

Università degli studi della Tuscia (Viterbo)

Facoltà di Agraria

Corso di Laurea in Scienze Forestali

Anno Accademico 2000-01

Sintesi dell'elaborato tecnico finale

Analisi di una opera tradizionale di difesa spondale: la Palificata reatina

Relatore

prof. ing. Federico Preti

Candidato

Giuseppe Puddu

1. Premessa

Scopo di questa tesina è di proporre una prima analisi di un'opera tradizionale di difesa spondale, realizzata storicamente lungo le sponde del fiume Velino e dei suoi affluenti, in tutta la zona della piana di Rieti.

L'analisi dell'opera si è svolta cercando di appurare sia la convenienza tecnica (scopo dell'opera/efficacia raggiunta), sia quella economica, confrontandola con altre tipologie d'opera di difesa spondale.

Inoltre, si è cercato di proporre alcuni miglioramenti rivisitando l'opera secondo i criteri costruttivi dettati dalle tecniche di Ingegneria Naturalistica con il fine di garantire sia una maggiore efficacia dell'opera stessa, sia un ridotto impatto ed un migliore inserimento nell'ambiente fluviale.

Questo lavoro si è svolto nell'ambito di una convenzione tra l'Università degli Studi della Tuscia, la Regione Lazio e la Cooperativa Naturstudio, per il monitoraggio dei Cantieri di Ingegneria naturalistica realizzati con i finanziamenti previsti dalla Legge regionale 471/98.

2. Introduzione

Le tecniche di Ingegneria Naturalistica si vanno ormai affermando anche in Italia come un'ulteriore possibilità operativa nella soluzione dei problemi legati al recupero, ripristino e gestione dell'instabilità di certi sistemi ambientali, ad esempio, come versanti franosi o sponde in erosione.

L'uomo, si trova spesso a dover fronteggiare eventi ambientali disastrosi sia per la propria incolumità, sia per la propria economia, causati dal superamento della condizione di equilibrio tra le forze interne al sistema ambientale che tentano di contrapporsi ai processi evolutivi e le forze esterne che agiscono invece per il superamento. Egli stesso è spesso causa prima dell'accelerazione di questi processi di disgregazione degli equilibri, soprattutto su quei sistemi ambientali già di per se fragili come gli ambienti fluviali o i versanti di pareti in pendenza, sempre pronti, per l'azione inclemente ed incostante di fattori climatici ad alterarsi a favore di nuovi stati di equilibri maggiormente metastatici.

I fenomeni erosivi non vanno però visti come apocalittiche catastrofi avulse dall'ambiente naturale, ma come parte integrante della vita del pianeta.

I modi per arginare i processi erosivi si muovono secondo due linee di approccio: sigillare quanto più possibile il fenomeno erosivo dentro una scatola, magari di cemento armato, oppure tentare di assecondare le azioni della parte biotica del sistema ambientale in crisi coadiuvandola, con interventi dolci che rallentino il degrado, nell'azione di contenimento del fenomeno erosivo.

Con le tecniche di Ingegneria Naturalistica, ci si muove, nei confronti dei problemi d'erosione, con un approccio maggiormente incentrato sull'ambiente e le sue caratteristiche peculiari da accentuare per una maggiore riuscita dell'intervento stesso.

2.1 Il fiume Velino

Il fiume Velino è situato nell'Italia centrale ed ha un bacino idrografico esteso per 2238 Km².

Nasce dalle montagne sopra Cittareale, paese in provincia di Rieti, uno degli ultimi del Nord del Lazio sulla Via Salaria, incuneato tra Abruzzo, Marche ed Umbria.

Nei suoi 90 km di lunghezza attraversa il Lazio e l'Umbria ed assieme al fiume Nera in cui si getta, è il maggior alimentatore di sinistra del fiume Tevere prima che questo incontri, alle porte di Roma, l'Aniene.

Nel tratto alto del suo corso, il fiume Velino scorre in una stretta valle ai piedi del massiccio calcareo del monte Terminillo (2216 m). Caratteristica saliente di questo tratto è la presenza di versanti molto ripidi che originano una serie di strette gole.

Nella sua discesa a valle, superato Antrodoto, il fiume si allarga in una serie di conche più larghe, presso una delle quali è situata la sorgente Peschiera, tra le più copiose dell'Appennino, con una portata media di 18 m³ al secondo, che per una parte alimenta direttamente l'acquedotto di Roma e per il rimanente si scarica nel fiume Velino contribuendo notevolmente alla sua portata.

Entrando nella piana che circonda Rieti, il Velino riceve le acque del Salto e del Turano, fiumi che raccolgono le acque di un'altra parte importante dei massicci calcarei del reatino. Da qui in poi, il fiume corre lungo la piana reatina, residuo di un antico bacino lacustre sottoposto a bonifica già dai tempi dei Romani.

Il Velino si getta nel Nera con la cascata delle Marmore con un salto di circa 160 metri, aperto dall'uomo. Si deve ai Romani nel 271 a. C. il primo scavo di un canale, detto Cavo Curiano, che ha creato l'attuale conformazione delle cascate. Dopo questo, sono stati diversi i tentativi di sistemazione dello sbocco sul Nera del Velino, in modo da ridurre quanto più possibile gli effetti disastrosi delle piene, soprattutto nella città di Rieti.

