



UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

**Dipartimento di Difesa del Suolo
“ V. Marone ”**

Corso di Laurea in Ingegneria Civile

INDIRIZZO IDRAULICA

TESI DI LAUREA

***Progetto di rinaturalizzazione di un corso d'acqua
montano nella Calabria settentrionale***

Estratto della Tesi di Laurea

RELATORE

Ch.mo Prof. Giuseppe C. FREGA

CANDIDATO

Mario FALACE

Anno Accademico 2001-2002

PROGETTO DI RINATURALIZZAZIONE DI UN CORSO D'ACQUA MONTANO NELLA CALABRIA SETTENTRIONALE.

Il lavoro di tesi di laurea svolto, riguarda la rinaturalizzazione dei siti con tecniche di ingegneria naturalistiche, qui si sottolinea come negli ultimi anni sia nata l'esigenza di valorizzare l'ambiente e di mantenerlo, il più possibile, nelle condizioni preesistenti; e comunque in una condizione di equilibrio naturale tale da garantire alle generazioni future una piena fruibilità del "bene ambiente" .

Tramite l'ingegneria naturalistica si opera in modo da assicurare all'ambiente un equilibrio stabile dal punto di vista idraulico, idrogeologico, fisico, chimico, biologico.

Le tecniche di ingegneria naturalistica sono, pertanto, adoperate nelle sistemazioni idrauliche, idrogeologiche, agroforestali, in questo modo adempiono al loro compito, di dare un equilibrio al sito dove vengono poste in opera, accelerando i processi naturali che fanno tendere ad un equilibrio stabile il sistema naturale e ostacolando quei processi che possono portare a gravi dissesti.

La rinaturalizzazione di un sito, dunque, è la messa in atto di queste tipologie di interventi, per riportare ad una condizione di equilibrio naturale i siti degradati e dissestati.

Una delle cause è la antropizzazione selvaggia del territorio, che:

- Ha tolto gradi di libertà ai sistemi naturali, specie ai corsi d'acqua, basti pensare alle numerose città sorte nelle zone di espansione dei grandi fiumi ed ai successivi interventi di difesa.*
- Con lo scriteriato uso delle risorse naturali, come disboscamenti, cave, ecc., ha compromesso irreversibilmente l'equilibrio preesistente di diversi siti innescando dei gravi processi di degrado ambientale;*

Altre cause di dissesto sono invece naturali, dovuto al veloce evolversi degli eventi naturali che nella loro furia causano gravi dissesti sono molto importanti, fra questi, sono le alluvioni, provocate da eventi meteorici estremi

di breve durata e grande intensità, che possono dare luogo a vere e proprie catastrofi.

L'uso di tecniche di ingegneria naturalistica è dettato dal basso impatto ambientale della stesse, visto che negli ultimi anni si va rivalutando il valore dell'ambiente come bene fruibile dall'umanità, in primo luogo per la qualità della vita che un ambiente incontaminato sembra garantire, poi per la possibilità di rigenerazione di materie prime e per il valore paesaggistico che offre sia una rivalutazione turistica del territorio che una fruibilità ricreativa, ad esempio la creazione di un parco fluviale, l'allestimento di aree per i picnic e aree boschive di elevato pregio ambientale

L'ingegneria naturalistica fa prevalentemente uso di materiali naturali, che si trovano in natura allo stato in cui verranno poste in opera, tali interventi vengono, così, eseguiti in fregio ai siti da rinaturalizzare, senza creare discontinuità nel paesaggio e senza compromettere gli equilibri naturali del sito, modificandone, però, gli aspetti sui quali c'è necessità d'intervento.

Interventi di questo tipo possono inserirsi perfettamente nel paesaggio, abbattendo l'impatto ambientale, e soprattutto operando gli interventi necessari senza entrare in contrasto con gli equilibri naturali, che possono essere anche tali da mandare in dissesto un sito, ma sfruttandone le caratteristiche e le potenzialità.

Queste tipologie d'intervento, sfruttano quelle che sono le caratteristiche degli elementi naturali, che già si trovano in sito, che per accelerare i processi naturali che portano ad un equilibrio stabile il sito da sistemare, ovvero si proceda a "lavorare col fiume, e non contro di esso".

Nel caso del corso d'acqua si procede a fare in modo che il corso d'acqua trovi la sua configurazione più stabile in modo da non essere soggetto ad erosione e dissesto, si procede, pertanto, alla disamina delle morfologie e delle condizioni possibili, affinché il corso d'acqua sia in equilibrio.

Accanto allo studio classico delle pendenze e dell'erosione, eseguibili con i vari metodi proposti in letteratura si sviluppa un'accurata osservazione della morfologia fluviale, allo scopo di determinare quella naturale per il corso d'acqua ed eventualmente fare in modo che questi tenda ad assumere tale morfologia.

Vengono proposte, pertanto, diverse morfologie, e diversi criteri di classificazione morfologica, utili, a seconda del tipo di studio da eseguire.

Montgomery e Buffington hanno proposto per i torrenti alpini diverse morfologie:

- Rapida: caratterizzata da forte corrente, velocità sostenuta, flusso a getto che si separa sotto, sopra e intorno a grossi clasti.
- Step pool: morfologia a gradino, costituita da una serie di saltelli che danno questa impressione, con piccole pozze ad ogni “gradino”
- Riffle pool: caratterizzata da tratti a forte pendenza e velocità con fondo basso che si alternano con tratti fondi e lenti, vere e proprie pozze.
- Letto piano: classica tipologia regolare del fondo e delle correnti.
- Dune ripple: caratterizzata da piccole dune o increspature sul fondo.
- Tratti colluviali: i tratti quasi accennati e quasi sempre asciutti della parte iniziale dei corsi d'acqua.
- Alveo in roccia: alvei incassati nella roccia e per tanto costretti a scorrere come in un canale.
- Morfologie imposte: imposte da accorgimenti che costringono il corso d'acqua al moto nel letto imposto.



Fig 1 rapida



Fig. 2 Sequenza a step pool

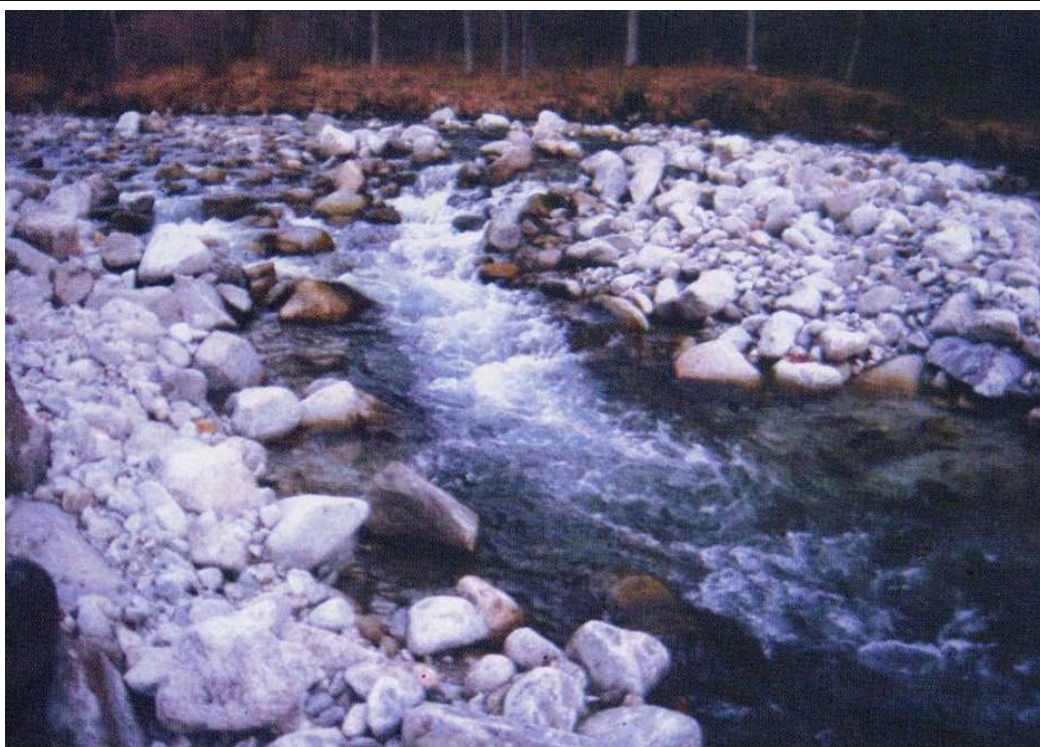


Fig. 3 Riffle pool



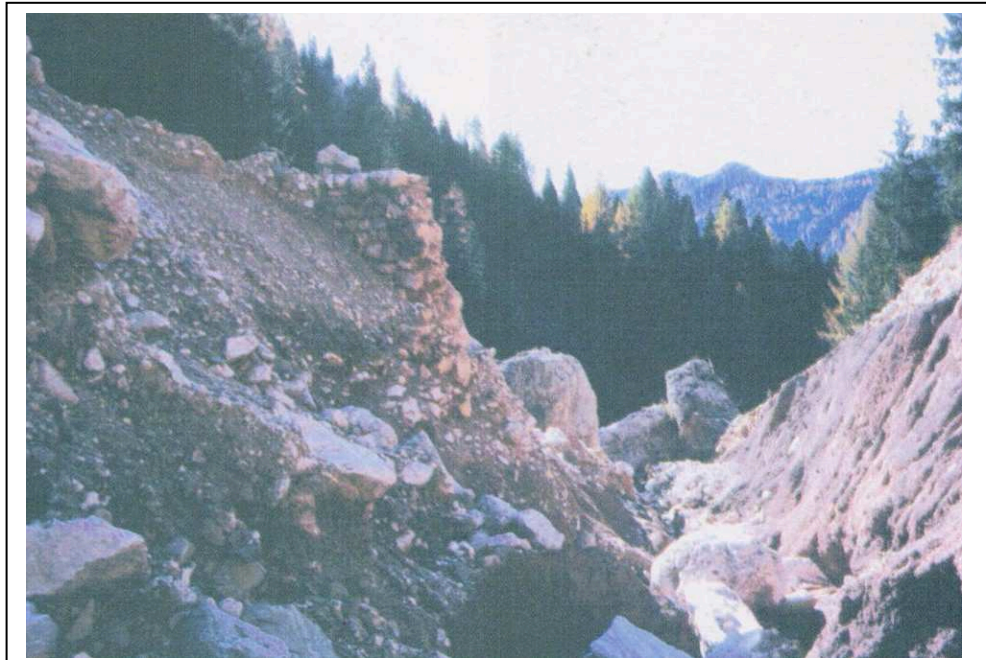


Fig. 6 Corso d'acqua inciso



Fig 7 Dune ripple

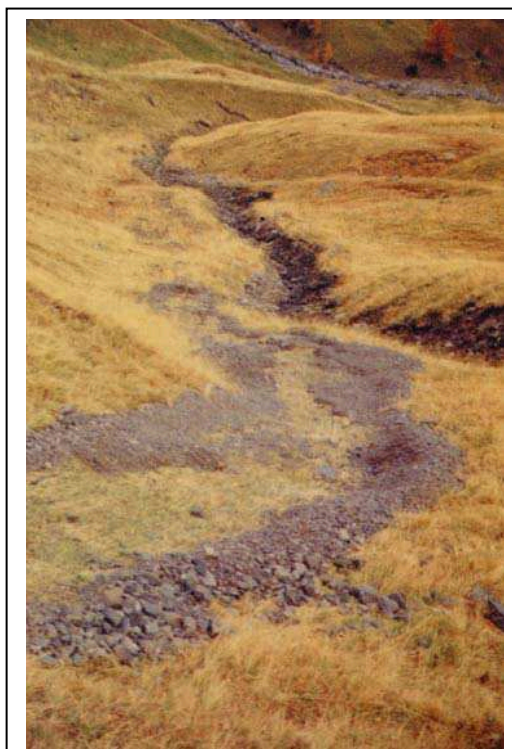


Fig. 8 Corso d'acqua colluviale

Accanto a questi vengono proposte delle morfologie miste da Lenzi, D'Agostino, Sonda:

- *Tratti a riffle pool e letto piano.*
- *Tratti a step pool e letto piano.*
- *Tratti a step pool e cascate.*
- *Tratti a step pool e rapide.*

Molte opere ingegneristiche realizzate con tecniche di ingegneria naturalistica, sono realizzate con materiali "morti", quali legname, pietrame, reti metalliche ecc., ma la loro capacità di riuscita sta nella possibilità di integrarsi con l'ambiente che le riceve, e, pertanto, all'utilizzo in questi interventi di materiali "vivi", vale a dire l'esecuzione di rimboschimenti, inerbimenti, rinverdimenti in generale, in concomitanza con la costruzione di queste opere, nei tratti degradati e nella messa a dimora di specie arboree ed arbustive come rinforzo di alcune tipologie di opere: l'uso di materiali "vivi" presta ai materiali "morti" una maggiore elasticità e coesione ed una migliore resistenza a taglio, dovuta alla loro resistenza a trazione, similmente a quando avviene per i pali di fondazione al raggiungimento della zona plastica delle opere stessa e dei terreni da esse rinforzate.

Le radici, infatti, danno al terreno una coesione dovuta alla loro capacità di resistere

Il rinverdimento dei terreni con opere di ingegneria naturalistica oltre a dargli buona elasticità e coesione, fa in modo da ristabilire, in queste terre, un equilibrio fisico, chimico e biologico, che in termini ingegneristici si traduce in una maggiore durata delle azioni stabilizzanti sui terreni e sulle opere esplicate dai rinverdimenti, rimboschimenti, inerbimenti e dalla posa in opera di arbusti o alberi, e perciò una maggiore durabilità degli stessi interventi.

A riprova di questo fatto si ricordano gli interventi eseguiti in Aspromonte negli anni '60 sono attecchiti meglio quelli eseguiti con l'ausilio di materiali vivi, alcuni di essi invece che sono stati eseguiti, con solo legname sono andati in disfacimento.

L'ingegneria naturalistica si propone, quindi, come valida alternativa alle soluzioni di tipo classico: capace di fronteggiare il dissesto idrogeologico, il degrado ambientale, il rischio idraulico e tutta una serie di problematiche, che per troppi anni sono stati affrontati con interventi ad elevato impatto ambientale.

Gli interventi eseguibili e gli obiettivi perseguibili, grazie a queste tecnologie sono molteplici, ampiamente discussi nella trattazione, essi possono essere raggruppati in due grandi categorie: intensivi ed estensivi.

Gli interventi estensivi sono quelli realizzati su un'ampia superficie, di versante a su parte di alveo con copertura diffuse allo scopo di effettuare rinverdimenti, rimboschimenti, inerbimenti in zone degradate, assestamenti e sistemazioni di aree franate o comunque dissestate, la messa in sicurezza di terreni e pendii, mediante l'uso di palificate, fascinate, viminate, o la messa a dimora di piantine, atte a dare maggiore stabilità ai versanti.

Questo tipo d'intervento, comprende gli interventi di inerbimento, con mulch, metodo nero verde e bianco verde molto utile per i terreni pesantemente degradati perché aumenta l'apporto di nutrienti; i rimboschimenti prevedono, al fine di ripristinare il bosco misto, cui tendono i boschi naturali per svariate ragioni, la messa a dimora di specie arboree ed arbustive, con lo scopo di trattenere in loco il terreno ed evitare smottamenti e fenomeni erosivi, le tecniche utilizzate sono molteplici, vanno dalla messa a dimora in apposito

scavo, alla realizzazione di palificate, fascinate, viminate, semplici o rinverdite da talee di salice o altra specie.

Gli interventi intensivi sono la realizzazione di vere e proprie opere di ingegneria, con l'esclusivo utilizzo di materiali reperibili in natura allo stato in cui devono essere usate, legname, pietrame, reti metalliche, ecc., tali opere vengono edificate in fregio a corsi d'acqua, o a costoni pericolanti, allo scopo di frenare i processi naturali che causano il dissesto; queste possono essere suddivise in longitudinali e trasversali, in base a come sono posizionate sui corsi d'acqua, secondo il significato classico che la letteratura le attribuisce; queste tipologie di opere prevedono le briglie come quelle a cassone, le diverse tipologie di soglie, diversi tipi di difese spondali come pennelli o le difese radenti, e una serie di altre opere meglio esaminate nella trattazione.

A quest'ultimo tipo di opere vanno affiancate, una tipologia di opere miste, vale a dire integrate fra loro, le opere di legname e pietrame vengono integrate da elementi vegetali vivi, che fanno sì che queste si compattino meglio e siano più durevoli e stabili, diverse sono le opere che fanno ricorso a questa tecnologia: scogliere rinverdite da talee, cunei filtranti anch'esso rinforzato da talee o astoni di specie vegetali, terrazzamenti con muretti di pietrame, gabbionate e reti metalliche rinverdite da talee, muri cellulari e opere miste in legname e pietrame, anch'esse più esaurientemente trattate nello svolgimento della tesi di laurea.

L'Aspromonte, come precedentemente osservato, è stato teatro di altri interventi di questo tipo, quali quelli eseguiti sulle fiumare Amendolea, Calopinace, la Verde, Melito adeguatamente riportate nella trattazione.

Altre opere di grande pregio ambientale, costruite in fregio al fiume, allo stesso modo di quelle dell'Aspromonte sono quelle realizzate dalla Provincia Autonoma di Trento, anch'esse discusse nella trattazione, come:

Le sistemazioni eseguite sul torrente Adanà, e L'intervento di riqualificazione ambientale sul Brenta Vecchio.

Sul torrente Adanà sono state eseguite opere finalizzate al consolidamento dell'alveo e dei versanti franosi e, negli ultimi anni, delle coperture diffuse a coronamento di intervento di sistemazione idrauliche della sezione fluviale.

(Figg. 9,10,11)



Fig. 9 - Il tratto del torrente Adanà che precede l'abitato di Roncone ad interventi di sistemazione idraulico-forestale ultimati.



Fig. 10 - Un immagine delle "coperture diffuse" realizzate nei pressi di Lardaro, a lavori appena ultimati.



Fig. 11 - Un immagine delle "coperture diffuse" realizzate nei pressi di Lardaro. Si noti lo sviluppo degli astoni di salice, a distanza di circa un anno e mezzo dalla loro posa

Sul Brenta Vecchio gli interventi sono stati eseguiti con la finalità di creare la massima diversificazione e complessità morfologica del corso d'acqua al fine di creare e mantenere la diversità biologica dell'ecosistema, si è fatto in modo da conferire al rio un andamento meandriforme per diminuire la velocità di deflusso, alternando piccoli allargamenti a scorrimento lento con tratti veloci, (Fig. 12)



Fig. 12 - Allargamento del corso d'acqua in corrispondenza di un'area abbandonata.



Fig. 13 - Struttura di un deflettore-ricovero, prima della copertura con terra. I deflettori di corrente possono soddisfare diversi scopi: ridirezionare il deflusso della corrente, approfondire l'alveo e ripulire da depositi fangosi i siti di ovodeposizione dei pesci, facilitare lo sviluppo di meandri, favorire la formazione di sequenze buche-raschio, costituire riparo sottosponda per i pesci (se costruiti in legno).



Fig. 14 - Deflettore-ricovero a lavoro finito

è interessante il deviatore di flusso proposto per fornire un habitat migliore alla fauna ittica nei tratti dove non si poteva realizzare l'andamento meandriforme (Figg.13,14).



Fig. 15 - Area abbandonata prima dell'intervento



Fig. 16 - Stesso luogo, a tre mesi dalla conclusione dell'intervento

A valle un'area incolta è stata trasformata in un laghetto di particolare pregio ambientale, alimentato da sorgenti e collegato al rio tramite una serie di soglie, per favorire il ripopolamento ittico e soddisfare una funzione paesaggistica e ricreativa (Figg. 15,16).

Un altro aspetto importante di queste opere è la ricostruzione del torrente Cismon, Trento, dove l'ingegneria ha riportato il fiume ad una morfologia che gli conferisce una condizione di equilibrio (Figg.17,18).



Fig. 17 - Per evitare eventuali erosioni di sponda può essere necessario realizzare delle scogliera fra uno step e il successivo (torrente Cismon, Trento)

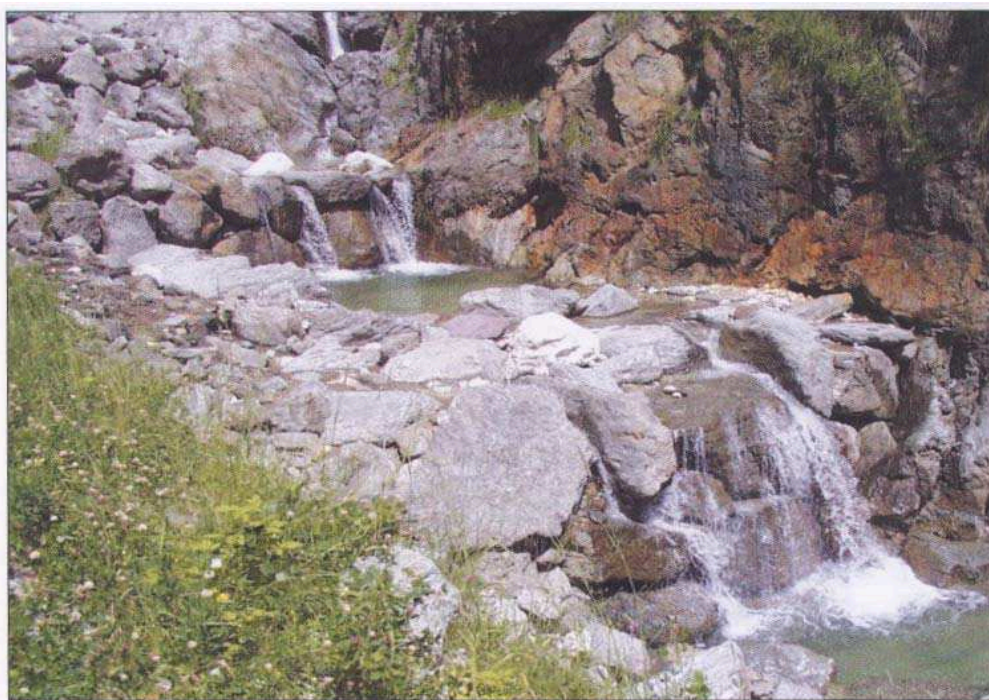


Fig. 18- Visione d'insieme di un tratto d'alveo sistemato con step in massi legati con calce struzzo e scogliera (torrente Cismon, Trento)

L'ingegneria naturalistica non può completamente superare e sostituire le opere classiche, a causa dell'inadeguatezza tecnologica delle opere di ingegneria naturalistica di ergersi a notevoli altezze, come una diga o un grosso argine che deve raggiungere una notevole altezza in pochi metri.

L'uso dell'ingegneria naturalistica può, però, mitigare l'impatto ambientale (specialmente quello visivo) causato da interventi massicci secondo le tecniche classiche dell'ingegneria civile, grazie all'uso di coperture in legno e materiali lapidei, e di rinverdimenti delle zone degradate dall'esecuzione dei lavori, o dall'impatto ambientale dell'opera.

L'uso di queste tecniche è vantaggioso perché oltre ad abbattere l'impatto ambientale, provvede al ripristino di un equilibrio naturale che tende, in futuro, a rimanere inalterato, favorendo la formazione di siti nei quali è stato notevolmente abbattuto il rischio di eventi tali da dare luogo a dissesti.

Nel caso in cui, sono tecnologicamente perseguibili, gli interventi di ingegneria naturalistica possono essere anche vantaggiosi dal punto di vista economico, è pur vero che per eseguirli sono necessari operai qualificati, ovvero manodopera di costo elevato, e mezzi meccanici potenti e particolari, ma con questa tipologia d'interventi si abbattano notevolmente i costi dei materiali, che in genere sono reperibili sul posto.

Tali interventi sono, poi, estremamente vantaggiosi se si considera che il loro utilizzo può essere eseguito con molta parsimonia, in quanto, come precedentemente osservato, se si interviene sul nascere della situazione di dissesto, con un intervento abbastanza limitato (estensivo o intensivo) si può fermare sul nascere il fenomeno erosivo ed invertire tale tendenza in modo naturale e durevole, senza eseguire interventi particolarmente onerosi.

Il bacino, in esame, è il Valle Gianantonio, affluente del torrente Satanasso (Tav. II) Localizzato nel comune di Plataci fra il centro abitato e il Satanasso, che funge da confine .

Situato nel nord-est della Calabria, Comunità Montana Alto Ionio. Questo corso d'acqua scende dai monti del pollino, e si spegne nel Mar Ionio.

Il Satanasso ha, come noto, un percorso molto accidentato, sul quale più volte si è tentato di mettere mano, per sistemare idraulicamente il corso d'acqua.

Numerosi sono stati gli interventi portati avanti nel suo tratto montano e sugli affluenti, pur tuttavia i numerosi interventi, e il grande sforzo, la zona resta una delle più dissestate della Calabria. In questo frangente si è deciso di eseguire la rinaturalizzazione di un'affluente che si presenta in condizioni di forte erosione.

Il torrente in questione presenta il regime di fiumara, ovvero resta asciutto per quasi tutto l'anno, e di tanto in tanto presenta degli importanti eventi di piena. Nel Valle Gianantonio si presenta in profondo dissesto, esteso su quasi tutto il bacino.

Per fermare l'erosione in aste fluviali pesantemente degradate si può scegliere di intervenire con metodi classici, che forse per situazioni così gravi potrebbero risultare più economiche, in questo caso, però, non si tratta dell'asta fluviale ma di tutto il bacino.

Un intervento di rinaturalizzazione su tutto il bacino eroso, come da progetto, risulta essere l'unico metodo per fermare l'erosione sul bacino e riportare in condizioni di equilibrio naturale l'intera area del bacino.

Resta solo un'osservazione da fare: un intervento di rinaturalizzazione, eseguito su questo bacino, qualche decennio fa, quando l'erosione il degrado non era in uno stato così avanzato, non sarebbe stato tanto oneroso.

Il Valle Gianantonio, (Tav. III) come mostrano le immagini, è un corso d'acqua in forte erosione, il bacino presenta nella parte bassa, sì, i tratti della macchia mediterranea, ma questa risulta in uno stato di completo degrado, su entrambi i versanti, è ridotta a qualche cespuglio nelle zone perimetrali e pochi pini ormai quasi completamente secchi, a causa del dissesto e di diversi fattori ambientali, quali: precipitazioni intensive verificatesi nell'alto bacino del Satanasso, la natura geologica dei terreni, il pascolo ovino e caprino eccessivo esistente in tutta la zona in questione e verificatesi nel bacino in esame, gli incendi molto frequenti su tutta l'area interessata (Fig. 19), non ultimi gli smottamenti, le frane e il trasporto di materiale solido a valle hanno contribuito a creare l'attuale condizione di dissesto.



Fig. 19 – Il fondo del Valle Gianantonio: si intravede un terreno in erosione con scarsa copertura arborea

mentre nella parte centrale il corso d'acqua si incanala in una gola profonda completamente rocciosa, (Fig. 20)



Fig. 20 – Il tratto medio del Valle Gianantonio: si intravede una gola stretta in erosione con scarsa copertura arborea

la zona elevata e costituita dallo stesso tipo di terreno ricoperto da vegetazione arbustiva (Fig. 21)

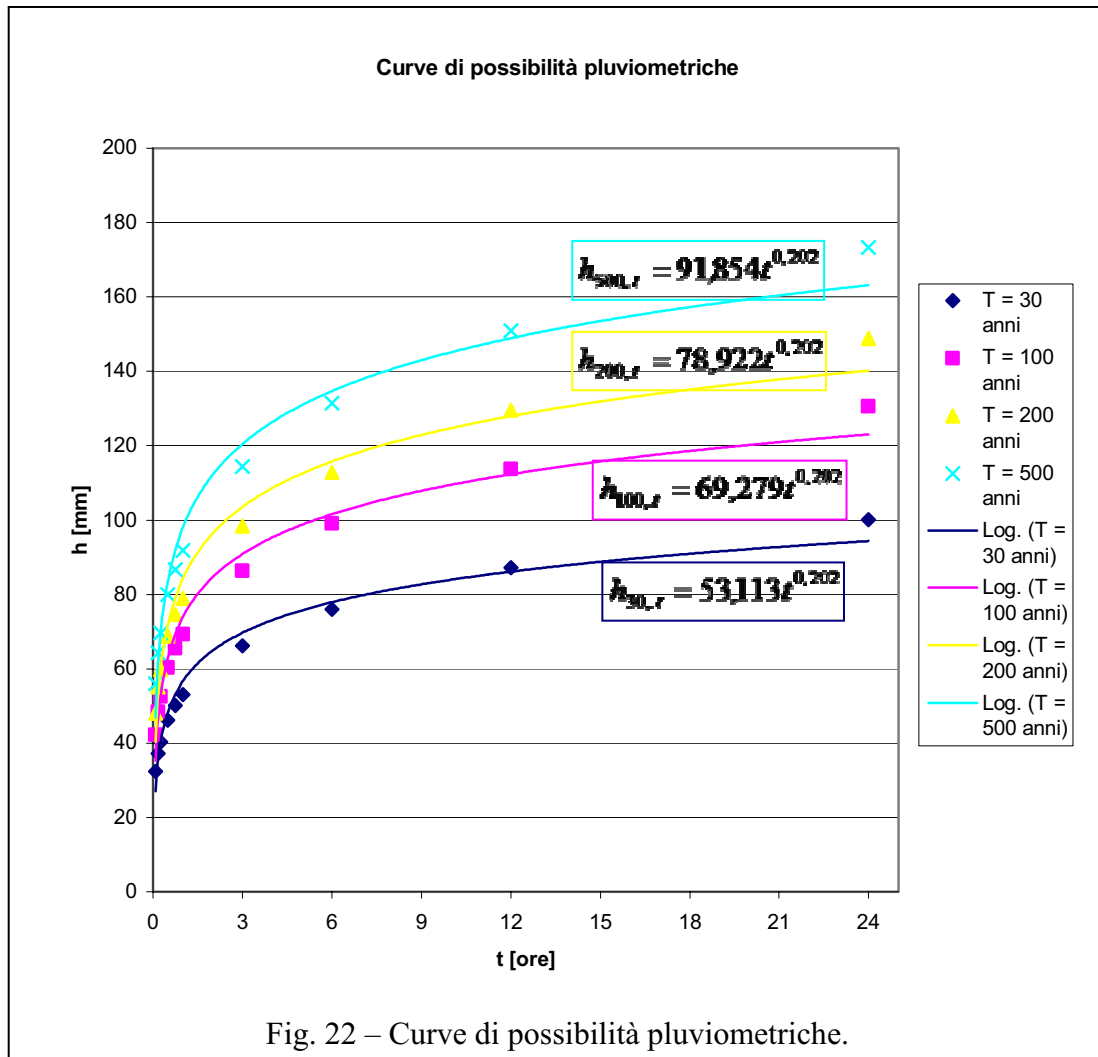


Fig. 21 – Il tratto alto del Valle Gianantonio: si notano le tracce lasciate dai rivoli in erosione, scarsa copertura arborea e terreno erboso

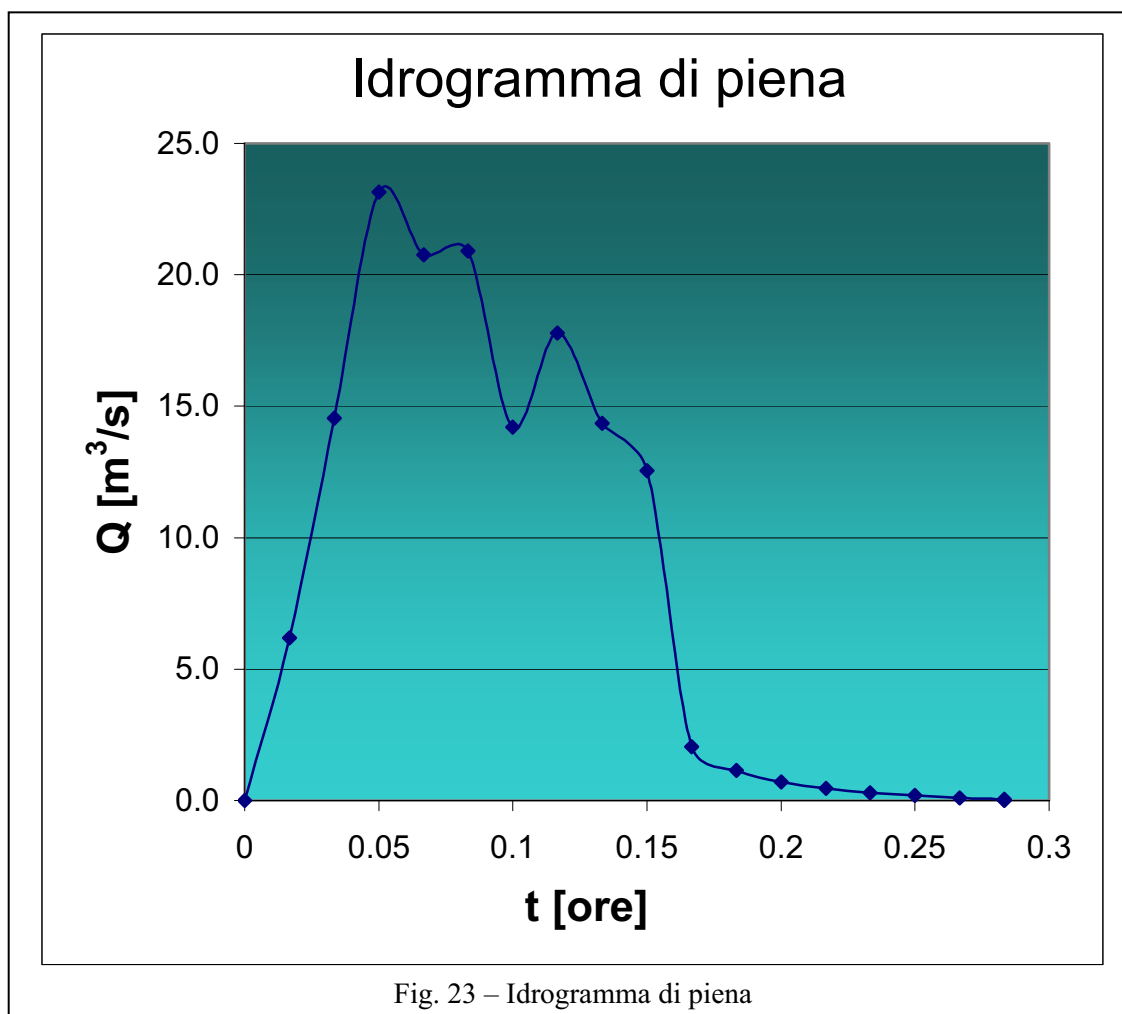
Il suo alveo è per tanto molto dissestato e in alcuni punti approfondito dall'azione delle acque, l'andamento planimetrico dell'asta ci rende conto di come l'andamento sia molto dissestato (Tav IV).

La carta geologica (Tav II) ci indica come il torrente in esame poggi su un complesso calcareo-argilloso la parte superiore comprende calcareniti grigie e grigio scure, in alternanza con marne verdastre, argille siltose e brecciole gradate ad elementi orientati. Il passaggio graduale al soprastante flysch aranceo è contraddistinto da qualche livello marnoso siltoso rosso o verde. La parte inferiore è composta da calcari, calcilutiti, bluastri o grigi, gradati, con liste di selce nera, con frequenti intercalazioni di argilliti fogliettate nerastre, quasi sempre con fossiliferi, calcari marnosi bluastri con fucoidi e argille più plastiche senza fossili. Complesso che dovrebbe avere una certa resistenza all'erosione. Terreno con moderata permeabilità.

Lo studio idrologico eseguito con il metodo della portata indice e il modello di regionalizzazione T.C.E.V. , per un tempo di ritorno pari a 100 anni denota una curva di possibilità pluviometrica : $h_{100,t} = 69,279t^{0,202}$ (Fig. 22), che grazie al metodo di corrivazione suggerito da Aureli per bacini agroforestali,



fornisce una massima portata al colmo di $23 \text{ m}^3/\text{s}$ ed il seguente idrogramma di piena (Fig. 23).



Dai calcoli idraulici sulle sezioni rilevate, non risulta che per tale corso d'acqua vi sia un possibile rischio idraulico.

Gli interventi previsti sono essenzialmente di rimboschimento, inerbimento, con l'ausilio di briglie di consolidamento, eseguite in legname e pietrame, nella parte alta dove l'erosione ha formato un canyon.

Il rimboschimento proposto per la parte più bassa è dato da una palizzata con talee di salice delle capre, ed un rimboschimento dato da una formazione di bosco misto:

Vengono messi a dimora le seguenti specie arboree:

- *Pino Calabro (Pinus Brutia).*
- *Pino d'Aleppo (Pinus Halepensis).*
- *Leccio (Quercus Ilex).*
- *Roverella (Quercus Pubescens).*

Vengono poi messi a dimora con gli alberi i seguenti arbusti:

- Lentisco (*Pistacius Lentiscus*).
- Corbezzolo (*Arbutus Unedo*).
- Ginepro.
- Mirto Comune (*Myrtus Communis*).
- Ginestra dei Carbonai (*Sarothamnus Scoparius*).

Con inerbimenti eseguiti con nutrienti e miscela di sementi esplicitata nella trattazione.

Nella parte alta del bacino, dove i danni sono minori, si è proposto un intervento con fascinate vive e talee, le fascine di Salice delle Capre (*Salix Caprea*) vengono infisse nel terreno con paletti di legno aventi diametro di 5 cm e lunghezza di 60 cm intervallate di 80 cm subito dopo la posa i fossi, larghi 50 cm, vengono riempiti con il terreno estratto dagli scavi immediatamente a monte, ogni 160 cm vengono piazzate delle piantine arbustive di ginestra dei carbonai (*Sarothamnus Scoparius*), le file sono distanziate fra loro di 2 m.

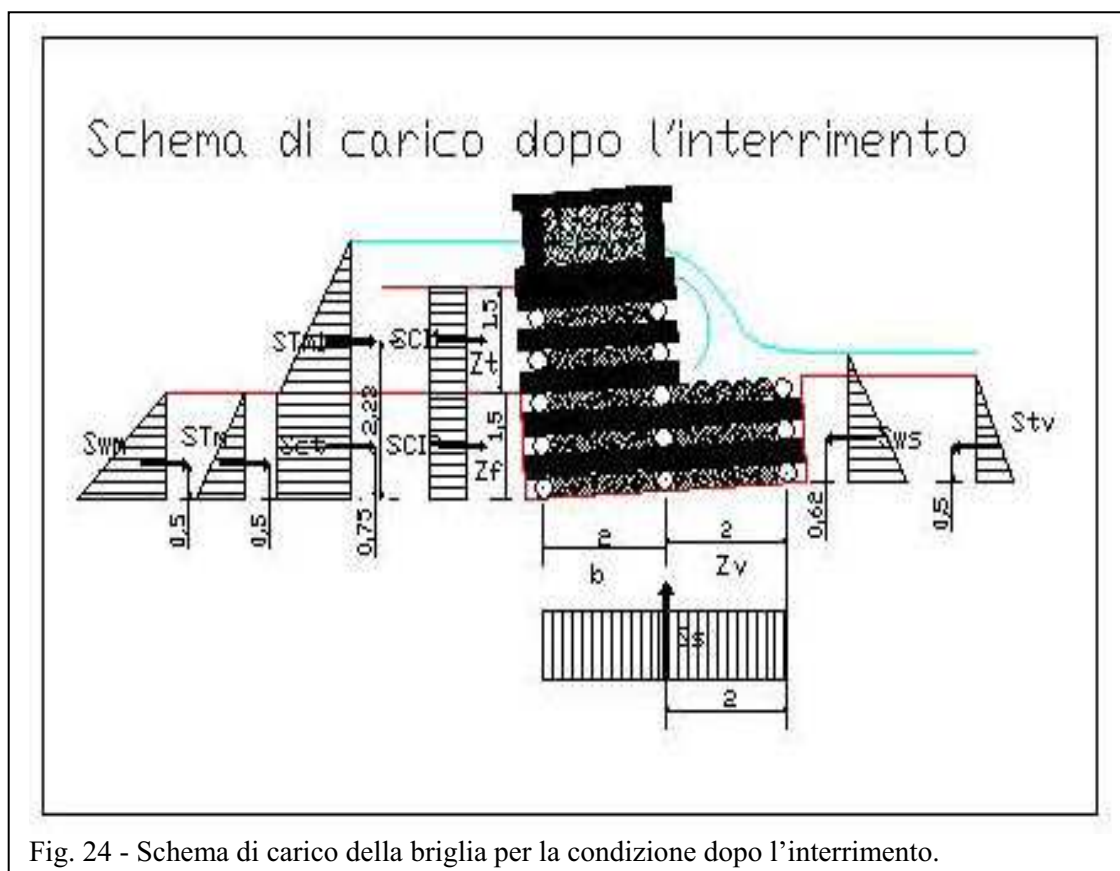


Fig. 24 - Schema di carico della briglia per la condizione dopo l'interrimento.

Nella gola, vengono poste in opera una serie di 8 briglie per modificare la pendenza del corso del 18%, rigorosamente eseguite in legname e pietrame, nella tipologia a coda di rondine di 1.5 m di sopraelevazione. (Fig. 24) di cui tutti i dati sono reperibili nel progetto.

L'ingegneria naturalistica risulta essere una valida alternativa alle tecniche classiche, per i problemi inerenti il dissesto e il degrado di corsi d'acqua e versanti, ma non va interpretata in contrapposizione alle tecniche classiche, al contrario deve essere vista come un avanzamento tecnologico e scientifico di quella branca dell'ingegneria che si occupa della difesa del suolo e del recupero dei siti.