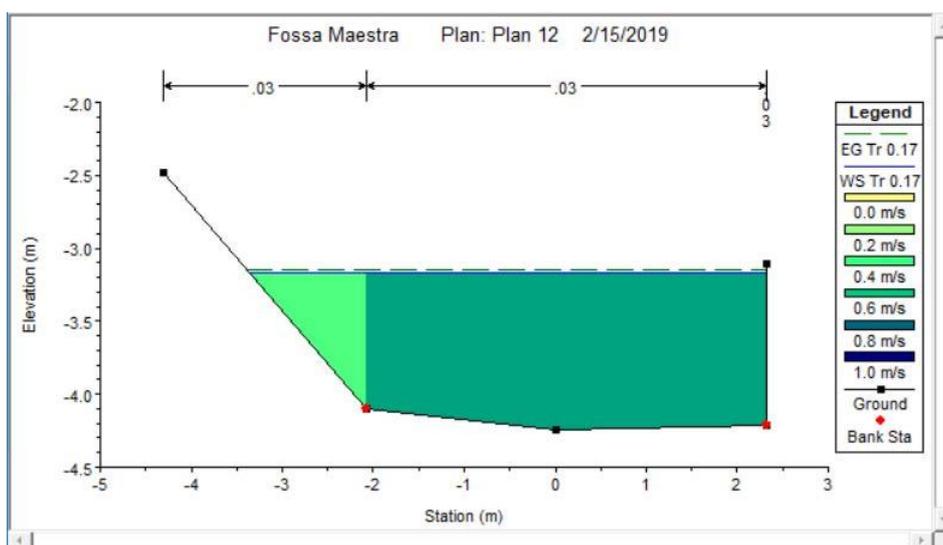


Figura 22 Sezione trasversale nella zona intermedia - Fossa maestra

Si riportano di seguito in tabella 2 i parametri caratteristici per tempi di ritorno inferiore a 1 anno, della sezione numero 91 situata nella zona intermedia della Fossa Maestra.



Tabella 2 Consistenza dati della sezione 91 – Fossa Maestra

Plan: Plan 12 Fossa Maestra ferrovia a mare RS: 91 Profile: Tr 0.17					
E.G. Elev (m)	-3.14	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.02	Wt. n-Val.	0.030	0.030	0.030
W.S. Elev (m)	-3.17	Reach Len. (m)	46.35	46.35	46.35
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	0.60	4.54	0.00
E.G. Slope (m/m)	0.000400	Area (m2)	0.60	4.54	0.00
Q Total (m3/s)	3.30	Flow (m3/s)	0.21	3.09	0.00
Top Width (m)	5.69	Top Width (m)	1.28	4.40	0.01
Vel Total (m/s)	0.64	Avg. Vel. (m/s)	0.35	0.68	0.02
Max Chl Dpth (m)	1.07	Hydr. Depth (m)	0.47	1.03	0.52
Conv. Total (m3/s)	165.0	Conv. (m3/s)	10.4	154.6	0.0
Length Wtd. (m)	46.35	Wetted Per. (m)	1.58	4.41	1.04
Min Ch El (m)	-4.24	Shear (N/m2)	1.48	4.05	0.02
Alpha	1.07	Stream Power (N/m s)	0.51	2.75	0.00
Frctn Loss (m)	0.02	Cum Volume (1000 m3)	0.33	5.28	0.39
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	0.84	7.25	0.80

Si riporta di seguito la sezione trasversale numero 25 scelta nella zona di valle; in questo caso con livello idrografico a piene rive a monte e nella zona intermedia scaturito dalla simulazione di un evento di Tempo di ritorno inferiore a 1 anno, scaturisce un franco nella zona di valle di circa 50 cm.

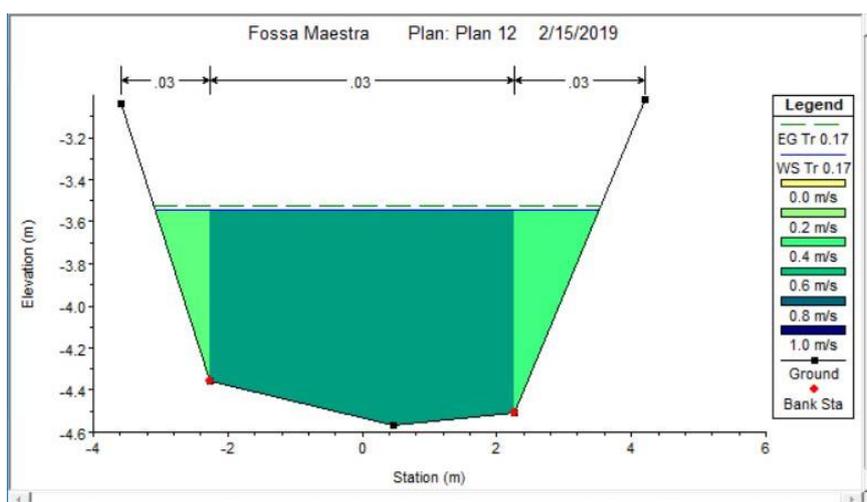


Figura 23 Sezione trasversale nella zona di valle – Fossa Maestra

Si riportano di seguito in tabella 3 i parametri caratteristici per tempi di ritorno inferiore a 1 anno, della sezione numero 25 situata nella zona di valle della Fossa Maestra.



Tabella 3 Consistenza dati della sezione 25 – Fossa Maestra

Plan: Plan 12 Fossa Maestra ferrovia a mare RS: 25 Profile: Tr 0.17					
E.G. Elev (m)	-3.52	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.02	Wt. n-Val.	0.030	0.030	0.030
W.S. Elev (m)	-3.55	Reach Len. (m)	115.40	115.40	115.40
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	0.33	4.29	0.60
E.G. Slope (m/m)	0.000463	Area (m2)	0.33	4.29	0.60
Q Total (m3/s)	3.30	Flow (m3/s)	0.10	2.97	0.23
Top Width (m)	6.60	Top Width (m)	0.82	4.53	1.25
Vel Total (m/s)	0.63	Avg. Vel. (m/s)	0.31	0.69	0.38
Max Chl Dpth (m)	1.02	Hydr. Depth (m)	0.41	0.95	0.48
Conv. Total (m3/s)	153.4	Conv. (m3/s)	4.8	138.0	10.6
Length Wtd. (m)	115.40	Wetted Per. (m)	1.15	4.54	1.58
Min Ch El (m)	-4.57	Shear (N/m2)	1.31	4.29	1.73
Alpha	1.11	Stream Power (N/m s)	0.41	2.97	0.65
Frctn Loss (m)	0.02	Cum Volume (1000 m3)	0.07	3.06	0.10
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m2)	0.28	5.11	0.21

Di seguito si da riscontro ai risultati che si hanno ipotizzando una gestione parziale del canale, con abbandono totale della sponda destra con n di Manning pari a 0.2 e sulla sponda sinistra e sul fondo si prevede spalettamento totale fino alla condizione “canale in terra in cattivo stato di manutenzione”. Le sezioni scelte si trovano rispettivamente a monte (figura 24), nella zona intermedia (figura 25) e nella zona di valle (figura 26); mostrano il livello idrico per un evento di portata di Tempo di ritorno inferiore a 1 anno con sbocco naturale, senza l'accensione dell'idrovora. Come si può notare il livello idrico risulta a piene rive in due delle tre sezioni rappresentate.

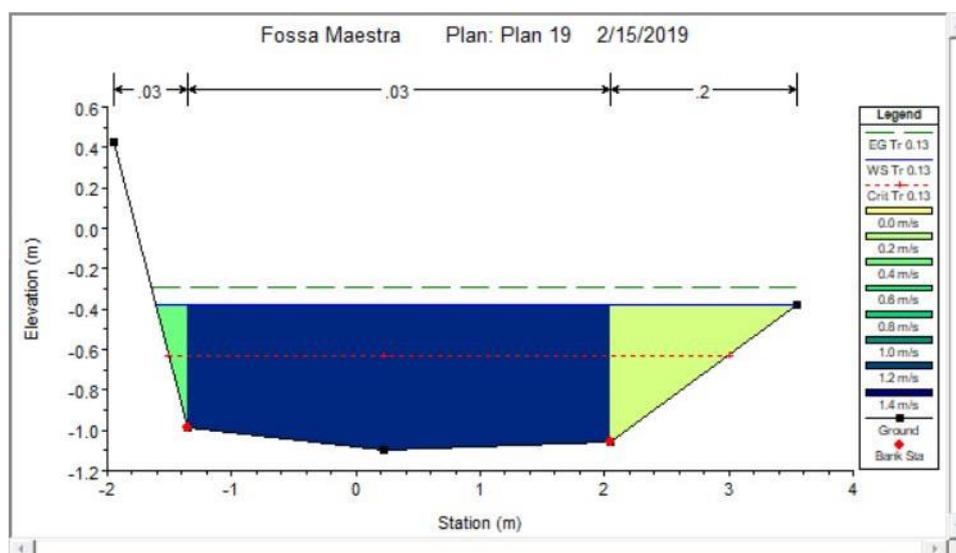


Figura 24 Sezione trasversale a monte – Fossa Maestra

Si riportano di seguito in tabella 4 i parametri caratteristici per tempi di ritorno pari a circa 2 mesi, della sezione numero 168 situata nella zona di monte della Fossa Maestra.



Tabella 4 Consistenza dati della sezione 168 – Fossa Maestra

Plan: Plan 19 Fossa Maestra ferrovia a mare RS: 168 Profile: Tr 0.13					
E.G. Elev (m)		Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.08	Wt. n-Val.	0.030	0.030	0.200
W.S. Elev (m)	-0.38	Reach Len. (m)	114.96	114.96	114.96
Crit W.S. (m)	-0.63	Flow Area (m2)	0.08	2.33	0.51
E.G. Slope (m/m)	0.002487	Area (m2)	0.08	2.33	0.51
Q Total (m3/s)	3.10	Flow (m3/s)	0.03	3.01	0.06
Top Width (m)	5.16	Top Width (m)	0.26	3.40	1.50
Vel Total (m/s)	1.06	Avg. Vel. (m/s)	0.40	1.29	0.11
Max Chl Dpth (m)	0.72	Hydr. Depth (m)	0.31	0.69	0.34
Conv. Total (m3/s)	62.2	Conv. (m3/s)	0.6	60.4	1.2
Length Wtd. (m)	114.96	Wetted Per. (m)	0.66	3.40	1.65
Min Ch El (m)	-1.10	Shear (N/m2)	2.90	16.70	7.58
Alpha	1.44	Stream Power (N/m s)	1.17	21.56	0.87
Frctn Loss (m)	0.30	Cum Volume (1000 m3)	0.68	8.57	0.96
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	1.60	10.98	2.11

Si riporta di seguito la sezione trasversale numero 159 scelta nella fascia intermedia; in questo la portata con livello idrografico a piene rive nella zona a monte, scaturisce un franco.

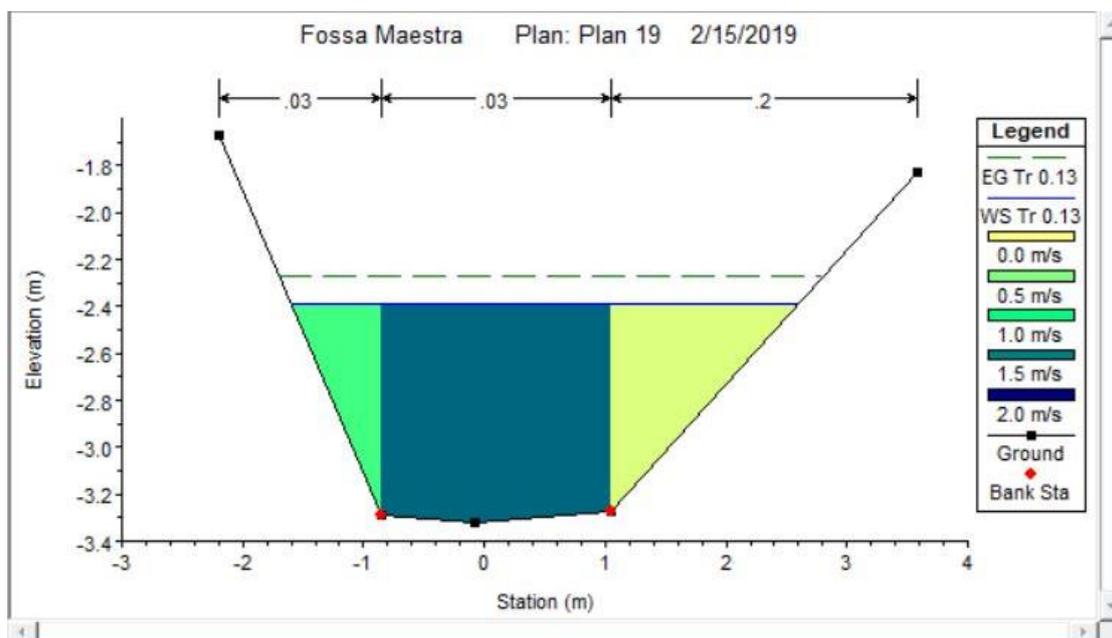


Figura 25 Sezione trasversale nella fascia intermedia – Fossa Maestra

Si riportano di seguito in tabella 5 i parametri caratteristici per tempi di ritorno inferiore a 1 anno, della sezione numero 159 situata nella zona intermedia della Fossa Maestra.