Soltanto quando si è incominciato a sfruttare i salti d'acqua per la produzione di energia elettrica alla fine dell'800, con l'incanalamento del Velino a monte della cascata delle Marmore dentro cunicoli sotterranei per rifornire le fabbriche

sottostanti oltre che di elettricità anche d'acqua e la creazione dei serbatoi con dighe sui fiumi Salto e sul Turano, il problema delle piene nella città di Rieti è stato risolto.

Il percorso del fiume Velino è caratterizzabile in tre tratti:

- dalle sorgenti fino al paese di Antrodoto, tratto in cui il fiume scorre spesso incassato in strette gole scomparendo, a volte, in profondi letti ghiaiosi. Qui il Velino presenta un regime con portate di magra anche molto basse (Tab. 1, Tab. 2);
- da Antrodoto in poi, dove acquista il regime tipico di un fiume con presenza costante di acqua, grazie all'apporto cospicuo di sorgenti carsiche;
- dall'ingresso nella piana reatina, dove riceve le acque degli affluenti Salto e Turano, diventando un grosso fiume con buona portata d'acqua, con alcuni tratti in cui si hanno correnti particolarmente veloci (Tab. 3).

Tab. 1: VELINO (Tevere) a Posta

Bacino Km² 95.2; Altit. Max 2213 m s.l.m.; Altit med 1098 m s.l.m.; distanza dalla confluenza col Nera 75 Km;

Elementi caratteristici	VALORI RIASSUNTIVI PER IL PERIODO 1928-1943 E 1950-1953												
	Anno	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Q max (m ³ /s)...	17.80	13.90	15.40	17.00	12.10	12.50	4.77	3.33	3.16	5.53	15.50	16.90	17.80
Q med (m³/s)...	1.57	1.80	2.30	2.46	2.14	1.99	1.28	0.88	0.67	0.78	1.01	1.57	1.96
Q min (m ³ /s)...	0.17	0.20	0.48	0.38	0.48	0.45	0.27	0.17	0.17	0.24	0.36	0.18	0.45
q (l/s · Km ²)...	16.50	18.90	24.10	25.80	22.50	20.90	13.40	9.20	7.00	8.20	10.60	16.50	20.60
Deflusso (mm)	519	51	60	69	59	56	34	25	19	21	29	42	54
Afflus meteo (mm)	1073	94	109	91	91	103	57	31	33	100	118	128	118
Perdite app (mm)	554	43	49	22	32	47	23	6	14	79	89	86	64

Nota: stazione soppressa nel 1954.

Tab. 2: VELINO (Tevere) ad Antrodoto

Bacino Km² 362.2; Altit. Max 2213 m s.l.m.; Altit med 1144 m s.l.m.; distanza dalla confluenza col Nera 59 Km.

Elementi caratteristici	VALORI RIASSUNTIVI PER IL PERIODO 1926-1934 E 1937-1940												
	Anno	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Q max (m ³ /s)...	43.70	34.30	22.50	31.00	25.20	15.90	12.50	6.90	5.02	9.49	12.50	41.60	43.70
Q med (m³/s)...	4.11	4.80	4.55	5.73	5.32	5.15	3.78	2.59	2.04	2.33	2.95	5.28	4.77
Q min (m ³ /s)...	0.30	1.35	1.10	1.10	1.74	1.76	1.54	0.40	0.30	0.85	1.03	1.38	1.00
q (l/s · Km ²)...	11.40	13.30	12.60	15.80	14.70	14.20	10.40	7.20	5.60	6.40	8.10	14.50	13.20
Deflusso (mm)	357	36	32	43	38	38	27	19	15	17	19	38	35
Afflus meteo (mm)	1176	93	88	108	102	124	66	38	35	96	144	158	124
Perdite app (mm)	819	57	56	65	64	86	39	19	20	79	125	120	89

Nota: stazione soppressa nel 1941.

Tab. 3: VELINO (Tevere) a Terria

Bacino Km² 2076; Serbatoi artif. (cap. utile 391 x 10⁶ m³) Altit. Max 2487 m s.l.m.; Altit med 970 m s.l.m.; distanza dalla confluenza col Nera 23 Km.

Elementi caratteristici	VALORI RIASSUNTIVI PER IL PERIODO 1926-1943 E 1946-1970												
	Anno	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Q max (m ³ /s)...	306.00	244.00	256.00	253.00	215.00	146.00	169.00	73.40	75.80	119	178.00	220	306.00
Q med (m³/s)...	48.10	57.00	61.00	60.50	51.70	47.80	40.70	35.80	35.00	36.90	39.60	51.50	60.
Q min (m ³ /s)...	3.00	9.37	15.10	7.84	7.37	3.00	5.68	8.54	7.63	8.21	9.40	8.22	6.75
q (l/s · Km ²)...	23.20	27.50	29.40	29.10	24.90	23.00	19.60	17.20	16.90	17.80	19.10	24.80	28.90
Deflusso (mm)	730	74	71	78	65	62	51	46	45	46	51	64	77
Afflus meteo (mm)	1182	105	110	95	99	107	69	41	42	85	127	158	144
Perdite app (mm)	452	31	39	17	34	45	18	-5	-3	39	76	94	67

Nota: le portate medie mensili ed i corrispondenti deflussi sono stati determinati apportando le correzioni dell'effetto dovuto all'esercizio dei serbatoi del Salto e del Turano e dell'acquedotto.

2.2 Il Bacino dell'alto Velino

L'orografia dell'alta valle del Velino è caratterizzata da una serie di alti rilievi, le cui cime raggiungono anche i 2000 metri di quota. Dal punto di vista geologico lungo questa valle si ha il contatto tra calcare ed arenarie, che caratterizza fortemente il paesaggio in molti casi assimilabile a vallate dolomitiche.

In particolare nell'area a Nord di Cittareale si ha una morfologia dolcemente degradanti verso valle. Nei dintorni del comune di Posta, il fiume si incassa in una stretta valle fortemente incisa tra il massiccio del monte Giano ed il complesso del monte Terminillo.

Gli interventi di Ingegneria Naturalistica oggetto di studio sono situati nel primo tratto in prossimità dell'abitato di Cittareale.

Nel primo tratto il fiume passa dai 1200 metri delle sorgenti ai 480 metri nel paese di Antrodoco. Prima di raggiungere l'abitato di Cittareale, il fiume attraversa una vallata pianeggiante, in cui assume un andamento sinuoso frutto del contatto tra due componenti geologiche diverse.

Le anse che il fiume forma in questa parte del suo cammino, per la loro giacitura pianeggiante sono spesso abitate e coltivate. In primavera quando, in corrispondenza dello scioglimento della neve sulle montagne, il Velino è alimentato anche da rigagnoli laterali che adducono le acque di scioglimento dai versanti innevati, il fiume è a maggior pericolo di esondazione soprattutto quando vi siano come aggravante della portata le piogge primaverili.

Osservando le tabelle 1 e 2, si nota che vi sono forti escursioni tra le portate minime medie e massime che segnalano, per questo tratto iniziale del Velino, un comportamento più simile ad un torrente, data anche la non rara assenza di acqua nella stagione estiva e una forte escursione tra la portata media annuale di 1.57 m³/s contro una portata di piena di 17.80 m³/s.

3. Il progetto proposto

Il progetto proposto individua per tutta la zona lungo il fiume Velino e compresa nei territori comunali di Cittareale, Posta ed Antrodoco, un problema base che spinge a proporre degli interventi di manutenzione idraulica: porre rimedio a possibili danni dovuti a portate di piena. In particolare i danni che possono essere provocati dalle portate di piena nella zona attorno al paese di Cittareale, sono di due ordini:

- I. esondazione ed allagamento di campi coltivati e delle case più vicine ai punti in cui gli argini sono stati scavalcati,
- II. erosione al piede di sponde non scavalcabili con alterazione della sezione del fiume per franamenti e creazione di nicchie di erosione.

Il primo problema si presenta in prossimità dell'abitato di Cittareale, il quale pur non essendo costruito sulle sponde del fiume, sta comunque in una zona appena a ridosso facilmente raggiungibile dall'acqua quando questa scavalca i bassi argini che tengono il fiume nel letto. Parziali allagamenti sono segnalati con una certa frequenza.

Il secondo problema si presenta a valle dell'abitato di Cittareale, laddove vi siano sponde già alte, ma che piene più o meno frequenti tendono ad erodere scalzandole al piede. In questo caso si ha oltre alla ostruzione della sezione la continua erosione di terreno agricolo.

3.1 Considerazioni al progetto proposto

Ai progettisti si presenta perciò uno stesso problema, la portata di piena, con due ripercussioni diverse sul territorio che richiedono un'analisi distinta per ciascuno e che portano a possibili differenti soluzioni. Per valutare meglio le riposte progettuali al problema posto si propone di seguito un'analisi schematica, valutando anche la risposta di altre possibili soluzioni, nel tentativo di appurare la convenienza tecnica dell'opera (scopo dell'opera/efficacia raggiunta).

- Esondazione nei pressi dell'abitato di Cittareale -

Problema	Possibili soluzioni	Risvolti ambientali	Azione / Efficacia
Allagamento dei campi abbastanza frequente ed allagamenti più rari di parte dell'abitato.	Nessun intervento.	I campi sono piccoli orti o prati pascoli che possono sopportare sommersioni quando non siano troppo ripetute e l'allagamento delle prime case non è così usuale.	Questa soluzione non è stata presa in considerazione.
	Innalzamento degli argini per asportazione di materiale dal fondo dell'alveo.	Gli argini in questa zona sono bassi ed è possibile estrarre dal alveo materiale per alzare il loro livello. Si provoca un certo danno ecologico ad un fiume in questa zona ancora molto naturale.	Azione: Questa soluzione è stata realizzata per buona parte del percorso ed ha portato ad argini più alti tra i 60 ed i 100 cm sul piano di campagna. Efficacia: Il materiale del fondo in parte ghiaioso non presenta coerenza adeguata per poter stare in luogo per lungo tempo.
	Costruzione di manufatti umani per innalzare artificialmente gli argini.	I manufatti possono essere costruiti con tecniche a basso impatto ambientale che rispettino la naturalità degli ambienti pur garantendo la messa in sicurezza del sito.	Azione: E' stato costruito un manufatto lungo una curva in erosione in modo da evitare scavalcamenti del basso argine ed allagamenti di campi. Efficacia: La tipologia d'opera scelta potrebbe non essere adeguata.

- Esondazione nei pressi dell'abitato di Cittareale -

Problema	Possibili soluzioni	Risvolti ambientali	Azioni intraprese
Erosione delle sponde e perdita di terreno agrario con possibili intasamenti della sezione.	Nessun intervento.	In questo caso si mette in conto la progressiva perdita di terreno. Gli intasamenti possono verificarsi per grossi crolli delle sponde modificando l'andamento del fiume.	Questa azione non è stata presa in considerazione.
	Costruzione di manufatti di difesa spondale.	I manufatti possono essere di diversi tipi, alcuni dei quali possono contribuire a ripristinare la naturalità dei luoghi.	Azione: E' stato costruito un manufatto in modo da contrastare l'erosione al piede da parte dell'acqua. Efficacia: L'erosione al piede è terminata.

➤ Per la risoluzione del primo problema, come illustrato dalle precedenti schematizzazioni, sono state adottate due soluzioni contemporaneamente, recuperando dal fondo del fiume materiali per l'innalzamento degli argini e costruendo dei manufatti nei punti ritenuti più importanti e meno difficilmente difendibili con il solo innalzamento degli argini.

Il recupero di materiali dal fondo del fiume ha comportato in realtà la distruzione del fondo che era in equilibrio con tutto il ciottolame di diametro superiore alla forza di trascinamento dell'acqua annullando di fatto per un certo tratto tutta l'ecologia del fiume. Inoltre proprio perché in parte formato da ciottoli, il riporto del fiume usato per innalzare gli argini non offre sicure prospettive di difesa da altre piene perché dotato di scarsa coerenza interna.

L'opera di difesa spondale utilizzata potrebbe essere aggirata e svuotata avendo nel retro poco sostegno dal materiale di riempimento, aggiunto perché l'argine cui è sta addossata era troppo basso. A ciò va aggiunto che l'opera sta proprio alla foce di un ruscello secondario che potrebbe favorire ancor più lo svuotamento dell'opera.

➤ Per la risoluzione del secondo problema, si è ricorsi alla costruzione di un manufatto in questo caso correttamente addossato alla parete che si stava erodendo. Nel costruire l'opera è stata allargata la sezione mentre si rimodellavano le sponde. Questo ha portato però ad un allontanamento del fiume dalla sponda ed alla creazione di una zona di deposito alla base del piede. Forse il solo rimodellamento ed allargamento della sezione avrebbe portato gli stessi vantaggi.

L'opera costruita in entrambi i casi è un'opera di difesa spondale tipica del reatino, detta palificata reatina.

4. Ruolo dell'Ingegneria Naturalistica e riscoperta delle opere tradizionali

“L'Ingegneria Naturalistica è una disciplina tecnico-scientifica che studia le modalità di utilizzo come materiali da costruzione, di piante viventi, di parti di

piante o addirittura di intere biocenosi vegetali, spesso in unione con materiali non viventi come pietrame, terra, legname, acciaio” (Schiechtl, 1987).

In funzione del problema da risolvere e dei miglioramenti ambientali da apportare ad ecosistemi più o meno naturali, le tecniche di ingegneria naturalistica utilizzano diversi materiali in combinazione tra loro dando una notevole importanza all’uso delle piante come elemento di consolidamento.

I materiali disponibili attualmente per le applicazioni di Ingegneria naturalistica possono essere suddivisi in:

➤ MATERIALI VEGETALI VIVI	1. Sementi 2. Semenzali e trapianti di specie arbustive o arboree 3. Talee di specie arbustive o arboree 4. Rizomi e radici 5. Piante erbacee
➤ MATERIALI ORGANICI INERTI	1. Legname 2. Reti di juta, fibra di cocco o di altri vegetali 3. Stuoie in fibra di paglia, di cocco e di altri vegetali 4. Paglia o fieno 5. Compost 6. Concimi organici
➤ MATERIALI DI SINTESI	1. Griglie, reti di materiale sintetico 2. Fertilizzanti chimici 2. Collanti chimici 4. Sostanze miglioratrici del terreno
➤ ALTRI MATERIALI	1. Pietrame 2. Ferro e acciaio

Assieme all’uso di molti materiali organici, l’Ingegneria Naturalistica ha riscoperto tecniche tradizionali di sistemazioni di versanti e sponde che già anticamente puntavano sull’uso più o meno combinato di materiale vegetale, legno e pietrame per ottenere un efficace consolidamento. In particolare l’uso del legname è sempre stato praticato nei secoli scorsi in quanto materiale povero, facilmente disponibile per le popolazioni locali (Valentini, 1930; Carbonari & Mezzanotte).

Dopo decenni di abbandono, le tecniche di costruzione in legname sono state rivalutate, in quanto rispondono a tutti i requisiti statici, funzionando egregiamente

nei lavori di bonifica dei versanti degradati e in tutte quelle situazioni in cui la costruzione di un'opera in cemento armato sarebbe difficile e costosa.

Molte delle tipologie costruttive realizzate nelle opere di risistemazione e recupero di versanti, sponde, cave ed aree degradate assieme a scarpate stradali e ferroviarie derivano quindi dall'osservazione e dallo studio di tecniche consolidate da secoli di uso, migliorate combinando l'uso di materiali inerti con materiale vegetale vivo.

Lo scopo è chiaramente quello di usufruire delle capacità biotecniche di molte piante nel conquistare e rinsaldare il terreno con il loro apparato radicale. L'inserimento di parti vive di piante prevede alcune volte un riadattamento parziale dell'opera magari con la sola trasformazione delle fasi costruttive in modo che contestualmente si possa inserire il materiale vegetale vivo.

5. Descrizione dell'opera

La palificata reatina è un'opera che rientra a pieno titolo nelle opere longitudinali di difesa spondale.

Particolare è il fatto che pur essendo stata adottata da lungo tempo come tipologia d'opera di sistemazione spondale, sul fiume Velino e sui suoi importanti affluenti Salto e Turano (compresi molti affluenti minori), manchino segnalazioni e notizie bibliografiche

5.1 Tipologia d'opera

Si tratta di un'opera a parete semplice costruita sulle sponde dei fiumi, avente come scopo principale (con tutta probabilità) quello di difenderle dall'erosione provocata dalla corrente.

La difesa delle sponde è ottenuta con la costruzione di una parete che è realizzata infiggendo nel terreno dei pali quanto più possibile accostati tra loro ed intasando tutti gli interstizi tra un palo e l'altro con pietrame di adeguata sezione posto retrostante alla palificata stessa. Il pietrame fungerà da grossolano filtro per la terra

delle sponde. Tutti i pali piantati sono poi legati tra loro con dei correnti longitudinali. Vi è poi la possibilità di inserire dei tiranti di legno, anche di diametro minore, che ancorino maggiormente l'opera al terreno.

5.1.1 Opere “antiche”

In diversi punti del fiume Velino e lungo il Salto ed il Turano è possibile osservare delle palificate più o meno sviluppati in lunghezza, residuo di sistemazioni spondali ben più lunghe.

Il legno con cui sono costruite è dall'aspetto una latifolia, quindi con molta probabilità castagno, legno facilmente reperibile in zona e di buona durata.

I diametri presenti sembrano essere almeno di 15 cm. I pali sono infissi a distanza ravvicinata l'uno dall'altro e collegati da un solo corrente longitudinale.

L'interasse sembra essere attorno ai 25-30 cm. Dietro la palificata così realizzata vi è della pezzatura di pietrame di varia dimensione, che forma un filtro al terreno retrostante. A detta di persone del luogo i pali erano conficcati nel terreno con pesanti mazze. Non è possibile accertare se vi siano tiranti inseriti nel terreno retrostante per migliorare la tenuta dell'opera a meno di non operare scavi.

Tale opera è ancor oggi osservabile sulla destra orografica del fiume Velino a valle del “ponte romano” dentro Rieti.

Dall'esame di tale palificata si può notare:

- non necessariamente si debbono usare grossi diametri, pur ammettendo un certo logorio del legname con il passare del tempo,
- un solo corrente può non essere sufficiente a ripartire, su tutti i tronchi collegati, la spinta del terreno retrostante tanto che, in alcuni punti, si notano “pance” più o meno accentuate,
- dal pelo libero dell'acqua mediamente la palificata sporge un po' più di un metro e supponendo che il palo sia infisso per almeno due metri nel suolo per garantire maggiore resistenza, circa un metro di legname è in perenne immersione,
- il pietrame posto dietro la palificata come filtro sembra svolgere la sua funzione poiché non si notano svuotamenti né cedimenti del terreno.

5.1.2 Opere attuali

In tempi recenti sono stati fatti diversi interventi sulle sponde del Velino e dei suoi affluenti utilizzando sempre tale tipologia d'opera.

Per la disponibilità di mezzi meccanici, oggi i pali vengono infissi nel terreno con la benna della pala meccanica premendo fino a rifiuto sull'estremità del palo. L'essenza legnosa è sempre il castagno che viene usato con diametri almeno di 20 cm e lunghezza di almeno 5 metri. Gli interassi sono maggiormente distanziati e sono attorno ai 40 cm. Questo comporta che la pezzatura del pietrame posto a tergo della palificata aumenti. Per aumentare la stabilità dell'opera ed evitare spancamenti sono sempre montati due correnti longitudinali con lato di almeno 15 cm.

Ortogonalmente ai pali infissi in terra ed a questi ancorato, ogni tanto vi è un tirante che ha la funzione di ancorare meglio l'opera al terreno retrostante. Questo tirante ha un diametro minimo di 15 cm ed una lunghezza attorno ai 4 metri.

Si costruisce così un'opera che ha delle ampie finestre sulla parte frontale, attraverso le quali si nota il pietrame posto a tergo.

Dall'esame di questa palificata si può notare:

- i diametri grossi danno maggiore solidità all'opera ma offrono maggiore resistenza ad essere collegati tra loro dai correnti,
- due correnti stabilizzano meglio l'insieme dei pali che danno maggiormente l'idea di una parete,
- finestre troppo ampie dovute ad interassi grandi, sembrano, "a vista", inficiare l'opera di difesa del suolo retrostante,
- per saturare le finestre più ampie occorre materiale di pezzatura maggiore che però lascia varchi maggiori tra una pietra e l'altra costringendo ad aumentare il volume di riempimento retrostante.



Fig. 1 palificata “antica”



Fig. 2 palificata “nuova”

5.2 Schema costruttivo

La costruzione dell'opera è descritta per come è stata osservata in cantiere.

Essa avviene per fasi successive:

- 1) infissione dei pali nel terreno con un mezzo meccanico che li spinga fino a rifiuto nel terreno, operazione che può essere preceduta da un piccolo scavo in quella che sarà la zona dietro l'opera per poter meglio lavorare;
- 2) vengono poi infissi i tiranti nel terreno retrostante, che serviranno ad ancorare meglio l'opera al terreno;
- 3) ogni tirante infisso nel terreno viene collegato, mediante barre filettate, al più vicino palo verticale,
- 4) vengono collegati i correnti longitudinali frontalmente all'opera sempre con barre filettate,
- 5) avviene il riempimento con il pietrame fino alla chiusura dell'opera.

5.2.1 Pro

- Semplicità costruttiva ed economicità

La palificata reatina ha come caratteristica saliente una certa semplicità costruttiva che gioca a suo favore nei casi in cui si possa usare come tipologia d'opera.

Si tratta infatti di una serie di pali di Castagno da infiggere in terra, operazione oggi fattibile in breve tempo e con poca fatica grazie all'ausilio dei mezzi meccanici. Basta infatti che una pala meccanica con il braccio "spinga" il palo fino a rifiuto. Un'operazione del genere anche nei terreni più difficili come gli alvei a fondo ghiaioso non richiede che pochi minuti. Questa operazione elimina totalmente il bisogno di una trivella. Anche l'infissione del tirante si fa con la pala meccanica.

Le unioni tra i diversi elementi vengono fatte con barre filettate strette con dadi che si rivelano più stabili anche se meno economiche rispetto alla chiodatura.

□ Idoneità al caso specifico

Il fiume Velino ha in molti tratti una corrente con un livello idrico che sommerge significativamente le sponde ed è capace di creare molto spesso nicchie di erosione sulle stesse. La risposta a questo problema sembra essere la costruzione di queste opere di difesa spondale che:

- impediscono che il fiume sbatta direttamente sul terreno delle sponde grazie al pietrame posto a tergo;
- svolgono una funzione di trattenimento del terreno opponendo un vincolo allo scivolamento del terreno;
- per le modalità di costruzione sembrerebbe che si possa costruire anche senza prosciugamenti cioè infiggendo i pali dall'alto della sponda con il mezzo meccanico.

□ Volumi e costi

Per valutare l'economicità dell'opera e quindi la sua convenienza ad essere costruita, è stato istituito un confronto con altre opere di consolidamento.

Per quello che riguarda il costo di realizzazione, si è potuto fare un confronto tra due opere previste, con funzione di consolidamento di sponde in erosione, nel progetto che si è esaminato: la palificata reatina e la palificata a parete doppia.

Inoltre è stato confrontato il costo previsto in capitolato, con altri prezzi su scala nazionale riportati dal manuale di Ingegneria Naturalistica della Regione Liguria che risulta essere attualmente il più aggiornato.

Opera	Altezza da terra (metri)	Volume legname	Prezzo opere da progetto	Prezzo medio nazionale
Palificata reatina	2.5	0.49	299.000	
<i>Palificata reatina *</i>	<i>1</i>	<i>0.23</i>	<i>(140.000)</i>	
Palificata doppia	1	0,25	211.000	209.000
Palificata semplice	1	0,16		134.000

* Questa tipologia è una costruzione fittizia per confrontare rispetto ad un'altezza costante di 1 metro le opere. I prezzi sono stati ridotti in base alla riduzione di volume che intercorre tra la palificata reatina vera e quella fittizia.

Si può notare che la palificata doppia in progetto ha un costo del tutto simile alla media dei prezzi nazionali mentre la palificata reatina vendo volume di legna praticamente doppio costo molto di più. Riportandola alla altezza di un metro per poterla confrontare come altezza di lavoro, la palificata reatina costa molto meno pur avendo quantità di legna simile e questo sembrerebbe esser dovuto al possibile minor impiego di mano d'opera.

Confrontata con la palificata semplice, la palificata reatina modificata ha costi simili, anche se impiega quasi il doppio del legno. Pesa anche qui, probabilmente, la mano d'opera che ha sempre un costo importante nelle opere di Ingegneria Naturalistica. La palificata semplice ha delle difficoltà realizzative che quella reatina non ha; infatti nella palificata a parete semplice, per garantire un ancoraggio alla parete, vengono infissi 3 pali nella sponda per metro lineare, mentre nella palificata reatina 2 pali per metro lineare e mentre la palificata a parete semplice ha il primo un corrente su cui si costruisce tutta l'opera, poggiato a terra, la palificata reatina ha 3 pali verticali infissi in terra. Da questo primo confronto sembrerebbe che la palificata reatina "bassa" sia più solida e a parità di efficacia meno costosa.

5.2.2 Contro

- Necessita di infissione in profondità

Il funzionamento dell'opera, per quanto visto in precedenza serve a due scopi, quello di evitare l'impatto diretto della corrente sulle sponde e quello di trattenere la terra delle sponde. Per il primo scopo l'opera funziona bene e non ha particolari problemi statici, mentre per rispondere al secondo scopo deve essere un'opera che "si tiene su se stessa". Perché questo accada, tutti i pali verticali devono essere infissi per almeno metà della loro lunghezza in modo da opporre, mediante il vincolo dell'incastro, opportuna resistenza alla spinta del terreno. Si è in presenza di un'opera leggera in cui non è il peso proprio dell'opera che evita il ribaltamento, ma è l'opposizione di una forza contraria, costituita dal vincolo opposto dal

terreno. Quando il terreno non sia in grado di fornire una reazione adeguata alla spinta delle terre, allora quest'opera non potrà essere costruita, perché instabile. Dato che il punto più importante è il piede dell'opera, fulcro attorno al quale l'opera potrebbe ruotare o cedere se non opponesse abbastanza resistenza alla spinta delle terre, questo deve essere difeso. Ciò vale maggiormente per quei fiumi che possono avere tra la portata media e quella di magra delle differenze che possono, con un sifonamento dovuto al rapido scendere del livello dell'acqua, accentuare l'erosione al piede che già naturalmente provocato dallo scorrere dell'acqua.

□ Difficoltà di infissione

Quando ci si trovi in particolari alvei con fondo ghiaioso anche in profondità, anche usufruendo dei mezzi meccanici ci possono essere difficoltà di infissione, in particolare nella profondità raggiunta, che come si è visto deve essere almeno la metà della lunghezza complessiva del palo. In questi casi potrebbe non essere l'opera migliore da costruire.

□ Aggiramento dell'opera

Poiché l'opera si presenta come una parete semplice, il suo funzionamento è solo per azioni che avvengono nella parte frontale. Nella parte retrostante, essa dovrà essere addossata ad una parete, previa realizzazione del filtro in pietrame per l'intasamento delle finestre frontali. Quando le opere vengono aggirate, perdono di significato ed in questo caso, dato che si tratta di un'opera con una sola parete, potrebbe essere più facile aggirarla.

L'aggiramento può portare allo svuotamento dell'opera, cioè alla distruzione del filtro in pietrame ed all'allontanamento della terra, soprattutto quando questa sia stata addossata come terra di riporto e non sia invece una sponda da consolidare.

La palificata serve per sponde abbastanza alte, altrimenti altre tipologie d'opera svolgono la stessa funzione. La palificata reatina va ben ancorata in testa per evitare che l'acqua si inizi ad infiltrare nella parte posteriore, iniziando l'opera di

svuotamento e nelle confluenze di fiumi non può essere costruita solo su una sponda, ma deve risalire lungo la confluenza, perché eventuali esondazioni da dietro potrebbero aumentare la spinta e ribaltarla.



Fig. 3 particolare costruttivo



Fig. 4 trapano e chiodo

6. Altre considerazioni costruttive

□ Rinverdimento dell'opera

Tutti i materiale che vengono usati per costruire dei manufatti umani hanno una vita d'esercizio, in cui mantengono le loro caratteristiche originali, più o meno lunga. Tra questi anche il legno non fa eccezione, ma secondo i criteri progettuali dell'Ingegneria Naturalistica, esso può essere sostituito nel corso del tempo dalla vegetazione inserita nell'opera stessa per aumentarne il potere consolidante che poi andrà a sostituire le parti morte dell'opera nella funzione di sostegno quando questo sarà, nel corso del tempo, consumato.

Nella palificata reatina l'inserimento di talee di salice, tra il pietrame posto a tergo dell'opera, porterebbe un notevole aumento della funzionalità dell'opera stessa, sia nel limitare la velocità nei pressi dell'opera, quindi diminuendo il potenziale

erosivo delle corrente, sia fissando, con l'apparato radicale sviluppatosi dalle radici, la terra delle sponde completando così l'opera del pietrame posto a filtro dietro l'opera.

Nel caso di rinverdimento tramite talee, il riempimento andrà fatto gradualmente, avendo cura, strato per strato dopo aver sistemato alla meglio il pietrame, di inserire delle talee di buon diametro (3-8 cm), conficcandole con la punta nella sponda retrostante o provvedendo subito a coprirle di terra, per ridurre lo stress dovuto alla crisi di trapianto.

□ Chiodatura

Nelle attuali costruzioni di palificate reatine, per il collegamento sia dei correnti longitudinali, sia nel collegamento dei tiranti vengono usate barre filettate strette con dadi.

Per quanto il collegamento nell'unione palo verticale-tirante possa essere fatto anche con chiodi in tondino di ferro ad aderenza migliorata (diametro minimo 10 mm), il risparmio di tempo che ne viene è minimo.

Al contrario, il collegamento correnti longitudinali-pali verticali eseguito con chiodi in tondino di ferro ad aderenza migliorata potrebbe portare un certo miglioramento nei tempi di realizzazione dato l'alto numero di collegamenti da eseguire. Altro tipo di collegamento potrebbe essere con chiodi a sezione quadrata forgiati a mano, usati tradizionalmente nei lavori in Castagno, da piantare sempre, come anche negli altri casi, previa foratura con trapano per non spaccare il legname. Nel caso di chiodi forgiati o chiodi in tondino di ferro ad aderenza migliorata, occorre però valutare se i correnti hanno una funzione statica rilevante nell'opera oppure minima.

Nel primo caso, la barra filettata darà maggiori garanzie, mentre nel secondo le altre legatura svolgono lo stesso ruolo. Per questo però occorrerà verificare in campo con le sperimentazioni fatte in altre opere sempre nei fiumi della piana reatina.

□ Correnti longitudinali

Anche la posizione del corrente longitudinale, che sia nelle “opere antiche” sia in quelle attuali è posto anteriormente, potrebbe avere una certa importanza nell’efficacia generale dell’opera e della sua durata. Il passaggio nella parte posteriore dell’opera, coperto dal pietrame, infatti, potrebbe assicurare una tenuta maggiore e meno rischi di rottura. La sostituzione di alcuni correnti longitudinali nelle “opere antiche” con tubi ferrosi tipo “Innocenti”, potrebbe segnalare che vi siano state rotture e sostituzioni successive di questo elemento.

Per velocizzare la costruzione e non sottoporre i pali verticali già infissi in terra ad altri sforzi, i correnti longitudinali potrebbero essere collegati ai pali verticali prima che questi vengano fissati a tiranti, invertendo le fasi 3 e 4 illustrate nel Paragrafo 5.2.

□ Protezione al piede

Se tale tipologia d’opera è costruita su fiumi con escursione del livello dell’acqua tale da scoprire il piede, maggiori saranno i possibili scalzamenti e maggiore sarà la necessità di difesa con massi di adeguate dimensioni posti al piede dell’opera. Oltre che tra loro tali massi andranno anche fissati all’opera in modo che si spostino.

Le opere “antiche” osservabili dal Ponte romano dentro Rieti, non hanno nessun tipo di protezione al piede.

□ Picchetto aggiuntivo

Un piccolo miglioramento in termini di dispendio di energia per la costruzione, ma di grossa efficacia per la tenuta dell’opera, sarebbe inserire un picchetto ortogonale, anch’esso in legno, lungo anche non più di un metro, nella parte finale del tirante, in modo da fornire un ancoraggio sicuro che impedisca lo sfilamento del tirante dal terreno. In questa maniera, anche dopo forti piene, nella fase di

discesa dell'acqua l'opera manterrebbe la sua stabilità, senza dover ricorrere ad opere dotate di peso proprio.

7. Considerazioni conclusive

Una prima considerazione che si può trarre dopo l'analisi qualitativa sulla palificata reatina fatta nei paragrafi precedenti, è che essa funziona, cioè limita notevolmente i danni alle sponde dovuti alle correnti veloci ed ai mulinelli.

I dubbi che si possono avere sulla sua stabilità statica non possono riguardare le “opere antiche” che stanno in sito da lungo tempo.

Diverso può essere il discorso per le opere costruite di recente, poiché non sempre i luoghi in cui tali opere sono state edificate sembra essere idoneo. Per stabilire la loro reale funzione sul fiume occorrerà proseguire nel monitoraggio già intrapreso con la convenzione tra l'Università degli Studi della Tuscia, la Regione Lazio e la Cooperativa Naturstudio.

Tale azione di monitoraggio permetterà di capire se l'opera serve solo per evitare l'erosione ed allora potrebbero non servire dei calcoli di dimensionamento, ma solo l'aggiunta di particolari realizzativi, come il rinverdimento o il picchetto posteriore, suggeriti nei paragrafi precedenti, oppure avendo anche un'importante funzione di sostegno delle sponde, vadano cercati opportuni criteri di dimensionamento della stessa.

Confrontando i costi di realizzazione delle opere così come previsto dai progettisti con altri per altre regioni si è visto che mentre per la palificata doppia i prezzi ipotizzati sono nella media, mentre per la variante palificata a parete semplice, simile come azione di consolidamento sulle sponde alla palificata reatina, sono risultati più bassi per la palificata a parete semplice, che però ha un'altezza d'opera che si aggira attorno al metro.

La palificata reatina potrebbe essere, soprattutto per fiumi con acqua in permanenza una buona soluzione di consolidamento.

8. Bibliografia

- Carbonari A., Mezzanotte M.. Tecniche naturalistiche nella sistemazione del territorio. Provincia Autonoma di Trento, