

VALUTAZIONE EX-POST DELL'EFFICACIA
DI ALCUNI INTERVENTI DI DIFESA DEL SUOLO
REALIZZATI CON TECNICHE
DI INGEGNERIA NATURALISTICA

Dr.ssa Ing. Valeria Cristi

Tutor: Dott. Geol. Alessandro Trigila

Prefazione

Questa tesi presenta il lavoro conclusivo del tirocinio svolto all'APAT da Valeria Cristi. Il tirocinio nasce da una collaborazione intercorsa tra l'APAT e l'Università degli Studi "La Sapienza" per la redazione della sua tesi di laurea, il cui titolo è "Criteri di valutazione dell'efficacia idrologica degli interventi di Ingegneria Naturalistica", realizzata con la cattedra di idrologia tecnica.

Dott. Geol. Alessandro Trigila

Abstract

In questa tesi è stata svolta l'analisi dell'efficacia di alcuni interventi di Ingegneria Naturalistica eseguiti su tre corsi d'acqua del Lazio (Rio Inferno, Rio Saetta, Rio Valleruce). I casi di studio esaminati fanno parte di un complesso progetto regionale di riassetto del territorio (L. 471/94), in cui il ricorso all'Ingegneria Naturalistica costituiva un requisito preferenziale per la selezione preliminare dei progetti.

Si sono dunque individuati due obiettivi specifici da conseguire

- ✓ Effettuare il monitoraggio post operam mirato alla valutazione dello stato delle opere eseguite, e della loro compatibilità ambientale, a distanza di 4 o 5 anni.
- ✓ Applicare il “modello stocastico del deflusso indice” come nuovo e valido strumento di progettazione per questo tipo di interventi che permetta la determinazione del livello idrico medio (h_{medio}) che si mantiene mediamente costante per tutto l'anno.

La tesi si articola in tre capitoli.

Nel capitolo 1 si descrive *l'Ingegneria Naturalistica* e le finalità per le quali vengono realizzati questo tipo di interventi piuttosto che quelli che utilizzano il calcestruzzo o altri materiali ad elevato impatto ambientale. Le finalità dell'I.N. sono tecnico-funzionali, naturalistiche, paesaggistiche ed economiche e per il loro raggiungimento è necessario un approccio multidisciplinare che prevede, per la progettazione degli interventi, un'analisi generale delle caratteristiche ecomorfologiche stazionali per conoscere approfonditamente lo stato del territorio, e le mutue interferenze tra il sistema ecologico, fisico ed antropico. Ciò consente di individuare le azioni di difesa del suolo necessarie per la mitigazione del rischio.

Nel capitolo 2 si presenta l'attività di *monitoraggio post operam* svolta sui tre corsi d'acqua (Rio Inferno, Rio Saetta, Rio Valleruce) per valutare la condizione della parte strutturale, la percentuale di attecchimento delle piante e il loro stato di salute e per verificare se tali opere sono diventate parte integrante dell'ambiente o se si presentano estranee ad esso. Il monitoraggio viene eseguito tenendo conto delle informazioni ricavate dai monitoraggi *ante operam* ed *in opera* effettuati da un altro gruppo di monitoratori; per eseguirlo sono stati necessari diversi sopralluoghi; è stata anche predisposta una scheda di valutazione che sia di utilizzo immediato sul campo. La qualità dei corsi d'acqua, prima degli interventi, era decisamente bassa per l'elevata presenza di rifiuti; le fasce ripariali fortemente degradate e ridotte a piccoli lembi. Dopo aver esaminato i progetti esecutivi ed aver effettuato sopralluoghi si è osservato che nella generalità dei casi gli interventi risultano in buono stato e ben inseriti nell'ambiente.

In particolare attraverso l'utilizzo delle schede di monitoraggio e di schede per la valutazione

della qualità ambientale, per ogni corso d'acqua, è emerso che:

- ~ la percentuale di attecchimento delle talee è diminuita rispetto al sopralluogo eseguito un anno dopo la fine dei lavori;
- ~ le opere non hanno subito alcun cedimento strutturale;
- ~ la naturalità dei tre corsi d'acqua risulta non particolarmente elevata, in quanto l'ambiente circostante è mediamente antropizzato e persistono tuttora, in alcuni tratti, vecchie sistemazioni idrauliche in cls.

Nel capitolo 3 si esegue un'*analisi idrologica* innovativa applicando il metodo del deflusso indice con il quale determinare le curve di durata delle portate (CDT, CDA) relative alle sezioni non strumentate dei bacini studiati, facendo riferimento a bacini strumentati (Liri a Sora, Rapido a Sant'Elia Fiumerapido, Sacco a Ceccano, Melfa a Picinisco) per i quali è stato possibile determinare le curve di durata sperimentali. Con questo metodo si vuole proporre un modo per valutare il livello idrico (h_{medio}) che mediamente si mantiene costante nel corso dell'anno e che consente quindi di individuare la posizione ottimale per la messa a dimora delle piante o delle talee. Questo risulta un parametro importante perché esistono delle piante che, non tollerando periodi di sommersione maggiori di una settimana, muoiono per asfissia a causa della sommersione prolungata. Dai sopralluoghi è possibile osservare la presenza di tali piante che hanno avuto il tempo e le condizioni per svilupparsi resistendo solo alle sommersioni di breve durata relative alle piene straordinarie. Da queste curve e dalle scale di deflusso, costruite per alcune sezioni dei suddetti corsi d'acqua, dopo aver individuato la Q_{g355} relativa al giorno 355-esimo (d_{355}), si è estrapolato il parametro " h_{medio} ", il livello di piena medio annuale. Il risultato di questa analisi sperimentale è stato validato dalle misurazioni effettuate direttamente in situ. Il livello idrico corrispondente risulta congruente a quello ottenuto applicando il modello del deflusso indice.

In conclusione nei casi esaminati si rileva la necessità di eseguire interventi di manutenzione delle parti vive che si sono sviluppate notevolmente, raggiungendo diametri di circa 10 cm. Tale sviluppo ha conferito alla talea, di per sé molto elastica, una maggiore rigidità e quindi una maggiore facilità a spezzarsi. Le piante spezzate andrebbero ad ostruire così, la sezione dell'alveo limitando l'area per il deflusso delle portate. Le parti inerti, invece si trovano in buono stato e non necessitano, al momento, di alcun intervento manutentorio. Gli interventi realizzati hanno complessivamente raggiunto gli obiettivi preposti, migliorando i tre corsi d'acqua e il territorio circostante, conferendo loro una maggiore qualità ambientale e proteggendo le sponde dell'alveo dai fenomeni d'erosione e le strade e i manufatti adiacenti da possibili esondazioni.

INDICE

Prefazione	I
Abstract	II
Introduzione	V
Metodologia	VII
CAPITOLO 1 L'INGEGNERIA NATURALISTICA	1
1.1_L'Ingegneria Naturalistica	2
1.2_Differenze dagli interventi tradizionali e caratterizzazione ecologica delle aree interessate	3
1.3_Scelta delle specie negli interventi di I.N	4
1.4_I limiti dell'Ingegneria Naturalistica	5
CAPITOLO 2 IL MONITORAGGIO POST OPERAM	7
2.1_L'importanza del monitoraggio nelle opere di Ingegneria Naturalistica	8
2.2_Schede per il monitoraggio: Ante Operam e In Opera	9
2.3_La scheda POST OPERAM	9
2.3.1_Rio Inferno	11
2.3.2_Rio Saetta	24
2.3.3_Rio Valleluce	32
CAPITOLO 3 L'ANALISI IDROLOGICA	44
3.1_Obiettivo	45
3.2_Metodologia	45
3.2.1_Curva di durata delle portate	45
3.2.2_Scale di deflusso	49
3.3_Risultati	50
Conclusione	55
Bibliografia	57
Allegati	58

Introduzione

I casi di studio di seguito esaminati (Rio Inferno, Rio Saetta, Rio Valleluce) fanno parte di un complesso progetto regionale di riassetto del territorio, il primo per dimensioni dagli anni settanta. Infatti, a seguito dell'approvazione definitiva da parte del parlamento della Legge 471 del 1994 (*“disposizioni urgenti a favore delle zone colpite da fenomeni alluvionali nei mesi da settembre a dicembre 1993”*) ed in conseguenza di alcuni violenti fenomeni meteorici, in particolare un evento alluvionale del 1993, la Regione Lazio ha provveduto ad approvare una serie di delibere tese al ripristino e alla prevenzione dei danni.

Furono perciò appaltati oltre cinquanta cantieri, individuati per mezzo delle segnalazioni dei comuni interessati dai danni e dei settori decentrati della Regione stessa.

Il ricorso all'I.N. costituiva un requisito preferenziale per la selezione preliminare dei progetti, in base alla deliberazione di Giunta Regionale 4340 del 1996 relativa ai criteri progettuali per l'attuazione degli interventi in materia di difesa del suolo nel territorio della Regione Lazio.

L'elevato numero dei cantieri appaltati ha, inoltre, indotto l'amministrazione regionale a considerare l'opportunità di effettuare un monitoraggio dei lavori, così da poterne ricavare informazioni utili alla redazione di un manuale tecnico di I.N. con valenza locale. Con i fondi della legge 471/94 della Convenzione “Ingegneria Naturalistica: applicazione di tecniche di intervento a basso impatto ambientale nei programmi della Regione Lazio” fra Regione Lazio, Istituto di Genio Rurale dell'Università degli Studi della Tuscia di Viterbo e la società NATURSTUDIO Piccola di Trieste è stato condotto un monitoraggio in corso d'opera su un campione significativo di 15 cantieri in corso di esecuzione.

In questa tesi si è eseguito un monitoraggio *Post Operam*, a distanza di circa 4 anni dal termine dei lavori, sui tre corsi d'acqua; le motivazioni che hanno influito sulla loro scelta è che appartengono allo stesso Bacino Idrografico del Liri-Garigliano, e sono ubicati nella stessa regione fitoclimatica. Scorrono tutti e tre, infatti, in un ambiente caratterizzato da un clima mediterraneo che vede generalmente inverni piovosi ed estati molto calde, con conseguente aridità per molti mesi. Dunque si è voluto osservare e verificare come le tecniche di I.N., di sicura efficacia nel nord Italia, dove non si verificano mai periodi lunghi di siccità, possano essere utilizzate anche in regioni con clima mediterraneo ottenendo risultati soddisfacenti.

È importante, inoltre, sottolineare le differenze tra questi tre corsi d'acqua per poi poter commentare le scelte differenti di intervento operate, che hanno avuto, comunque, il

comune obiettivo di proteggere dalle piene improvvise le strade che in tutti e tre i casi per un tratto costeggiano il corso d'acqua, di rinaturalizzare complessivamente l'ambiente fluviale, a volte "deturpato" dai precedenti interventi e l'obiettivo di stabilizzare le sponde dell'alveo soggette a fenomeni di erosione al piede e di instabilità.

Rio Valleluce è il corso d'acqua che si trova nella parte più alta del bacino e presenta delle pendenze maggiori a differenza degli altri due che per la maggior parte del loro tracciato scorrono in pianura.

La pendenza maggiore comporta dunque un trasporto solido caratterizzato da materiale di dimensioni maggiori, più grossolano che quindi possiede una capacità erosiva maggiormente incisiva.

Si osserva, quindi, che in queste condizioni, pendenza maggiore, trasporto solido grossolano, maggiore capacità erosiva, nel Rio Valleluce si è spesso usata la tecnica dei *gabbioni rinverditi*. Questi ultimi sono un'opera di notevole imponenza, pesanti e molto stabili, adeguati soprattutto per la protezione dei manufatti stradali.

Nel Rio Inferno e nel Rio Saetta nei tratti più pianeggianti, caratterizzati da un trasporto solido costituito da materiali più fini, è stata usata la tecnica della palificata viva che, invece, è un'opera meno rigida, adatta alla protezione di sponde in cui la forza erosiva è minore.

Metodologia

Il lavoro svolto in questa tesi è stato caratterizzato da due fasi distinte portate avanti parallelamente e in modo autonomo con l'obiettivo comune di valutare l'efficacia degli interventi di I.N. eseguiti sui tre corsi d'acqua. Le due fasi sono: il monitoraggio e l'analisi idrologica.

MONITORAGGIO. La fase di monitoraggio è stata condotta suddividendo il lavoro in tre momenti, di ricerca e studio, di intervento direttamente in situ e di stesura delle considerazioni conclusive:

1. inizialmente è stata svolta un'attività di ricerca delle informazioni relative alla situazione prima dell'esecuzione degli interventi e su come si sono svolti i lavori; infatti si sono studiati i progetti esecutivi dei tre corsi d'acqua e le schede di monitoraggio *ante operam* e *in opera*.
2. successivamente sono stati eseguiti diversi sopralluoghi durante i quali si è potuto osservare lo stato attuale delle opere e dei tre corsi d'acqua documentando il tutto con fotografie e filmati. Durante questi sopralluoghi sono state compilate le schede di monitoraggio *post operam* e di valutazione della qualità ambientale.
3. nell'ultima fase invece sono state eseguite le considerazioni conclusive confrontando la situazione *ante operam* e quella attuale a quattro anni di distanza.

ANALISI IDROLOGICA. Questa fase è stata principalmente un'attività di studio e di sperimentazione ed è stata caratterizzata dall'applicazione del modello stocastico del deflusso indice al territorio della regione Lazio. Questo modello è una tecnica di stima regionale delle curve di durata delle portate (CDA, CDT) in bacini non strumentati messa a punto da Castellarin, Camorani e Brath per un'altra regione italiana.

I risultati di tale analisi sono stati successivamente confrontati con i valori relativi misurati direttamente durante i sopralluoghi.

CAPITOLO 1

L'INGEGNERIA NATURALISTICA

1.1_L'Ingegneria Naturalistica

L'Ingegneria Naturalistica (I.N.) è una disciplina tecnico-scientifica di intervento sul territorio che prevede l'utilizzo di materiali vivi, piante o parti di esse, di materiali naturali inerti come legno, pietre, paglia, terreno e all'occorrenza di materiali artificiali siano essi biodegradabili (biostuoie, geojuta, ecc.) oppure no (geogriglie, geodeti, geotessili, ecc.). L'I.N. è una disciplina trasversale che utilizza dati, conoscenze e tecnologie di altri settori per realizzare gli interventi; prevede il coinvolgimento di numerose figure professionali, dal geologo al forestale, all'ingegnere, perché ciascuno dei molteplici aspetti costruttivi delle opere deve essere affrontato con estrema attenzione.

I campi di applicazione spaziano dalla sistemazione dei versanti in frana e in erosione, alle sistemazioni idrauliche in zona montana a quelli del reinserimento ambientale delle infrastrutture viarie, delle cave e discariche, delle sponde dei corsi d'acqua, dei consolidamenti costieri, ecc.

Il concetto principe dell'I.N. è quello di sostituire, nel tempo, alla funzione strutturale e portante dei materiali inerti impiegati (siano essi legno, pietrame) quella delle piante. La funzione degli elementi strutturali è quella di garantire quindi la funzionalità dell'opera per un periodo sufficiente alla completa affermazione della vegetazione messa a dimora; in particolare essi assicurano stabilità del pendio o della sponda nel periodo critico della germogliazione e dello sviluppo radicale. La gradualità con cui si effettua naturalmente questo trasferimento di ruoli dipende da diversi fattori; primi tra tutti quelli stazionali e climatici e certamente dal tipo di opera. È necessario, dunque, progettare opere adeguatamente dimensionate, scelte tra quelle più convenienti per la situazione del luogo, realizzate con materiali provenienti da zone limitrofe a quelle di cantiere e che siano stati prelevati senza provocare danni all'ambiente circostante.

“Le finalità degli interventi di I.N. sono principalmente quattro:

- tecnico-funzionali, per esempio antiersive e di consolidamento di una sponda o di una scarpata stradale;
- naturalistiche, in quanto non semplice copertura a verde ma ricostruzione o innesco di ecosistemi paraturali mediante impiego di specie autoctone;
- paesaggistiche, di ‘ricucitura’ al paesaggio naturale circostante;
- economiche, in quanto strutture competitive e alternative ad opere tradizionali.”¹

¹Manuale di Ingegneria Naturalistica, applicabile al settore idraulico, Regione Lazio

1.2_Differenze dagli interventi tradizionali e caratterizzazione ecologica delle aree interessate

Gli interventi di I.N. permettono di risolvere situazioni di dissesto idrogeologico realizzando contemporaneamente interventi a basso impatto ambientale o, in alcuni casi, di riqualificazione territoriale. I risultati finali ottenuti con interventi di I.N. sono in alcuni casi comparabili con quelli ottenuti con le tecniche tradizionali che impiegano calcestruzzo e il cemento armato, ma hanno un impatto ambientale di gran lunga inferiore.

Ciò che contraddistingue l'intervento di I.N. da quello tradizionale è:

- “l'esame delle caratteristiche topoclimatiche e microclimatiche di ogni superficie di intervento;
- l'analisi del substrato podologico con riferimento alle caratteristiche chimiche, fisiche ed idrologiche del suolo in funzione degli additivi e correttivi da impiegare;
- la base conoscitiva, floristica e fitosociologica con particolare riferimento alle serie dinamiche degli ecosistemi interessati per l'efficace sfruttamento delle caratteristiche biotiche di ogni singola specie;
- l'utilizzo degli inerti tradizionali ma anche di materiali di nuova concezione quali le georeti tridimensionali e i geotessuti sintetici in abbinamento a piante o parti di esse;
- la selezione delle miscele di sementi delle specie erbacee in funzione dell'efficacia antierosiva, dei processi di organicazione dell'azoto, della progressiva sostituzione delle specie impiegate con le specie selvatiche circostanti;
- l'accurata selezione delle specie vegetali da impiegare;
- specie arbustive ed arboree da vivaio, talee, zolle erbose da trapianto, utilizzo di stoloni o rizomi. Vengono utilizzate le specie autoctone derivate da materiale di propagazione locale;
- l'abbinamento della funzione antierosiva con quella di reinserimento ambientale e naturalistico;
- il miglioramento nel tempo delle due funzioni sopra citate a seguito dello sviluppo delle parti epigee e ipogee delle piante impiegate, con il mascheramento delle componenti artificiali dell'opera.”²

Le opere di I.N., infatti, se ben progettate e realizzate, possono assolvere alle stesse funzioni statiche delle opere in cls e c.a., hanno un costo economico uguale o inferiore, la loro durata temporale dipende più che dalla durabilità dei materiali impiegati, dalla correttezza nella scelta delle tipologie di opera e delle specie vegetali utilizzate e dal loro attecchimento e sviluppo.

²Manuale di Ingegneria Naturalistica, applicabile al settore idraulico, Regione Lazio

È auspicabile quindi che ogni intervento di I.N. sia preceduto da un propedeutico inquadramento ecologico dell'area oggetto dell'intervento eseguendo indagini vegetazionali, floristiche e faunistiche variabili in considerazione delle caratteristiche dell'area di intervento.

1.3_Scelta delle specie negli interventi di I.N

La scelta della specie da utilizzare negli interventi di I.N. dovrebbe essere condizionata dal riconoscimento delle serie di vegetazioni presenti nell'area di intervento e dall'individuazione delle specie che, all'interno di ciascuna serie, meglio si prestano ad essere utilizzate in quelle particolari condizioni stazionali.

Tale lista floristica dovrebbe esser poi selezionata in base ad altri criteri quali le caratteristiche biotecniche delle specie (per esempio la resistenza alle sollecitazioni meccaniche), le possibilità/ velocità di propagazione, le capacità colonizzatrici, la reperibilità sul mercato, l'adattabilità a particolari condizioni stazionali limitanti (rinverdimento di discariche, scarpate ferroviarie,...).

È di estrema importanza la conoscenza, per ciascuna specie, del rapporto tra volume dell'apparato radicale e della parte aerea, della forma dell'apparato radicale, della resistenza all'estirpamento, della resistenza al taglio del terreno attraversato da radici e dei livelli di evapotraspirazione dei popolamenti vegetali creati.

La reperibilità costituisce un elemento che condiziona spesso fortemente la scelta delle specie; la disponibilità, soprattutto per le specie erbacee, è estremamente limitata e di provenienza spesso non compatibile, con un criterio di tipo naturalistico. Tale aspetto cruciale potrebbe essere risolto mediante la costituzione di nuovi vivai specializzati per il territorio regionale.

La distribuzione della vegetazione igrofila è strettamente correlata alle caratteristiche ecologiche, idrauliche e geomorfologiche del corso d' acqua.

Lungo il fiume la velocità della corrente è maggiore nel corso superiore montano, a causa della maggiore pendenza dell'alveo e diviene, unitamente al trasporto solido, un fattore limitante per l'insediamento della vegetazione igrofila nell'alveo, a causa delle sollecitazioni meccaniche indotte.

Al variare dell'energia della corrente fluviale si vengono a determinare variazioni nel trasporto solido e nella sedimentazione che portano alla costituzione di alvei con materiali grossolani o con sedimenti fini.

Anche l'elevata profondità del pelo libero costituisce un ostacolo per lo sviluppo della vegetazione radicante, che manca negli alvei principali dei fiumi. L'elevata profondità si accompagna poi, in genere, ad una scarsa trasparenza delle acque e la torbidità limita lo sviluppo delle piante. Quando la portata idraulica assume valori elevati durante le piene, la vegetazione viene sommersa e la durata del periodo di sommersione diventa un ulteriore fattore limitante la sopravvivenza delle piante che talvolta non tollerano periodi di sommersione maggiori di 7/10 giorni³ (come nel caso dei salici).

1.4_I limiti dell'Ingegneria Naturalistica

L'I.N. deve essere utilizzata laddove possibile e costituisce, in tal caso, una validissima alternativa alle tecniche tradizionali, ma possiede dei limiti ben precisi, oltre i quali può portare a danni peggiori che l'intervento con cls o il non intervento. Il non intervento, infatti, è una delle opzioni che si prendono in considerazione in fase progettuale e una delle ipotesi possibili quando si ritenga che l'evoluzione naturale del paesaggio possa proseguire senza eccessiva preoccupazione per l'uomo o le sue opere o quando sussistano difficoltà insuperabili per il reperimento dei materiali o per l'attecchimento delle piante.

Le opere di I.N. sono destinate, nel medio periodo, a perdere d'efficacia, ma a differenza di quelle tradizionali, avranno senz'altro contribuito a non accelerare l'evoluzione naturale, perché diventeranno esse stesse parte dell'ambiente e non oggetti estranei ad esso.

Uno degli aspetti fondamentali da tenere in considerazione per gli interventi di I.N., non a caso è la stagione; è determinante stabilire il periodo in cui realizzare gli interventi perché possibili eventi climatici avversi possono comportare notevoli problemi.

Per la raccolta delle talee e la messa a dimora delle piante e/o dei semi, quindi, si sceglie sempre la stagione del riposo vegetativo, che in Italia coincide sostanzialmente con l'inverno al nord e con l'inverno e l'estate al sud. Al centro si hanno situazioni molto diversificate. Bisogna in ogni caso evitare stagioni dell'anno a forte piovosità o siccità.

La distribuzione delle precipitazioni condiziona il regime idraulico influenzando sullo sviluppo della vegetazione in alveo. Regimi fluviali caratterizzati da portate poco variabili durante l'anno, garantiscono alla vegetazione un habitat idrofilo, mentre regimi molto variabili creano condizioni di stress idrico che ne limitano lo sviluppo.

Esiste tuttavia un limite tecnico nell'applicabilità dell'I.N. ed è individuato proprio nella capacità di tenuta delle piante. La scelta delle specie da impiegare deve tener conto sia della loro compatibilità col clima locale, che delle loro dimensioni fuori terra, che della

³ approfondimenti nel capitolo 3.

capacità di approfondirsi delle loro radici. Radici lunghe, che si intrecciano e consolidano il terreno, che posseggono un'alta resistenza a trazione (capacità biotecniche) e possono resistere a condizioni di aridità o, viceversa, di sommersione, sono spesso ciò di cui si ha bisogno, ma è chiaro che non dappertutto esistono specie tali da soddisfare queste esigenze.

In ambito mediterraneo, in cui sono stati eseguiti gli interventi di I.N. sui tre corsi d'acqua in questo contesto monitorati, i problemi legati all'utilizzo delle piante vive sono invece:

- La presenza di un periodo di forte stress idrico che coincide col periodo estivo, che ha determinato nelle piante mediterranee una serie di adattamenti biologici.
- La presenza di una stagione vegetativa più lunga di quella delle regioni alpine, con conseguente periodo più breve per l'utilizzo di specie con capacità di riproduzione vegetativa, quali i salici o le tamerici, le cui talee si raccolgono tipicamente nella stagione di riposo vegetativo.
- La difficile reperibilità del materiale vivaistico, sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo.

È opportuno quindi prestare maggiore attenzione alla scelta delle specie vegetali per gli interventi in quanto non sempre le specie autoctone e/o quelle più facilmente reperibili nei vivai garantiscono l'attecchimento e lo sviluppo nelle specifiche condizioni ecologiche dell'ambiente mediterraneo; d'altro canto si pone anche il problema della provenienza delle specie vegetali, soprattutto nelle aree protette per evitare che si verifichi l'inquinamento genetico dovuto a varietà provenienti da altre regioni o addirittura nazioni.

La fase più critica del processo realizzativo di un'opera di I.N è naturalmente quella iniziale. Infatti le strutture inerti di sostegno, quindi l'architettura legnosa, il geotessile, la rete di metallo, etc., sono stati completati e posizionati, ma le piante, siano esse ancora sottoforma di talee o semi o piantine già radicate, non hanno alcuna capacità portante, perché il loro apparato radicale non esiste o ancora non è sufficientemente sviluppato. Un evento di piena in un torrente nel quale si stanno consolidando le sponde, ad esempio, risulterà in ogni caso critico per la riuscita dell'intervento e comprometterà quasi sicuramente ciò che è stato già realizzato.

CAPITOLO 2

IL MONITORAGGIO POST OPERAM

2.1_L'importanza del monitoraggio nelle opere di Ingegneria Naturalistica

Il monitoraggio è *“un’attività standardizzata e continuativa di misura e di osservazione dell’ambiente. (UNESCO, 1978)”*.

Svolgere questa attività su opere di I.N. risulta indispensabile per diversi motivi:

1. per valutare dello stato dell’efficacia dell’opera dopo un certo periodo dall’intervento e il suo inserimento nell’ambiente e l’interazione con esso per valutare se gli obiettivi preposti sono stati raggiunti oppure no. [si rimanda per i singoli casi ad approfondimenti nei paragrafi successivi].
2. per individuare eventuali interventi successivi di manutenzione.
3. per eseguire una casistica delle opere e della loro durabilità nel tempo.
4. per realizzare carte tematiche sulla distribuzione sul territorio di queste opere.
5. per individuare le distribuzioni delle formazioni arboree e arbustive per la creazione di un vivaio naturale da cui reperire specie vegetali necessarie ad altri interventi di I.N. in diversi corsi d’acqua.
6. per raccogliere sempre più informazioni (reperimento materiali, modalità e tempi di esecuzione, costi, vantaggi e svantaggi) per aumentare la conoscenza e quindi per migliorare l’efficacia di tali interventi, confrontandoli anche con gli interventi tradizionali di I.N.
7. per fornire informazioni sulle ditte e sulla loro qualificazione in materia.
8. per favorire, infine, interessanti sperimentazioni sulle caratteristiche biotecniche di arbusti tipici di quell’ambiente che spesso vengono promosse nei programmi di monitoraggio in ambito mediterraneo.

Complessivamente il monitoraggio di un’opera di Ingegneria Naturalistica consiste nella visita periodica alle opere e deve avere una frequenza più o meno elevata a seconda del tipo di opera e del materiale utilizzato. Esso è caratterizzato da una serie di fasi successive:

- Fase Ante Operam
- Fase In Opera
- Fase Post Operam

in ognuna delle quali si osserva e si verifica la variazione di alcuni parametri preventivamente fissati e si compila la relativa scheda di valutazione.

2.2_Schede per il monitoraggio: Ante Operam e In Opera

Nell'ambito della convenzione stipulata dalla Regione Lazio con l'Università della Tuscia, sono state monitorate la fase *ante operam* e quella *in opera* da un gruppo di monitoraggio coordinato dal Prof. Ing. Preti, docente del corso di sistemazioni idraulico-forestali a Viterbo, in collaborazione con il Dott. Sauli, presidente nazionale dell'Associazione Italiana Per l'Ingegneria Naturalistica (AIPIN), il Dott. Ing. P. Cornellini, presidente della sezione Lazio dell' AIPIN, il Dott. F. Palmeri presidente del Trentino/Alto Adige dell'AIPIN.

La terza fase, relativa al *post operam*, invece, è stata conclusa solo per i tre corsi d'acqua, Rio Inferno, Rio saetta e Rio Valleluce, nell'ambito del presente lavoro.

La scheda *ante operam* e quella *in opera*⁴, sono state messe a punto nel periodo immediatamente precedente all'apertura dei cantieri e subito dopo il loro avvio sul territorio.

2.3_La scheda POST OPERAM

Il Manuale della Regione Lazio non ha formulato una scheda di monitoraggio post operam poiché nel periodo di stesura non erano stati completati i cantieri da monitorare. Si vuole proporre in questa tesi una scheda di monitoraggio *post operam* che indichi i criteri per l'analisi dell'efficacia degli interventi progettati ed eseguiti precedentemente.

Il lavoro svolto è stato caratterizzato da due sopralluoghi durante i quali si sono ripercorsi i tre corsi d'acqua per osservare, fotografare e commentare lo stato attuale delle opere e della loro interazione col territorio; si sono studiati i progetti esecutivi e si è fatto riferimento alle valutazioni eseguite prima e in corso d'opera dal gruppo di monitoratori precedentemente citato.

Prendendo in considerazione anche il Manuale della Regione Toscana si è realizzata questa scheda semplice e speditiva, come valido strumento di verifica.

È fondamentale che per una valutazione critica e oggettiva si individuino dei parametri sui quali basare la verifica.

Questa scheda presenta una prima parte⁵ in cui vengono richiamate sinteticamente alcune informazioni generali sul caso in esame (dati generali); una seconda parte in cui si presentano gli obiettivi generali (comuni per tutti gli interventi di I.N.) e gli obiettivi specifici (tipici di ciascun progetto relativo ad ogni corso d'acqua) che i progetti si erano preposti di raggiungere; nella terza parte si esegue una descrizione delle tipologie d'opera e

^{4 5} Tesi "Monitoraggio e analisi di interventi d'Ingegneria Naturalistica su corsi d'acqua laziali." Andrea Marazzi, 2000

dei materiali impiegati, facendo, per ciascuno, un confronto dei parametri prima, durante e dopo per valutarne l'efficacia. L'ultima parte, infine, è relativa alle singole sezioni monitorate. Questa scheda è stata pensata e realizzata prendendo in considerazione solo i tre corsi d'acqua che si sono studiati, infatti tra gli obiettivi specifici ne esistono molti altri che possono esser ottenuti con l'intervento di altre opere.

Nei paragrafi successivi si riportano solo alcune parti significative delle schede di monitoraggio post operam relative a Rio Inferno, Rio Saetta e Rio Valleluce. Le schede complete dei tre corsi d'acqua sono riportate integralmente nel tesi della sottoscritta⁶. In questo lavoro si è voluto porre l'attenzione sugli interventi realizzati per il raggiungimento degli obiettivi preposti, partendo da una analisi accurata delle caratteristiche del dissesto.

⁶Tesi "Criteri di valutazione dell'efficacia idrologica degli interventi di I.N." Valeria Cristi, 2004

2.3.1_Rio Inferno**CARATTERISTICHE DEL DISSESTO**

Dalla scheda ANTE OPERAM

Sezione dell'alveo non adeguata al deflusso delle portate.

I problemi più grandi erano nella parte più alta dell'intervento, laddove il torrente, in fase di magra, si riduceva a scorrere in un piccolissimo fossato. È proprio in questo punto che si verificavano delle esondazioni periodiche delle acque, che danneggiavano le strutture abitative e agricole adiacenti. Queste esondazioni erano causate, dall'interrimento indotto dalla presenza delle briglie, realizzate negli anni cinquanta, che hanno sicuramente avuto l'effetto di innalzare l'alveo a causa del trasporto solido (limo argilloso e sabbioso), e in alcuni punti, tuttavia, la quantità di materiale era eccessiva a tal punto da impedire il regolare deflusso delle acque, che, in occasione delle piene, nella parte alta dell'intervento scavavano di volta in volta una nuova savanella e tendevano ad erodere le sponde. La velocità della corrente era certamente inferiore a quella originaria, e questo acuiva il problema del deposito e allo stesso tempo favoriva l'infiltrazione di acqua nel terreno.

La causa delle esondazioni risiede anche nella presenza di una gran quantità di rifiuti, soprattutto plastici, che in questo stesso punto si ritrovava e che sono di sicuro ostacolo allo scorrimento delle acque. La lontananza delle strade non può che indurre a ritenere gli stessi abitanti del luogo responsabili della situazione.

In base a come si presentava la situazione sono stati individuati gli obiettivi da raggiungere e i relativi interventi da attuare.

OBIETTIVI

Obiettivi Generali	TECNICO-FUNZIONALI	INTERVENTI X RAGGIUNGERE GLI OBIETTIVI
Obiettivi Specifici	<ul style="list-style-type: none"> - Moderazione delle Q idrauliche di piena -Riduzione pendenza (del 2%) del fondo e riduzione azione erosiva acqua -Meandricazione dell'alveo -Consolidamento piede scarpata golena -Consolidamento piede scarpata nel tratto basso 	<ul style="list-style-type: none"> -area di espansione con scavo di una golena -soglie in massi -scavo e riporto; palificata viva doppia h=1m -fascinate, talee, massi con talee -palificata viva doppia h=2m, scogliera rinverdita
Obiettivi Generali	NATURALISTICI-ESTETICO-PAESAGGISTICI	INTERVENTI X RAGGIUNGERE GLI OBIETTIVI
Obiettivi Specifici	<ul style="list-style-type: none"> - Rinaturazione alveo - Caratterizzare il percorso dell'alveo - Mascheramento sponda destra in cls 	<ul style="list-style-type: none"> - Opere di IN - Filari igrofilari lineari -Massi e talee

Nella parte successiva della scheda vengono riportati alcune informazioni sulla geometria e sull'efficacia delle opere di I.N. e sui materiali (legname e talee) utilizzati per la loro realizzazione.

OPERE DI INGEGNERIA NATURALISTICA

Tipologie d'intervento	Lunghezza [m]	Altezza [m]	EFFICACIA			
			OTTIMA	BUONA	MEDIA	SCARSA
1) Palificata viva doppia h=1m	62x2=124	1	Post 2000	Post 2004		
2) Palificata viva doppia h=2m	50	2	Post 2000	Post 2004		
3) Scogliera rinverdità al piede dell'opera 2	50	1.4	Post 2000 Post 2004			
4) Scogliera rinverdità	58	2	Post 2000 Post 2004			

MATERIALI IMPIEGATI

LEGNAME				
Specie	Diametro[cm]	Lunghezza[m]	Scortecciatura	Stato: Post 2004
Pinus nigra laricio	18-26 (palificata h=1m)		NO	Presenza fenomeni di decomposizione
Pinus nigra laricio	25-31 (palificata h=2m)		NO	Presenza fenomeni di decomposizione

Dal sopralluogo del 2004 si è osservato come il legname della palificata viva doppia, sia quella alta 1m, sia quella di 2m, si stia decomponendo, non svolgendo più al meglio la funzione portante e stabilizzante. Questo fenomeno è previsto nella vita di un'opera di I.N., ma si ritiene che questa decomposizione sia precoce e dipenda da una mancata scortecciatura del legname nella fase antecedente i lavori.

Si è osservato, anche, come le talee si siano sviluppate raggiungendo dei diametri e delle altezze considerevoli (vedi tabella seguente). Da un lato questa crescita garantisce stabilità e protezione delle sponde grazie allo sviluppo dell'apparato ipogeo e epigeo; dall'altro è necessario prevedere degli interventi di manutenzione poiché le talee di salice aumentando di dimensioni perdono in elasticità, possono così spezzarsi più facilmente andando ad ostruire la sezione dell'alveo e ostacolando il deflusso delle portate.

TALEE				
Tipologia d'opera	Palificata h=1m [Post 2001]	Palificata h=1m [Post 2004]	Palificata h=2m [Post 2001]	Palificata h=2m [Post 2004]
Specie	Salix alba Salix purpurea Salix eleagnos	Salix alba Salix purpurea Salix eleagnos	Salix alba Salix purpurea Salix eleagnos	Salix alba Salix purpurea Salix eleagnos
N° talee per m o al mq (specificare)	5-7 al m per camera	5-7 al m per camera	5-8 al m per camera	5-8 al m per camera
Diametro medio talee inserite [cm]	3-7		4-8	
Lunghezza media delle talee inserite [m]	2		2.5	
N° getti per talea	4-8	2	3-7	2
Diametro medio dei getti [cm]	1-5	8-10	1-4	8-10
Lunghezza media dei getti [m]	1.8-6	8-10	1.2-5	6-8
% di attecchimento	90	40-50	90	30
Stato di salute (patologie o stress)	buono	buono	buono	buono
Manutenzione	Non effettuata	Non effettuata	Non effettuata	Non effettuata

TALEE				
Tipologia d'opera	Scogliera rinverdita al piede della palificata h=2m [Post 2001]	Scogliera rinverdita al piede della palificata h=2m [Post 2004]	Scogliera rinverdita [Post 2001]	Scogliera rinverdita [Post 2004]
Specie	Salix alba Salix purpurea Salix eleagnos	Salix alba Salix purpurea Salix eleagnos	Salix alba Salix purpurea Salix eleagnos	Salix alba Salix purpurea Salix eleagnos
N° talee al mq inserite	4 al mq		3-5 al mq	
Diametro medio talee inserite	1-4		5.9	
Lunghezza media delle talee inserite [m]	0.4-0.6		1-1.3	
N° getti per talea	3-10	2-3	5-15	2-3
Diametro medio dei getti [cm]	1-3	4-6	0.5-2	2-4
Lunghezza media dei getti [m]	1-2.5	5-7	0.6-3	3-5
% di attecchimento	80	40	80	50

Stato di salute (patologie o stress)	buono	buono	buono	buono
Manutenzione	Non effettuata	Non effettuata	Non effettuata	Non effettuata

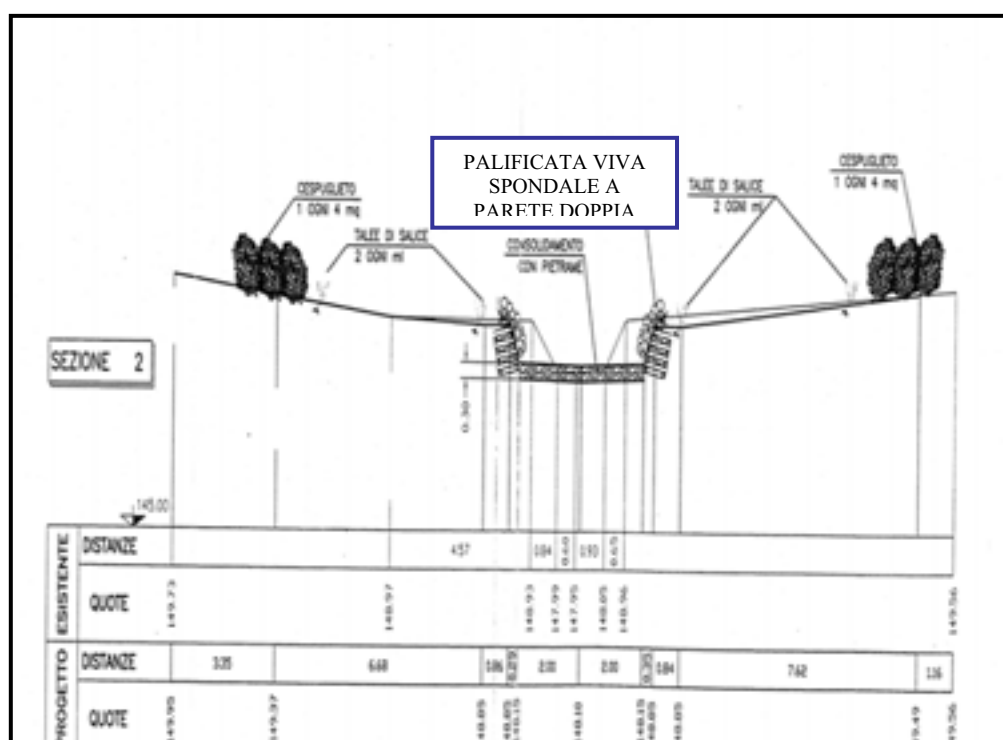
Le sezioni per le quali si è effettuato il monitoraggio e quindi compilata la scheda sono la n°1 e 2 relative all'intervento N° 3. nel tratto d'alveo di progressiva 3+629 – 3+ 760. nella figura 1 è riportata la planimetria di progetto. Le opere monitorate in questo tratto sono: Palificata viva doppia, h = 1m.

SEZIONI

N° 1-2	Tipologia d'opera:	
	sponda sx	sponda dx
	Palificata viva doppia h=1m	Palificata viva doppia h=1m
Commenti sulle scelte progettuali eseguite	La scelta progettuale di costruire la palificata per stabilizzare le sponde del corso d'acqua e come protezione dai fenomeni di erosione è pertinente, e ancora oggi (2004) svolge la sua funzione stabilizzante e antiersiva, ma complessivamente la palificata presenta fenomeni di deterioramento del legname.	
Valutazione qualità ambientale	<input type="checkbox"/> Pessima <input type="checkbox"/> Bassa <input checked="" type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Buona <input type="checkbox"/> Elevata	<input type="checkbox"/> Pessima <input type="checkbox"/> Bassa <input checked="" type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Buona <input type="checkbox"/> Elevata
hmedio	Vedi capitolo 3	
Problematiche dell'opera	<input type="checkbox"/> Scivolamento opera <input type="checkbox"/> Ribaltamento opera <input type="checkbox"/> Fratture del terreno a monte/valle opera <input type="checkbox"/> Erosione <input type="checkbox"/> Sottoescavazione <input type="checkbox"/> Svuotamento camere <input type="checkbox"/> Deformazione struttura <input type="checkbox"/> Sollevamento stuoie <input type="checkbox"/> Fissaggi ed ancoraggi <input checked="" type="checkbox"/> Altro: Nessuna	<input type="checkbox"/> Scivolamento opera <input type="checkbox"/> Ribaltamento opera <input type="checkbox"/> Fratture del terreno a monte/valle opera <input type="checkbox"/> Erosione <input type="checkbox"/> Sottoescavazione <input type="checkbox"/> Svuotamento camere <input type="checkbox"/> Deformazione struttura <input type="checkbox"/> Sollevamento stuoie <input type="checkbox"/> Fissaggi ed ancoraggi <input checked="" type="checkbox"/> Altro: Nessuna

**Figura 1**

Osservando la planimetria di progetto la palificata si colloca nella sezione 2 ed è riportata nella figura seguente [fig.2].

**Figura 2**

Come si evince dalla scheda la palificata non presenta alcun fenomeno di instabilità e l'obiettivo di protezione del piede della sponda dai fenomeni di erosione e di instabilità è stato raggiunto. Le talee attecchite hanno sviluppato il loro apparato radicale garantendo il

consolidamento del terreno, mentre la parte aerea contribuisce a contenere l'erosione superficiale, dovuta alle piogge.

Nella figura 3 si osserva come era la situazione a 1 anno dalla fine dei lavori.



Figura 3_Rio Inferno, 2001 [di G.Sauli]

Durante il sopralluogo del 2004 le talee si sono sviluppate raggiungendo dimensione considerevoli, come mostrato in figura e come si legge dalla scheda precedente.



Figura 4_Palificata h=1m, 2004 [di Valeria Cristil]

Il legname.

Figura 5_Palificata, 2004 [di Valeria Cristi]

I tronchi utilizzati per la sua realizzazione sono di diametro di 18-26 cm; sono di Pino e non sono scortecciati. Oggi, a distanza di quattro anni si osserva come comincino a degradarsi (probabilmente per la mancata scortecciatura) non svolgendo più l'azione di struttura portante, che comunque, nel tempo sarà effettuata dalle piante vive.

Nelle figure successive si mostra lo sviluppo delle talee nel corso degli anni.

Nella prima figura (fig.6) le talee sono appena state messa a dimora. Nella figura 7 si osserva come queste si siano sviluppate dopo un anno. Nella figura 8, invece, è ripreso lo stesso luogo solo dopo quattro anni dalla loro messa a dimora.



Figura 6_Area golenale, 2000 [Paolo Cornellini]



Figura 7_Area golenale, 2001 [di Paolo Cornellini]



Figura 8_Area golenale, 2004 [di Alessandro Trigila]

Valutazione sulla Naturalità.

Uno degli obiettivi del progetto su Rio Inferno era quello di rinaturare i tratti dell'intervento del corso d'acqua, realizzando popolamenti igrofilici per aumentarne la qualità ambientale.

In proposito è stata compilata la scheda di qualità ambientale⁷, che viene mostrata di seguito proprio per le due sezioni monitorate precedentemente.

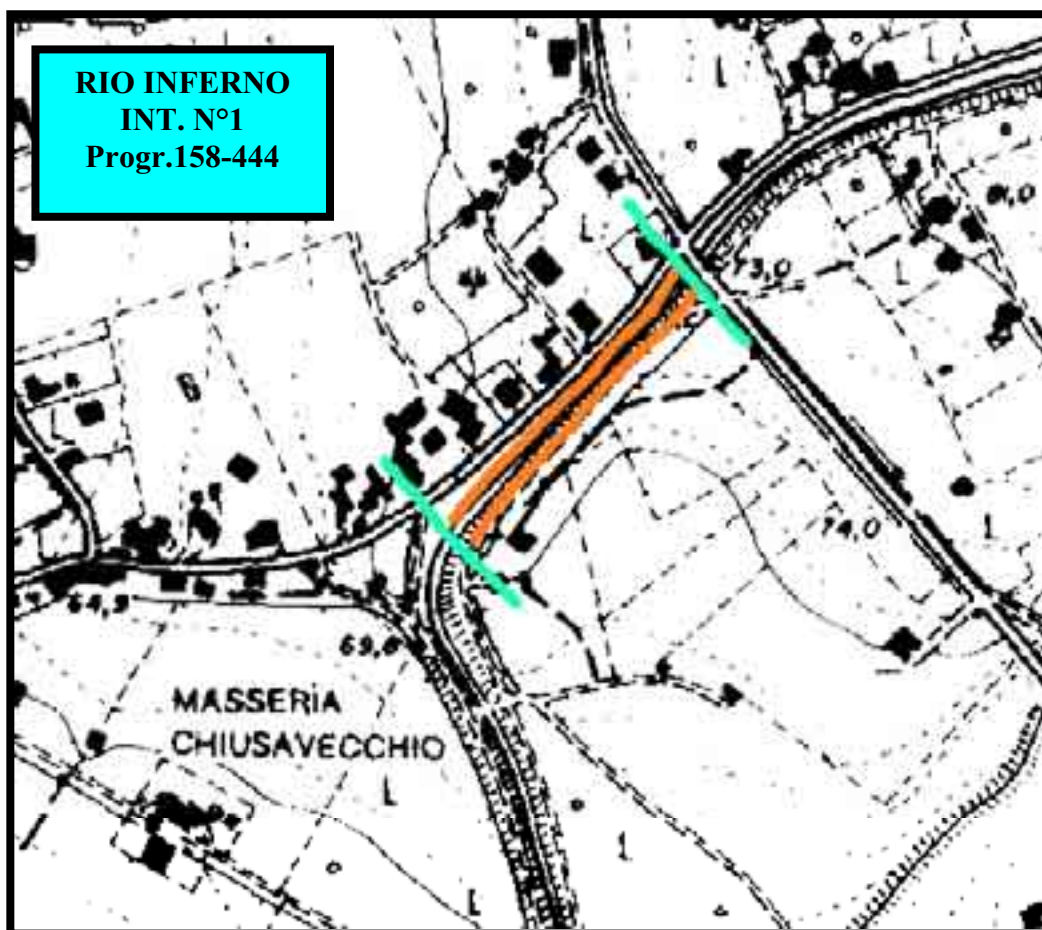
<i>SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' AMBIENTALE</i> <i>[Dal Manuale 1 di Ingegneria Naturalistica della Regione Lazio]</i>				
data	21/09/2004	scheda n°		1
corso	Rio Inferno	1		2
d'acqua		1-16		20-29
comune	Cassino	0,1,2,3		9,10,11
località				
		INT.N°3 dalla		INT.N°1 dalla
		prog.3 km+629 alla		prog.2 km+158 alla
		prog.3 km+760 130m		prog.2 km+444
SPONDA		SX	DX	SX
1) Territorio terrestre circostante				
boschi autoctoni, vegetazione potenziale		16	16	16
cespuglieti, boscaglie autoctone		8	8	8
incolti, prati pascoli, formazioni legnose sinantropiche		4	4	4
colture agrarie		2	2	2
aree urbanizzate		1	1	1
2) Vegetazione fasce ripariali				
2.1 formazioni arboree ripariali autoctone (saliceti, ontaneti, pioppeti)		16	16	16
2.2 formazioni arbustive ripariali autoctone (saliceti, cespuglieti igrofilici), popolamenti elofitici, cariceti, formazioni erbacee igrofile, formazioni arboree sinantropiche con significative presenze di esemplari di 2.1		8	8	8
incolti, prati pascoli, formazioni sinantropiche (robineti, roveti, canneti ad Arundo Donax)		4	4	4
colture agrarie		2	2	2
assenza di vegetazione per cause naturali o antropiche		1	1	1
3) Ampiezza fascia ripariale				
fascia ripariale autoctona (2.1,2.2) maggiore di 30m		16	16	16
fascia ripariale autoctona (2.1,2.2) 5-30m		8	8	8
fascia ripariale autoctona (2.1,2.2) 1-5m		4	4	4
assenza fascia ripariale autoctona (2.1,2.2)		1	1	1
4) Continuità fascia ripariale				
fascia ripariale autoctona (2.1,2.2) senza interruzioni		16	16	16
fascia ripariale autoctona (2.1,2.2) con interruz. saltuarie		8	8	8
fascia ripariale autoctona (2.1,2.2) con interruz. frequenti		4	4	4
assenza fascia ripariale autoctona (2.1,2.2)		1	1	1

⁷ di Paolo Cornellini

	ALVEO		ALVEO	
5) Vegetazione nell'alveo bagnato				
assenza di vegetazione per elevate velocità dell'acqua o presenza di macrofite acquatiche non indicatrici di carico organico, acque non inquinate	8		8	
presenza di macrofite acquatiche indicatrici di carico organico, acque mediamente inquinate	4		4	
elevata copertura di macrofite eutrofiche, acque altamente inquinate	1		1	
6) Regime idraulico				
alveo di morbida con portata continua durante tutto l'anno	16		16	
alveo di morbida con portata discontinua	8		8	
alveo in secca per la maggior parte dell'anno	1		1	
7) Naturalità della struttura morfologica della sez. trasversale				
sezione completamente naturale	16		16	
sezione con limitati elementi artificiali ormai inseriti nell'ambiente, briglie distanziate, argini in terra lontani dall'alveo	8 palificata viva		8	
sezione con evidenti elementi artificiali, briglie ravvicinate, argini in terra prossimi all'alveo	4		4 scogliera rinverdita al piede della palificata	
sezione completamente artificiale (cementificata, a sezione geometrica, etc.)	1		1	
8) Diversificazione morfologica del tracciato longitudinale				
meandri o raschi, pozze ben distinte e ricorrenti	16		16	
meandri o raschi, pozze presenti, ma discontinui	8		8	
corso canalizzato ma non rettificato	4		4	
corso d'acqua rettificato	1		1	
TOT	58	54	34	34
CLASSE QUALITA'	III MEDIA	III MEDIA	IV BASSA	IV BASSA
COLORE	giallo	giallo	arancio	arancio

Tesi in Ing.per l'ambiente e il territorio (Università Roma La Sapienza) di Valeria Cristi

Nella carta 1:10.000 è riportata la qualità del corso d'acqua, che si è ottenuta compilando la scheda, colorando le sponde del tratto monitorato con il colore risultante.



Dalla lettura di tale scheda si evince che per il tratto più a valle, nel quale è stato eseguito l'intervento N° 1 la naturalità del rio sia comunque bassa, benché sia stato coperto il muro di cls e malgrado siano state costruite la scogliera rinverdita.

È proprio la scogliera rinverdita che conferisce a quel tratto del corso d'acqua una maggiore naturalità che comunque rimane bassa a causa della presenza del muro (sebbene nascosto) e a causa del fatto che Rio Inferno scorre in un territorio periurbano e dunque, come si vede dalla scheda, il primo valore da assegnare al punto 1 in cui si descrive il territorio circostante è quello più basso.

Anche al punto 7 si assegna un valore basso (4) perché gli elementi artificiali, precedentemente realizzati continuano ad esistere e in alcuni tratti sono ben visibili.

Il colore da assegnare dunque a questo tratto che va dalla progressiva 2.km158 alla prog.2 km 444 è l'arancio, indice di bassa qualità.



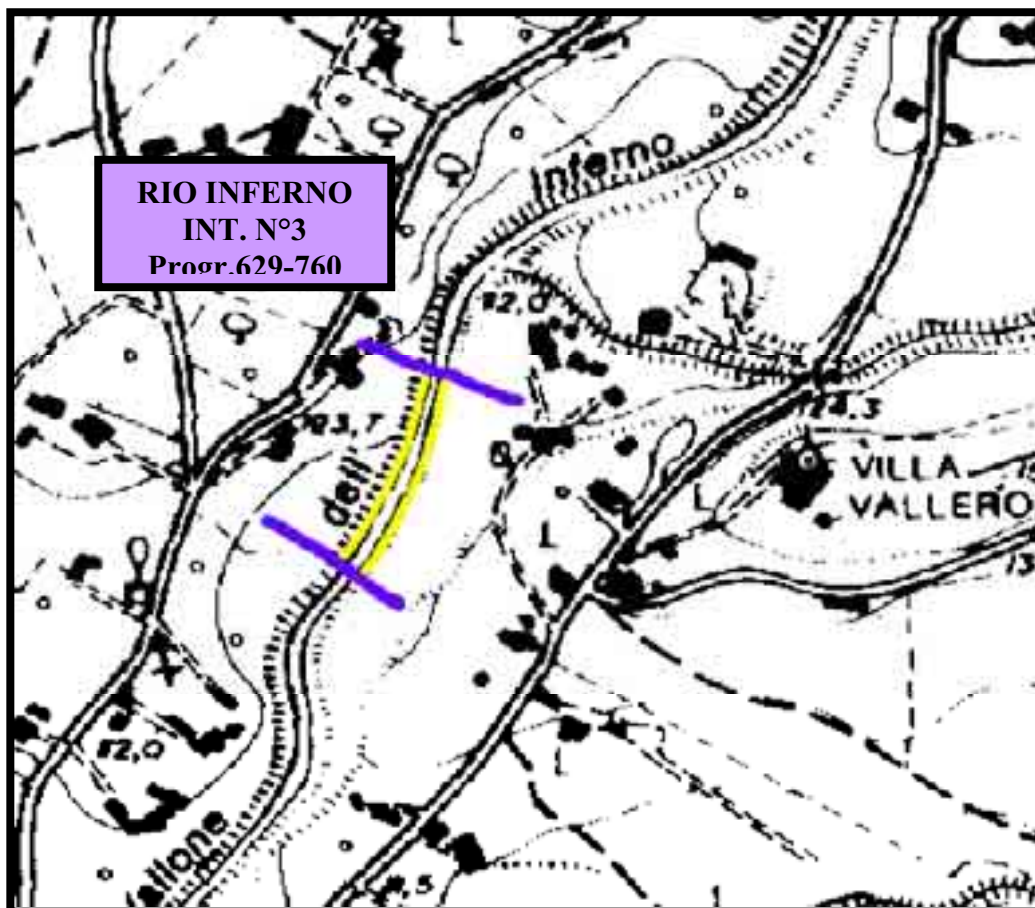
Nella figura 9 è visibile il muro in cls al piede del quale è posta la scogliera rinverdita che non è visibile.

Figura 9_Muro in calcestruzzo, vista da monte a valle [di Valeria Cristì]

Nella figura 10 si vedono le talee che si sviluppano dalla scogliera rinverdita raggiungendo un'altezza media di circa 2-5m.



Figura 10_Muro in calcestruzzo, vista da valle a monte [di Paolo Cornellini]



Il tratto, invece, in cui è stato eseguito l'intervento N°3 ha una naturalità maggiore. A questo viene assegnato il colore giallo, indice di media qualità. La differenza sta nel tipo di territorio circostante e nello sviluppo delle piante vive. Qui Rio Inferno scorre in un ambiente caratterizzato da colture agrarie, e la vegetazione delle fasce ripariali, da interventi di ingegneria naturalistica, è caratterizzata da saliceti, da formazioni arboree ripariali autoctone, e presenta una continuità senza alcuna interruzione.

Inoltre è la presenza della palificata che conferisce un punteggio più alto.

2.3.2_Rio Sietta**CARATTERISTICHE DEL DISSESTO**

Dalla scheda ANTE OPERAM

Fenomeni di erosione in atto e sensibili: abbondante riporto di materiale fine. Sponde in frana sia in sx che in dx idraulica, specie nelle zone in curva per fenomeni di erosione al piede.

Questi dissesti hanno comportato fenomeni di instabilità delle sponde tanto da creare una situazione di pericolo per le strade parallele al corso d'acqua. Gli obiettivi individuati, quindi, sono volti alla stabilizzazione delle sponde per mettere in condizioni di sicurezza i manufatti adiacenti al rio.

OBIETTIVI

Obiettivi Generali	TECNICO-FUNZIONALI	INTERVENTI X RAGGIUNGERE GLI OBIETTIVI
Obiettivi Specifici	-Proteggere le sponde dall'erosione e da fenomeni di frana -Sistemare il piede delle sponde	-gabbioni rinverditi; scogliera di pietrame rinverdita. -palificata viva doppia.

OPERE DI INGEGNERIA NATURALISTICA

Tipologie d'intervento	Ubicazione e lungo il corso d'acqua	v corrente [m/s] da scheda Ante Operam	EFFICACIA			
			OTTIMA	BUONA	MEDIA	SCARSA
1) Palificata viva doppia	Tratti rettilinei	2.75-6		Post 2004	Post 2000	
2) gabbionata	Tratti in curva	6-7.85		Post 2004	Post 2000	

MATERIALI IMPIEGATI

LEGNAME				
Specie	Diametro [cm]	Lunghezza [m]	Scortecciatura	Stato: Post 2004
Pali di castagno	20		NO	Fenomeni di decomposizione

Si osserva come l'efficacia degli interventi sia attualmente buona rispetto a quanto era emerso precedentemente. Durante i sopralluoghi effettuati in corso d'opera e appena terminati i lavori, infatti, erano emerse una serie di inesattezze progettuali e alcuni difetti di realizzazione tali da formulare un giudizio negativo sulla qualità degli interventi; a distanza di quattro anni, tuttavia si è potuto riscontrare uno stato delle opere piuttosto buono, sebbene i pali utilizzati nelle palificate presentano fenomeni di decomposizione precoce.

SEZIONI

N° 14	Tipologia d'opera:	
	sponda sx	sponda dx
	Palificata doppia	Gabbioni rinverditi
Commenti sulle scelte progettuali eseguite	La scelta di queste opere è risultata adeguata alla necessità morfologica del tracciato. La sponda destra presentava fenomeni di erosione maggiori ed è costeggiata da una strada comunale; i gabbioni permettono una protezione più efficace delle palificate.	
Valutazione qualità ambientale	<input type="checkbox"/> Pessima <input checked="" type="checkbox"/> Bassa <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Buona <input type="checkbox"/> Elevata	<input checked="" type="checkbox"/> Pessima <input type="checkbox"/> Bassa <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Buona <input type="checkbox"/> Elevata
hmedio	Vedi capitolo 3	
Problematiche dell'opera⁸	<input type="checkbox"/> Scivolamento opera <input type="checkbox"/> Ribaltamento opera <input type="checkbox"/> Fratture del terreno a monte/valle opera <input type="checkbox"/> Erosione <input type="checkbox"/> Sottoescavazione <input type="checkbox"/> Svuotamento camere <input type="checkbox"/> Deformazione struttura <input type="checkbox"/> Sollevamento stuoie <input type="checkbox"/> Fissaggi ed ancoraggi <input checked="" type="checkbox"/> Altro:.....Nessuna	<input type="checkbox"/> Scivolamento opera <input type="checkbox"/> Ribaltamento opera <input type="checkbox"/> Fratture del terreno a monte/valle opera <input type="checkbox"/> Erosione <input type="checkbox"/> Sottoescavazione <input type="checkbox"/> Svuotamento camere <input type="checkbox"/> Deformazione struttura <input type="checkbox"/> Sollevamento stuoie <input type="checkbox"/> Fissaggi ed ancoraggi <input checked="" type="checkbox"/> Altro:.....Nessuna

Durante il sopralluogo è stato difficile poter scorgere le opere eseguite per l'elevata vegetazione che si è sviluppata spontaneamente in alveo. Questa parte della scheda è riferita alla sezione 14; sulla sponda sinistra idraulica è stata realizzata una palificata doppia non rinverdita e come è visibile dalla figura 12 si è sviluppata una vegetazione spontanea a prevalenza di canneti (*Arundo donax*). Sulla sponda destra idraulica sono stati messi in opera i gabbioni rinverditi che hanno il compito di proteggere dai fenomeni di instabilità le sponde adiacenti alla strada. Per quanto si è potuto osservare, le opere non presentano alcuna problematica di instabilità.

Nelle figure seguenti 11, 12, 13, si osserva l'evolversi della vegetazione. La figura 11 mostra la situazione come si presentava nel 2000 quando i lavori erano appena terminati. Nella figura 12 si osserva la situazione a un anno dal termine dei lavori (2001), mentre a distanza di 4 anni la vegetazione si è sviluppata rigogliosa, invadendo completamente l'alveo (fig.13), con conseguente aumento della scabrezza idraulica.

⁸ "Scheda Monitoraggio interventi Ingegneria Naturalistica" dell'APAT [Alessandro Trigila]



Figura 11_Sez.14, 2000 [dal Manuale della Regione Lazio]



Figura 12_Sez. 14, 2001 [dal Manuale della Regione Lazio]



Figura 13_Sez. 14, 2004 [di Valeria Cristì]

Valutazione sulla naturalità.

La qualità ambientale di Rio Saetta è, relativamente alle sezioni in cui è stata compilata la scheda⁹, mediamente bassa e a volte anche pessima. Le sezioni considerate sono la n° 5 e la 14. di seguito si riporta la scheda compilata per queste sezioni.

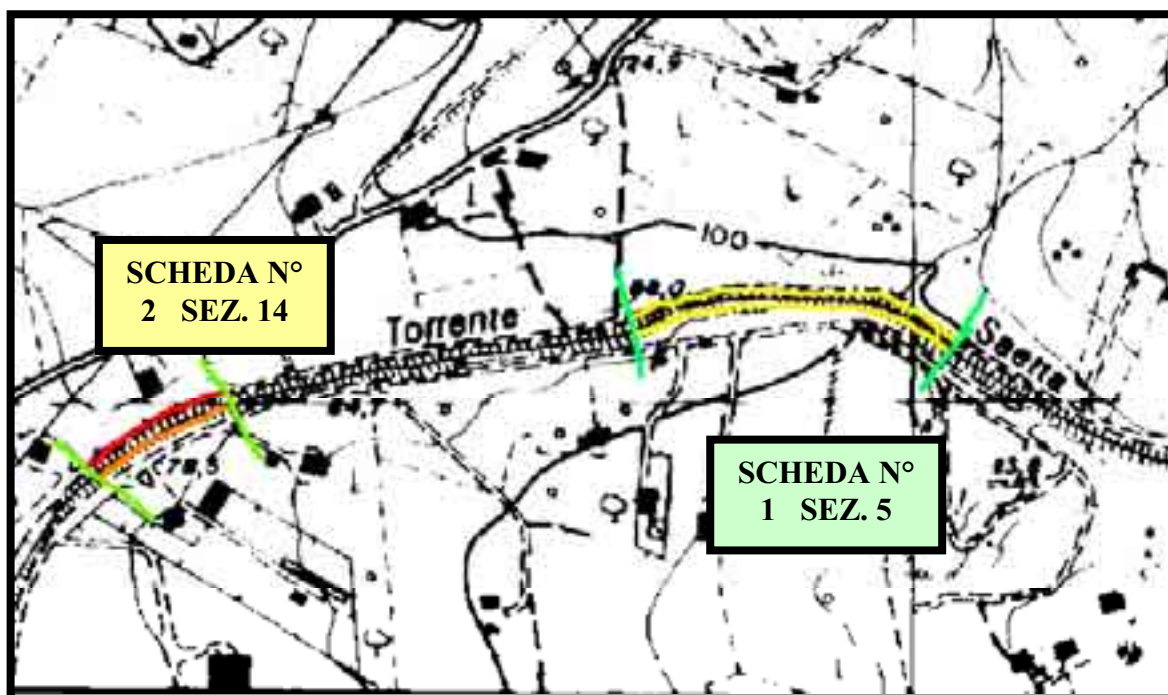
SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' AMBIENTALE				
[Dal Manuale 1 di Ingegneria Naturalistica della Regione Lazio]				
data	21/09/2004	scheda n°		scheda n°
corso	Rio Saetta	1		2
d'acqua				
comune	Cassino	foto n°	66, 67, 68	69-73,82
località		sezioni		
		altitudine		
		lunghezza tratto esaminato	dopo la sez 5	sez 13-14-16
SPONDA		SX	DX	SX
1) Territorio terrestre circostante				
boschi autoctoni, vegetazione potenziale		16	16	16
cespuglieti, boscaglie autoctone		8	8	8
incolti, prati pascoli, formazioni legnose sinantropiche		4	4	4
colture agrarie		2	2	2
aree urbanizzate		1	1	1
2) Vegetazione fasce ripariali				
2.1 formazioni arboree ripariali autoctone (saliceti, ontaneti, pioppeti)		16	16	16
2.2formazioni arbustive ripariali autoctone(saliceti, cespuglieti igrofili),popolamenti elofitici, cariceti, formazioni erbacee igrofile, formazioni arboree sinantropiche con significative presenze di esemplari di2.1		8	8	8 saliceti cespuglieti
incolti, prati pascoli, formazioni sinantropiche (robineti, roveti, canneti ad Arundo Donax)		4	4	4 canneto
colture agrarie		2	2	2
assenza di vegetazione per cause naturali o antropiche		1	1	1
3) Ampiezza fascia ripariale				
fascia ripariale autoctona (2.1,2.2) maggiore di 30m		16	16	16
fascia ripariale autoctona (2.1,2.2) 5-30m		8	8	8
fascia ripariale autoctona (2.1,2.2) 1-5m		4	4	4
assenza fascia ripariale autoctona (2.1,2.2)		1	1	1
4) Continuità fascia ripariale				
fascia ripariale autoctona (2.1,2.2) senza interruzioni		16	16	16
fascia ripariale autoctona (2.1,2.2) con interruz.saltuarie		8	8	8
fascia ripariale autoctona (2.1,2.2) con interruz.frequenti		4	4	4
assenza fascia ripariale autoctona (2.1,2.2)		1	1	1

⁹ di Paolo Cornellini

	ALVEO		ALVEO	
5) Vegetazione nell'alveo bagnato				
assenza di vegetazione per elevate velocità dell'acqua o presenza di macrofite acquatiche non indicatrici di carico	8		8	
presenza di macrofite acquatiche indicatrici di carico organico, acque mediamente inquinate	4		4	
elevata copertura di macrofite eutrofiche, acque altamente inquinate	1		1	
6) Regime idraulico				
alveo di morbida con portata continua durante tutto l'anno	16		16	
alveo di morbida con portata discontinua	8		8	
alveo in secca per la maggior parte dell'anno	1		1	
7) Naturalità della struttura morfologica della sez. trasversale				
sezione completamente naturale	16		16	
sezione con limitati elementi artificiali ormai inseriti nell'ambiente, briglie distanziate, argini in terra lontani dall'alveo	8 scogliera rinverdita in sx palificata viva a dx		8	
sezione con evidenti elementi artificiali, briglie ravvicinate, argini in terra prossimi all'alveo	4		4 gabbioni	
sezione completamente artificiale (cementificata, a sezione geometrica, etc.)	1		1	
8) Diversificazione morfologica del tracciato longitudinale				
meandri o raschi, pozze ben distinte e ricorrenti	16		16	
meandri o raschi, pozze presenti, ma discontinui	8		8	
corso canalizzato ma non rettificato	4		4	
corso d'acqua rettificato	1		1	
TOT	64	52	28	20
CLASSE QUALITA'	III MEDIA	III MEDIA	IV BASSA	V PESSIMA
COLORE	giallo	giallo	arancio	rosso

Tesi in Ing.per l'ambiente e il territorio (Università Roma La Sapienza) di Valeria Cristi

Il risultato di tale valutazione è rappresentato sulle carte 1:10.0000 dove con i colori corrispondenti alla qualità trovata si sono evidenziate le sponde del rio.



SEZIONE 5.

La qualità di questa sezione è media e dunque colore giallo, per entrambe le sponde. Queste si differenziano sia per il tipo di vegetazione, che sulla sponda sx è caratterizzata da formazioni arboree, ripariali, autoctone, che si estendono con continuità per un'ampiezza contenuta entro i 5m, e su quella dx invece si sono sviluppate più formazioni arbustive ripariali con saltuarie interruzioni, sia per le opere che vi sono poste. Su entrambe è presente la scogliera, ma sulla sponda sinistra sono state piantate le talee, sulla destra no.

SEZIONE 14.

In questa sezione la qualità scende differenziandosi su le due sponde.

La sponda destra ha una qualità ambientale pessima (colore rosso) dovuta principalmente all' assenza di una fascia ripariale autoctona, ma dalla presenza di canneti che sono indice di scarsa qualità. Sulle sponde ci sono i gabbioni, ma quelli sulla sponda sx sono rinverditi, mentre quelli sulla destra sono nudi.

Questa caratteristica si può vedere dalle figure 14 e 15:



Figura 14_sponda sx, [di Valeria Cristi]

Nella figura 14 si distinguono i saliceti (*Salix alba*) e la ginestra (*Spartium junceum*)



Figura 13_sponda dx, [di Valeria Cristi]

Nella figura 15 si distinguono i canneti ad *Arundo donax*

2.3.3_Rio Valleluce**CARATTERISTICHE DEL DISSESTO**

Dalla scheda ANTE OPERAM
Forti fenomeni d'erosione delle sponde e dell'alveo, specie durante eventi di piena. Evidenti i terrazzi di depositi alluvionali.

Rio Valleluce è il corso d'acqua che si trova nella parte più alta del bacino e presenta delle pendenze maggiori a differenza degli altri due che per la maggior parte del loro tracciato scorrono in pianura.

La pendenza maggiore comporta dunque un trasporto solido caratterizzato da materiale di dimensioni maggiori, più grossolano che quindi possiede una capacità erosiva maggiormente incisiva. Si osserva, quindi, che in queste condizioni, pendenza maggiore, trasporto solido grossolano, maggiore capacità erosiva, nel Rio Valleluce si è spesso usata la tecnica dei *gabbioni rinverditi*. Questi ultimi sono un'opera di notevole imponenza, pesanti e molto stabili, adeguati soprattutto per la protezione dei manufatti stradali.

OBIETTIVI

Obiettivi Generali	TECNICO-FUNZIONALI	INTERVENTI X RAGGIUNGERE GLI OBIETTIVI
Obiettivi Specifici	-proteggere le sponde dall'erosione e proteggere le abitazioni situate lungo di esse e la strada (in dx idraulica) che porta al centro abitato di S.Maria Maggiore.	-Gabbioni rinverditi; Scogliera con talee; materassi rinverditi.

OPERE DI INGEGNERIA NATURALISTICA

Tipologie d'intervento	Lunghezza [m]	Altezza [m]	EFFICACIA			
			OTTIMA	BUONA	MEDIA	SCARSA
Gabbioni rinverditi con talee	57	2	Post 2001 Post 2004			
	153	3				
	44	4				
Gabbioni nudi	131	3	Post 2001 2004			
Scogliera rinverdita con talee	66	1	Post 2001 Post 2004			

MATERIALI IMPIEGATI

TALEE					
Tipologia d'opera	Gabbioni rinverditi [Post 2001]	Gabbioni rinverditi [Post 2004]	Scogliera rinverdita [Post 2001]	Scogliera rinverdita [Post 2004]	Materassi rinverditi [Post 2004]

Specie	Salix alba, Salix eleagnos, Salix purpurea	Salix alba, Salix eleagnos, Salix purpurea	Salix alba, Salix eleagnos, Salix purpurea	Salix alba, Salix eleagnos, Salix purpurea	
N° talee per m o al mq (specificare)	1-3 al m per fila		4 al mq		
Diametro medio talee [cm]	1-5		2-7		
Lunghezza media delle talee inserite [m]	2-3		0.6-0.8		
N° getti per talea	3-5	2-3	5-12	2-3	
Diametro medio dei getti [cm]	0.8-3	8-14	1-3	6-8	
Lunghezza media dei getti [m]	2-5	8-12	3-5	8-10	
% di attecchimento	60	40	90	60	10-20
Stato di salute (patologie o stress)	buono	buono	buono	buono	buono
Manutenzione	Non effettuata	Non effettuata	Non effettuata	Non effettuata	Non effettuata

I gabbioni rinverditi sono le opere meglio realizzate sia in rio Valleluce, sia rispetto a quelle eseguite negli altri due corsi d'acqua monitorati; non presentano alcun problema strutturale e le talee si sono sviluppate rinverdendo omogeneamente i gabbioni.

SEZIONI

N° 4	Tipologia d'opera:	
	sponda sx	sponda dx
Foto	Muro in cls già esistente	Gabbionata rinverdita
Commenti sulle scelte progettuali eseguite	Il muro in cls non è stato più sostituito dai gabbioni rinverditi e ancora oggi è in discrete condizioni coperto da vegetazione spontanea.	È stata realizzata in modo opportuno; è costituita da 4 file di gabbioni e si trova in buono stato.
Valutazione qualità ambientale	<input type="checkbox"/> Pessima <input checked="" type="checkbox"/> Bassa <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Buona <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Elevata	<input type="checkbox"/> Pessima <input type="checkbox"/> Bassa <input checked="" type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Buona <input type="checkbox"/> Elevata
hmedio	Vedi capitolo 3	
Problematiche dell'opera¹⁰	<input type="checkbox"/> Scivolamento opera <input type="checkbox"/> Ribaltamento opera <input type="checkbox"/> Fratture del terreno a monte/valle	<input type="checkbox"/> Scivolamento opera <input type="checkbox"/> Ribaltamento opera <input type="checkbox"/> Fratture del terreno a monte/valle

¹⁰ “Scheda Monitoraggio interventi Ingegneria Naturalistica” dell’APAT [Alessandro Trigila]

	opera <input type="checkbox"/> Erosione <input type="checkbox"/> Sottoescavazione <input type="checkbox"/> Svuotamento camere <input type="checkbox"/> Deformazione struttura <input type="checkbox"/> Sollevamento stuoie <input type="checkbox"/> Fissaggi ed ancoraggi <input checked="" type="checkbox"/> Altro.....Nessuna	opera <input type="checkbox"/> Erosione <input type="checkbox"/> Sottoescavazione <input type="checkbox"/> Svuotamento camere <input type="checkbox"/> Deformazione struttura <input type="checkbox"/> Sollevamento stuoie <input type="checkbox"/> Fissaggi ed ancoraggi <input checked="" type="checkbox"/> Altro.....Nessuna
--	---	---

Nella figura seguente si riportano alcune foto della sez. 4

Cantiere: Rio Valleluce
Località: Sant'Elia Flumerapido
Rif. progetto: 4400/98
Sezione: 4
Tipologia di I.N.: gabbionate rinverdite, palizzata rinverdita

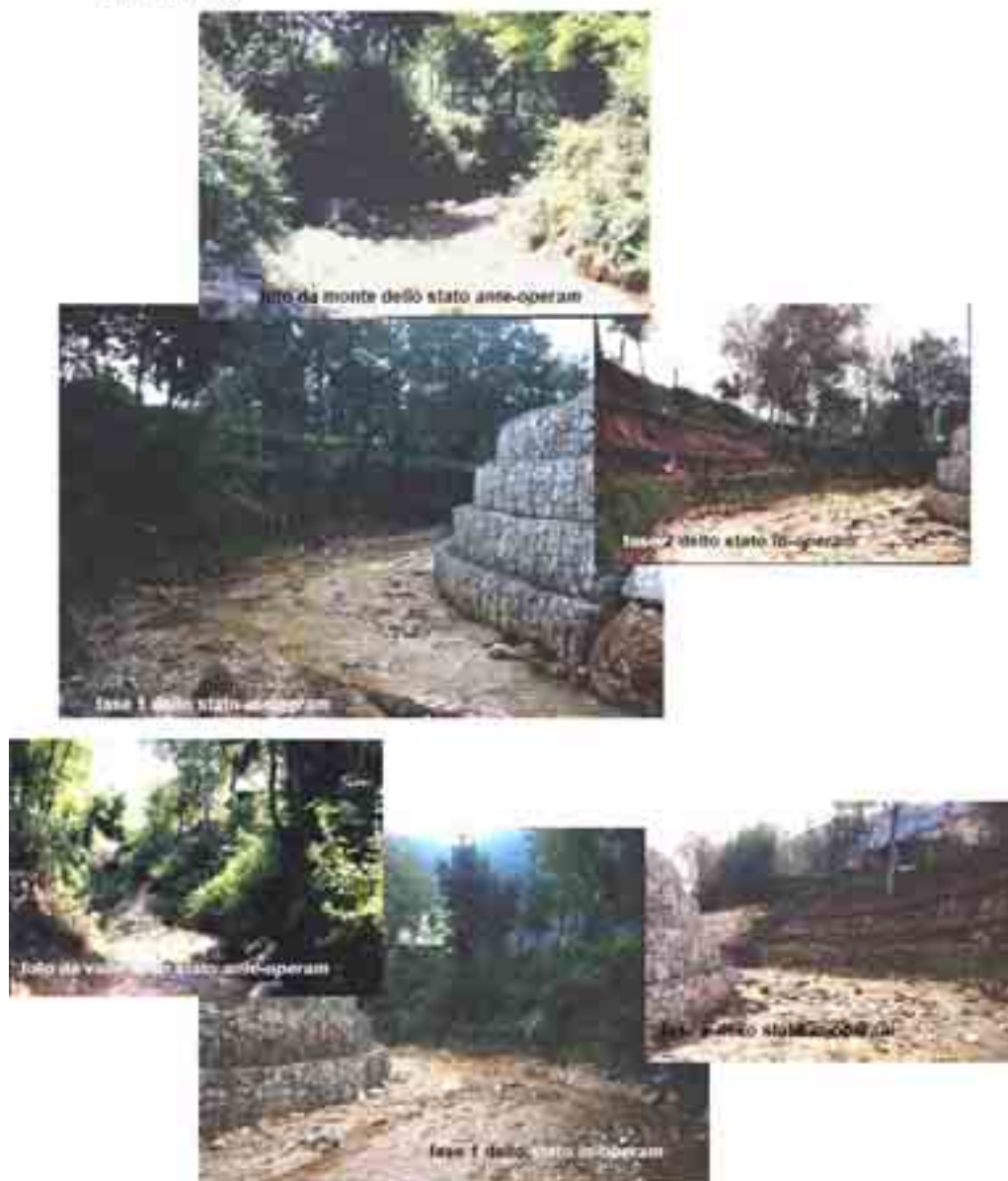


Figura 14_dalla scheda in opera

La scelta progettuale di mettere in opera i gabbioni in questa sezione è risultata pertinente dato che è un tratto in curva in cui la forza erosiva dell'acqua è molto forte; questa sezione è adiacente alla strada e alle abitazioni, dunque non c'è spazio per la messa in opera dei materassi rinverditi come da progetto (prima della variante in corso d'opera) e come è stato eseguito, invece, nella sezione 15.



Figura 15_Sez. 4, 2004. [Alessandro Trigila]

Nella figura 17 è visibile la sezione 4 come si è mostrata durante il sopralluogo del 2004; la vegetazione spontanea ha invaso quasi la metà della sezione

SEZIONI

N°	Tipologia d'opera:	
	sponda sx	sponda dx
15		
Foto	Materassi rinverditi	Materassi rinverditi
Commenti sulle scelte progettuali eseguite	È stata opportuna la scelta di sistemare in questo tratto i materassi per la disponibilità di spazio laterale. Hanno evitato l'erosione dell'alveo e delle sponde, ma la plastica nera, posta a contenimento del materiale di riempimento è ancora visibile dando un impatto non gradevole. Le talee non hanno attecchito.	
Valutazione qualità ambientale	<input type="checkbox"/> Pessima <input type="checkbox"/> Bassa <input checked="" type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Buona <input type="checkbox"/> Elevata	<input type="checkbox"/> Pessima <input type="checkbox"/> Bassa <input checked="" type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Buona <input type="checkbox"/> Elevata
hmedio	Vedi capitolo 3	
Problematiche dell'opera¹¹	<input type="checkbox"/> Scivolamento opera <input type="checkbox"/> Ribaltamento opera <input type="checkbox"/> Fratture del terreno a monte/valle opera <input type="checkbox"/> Erosione <input type="checkbox"/> Sottoescavazione <input type="checkbox"/> Svuotamento camere <input type="checkbox"/> Deformazione struttura	<input type="checkbox"/> Scivolamento opera <input type="checkbox"/> Ribaltamento opera <input type="checkbox"/> Fratture del terreno a monte/valle opera <input type="checkbox"/> Erosione <input type="checkbox"/> Sottoescavazione <input type="checkbox"/> Svuotamento camere <input type="checkbox"/> Deformazione struttura

¹¹ “Scheda Monitoraggio interventi Ingegneria Naturalistica” dell'APAT [Alessandro Trigila]

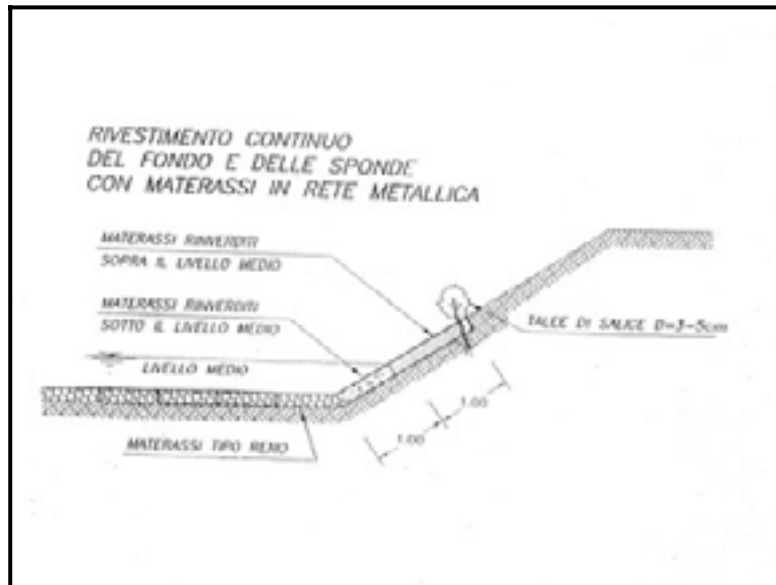
	<input type="checkbox"/> Sollevamento stuoie <input type="checkbox"/> Fissaggi ed ancoraggi <input checked="" type="checkbox"/> Altro.....Nessuna	<input type="checkbox"/> Sollevamento stuoie <input type="checkbox"/> Fissaggi ed ancoraggi <input checked="" type="checkbox"/> Altro.....Nessuna
--	---	---



Figura 16_Sez.15, 2000. [dal Manuale della Regione Lazio]



Figura 17_Sez. 15, 2004 [di Valeria Cristi]



Cantiere: Rio Valtelluce
Località: Sant'Elia Flumerapido
Rif. progetto: 4400/98
Sezione: 15
Tipologia di I.N.: materassi rinverditi



Figura 18 *[dalla scheda di monitoraggio in opera]*

Valutazione sulla naturalità.

Dalla lettura delle schede si evince che anche in questo corso d'acqua la qualità ambientale è complessivamente media.

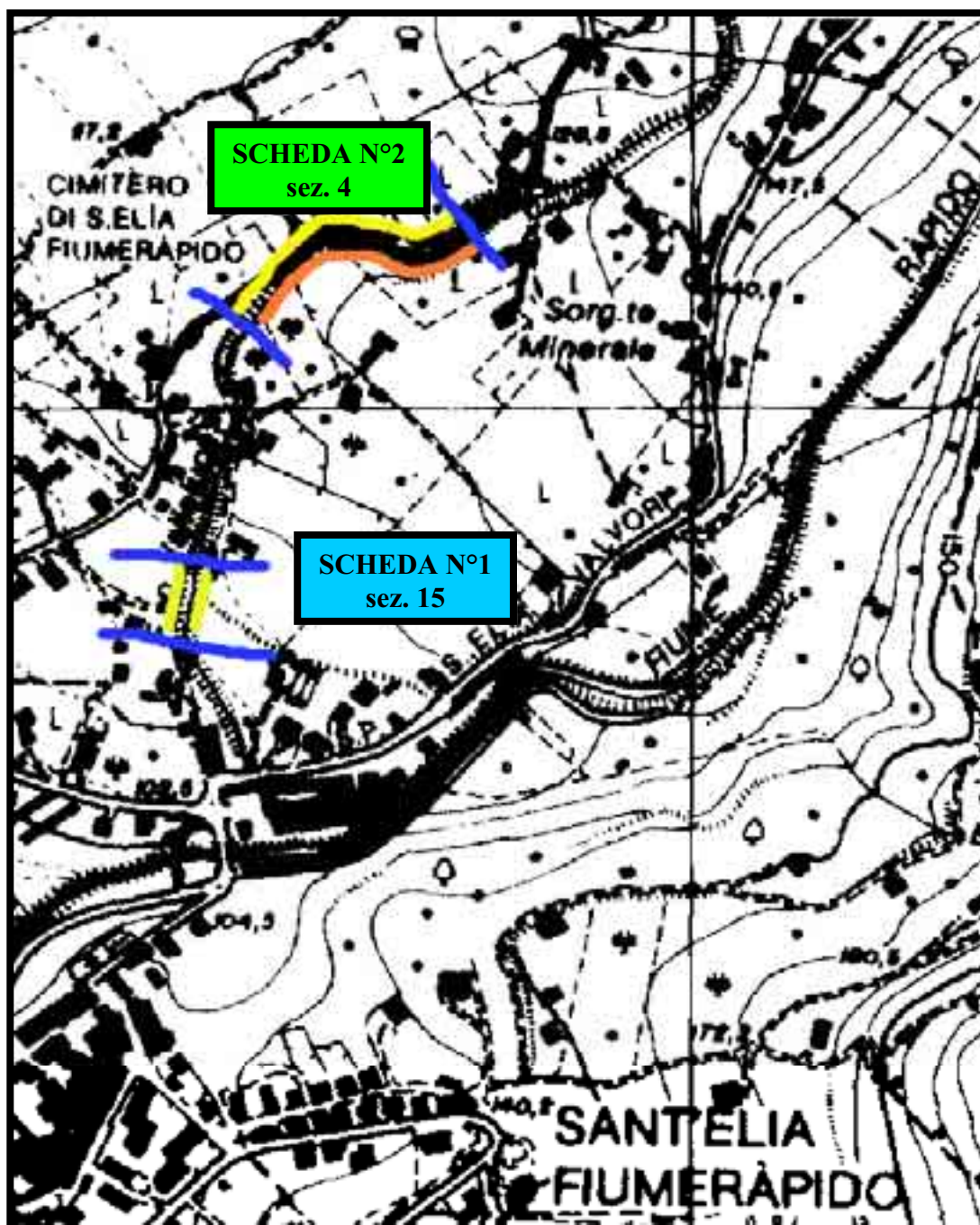
La scheda è stata compilata per due sezioni. La sezione N° 15 quella in cui sono stati realizzati i materassi e la sezione N° 4 dove è stata costruita la gabbionata.

<i>SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' AMBIENTALE</i> <i>[Dal Manuale 1 di Ingegneria Naturalistica della Regione Lazio]</i>				
data	21/09/2004	scheda n°		scheda n°
corso	Rio Valleluce	1		2
d'acqua				
comune	Sant'Elia Fiumerapido	foto n°		
località		sezioni		15
		altitudine		4
		lunghezza tratto esaminato		70 m
				100 m
SPONDA		SX	DX	SX
1) Territorio terrestre circostante				
boschi autoctoni, vegetazione potenziale		16	16	16
cespuglieti, boscaglie autoctone		8	8	8
incolti, prati pascoli, formazioni legnose sinantropiche		4	4	4
colture agrarie		2	2	2
aree urbanizzate		1	1	1
2) Vegetazione fasce ripariali				
2.1 formazioni arboree ripariali autoctone (saliceti, ontaneti, pioppeti)		16	16	16
2.2 formazioni arbustive ripariali autoctone (saliceti, cespuglieti igrofili), popolamenti elofitici, cariceti, formazioni erbacee igrofile,		8	8	8
incolti, prati pascoli, formazioni sinantropiche (robineti, roveti, canneti ad Arundo Donax)		4	4	4
colture agrarie		2	2	2
assenza di vegetazione per cause naturali o antropiche		1	1	1
3) Ampiezza fascia ripariale				
fascia ripariale autoctona (2.1,2.2) maggiore di 30m		16	16	16
fascia ripariale autoctona (2.1,2.2) 5-30m		8	8	8
fascia ripariale autoctona (2.1,2.2) 1-5m		4	4	4
assenza fascia ripariale autoctona (2.1,2.2)		1	1	1
4) Continuità fascia ripariale				
fascia ripariale autoctona (2.1,2.2) senza interruzioni		16	16	16
fascia ripariale autoctona (2.1,2.2) con interruz. saltuarie		8	8	8
fascia ripariale autoctona (2.1,2.2) con interruz. frequenti		4	4	4
assenza fascia ripariale autoctona (2.1,2.2)		1	1	1

	ALVEO		ALVEO	
5) Vegetazione nell'alveo bagnato				
assenza di vegetazione per elevate velocità dell'acqua o presenza di macrofite acquatiche non indicatrici di carico organico, acque non inquinate	8		8	
presenza di macrofite acquatiche indicatrici di carico organico, acque mediamente inquinate	4		4	
elevata copertura di macrofite eutrofiche, acque altamente inquinate	1		1	
6) Regime idraulico				
alveo di morbida con portata continua durante tutto l'anno	16		16	
alveo di morbida con portata discontinua	8		8	
alveo in secca per la maggior parte dell'anno	1		1	
7) Naturalità della struttura morfologica della sez. trasversale				
sezione completamente naturale	16		16	
sezione con limitati elementi artificiali ormai inseriti nell'ambiente, briglie distanziate, argini in terra lontani dall'alveo	8 materassi rinverditi		8	
sezione con evidenti elementi artificiali, briglie ravvicinate, argini in terra prossimi all'alveo	4		4 gabbioni rinverditi in dx	
sezione completamente artificiale (cementificata, a sezione geometrica, etc.)	1		1	
8) Diversificazione morfologica del tracciato longitudinale				
meandri o raschi, pozze ben distinte e ricorrenti	16		16	
meandri o raschi, pozze presenti, ma discontinui	8		8	
corso canalizzato ma non rettificato	4		4	
corso d'acqua rettificato	1		1	
TOT	49	58	33	65
CLASSE QUALITA'	III MEDIA	III MEDIA	IV BASSA	III MEDIA
COLORE	giallo	giallo	arancio	giallo

Tesi in Ing.per l'ambiente e il territorio (Università Roma La Sapienza) di Valeria Cristi

Si riporta sulla carta 1:10.000 il risultato di quest'analisi, colorando le sponde del corso d'acqua con il relativo colore.



SEZIONE 15.

La qualità di questa sezione è media per entrambe le sponde e ciò che rende bassa tale qualità è il territorio circostante caratterizzato da centri abitati e colture agrarie che non conferiscono elevata naturalità al luogo. La presenza di infrastrutture lungo le sponde fa sì che l'ampiezza della fascia ripariale sia stretta, compresa tra 1 e 5 m circa.

Come ben visibile dalle figure precedenti, invece nell'alveo bagnato è sempre presente una portata d'acqua che è continua per tutta la durata dell'anno, limpida e non inquinata. Questo conferisce al tratto un valore elevato migliorandone la naturalità complessiva.

La sezione non è completamente naturale, ma i materassi rinverditi sembrano oramai essere ben inseriti nell'ambiente senza causare un forte impatto visivo, come era inizialmente in fase di esecuzione per la presenza della rete nera che aveva il compito di evitare lo svuotamento dei materassi.

SEZIONE 4.

In questa sezione si nota una differenza della qualità tra la sponda destra (media) e la sponda sinistra (bassa).

Ciò che determina fortemente questa differenza è la vegetazione presente; infatti in sponda sinistra c'è assoluta assenza di vegetazione, mentre sulla destra sono presenti formazioni arboree autoctone che si estendono con continuità per un'ampiezza di circa 4-5 m.

Si nota anche che sulla sponda destra ci sono i gabbioni rinverditi, mentre sulla sponda sinistra solo gabbioni, fattore questo che influisce sulla qualità.

CAPITOLO 3

L'ANALISI IDROLOGICA

3.1_Obiettivo

Ai fini della progettazione delle opere idrauliche risulta essenziale la stima di alcuni parametri idrologico-idraulici.

In questo lavoro si vuole proporre un modo per valutare il livello idrico (h_{medio}) che mediamente si mantiene costante nel corso dell'anno e che consente quindi di individuare la posizione ottimale per la messa a dimora delle piante o delle talee necessarie agli interventi. Questo parametro riveste un ruolo fondamentale nella progettazione degli interventi di ingegneria naturalistica. Esistono, infatti, delle piante che, non tollerando periodi di sommersione maggiori di una settimana, muoiono per asfissia a causa della sommersione prolungata, venendo meno alle finalità per le quali sono state previste; inoltre le piante o le talee non radicate, dato che a seconda del tipo di intervento possono essere disposte nell'alveo bagnato, risultano soggette a sollecitazioni di trazione indotte dalla corrente, che potrebbe estirparle.

3.2_Metodologia

Il livello idrico " h_{medio} " è il livello che compete alla portata d'acqua " Q media annuale" che scorre nel fiume.

Gli strumenti necessari alla determinazione di tale parametro sono la curva di durata delle portate per ogni corso d'acqua e le scale di deflusso relative ad alcune sezioni dei rii.

3.2.1_Curva di durata delle portate

La curva di durata delle portate riporta i deflussi alla sezione di chiusura di un generico bacino in funzione della percentuale di tempo per cui tali deflussi sono ugualiati o superati in un prefissato intervallo temporale.

Rio Inferno, Rio Saetta e Rio Valleluce sono tre corsi d'acqua secondari e dunque non strumentati, per i quali quindi non si dispone di osservazioni idrometriche. Per la determinazione, dunque, delle loro curve di durata delle portate è stato necessario prima applicare il modello stocastico del deflusso indice¹² che è una tecnica di stima regionale delle curve di durata delle portate in bacini non strumentati.

Si propone questo metodo di analisi idrologica, messo a punto da Castellarin et al.(2004) come valido strumento per un'attenta analisi dell'efficacia idrologica degli interventi di Ingegneria Naturalistica.

Il lavoro si è articolato come segue:

¹²“Criteri di valutazione dell'efficacia idrologica degli interventi di I.N.” Tesi di laurea Valeria Cristi.
“Articolo di A.Castellarin”

Costruzione delle curve di durata sperimentali

Inizialmente si sono costruite le curve di durata sperimentali per le sezioni fluviali strumentate di altri bacini limitrofi. Si parla di curva di durata totale (CDT) nel caso in cui il periodo temporale di riferimento coincida con l'intero periodo di osservazione, e di curve di durata annuali (CDA), per le curve di durata riferite a un determinato anno solare.

Il modello del deflusso indice suppone di poter esprimere le portate medie giornaliere (X) come il prodotto di due variabili casuali tra loro indipendenti, il deflusso medio annuo (AF) (deflusso indice), che descrive a scala di bacino la variabilità climatica a lungo termine, (alternanza tra anni secchi e anni umidi) ed un deflusso giornaliero adimensionale (X'), la cui distribuzione di frequenza dipende dalle caratteristiche geomorfologiche del bacino imbrifero (estensione, permeabilità):

$$X = AF \cdot X' \quad (1)$$

Il modello del deflusso indice consente di derivare per la generica sezione fluviale non strumentata sia la CDT che la CDA_p,

L'analisi svolta considera l'insieme dei quattro bacini naturali strumentati la cui ubicazione è mostrata in figura:

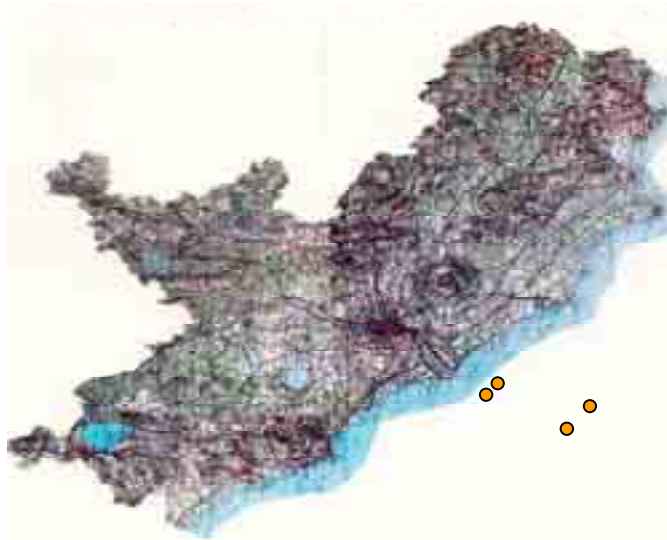


Figura 19

Riferimento	Nome Stazione	Bacino	Area Km ²	N° anni di osservazioni
Liri	Sora	Liri	1329	23
Liri	Sant'Elia	Rapido	69	21
Liri	Ceccano	Sacco	923	15
Liri	Picinisco	Melfa	42	11

Tabella 1

Determinazione delle caratteristiche geomorfologiche e idrologiche

Per ciascun bacino sono state inoltre desunte numerose caratteristiche geomorfologiche e idrologiche importanti ai fini del presente studio e sono:

- ~ Area contribuyente: A [Km^2]
- ~ Quota massima: H_{\max} [m s.l.m]
- ~ Quota media: H_{media} [m s.l.m]
- ~ Quota minima: H_{\min} [m s.l.m]
- ~ Percentuale di area permeabile: P [%]
- ~ Dislivello medio del bacino: $\Delta H = H_{\text{med}} - H_{\min}$ [m]
- ~ Precipitazione media annua al netto dell'evapotraspirato: MAPn [mm]
- ~ Coefficiente di L-variazione campionario delle serie di precipitazioni annuali al netto dell' evapotraspirato: $\text{LCv}(\text{APn})$ [mm]

Le prime sei caratteristiche sono state desunte dagli annali Idrologici (parte II).

È stato, invece, necessario determinare gli indici climatici MAPn e LCv ¹³

Nella tabella 2 si riportano tutte queste caratteristiche.

STAZIONI	Liri a Sora	Rapido a Sant'Elia Fiumerapido	Sacco a Ceccano	Melfa a Picinisco
A [km^2]	1272	68.7	922.6	41.7
P [%]	70	68	60	60
H_{max} [m s.l.m]	2349	2021	1536	2241
H_{media} [m s.l.m]	1090	795	448	1500
H_{min} [m s.l.m]	279	100	129.66	399.5
ΔH	811	695	318.34	1100.5
Latitudine	41.43	41.32	41.34	41.39
Longitudine	13.37	13.52	13.2	13.53
MPA [mm]	255.41	573.48	327.14	321.05
LCV(X)	0.4617	0.1251	0.3741	0.5068

Tabella 2

¹³ Per la loro determinazione vedi la tesi "Criteri di valutazione dell'efficacia idrologica degli interventi di Ingegneria Naturalistica" di Valeria Cristi

Scelta delle distribuzioni

La distribuzione del deflusso medio giornaliero riassume un complesso sistema di fenomeni fisici, e pertanto sono necessarie distribuzioni con più di quattro parametri per una accurata riproduzione delle osservazioni. Tuttavia, a fronte dell'esigenza di mantenere limitato il numero di parametri dei modelli probabilistici, si è scelto di rappresentare le serie osservate di AF con una distribuzione a due parametri e le serie di X' con una distribuzione a quattro parametri.

La scelta di tali distribuzioni è stata effettuata da Castellarin et al. per un altro caso di studio; in questo lavoro si è voluto riproporre le stesse, come validazione del modello facendo riferimento ai contesti geografici e climatici qui considerati.

La distribuzione a due parametri adottata è la logistica la cui distribuzione di probabilità cumulata (cdf) è:

$$F_X(x) = (1 + \exp(-\frac{(X - \xi_L)}{\alpha_L}))^{-1}$$

dove ξ_L e α_L sono rispettivamente i parametri di posizione e di scala della distribuzione, e $X = [-\infty, +\infty]$

Per modellare i deflussi giornalieri adimensionali si è scelta la distribuzione kappa a quattro parametri, la cui cdf è,

$$F_X(x) = [1 - h_k (1 - k_k \frac{(x - \xi_k)}{\alpha_k})^{1/k_k}]^{1/h_k}$$

dove ξ_k , α_k , k_k e h_k sono i parametri della distribuzione, e $X = [x_{\inf}, x_{\sup}]$ con x_{\inf} e x_{\sup} funzioni di ξ_k , α_k , k_k e h_k .

Regionalizzazione: il modello LK.

Il modello del deflusso indice implementato attraverso le distribuzioni logistica e kappa (LK) è stato regionalizzato per l'area di interesse. La regionalizzazione ha richiesto lo sviluppo di modelli regionali predittivi per tutti i parametri delle distribuzioni di interesse, nel caso in esame per i due parametri della distribuzione logistica ξ_L , α_L , e per tre dei quattro parametri della distribuzione kappa ξ_k , k_k e h_k .

Una volta regionalizzati i parametri, si può ora definire il modello regionale del deflusso indice.

Modello regionale

$$\xi_L = 0.0264 \cdot (\text{MPAn})^{0.10} \cdot A^{0.4968}$$

$$\alpha_L = 0.1714 \cdot \text{LCv}(\text{APN})^{0.5657}$$

$$\xi_k = -1.427 + 0.0257 \cdot P - 0.004 \cdot \Delta H$$

$$h_k = -25.7 + 2.2057 \cdot \text{LCv}(\text{APn}) + 0.6174 \cdot P + 0.0077 \cdot H_{\max}$$

$$k_k = 0.22238 - 0.0062 \cdot P$$

inserendo i dati geomorfologici e climatici relativi a Rio Inferno, Rio Saetta e Rio Valleluce si ottengono i modelli per ciascuno dei tre corsi d'acqua.

Con questi modelli è ora possibile costruire le curve di durata CDT e CDA per le sezioni fluviali non strumentate appartenenti all'area di interesse.

3.2.2_Scale di deflusso

Per le sezioni dei tre corsi d'acqua sottoposte precedentemente al monitoraggio e alle verifiche idrauliche si determinano le scale di deflusso con la formula di Chezy.

Le sezioni si sono assunte tutte trapezoidali e i relativi dati geometrici sono stati desunti dalle sezioni allegate ai progetti visionati.

Per calcolare il parametro χ si è fatto riferimento all'equazione di Bazin e a quella di Manning, usate dai progettisti nelle relazioni idrauliche rispettivamente di Rio Valleluce e Rio Inferno e di Rio Saetta.

3.3_Risultati

Dopo aver determinato le curve di durata di portata e le scale di deflusso per alcune sezioni di Rio Inferno, Rio Saetta, Rio Valleluce si è proceduto a valutare “ h_{medio} ”.

Si riportano le scale di deflusso e le CDA_{50} su uno stesso grafico.

Rio Inferno: SEZ.1

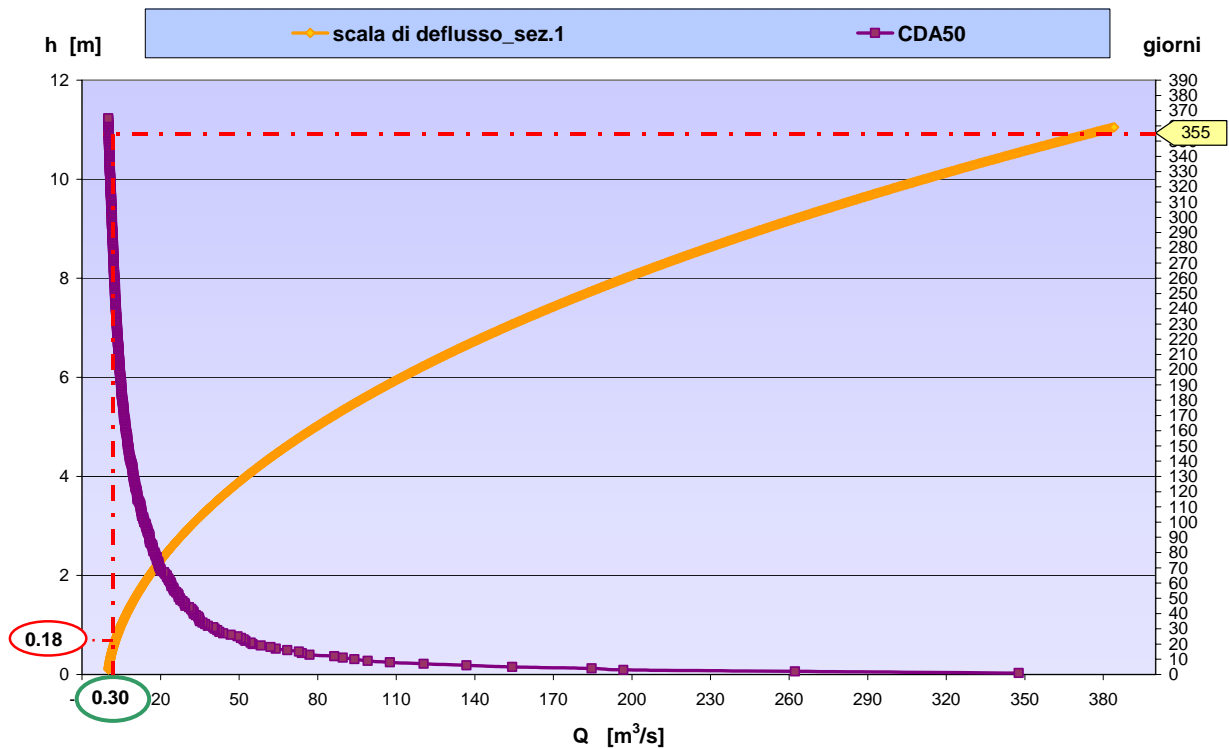


grafico 1

$$d_{355} \longrightarrow X_{g355} = 0.30 \text{ m}^3/\text{s} \longrightarrow h_{\text{medio}} = 0.18 \text{ m}$$

La curva tracciata col colore viola rappresenta la curva di durata annuale con probabilità di non superamento pari a 0.50. (CDA_{50}) e descrive l'andamento delle portate Q ($=X$) in funzione dei giorni dell'anno (1...365).

La curva di colore arancione, invece, è la scala di deflusso costruita riportando in ascissa sempre i valori delle portate e in ordinata il tirante idrico [m] relativo alle Q .

Per garantire la sopravvivenza delle parti vegetali che costituiscono le opere di ingegneria naturalistica è importante che si individui la loro corretta posizione nella sezione dell'alveo. Si deve garantire che per 355 giorni nell'alveo ci sia al massimo una portata giornaliera pari a Q_{g355} alla quale compete un tirante idrico pari proprio a “ h_{medio} ”. Nei restanti 10 giorni, la Q_{g355} può essere superata senza creare danni alla parte vegetale dell'opera. I 10 giorni in cui la Q è maggiore di Q_{g355} non è detto che siano consecutivi; il

valore scelto Q_{g355} è quindi cautelativo in quanto, qualora i 10 giorni siano consecutivi, garantisce in ogni caso che le piante non siano sommerse per un periodo più lungo.

Il procedimento per la determinazione dell'“ h_{medio} ” è il seguente.

Si entra nel grafico al giorno 355 (d_{355}) e si legge sulla CDA_{50} , in ascissa, la portata corrispondente Q_{g355} ; da questo valore, sulla scala di deflusso si legge invece, in ordinata, il valore dell'altezza del tirante idrico corrispondente, raggiunta nella sezione.

Dal grafico su cui si sono riportate la scala di deflusso e la curva di durata, eseguendo il procedimento enunciato, si è calcolato che, in 355 giorni dell'anno, la portata che defluisce nel rio e che viene superata al massimo per 10 giorni (consecutivi oppure no) è di circa $0.30\text{m}^3/\text{s}$; a questa portata corrisponde un tirante di circa 0.18m .

La sezione 1, cui ci si riferisce, è mostrata in figura 3 e in figura 4 nel capitolo 2

Dal sopralluogo si è potuta misurare l'altezza in cui le talee sono state messa a dimora; questa corrisponde a circa 0.15m .

Il valore misurato in situ e quello calcolato sperimentalmente sono congruenti. Questo risultato mostra, dato che l'intervento è stato eseguito correttamente, come sia possibile calcolare sperimentalmente le corretta posizione delle piante.



h_{medio} (in situ) = 0.15m

h_{medio} (sperimentale) = 0.18m

Figura 20

Rio Sietta: SEZ.14

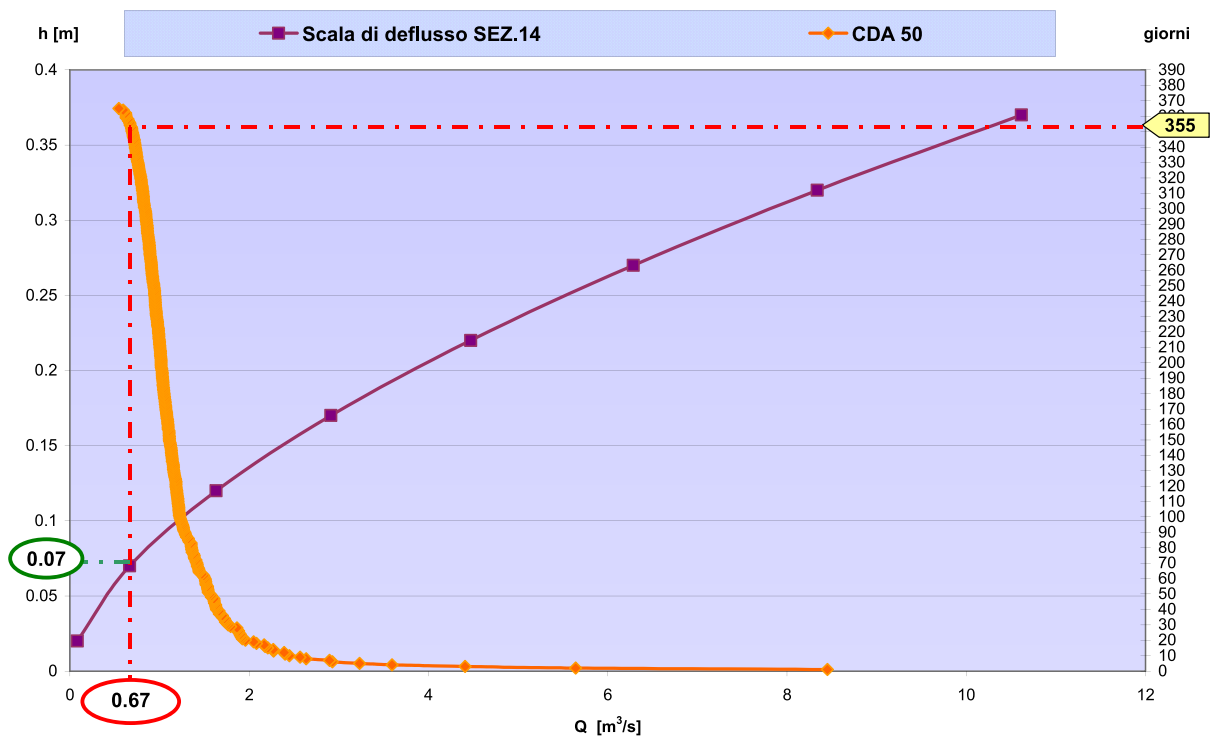


grafico 2

$$d_{355} \longrightarrow X_{g355} = 0.67 \text{ m}^3/\text{s} \longrightarrow h_{\text{medio}} = 0.07 \text{ m}$$

In figura è mostrata la palificata doppia in cui non sono visibili le talee. Dal progetto risulta, che questa doveva essere una palificata viva. Non è possibile dunque eseguire una verifica, ma ipotizzando la messa a dimora delle talee, in base al parametro calcolato ($h_{\text{medio}} = 0.07$ m), sarebbe stato opportuno piantare le talee al di sopra della linea rossa (il disegno non è in scala)



Figura 21

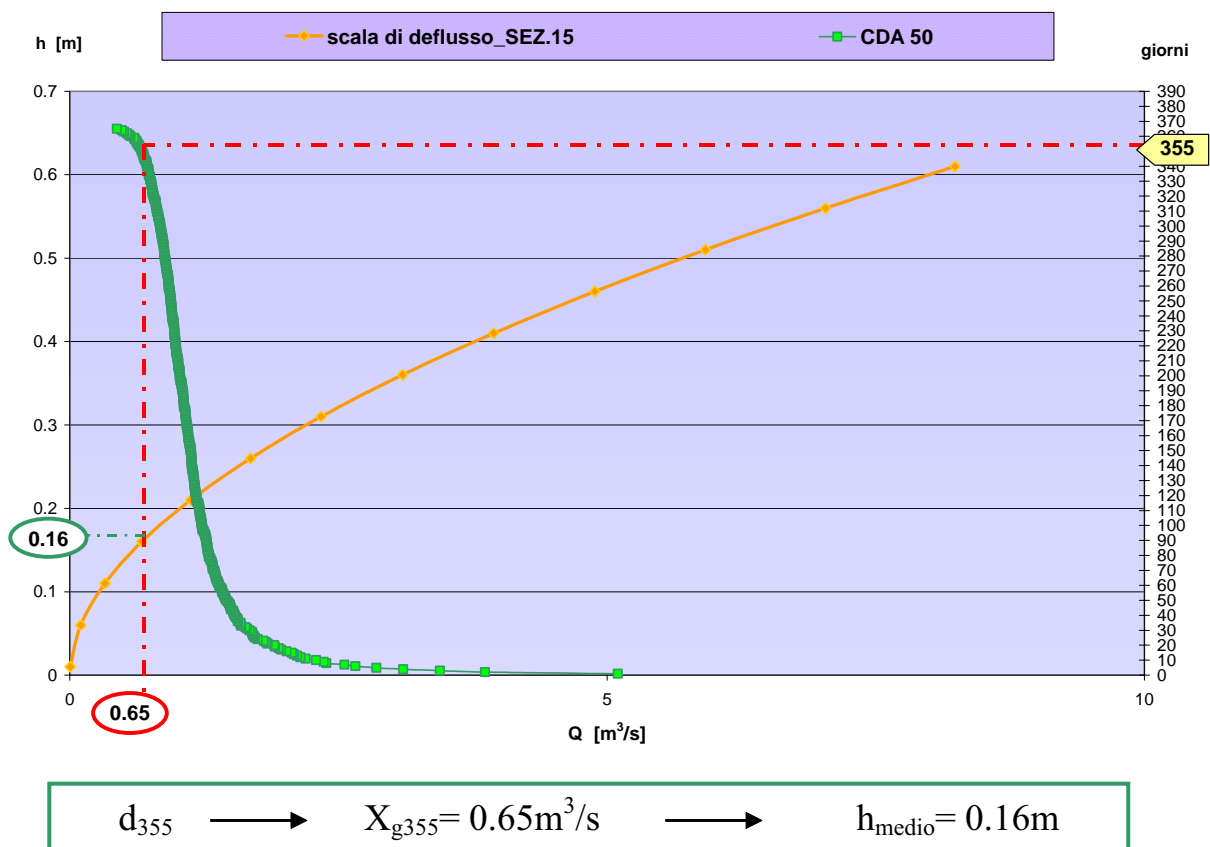
Rio Valleluce: SEZ.15



Figura 22

In questa sezione sono stati messi in opera i materassi rinverditi. Le talee messe a dimora, come mostrato nelle figure 16 del capitolo 2, non hanno attecchito. La vegetazione che si vede è cresciuta spontaneamente.

Dal grafico si determina h_{medio} .



dal progetto emerge che il livello medio è pari a 0.7m, come si vede in figura 21, mentre dall'analisi sperimentale h_{medio} individuato è pari a 0.16m

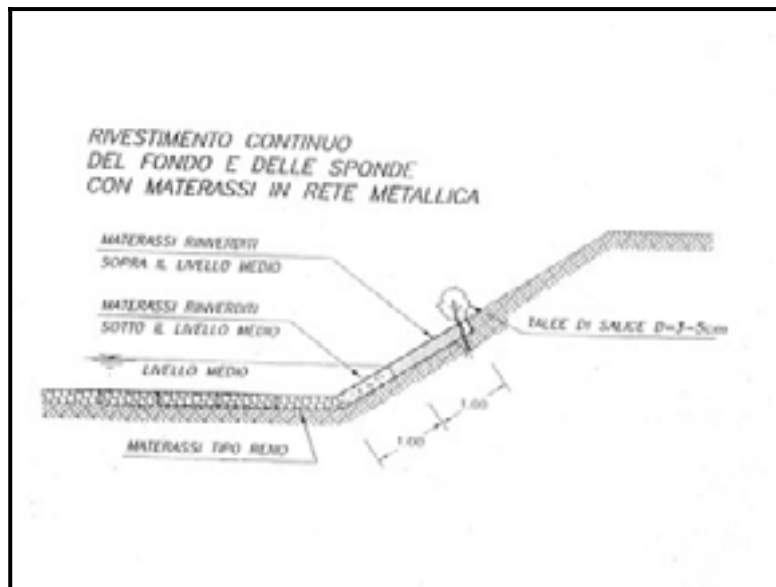


Figura 23

Conclusione

Il monitoraggio *post operam* delle opere di I.N., effettuato nell'ambito del presente lavoro, ha permesso di verificare lo stato attuale dei tre corsi d'acqua e degli interventi eseguiti su di essi. È opportuno sottolineare che la qualità dei corsi d'acqua, prima degli interventi era decisamente bassa per l'elevata presenza di rifiuti, le fasce riparali fortemente degradate e ridotte a piccoli lembi. Dopo aver esaminato i progetti esecutivi ed aver effettuato sopralluoghi si è osservato che nella generalità dei casi gli interventi risultano in buono stato e ben inseriti nell'ambiente.

In particolare attraverso l'utilizzo di schede di monitoraggio e di schede per la valutazione della qualità ambientale, per ogni corso d'acqua, è emerso che:

- ~ la percentuale di attecchimento delle talee è diminuita rispetto al sopralluogo eseguito un anno dopo la fine dei lavori;
- ~ le opere non hanno subito alcun cedimento strutturale;
- ~ la naturalità dei tre corsi d'acqua risulta non particolarmente elevata, in quanto l'ambiente circostante è mediamente antropizzato e persistono tuttora, in alcuni tratti, vecchie sistemazioni idrauliche in cls

L'analisi idrologica ha permesso di verificare il corretto posizionamento delle talee.

Il modello del deflusso indice, con le informazioni geomorfologiche e idrologiche relative alle sezioni strumentate (Liri a Sora, Rapido a Sant'Elia Fiumerapido, Sacco a Ceccano, Melfa a Picinisco) e la successiva regionalizzazione, hanno consentito di costruire le curve di durata delle portate relative a Rio Inferno, Rio Saetta, Rio Valleluce. Da queste curve e dalle scale di deflusso, costruite per alcune sezioni dei suddetti corsi d'acqua, dopo aver individuato la Q_{g355} relativa al giorno 355-esimo (d_{355}), si è estrapolato il parametro "h medio", -il livello di piena medio annuale- cioè il tirante d'acqua che si mantiene mediamente costante nel corso dell'anno. La sua determinazione consente di posizionare correttamente le talee evitando che muoiano per asfissia, a causa della sommersione prolungata oltre 7-10 giorni consecutivi.

Il risultato di questa analisi sperimentale è stato confrontato dalle misurazioni effettuate direttamente in situ. Il livello idrico corrispondente risulta in alcuni casi congruente a quello ottenuto applicando il modello del deflusso indice.

Al termine di questa analisi, e per le considerazioni emerse, si evidenzia la necessità di monitorare periodicamente le opere realizzate. Nei casi esaminati si rileva la necessità di eseguire interventi manutentori alle parti vive che si sono sviluppate notevolmente, raggiungendo diametri di circa 10 cm. Tale sviluppo ha conferito alla talea, di per sé molto elastica, un maggiore rigidezza e quindi una maggiore facilità a spezzarsi.

Le piante spezzate andrebbero ad ostruire così, la sezione dell'alveo limitando l'area per il deflusso delle portate.

Le parti inerti, invece si trovano in buono stato e non necessitano, al momento, di alcun intervento manutentorio.

Gli interventi realizzati hanno complessivamente raggiunto gli obiettivi preposti, migliorando i tre corsi d'acqua e il territorio circostante, conferendo loro una maggiore qualità ambientale e proteggendo le sponde dell'alveo dai fenomeni d'erosione e le strade e i manufatti adiacenti da possibili esondazioni.

Suggerimenti per eventuali ricerche future

Monitoraggio: le considerazioni che si possono svolgere in fase di monitoraggio sono ancora molte:

- analisi della vegetazione per una valutazione sulla scabrezza,
- studio del trasporto solido e dell'erosione al fondo,
- rilievo fitosociologico e fitosanitario della zona per rendere quel corso d'acqua un possibile vivaio naturale, come precedentemente spiegato, e come indice di stabilità ed efficienza,
- monitoraggio dei costi e dei tempi per valutare e ottimizzare anche progetti successivi.

Analisi idrologica:

In questo studio non è stata presa in considerazione la resistenza a trazione ($\tau = \gamma_i R$) che le piante esercitano quando sommerse dall'acqua. Lo studio che si può condurre consiste nella determinazione delle curve di crescita delle portate (andamento delle portate di piena in funzione del Tempo di Ritorno, T_R) e delle scale di deflusso (come quelle calcolate nel capitolo 3); da queste due curve l'obiettivo è quello di individuare, scegliendo un opportuno T_R , una portata Q , alla quale compete un livello idrico h , (da leggere dalla scala di deflusso), che si presenta nella sezione mediamente con quel T_R stabilito. Con questi valori si può verificare se τ è compatibile con la vegetazione che sta sulla sponda.

Bibliografia

1. A. Brath, G. Camorani, A. Castellarin, 2004, *Una tecnica di stima regionale della curva di durata delle portate in bacini non strumentati*, Editoriale Bios, 29° Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Trento
2. Andrea Marazzi, 2000, *Monitoraggio e analisi di interventi d'Ingegneria Naturalistica su corsi d'acqua laziali*, Tesi di Laurea, Viterbo
3. Apat, 2004, *Atlante delle opere di sistemazione fluviale*, Manuali e linee guida
4. Convenzione del 18/06/1999 tra la Regione Lazio, Università della Tuscia Dip. Gemini e Naturstudio Piccola srl, *Ingegneria Naturalistica-Applicazione di tecniche d'intervento di basso impatto ambientale nei programmi della Regione Lazio*
5. Dott. Ing. C. Crivelli, Ing. Dott. P. Cornellini, Dott. F. Calmieri, 1998, *Progetto esecutivo di Rio Inferno*
6. Dott. Ing. L. Natalizi, 1998, *Progetto esecutivo di Rio Saetta*
7. Dott. Ing. R. Colosimo, Dott. Ing. F. Ferrari, 1998, *Progetto esecutivo di Rio Valleluce*
8. Hoscking e Wallis, 1997
9. Ing. Dot. Nat. Paolo Cornellini, 2002, *Criteri e tecniche per la manutenzione del territorio ai fini della prevenzione del rischio idrogeologico*, Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio
10. J.R. Stedinger, R. M. Vogel, E. F. Georgiou, *Frequency Analysis of extreme events*, chapter 18
11. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, 2003, *Manuale di Ingegneria Naturalistica, applicabile al settore idraulico*, Regione Lazio, Roma
12. Regione Toscana, 2000 *Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica* vol.I, Collana Fiumi e Territorio
13. Valeria Cristi, 2004, *Criteri di Valutazione dell'Efficacia Idrologica degli interventi di Ingegneria Naturalistica*, Tesi di Laurea, Roma
14. web site: www.regione.lazio.it
15. web site: www.apat.it
16. web site: <http://map.cs.telespazio.it/lazio>

Allegati

Si riporta la scala di valutazione dell'efficacia delle opere; il tipo di giudizio che può essere dato con questa scala è un giudizio iniziale, puramente soggettivo, indispensabile e l'unico da poter effettuare direttamente in fase di monitoraggio.

EFFICACIA	OTTIMA: l'opera è stata realizzata bene sia nella sua parte strutturale che in quella verde, adempiendo agli obiettivi generali sopra esposti
	BUONA: l'opera pur adempiendo male alle due funzioni poteva essere realizzata meglio in qualche sua parte.
	MEDIA: l'opera non adempie alla funzione estetico paesaggistica, la parte verde non è stata realizzata bene.
	SCARSA: l'opera è stata completamente sbagliata. Errori in fase progettuale e in fase d'esecuzione, non adempie alle sue funzioni

In seguito deve necessariamente seguire un'analisi che entri più nel dettaglio delle singole questioni.

SCHEMA DI MONITORAGGIO POST OPERAM

Nome rilevatore/i:	Data: .
Tel:	
Rif. Schede ante operam:	in opera:
Periodo di realizzazione dell'intervento:	
Anno di progettazione:	Committente:
Costo dell'opera [€]:	

DATIGENERALI¹⁴

Regione:	Provincia:	Altitudine [m s.l.m]:
Comune:	Località:	
Progettazione:		
Direzione lavori:		
Soggetto realizzatore:		
Caratteristiche geomorfologiche:		
Tipi vegetazionali presenti al contorno:		
Inclinazione dell'alveo [%]:		
Velocità dell'acqua [m/s]:		
Dimensione media del trasporto solido:		

¹⁴ Parte della scheda in tesi di Andrea Marazzi

Pendenza delle sponde:
Regione fitoclimatica del Lazio:

CARATTERISTICHE DEL DISSESTO

Dalla scheda ANTE OPERAM

OBIETTIVI DI PROGETTO

Obiettivi Generali	TECNICO-FUNZIONALI	INTERVENTI X RAGGIUNGERE GLI OBIETTIVI
Obiettivi Specifici		
Obiettivi Generali	NATURALISTICI	INTERVENTI X RAGGIUNGERE GLI OBIETTIVI
Obiettivi Specifici		
Obiettivi Generali	ESTETICO-PAESAGGISTICI	INTERVENTI X RAGGIUNGERE GLI OBIETTIVI
Obiettivi Specifici		

OPERE DI INGEGNERIA NATURALISTICA

Tipologie d'intervento	Lunghezza [m]	Altezza [m]	EFFICACIA			
			OTTIMA	BUONA	MEDIA	SCARSA

MATERIALI IMPIEGATI

LEGNAME				
Specie	Diametro [cm]	Lunghezza [m]	Scortecciatura	Stato: Post 2004

TALEE				
Tipologia d'opera				
Specie				
N° talee per m o al mq (specificare)				
Diametro medio talee				
Lunghezza media delle talee inserite [m]				
N° getti per talea				
Diametro medio dei getti [cm]				
Lunghezza media dei getti [m]				
% di attecchimento				
Stato di salute (patologie o stress)				
Manutenzione				

SEZIONI

N°	Tipologia d'opera:	
	sponda sx	sponda dx
Commenti sulle scelte progettuali eseguite		
Valutazione qualità ambientale	<input type="checkbox"/> Pessima <input type="checkbox"/> Buona <input type="checkbox"/> Bassa <input type="checkbox"/> Elevata <input type="checkbox"/> Media	<input type="checkbox"/> Pessima <input type="checkbox"/> Buona <input type="checkbox"/> Bassa <input type="checkbox"/> Elevata <input type="checkbox"/> Media
Verifiche idrauliche		
hmedio		
Problematiche dell'opera ¹⁵	<input type="checkbox"/> Scivolamento opera <input type="checkbox"/> Ribaltamento opera <input type="checkbox"/> Fratture del terreno a monte/valle opera <input type="checkbox"/> Erosione <input type="checkbox"/> Sottoescavazione <input type="checkbox"/> Svuotamento camere <input type="checkbox"/> Deformazione struttura <input type="checkbox"/> Sollevamento stuoie <input type="checkbox"/> Fissaggi ed ancoraggi <input type="checkbox"/> Altro:	<input type="checkbox"/> Scivolamento opera <input type="checkbox"/> Ribaltamento opera <input type="checkbox"/> Fratture del terreno a monte/valle opera <input type="checkbox"/> Erosione <input type="checkbox"/> Sottoescavazione <input type="checkbox"/> Svuotamento camere <input type="checkbox"/> Deformazione struttura <input type="checkbox"/> Sollevamento stuoie <input type="checkbox"/> Fissaggi ed ancoraggi <input type="checkbox"/> Altro:

¹⁵ Tratto dalla "Scheda monitoraggio interventi di ingegneria naturalistica" dell'APAT (Alessandro Trigila)

Si ringraziano
La Regione Lazio
Dipartimento Ambiente e Protezione Civile
Area A-Conservazione e qualità dell'ambiente
Servizio 3 Geologico Nazionale

APAT
Servizio Geologico Nazionale