Tabella 5 Consistenza dati della sezione 159 – Fossa Maestra

Plan: Plan 19 Fossa Maestra ferrovia a mare RS: 159 Profile: Tr 0.17					
Element	Left OB	Channel	Right OB		
E.G. Elev (m)	-2.23				
Vel Head (m)	0.12				
W.S. Elev (m)	-2.36				
Crit W.S. (m)					
E.G. Slope (m/m)	0.002597				
Q Total (m3/s)	3.30				
Top Width (m)	4.28				
Vel Total (m/s)	1.14				
Max Chl Dpth (m)	0.96				
Conv. Total (m3/s)	64.8				
Length Wtd. (m)	29.16				
Min Ch El (m)	-3.32				
Alpha	1.84				
Frctn Loss (m)	0.04				
C & E Loss (m)	0.02				
Element					
Wt. n-Val.	0.030	0.030	0.200		
Reach Len. (m)	29.16	29.16	29.16		
Flow Area (m2)	0.36	1.79	0.73		
Area (m2)	0.36	1.79	0.73		
Flow (m3/s)	0.28	2.92	0.10		
Top Width (m)	0.78	1.90	1.61		
Avg. Vel. (m/s)	0.76	1.63	0.14		
Hydr. Depth (m)	0.47	0.94	0.46		
Conv. (m3/s)	5.4	57.4	2.0		
Wetted Per. (m)	1.22	1.90	1.85		
Shear (N/m2)	7.61	23.98	10.11		
Stream Power (N/m s)	5.78	39.14	1.39		
Cum Volume (1000 m3)	0.58	6.85	0.61		
Cum SA (1000 m2)	1.33	8.80	1.24		

Si riporta di seguito la sezione trasversale numero 25 scelta nella zona di valle; in questo caso con livello idrografico a piene rive a monte scaturisce anche qui un franco di circa 60 cm.

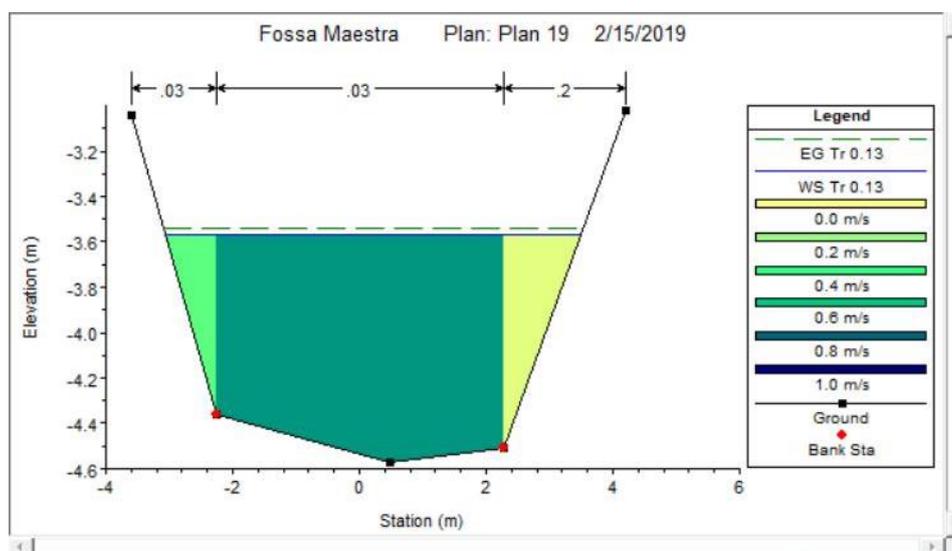


Figura 26 Sezione trasversale nella zona di valle – Fossa Maestra

Si riportano di seguito in tabella 6 i parametri caratteristici per tempi di ritorno inferiore a 1 anno, della sezione numero 25 situata nella zona di valle della Fossa Maestra.



Tabella 6 Consistenza dati della sezione 25 – Fossa Maestra

Plan: Plan 19 Fossa Maestra ferrovia a mare RS: 25 Profile: Tr 0.13					
E.G. Elev (m)	-3.54	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.02	Wt. n-Val.	0.030	0.030	0.200
W.S. Elev (m)	-3.57	Reach Len. (m)	115.40	115.40	115.40
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	0.32	4.20	0.58
E.G. Slope (m/m)	0.000497	Area (m2)	0.32	4.20	0.58
Q Total (m3/s)	3.10	Flow (m3/s)	0.10	2.97	0.03
Top Width (m)	6.56	Top Width (m)	0.80	4.53	1.23
Vel Total (m/s)	0.61	Avg. Vel. (m/s)	0.32	0.71	0.06
Max Chl Dpth (m)	1.00	Hydr. Depth (m)	0.40	0.93	0.47
Conv. Total (m3/s)	139.1	Conv. (m3/s)	4.5	133.1	1.5
Length Wtd. (m)	115.40	Wetted Per. (m)	1.13	4.54	1.55
Min Ch El (m)	-4.57	Shear (N/m2)	1.37	4.51	1.82
Alpha	1.30	Stream Power (N/m s)	0.44	3.18	0.11
Frctn Loss (m)	0.02	Cum Volume (1000 m3)	0.06	2.98	0.09
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m2)	0.26	5.11	0.21

Lo scenario descritto (figura 27) di seguito prevede una riprofilatura del canale in destra idraulica allargando la base maggiore di una larghezza pari a 5 metri. In questo modo si ipotizza di lasciare completamente vegetata la sponda destra per facilitare la nidificazione della vegetazione ornitica.

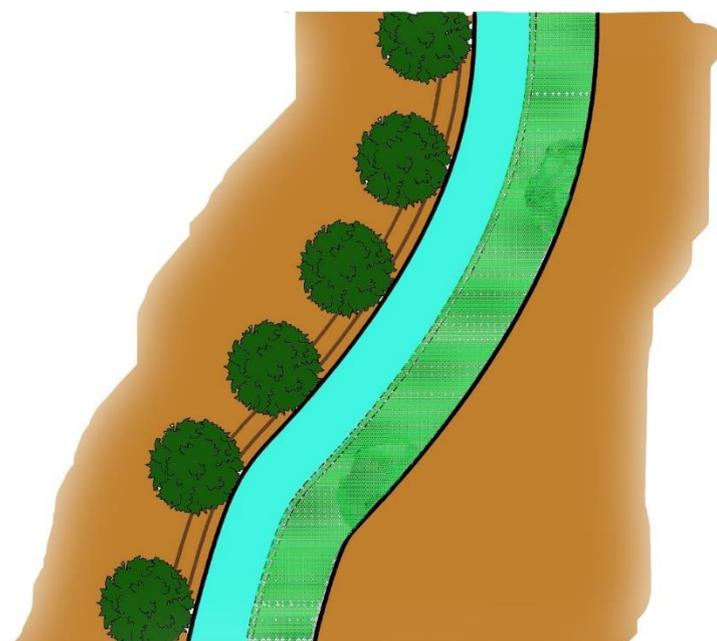


Figura 27 Planimetria ipotesi sezione riprofilata in destra idraulica

In sponda destra si ha un n di Manning pari a 0.2 e sulla sponda sinistra e sul fondo si prevede spalettamento totale fino alla condizione “canale in terra in cattivo stato di manutenzione”. Le sezioni scelte si trovano rispettivamente a monte (figura 28), nella zona intermedia (figura 29) e nella zona di valle (figura 30); mostrano il livello idrico per un evento di portata di Tempo di ritorno inferiore a 1 anno con sbocco naturale, senza l'accensione dell'idrovora. Come si può notare il livello idrico risulta a piene rive in due delle tre sezioni rappresentate.

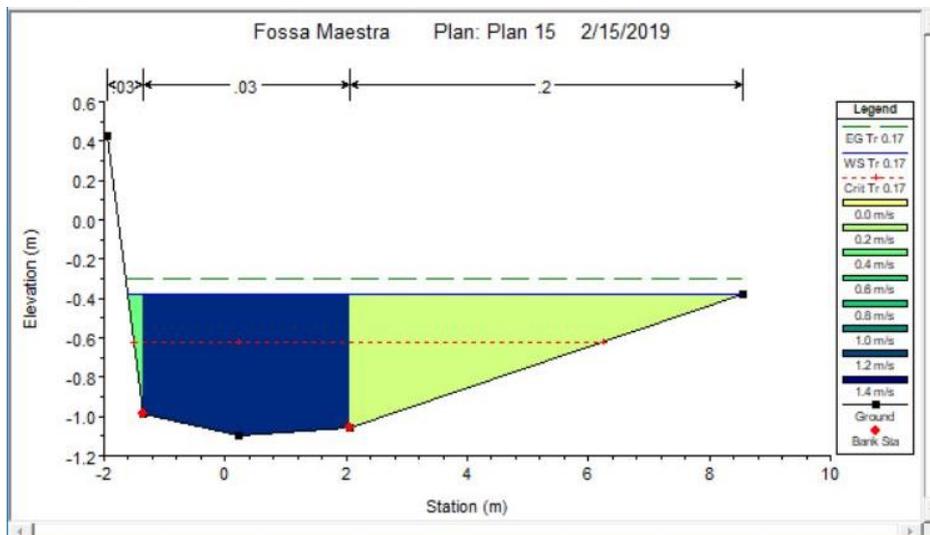


Figura 28 Ipotesi riprofilatura della sezione trasversale nella zona di monte – Fossa Maestra

Si riportano di seguito in tabella 7 i parametri caratteristici per tempi di ritorno inferiore a 1 anno, della sezione numero 168 situata nella zona di monte della Fossa Maestra.

Tabella 7 - Consistenza dati della sezione 168 riprofilata – Fossa Maestra

Plan: Plan 15 Fossa Maestra ferrovia a mare RS: 168 Profile: Tr 0.17					
E.G. Elev (m)	-0.30	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.08	Wt. n-Val.	0.030	0.030	0.200
W.S. Elev (m)	-0.38	Reach Len. (m)	114.96	114.96	114.96
Crit W.S. (m)	-0.62	Flow Area (m2)	0.08	2.34	2.23
E.G. Slope (m/m)	0.002449	Area (m2)	0.08	2.34	2.23
Q Total (m3/s)	3.30	Flow (m3/s)	0.03	3.00	0.27
Top Width (m)	10.16	Top Width (m)	0.26	3.40	6.50
Vel Total (m/s)	0.71	Avg. Vel. (m/s)	0.40	1.28	0.12
Max Chl Dpth (m)	0.72	Hydr. Depth (m)	0.31	0.69	0.34
Conv. Total (m3/s)	66.7	Conv. (m3/s)	0.6	60.6	5.5
Length Wtd. (m)	114.96	Wetted Per. (m)	0.67	3.40	6.54
Min Ch El (m)	-1.10	Shear (N/m2)	2.87	16.48	8.20
Alpha	2.97	Stream Power (N/m s)	1.15	21.15	0.99
Frctn Loss (m)	0.29	Cum Volume (1000 m3)	0.70	8.71	3.88
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	1.64	10.98	8.66

Si riporta di seguito la sezione trasversale numero 91 scelta nella fascia intermedia; in questa sezione si ha come nella precedente la portata con livello idrografico a piene rive.

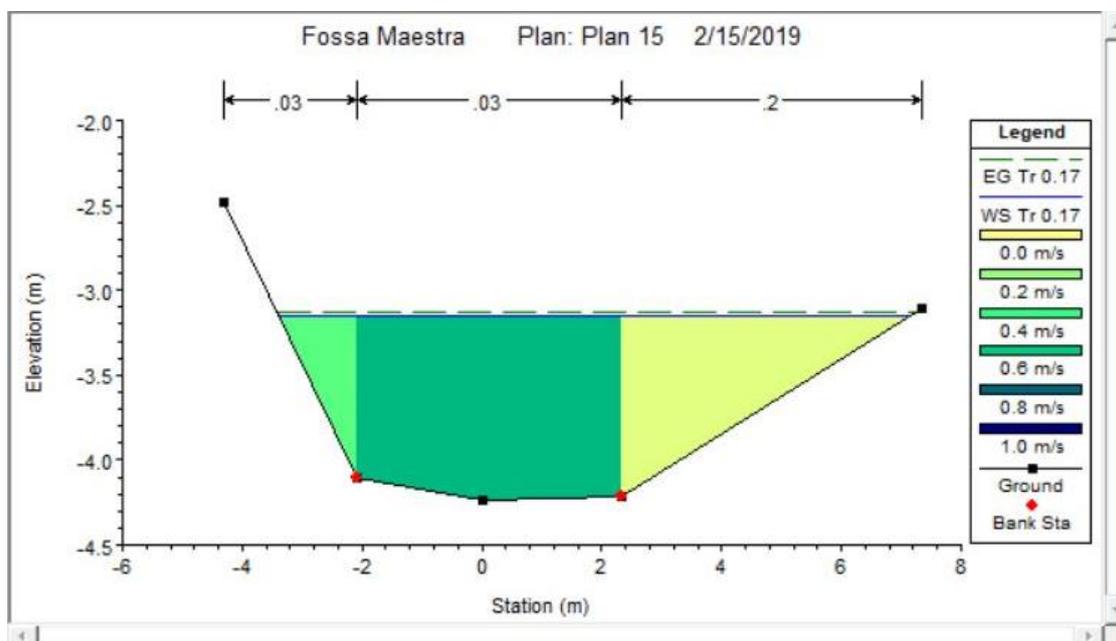


Figura 29 Ipotesi riprofilatura della sezione trasversale nella fascia intermedia – Fossa Maestra

Si riportano di seguito in tabella 8 i parametri caratteristici per tempi di ritorno inferiore a 1 anno, della sezione numero 159 situata nella zona intermedia della Fossa Maestra.

Tabella 8 Consistenza dati della sezione 159 – Fossa Maestra

Plan: Plan 15 Fossa Maestra ferrovia a mare RS: 91 Profile: Tr 0.17					
		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	-3.13	Wt. n-Val.	0.030	0.030	0.200
Vel Head (m)	0.02	Reach Len. (m)	46.35	46.35	46.35
W.S. Elev (m)	-3.15	Flow Area (m2)	0.62	4.62	2.56
Crit W.S. (m)		Area (m2)	0.62	4.62	2.56
E.G. Slope (m/m)	0.000344	Flow (m3/s)	0.20	2.94	0.15
Q Total (m3/s)	3.30	Top Width (m)	1.30	4.40	4.83
Top Width (m)	10.53	Avg. Vel. (m/s)	0.33	0.64	0.06
Vel Total (m/s)	0.42	Hydr. Depth (m)	0.48	1.05	0.53
Max Chl Dpth (m)	1.09	Conv. (m3/s)	10.9	158.9	8.3
Conv. Total (m3/s)	178.0	Wetted Per. (m)	1.61	4.41	4.94
Length Wtd. (m)	46.35	Shear (N/m2)	1.29	3.53	1.75
Min Ch El (m)	-4.24	Stream Power (N/m s)	0.42	2.25	0.10
Alpha	2.06	Cum Volume (1000 m3)	0.34	5.30	1.49
Frctn Loss (m)	0.02	Cum SA (1000 m2)	0.85	7.25	3.20
C & E Loss (m)	0.00				

Si riporta di seguito la sezione trasversale numero 25 scelta nella zona di valle; in questo caso con livello idrografico a piene rive a monte e nella zona intermedia scaturisce un franco di circa 50 cm.

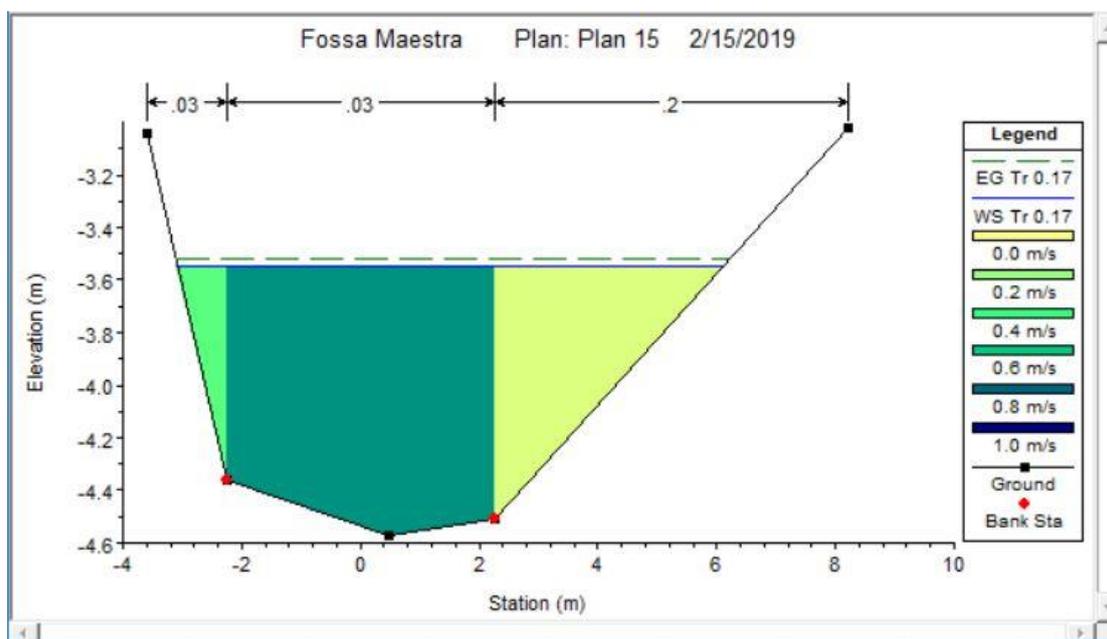


Figura 30 Ipotesi riprofilatura della sezione trasversale nella zona di valle – Fossa Maestra

Si riportano di seguito in tabella 9 i parametri caratteristici per tempi di ritorno pari a circa 2 mesi, della sezione numero 25 situata nella zona di valle della Fossa Maestra.

Tabella 9 Consistenza dati della sezione riprofilata 25 – Fossa Maestra

Plan: Plan 15 Fossa Maestra ferrovia a mare RS: 25 Profile: Tr 0.17					
		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	-3.52	Wt. n-Val.	0.030	0.030	0.200
Vel Head (m)	0.02	Reach Len. (m)	115.40	115.40	115.40
W.S. Elev (m)	-3.55	Flow Area (m2)	0.33	4.30	1.85
Crit W.S. (m)		Area (m2)	0.33	4.30	1.85
E.G. Slope (m/m)	0.000494	Flow (m3/s)	0.11	3.07	0.12
Q Total (m3/s)	3.30	Top Width (m)	0.82	4.53	3.84
Top Width (m)	9.19	Avg. Vel. (m/s)	0.32	0.71	0.07
Vel Total (m/s)	0.51	Hydr. Depth (m)	0.41	0.95	0.48
Max Chl Dpth (m)	1.02	Conv. (m3/s)	4.9	138.0	5.6
Conv. Total (m3/s)	148.4	Wetted Per. (m)	1.15	4.54	3.96
Length Wtd. (m)	115.40	Shear (N/m2)	1.40	4.59	2.27
Min Ch El (m)	-4.57	Stream Power (N/m s)	0.45	3.28	0.15
Alpha	1.84	Cum Volume (1000 m3)	0.07	3.06	0.44
Frctn Loss (m)	0.02	Cum SA (1000 m2)	0.28	5.11	1.17
C & E Loss (m)	0.01				



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

5.3 Discussione: possibilità di sviluppo

La “riscoperta” dell’importante ruolo ambientale della vegetazione lungo i canali è relativamente recente e le operazioni di manutenzione per gestirla, prevalentemente legate alla necessità di garantire un rapido deflusso delle acque, non considerano ancora in misura adeguata l’ecosistema dei canali.

Una nuova logica multiobiettivo, che mira a salvaguardare l’elevata potenzialità ecologica della rete idrica artificiale, impone uno sforzo importante per adattare tecniche, modelli organizzativi e attrezzature al fine di ridurre l’impatto ambientale determinato dagli interventi di manutenzione della vegetazione.

Esistono a tal proposito numerose esperienze maturate in questa direzione che, attraverso una scelta oculata delle porzioni di canale su cui mantenere la vegetazione acquatica e/o riparia e dei mezzi idonei ad effettuare un taglio selettivo, hanno evidenziato ampi margini di miglioramento rispetto alle tecniche di manutenzione tradizionali.

Se le caratteristiche dei luoghi lo consentono, dovranno esser fatte delle valutazioni economiche in termini di espropri di terreni al fine di lasciare delle fasce vegetate in abbandono totale. Tali azioni sono già state intraprese da alcuni consorzi dell’Emilia-Romagna e del Veneto, e sono risultate positive oltre che per le caratteristiche descritte fino ad ora, anche per le migliorie apportate alle infrastrutture circostanti arricchendo il patrimonio paesaggistico.



Figura 31 Interventi di riqualificazione ambientale dei corsi d’acqua della Terraferma Veneziana (Collettore di Favaro – VE) – progetto Life rinasce (Ruffini et al., 2018)

Un’altra ipotesi rappresentata dalla figura 32 prevede oltre alla risagomatura dell’alveo lasciata successivamente a canneto naturale, trattata in precedenza, anche la creazione di una bassura umida che a periodi alterni può essere inondata; questo favorisce lo sviluppo di un’ulteriore fascia vegetata con la funzione di area alluvionabile in caso di evento intenso.



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

ADAPT

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

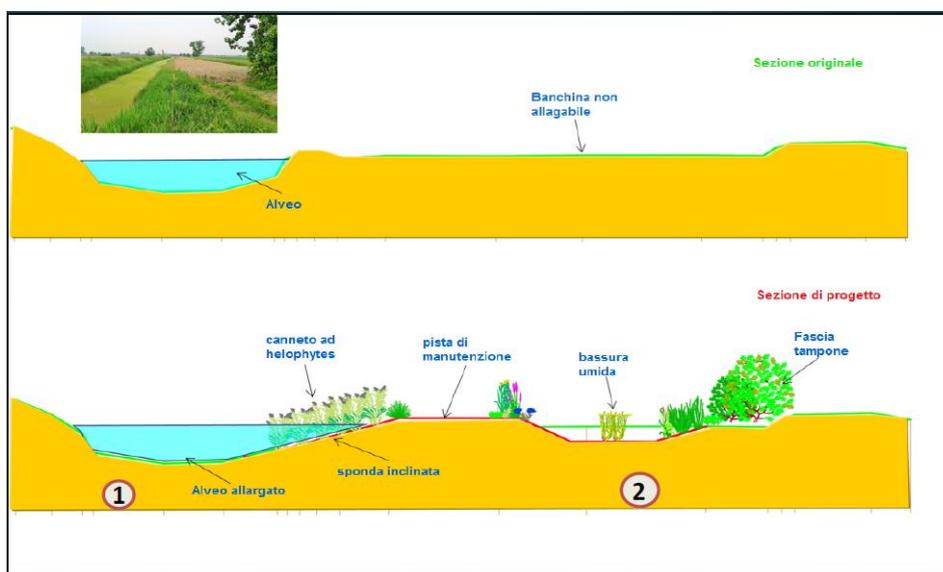


Figura 32 Ipotesi di risagomatura alveo con creazione di una bassura umida - progetto Life rinasce (Ruffini et al., 2018)

Questa concezione ha portato nella zona del Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale benefici ragguardevoli dal punto di vista della qualità delle acque dell'area circostante. Sicuramente, tra qualche anno, quando le chiome della fascia riparia (fig.33) inizieranno ad avere una certa importanza, questa trovandosi attualmente allo stato di semenzale, darà beneficio al canale sia in termini di ombreggiamento, sia in termini paesaggistici dell'ambiente circostante.

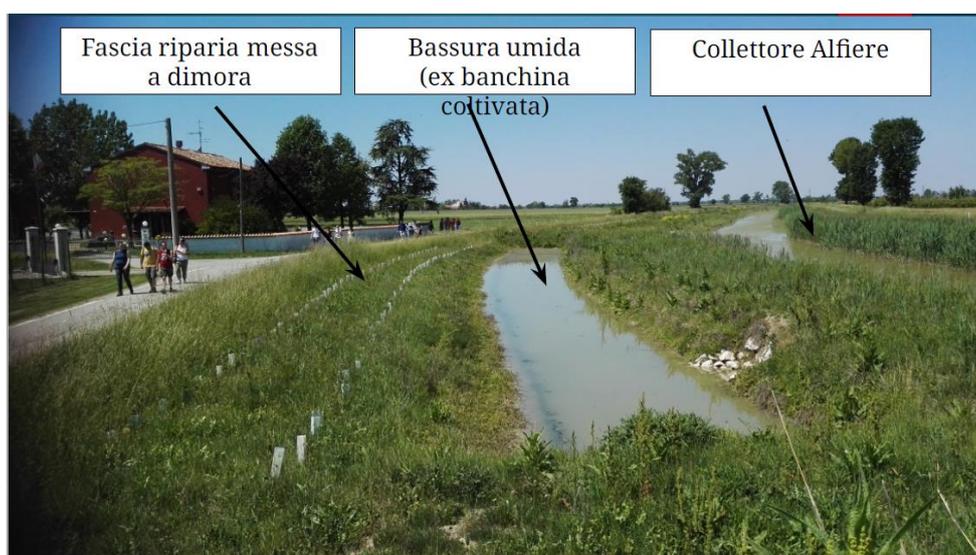


Figura 33 – Esempio di bassura umida di un canale delle acque basse del modenese - progetto Life rinasce (Ruffini et al., 2018)

L'ombreggiamento limita da un lato lo sviluppo della vegetazione erbacea e delle alghe rispettivamente sulle sponde e nell'alveo con conseguente aumento della concentrazione di ossigeno disciolto nell'acqua stessa. Questo approccio deve pertanto essere dimensionato caso per caso in rapporto alla larghezza dell'alveo, in



Interreg



UNIONE EUROPEA



ADAPT

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

modo da ridurre i fenomeni di eutrofizzazione, e allo stesso tempo non inibire completamente la crescita della vegetazione spondale e acquatica che come si è visto nei capitoli precedenti svolge un'azione fondamentale.

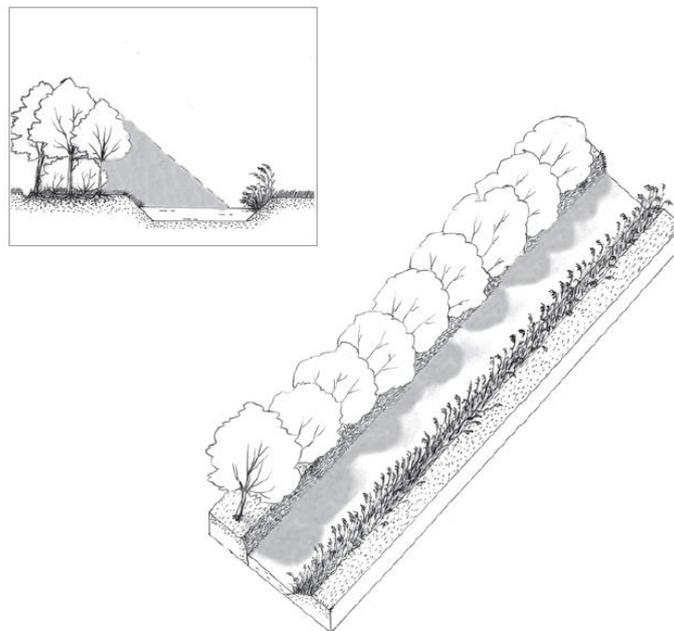


Figura 34 Scenario innovativo di gestione (Consorzio di Bonifica Acque Risorgive)

La figura 34 mostra l'effetto dell'ombreggiamento dato da un filare alberato posto solo su un lato del canale così da favorire una diversificazione biologica in alveo e sulle sponde. Se il canale è sufficientemente largo, un solo filare alberato, seppur ben posizionato, può non essere sufficiente per il totale controllo della vegetazione in alveo, fatto che, dal punto di vista biologico, risulta positivo in quanto permette la crescita di vegetazione acquatica e palustre sul lato non ombreggiato.

La presente tesi ha lo scopo di dare un supporto alla gestione della vegetazione presente lungo il reticolo di Bonifica fornendo dati utili a effettuare valutazioni quantitative. Grazie all'equazione di calcolo della Nepf e il metodo di Colebatch i quali hanno permesso di desumere i coefficienti di scabrezza e i coefficienti di scabrezza equivalente si è potuto dare un modello di valutazione quantitativa facilmente applicabile per ogni canale di bonifica, previo censimento delle specie erbacee presenti all'interno del canale stesso.

Inoltre, la modellazione su software Hec Ras ha confermato le precedenti esperienze sui canali considerati, fornendo modellazioni in moto permanente valide per i bacini considerati. Grazie all'uso di questi strumenti sarà possibile fornire informazioni utili a intraprendere una tipologia di manutenzione ottimale per ogni canale, che dovrà essere scelta in base alle caratteristiche intrinseche (sia ecologiche che idrauliche) del canale stesso.

Ogni canale dovrà avere una sorta di carta d'identità contenente le funzioni ambientali che tale canale svolge all'interno del comprensorio e i parametri collegati al rischio idraulico, quali pericolosità, vulnerabilità ed elementi di rischio. Questo approccio integrato permetterà di scegliere il tipo di manutenzione da effettuare, ottimizzando il bilanciamento fra impatto ambientale e mitigazione del rischio idraulico. Ad esempio, in un'area agricola potranno essere considerati più bassi i coefficienti per il calcolo del rischio idraulico rispetto ad un'area fortemente urbanizzata.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

5.4 Considerazioni Conclusive

Questo elaborato sperimentale costituito da elaborazioni modellistiche su software Excel e software Hec – Ras cerca di dare un supporto alla futura gestione nel campo della progettazione dei canali di Bonifica nella zona della Versilia e di Massa - Carrara.

Riguardo la modellazione su foglio Excel, al fine di trovare il coefficiente di scabrezza (n di Manning) è stato scelto il metodo di Luhar & Nepf, il quale quantifica l'impatto della vegetazione sull'area frontale di una qualsiasi sezione di un canale considerato; per trovare il coefficiente di scabrezza equivalente, avendo studiato l'effetto della vegetazione su sezioni trapezoidali, è stato utilizzato il metodo proposto da Colebatch il quale considera l'area e la velocità ad essa associata delle sub-aree di ogni sezione.

Per la modellazione in moto permanente su software Hec – ras si è tenuto conto dei coefficienti di scabrezza calcolati in queste zone dagli elaborati scientifici condotti dall'Università di Firenze, oltre ai coefficienti di scabrezza desunti dalle elaborazioni modellistiche redatte nel presente elaborato.

Per quanto concerne la modellazione della Fossa Maestra, dal punto di vista idraulico i risultati ottenuti si trovano in accordo con gli studi precedenti condotti assumendo condizioni della manutenzione intensiva della vegetazione. Allo stato attuale risulta difficile applicare una gestione Gentile a causa della difficile localizzazione del canale stesso e delle aree depresse poste lungo la sua asta fluviale. Inoltre, in base all'ipotesi di allargamento della base maggiore descritta in questa tesi, si riscontra la presenza di infrastrutture ai margini del canale che non permettono una riprofilatura in toto. Da non dimenticare anche che molte sezioni del canale si trovano sottodimensionate in maniera rilevante, comportando una forte diminuzione del Tempo di ritorno (inferiori a 1 anno) anche con portate relativamente basse.

Le ipotesi di scelta gestionale valutate nel presente elaborato possono trovare applicabilità in numerosi canali di Bonifica purchè venga valutata caso per caso la concreta possibilità creare fasce destinate alla rinaturalizzazione e la sostenibilità economica.

La messa in pratica di un approccio integrato permetterebbe di risolvere i problemi di qualità ambientale legata agli ambienti della Bonifica, contribuendo anche a ridurre i costi di gestione e a limitare l'impiego di manodopera al seguito delle macchine o destinata a compiere la manutenzione manualmente nei tratti più difficili. L'ottenimento di risultati soddisfacenti sarà determinato dalla portata degli investimenti, ma anche dalla disponibilità degli operatori che quotidianamente lavorano sul corso d'acqua ad aprirsi ad un campo nuovo, facendo tesoro delle tecnologie acquisite nel settore agricolo, ma soprattutto delle esperienze e delle osservazioni ottenute nell'ambito di campagne di ricerca condotte dalla comunità scientifica.



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

BIBLIOGRAFIA

Baroni C., Bruschi G., Salvatore M.C., Alderighi L., Gentili R., **Errico A.**, Preti F., Pacciani A. 2019. “*Ricerche geomorfologiche applicate ai ravaneti del comune di Carrara*”, in particolare per la sezione inerente alla realizzazione della “Carta dei ravaneti da sottoporre a tutela”

Bruschi G., Criscuolo A., Zanchetta G. (2003) – Stratigrafia delle discariche di detrito dei bacini marmiferi di Carrara. I ravaneti antichi di Carbonifera, Strinato, Gioia e Scalocchiella, *Acta apuana*, II, 25-32.

Comiti, F., A. Lucía, e D. Rickenmann. 2016. «Large wood recruitment and transport during large floods: A review». *Geomorphology* 269: 23–39. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.06.016>.

D’Amato Avanzi G., Falaschi F., Giannecchini R. & Puccinelli A. (2009) - Soil slip susceptibility assessment using mechanical–hydrological approach and GIS techniques: an application in the Apuan Alps (Italy). *Natural Hazards*, 50, 591-603.

D’Amato Avanzi G. & Verani M., (1998). Le valenze ambientali ed economiche dei ravaneti delle Alpi Apuane (Toscana, Italia). *Memorie Società Geologica Italiana*, 53: 489

D’Amato Avanzi G. (1999) - Landslides triggered by the intense rainstorm of June 19, 1996 in southern Apuan Alps (Tuscany, Italy). *Transaction Japanese Geomorphological Union*, 20-3: 203-218.

Errico, A., G.F.C. Lama, S. Francalanci, G.B. Chirico, L. Solari, e F. Preti. 2019. «Flow dynamics and turbulence patterns in a drainage channel colonized by common reed (*Phragmites australis*) under different scenarios of vegetation management». *Ecological Engineering* 133: 39–52. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.04.016>.

Errico, A., V. Pasquino, M. Maxwald, G.B. Chirico, L. Solari, e F. Preti. 2018. «The effect of flexible vegetation on flow in drainage channels: Estimation of roughness coefficients at the real scale». *Ecological Engineering* 120: 411–21. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.06.018>.

Ferrarini E. (1972) – Carta della vegetazione delle Alpi Apuane e zone limitrofe. Note illustrative, *Webbia*, XXVII, 551-582.

Ferrarini E., Alessandrini A. (1988) – Aspetti della flora e della vegetazione dell’Appennino settentrionale dal M. Maggiorasca alle Alpi Apuane e al M. Fumaiolo, *Accademia Lunigianese di Scienze «Giovanni Capellini»*, *Sci. Mat. Fis. e Nat.*, LI-LIII (1981-83), 3-57.

Gentili (2008) Rilevamenti geomorfologico-vegetazionali nei bacini marmiferi di Carrara (Alpi Apuane, Toscana, Italia). Dato non pubblicato

Gentili, R., S. Sgorbati, e C. Baroni. 2011. «Plant Species Patterns and Restoration Perspectives in the Highly Disturbed Environment of the Carrara Marble Quarries (Apuan Alps, Italy)». *Restoration Ecology* 19 (SPEC.ISSUE): 32–42. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2010.00712.x>.

Giambastiani, Y., F. Preti, A. Errico, e L. Sani. 2017. «On the tree stability: Pulling tests and modelling to assess the root anchorage». *Procedia Environmental Science, Engineering and Management* 4 (4): 207–18.

Gilardelli, F., S. Sgorbati, S. Armiraglio, S. Citterio, e R. Gentili. 2016. «Assigning plant communities to a successional phase: Time trends in abandoned limestone quarries». *Plant Biosystems* 150 (4): 799–808. <https://doi.org/10.1080/11263504.2015.1011722>.



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

ADAPT

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Lama, G.F.C., A. Errico, S. Francalanci, L. Solari, F. Preti, e G.B. Chirico. 2020. «Evaluation of flow resistance models based on field experiments in a partly vegetated reclamation channel». *Geosciences (Switzerland)* 10 (2). <https://doi.org/10.3390/geosciences10020047>.

Lorenzoni, Sani, Grazzini A., Carta della vegetazione dell'area marmifera (Comunicazione personale)

Monaci et al., Manuale per la gestione ambientale dei corsi d'acqua a supporto per i Consorzi di Bonifica., Veneto Agricoltura, 2009

Preti, F., A. Dani, e F. Laio. 2010. «Root profile assessment by means of hydrological, pedological and above-ground vegetation information for bio-engineering purposes». *Ecological Engineering* 36 (3): 305–16. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.07.010>.

Rapetti F., Vittorini S. (1994) – Carta climatica della Toscana centro-settentrionale, CNR - Centro di studio per la geologia strutturale e dinamica dell'Appennino, Pisa, Pacini.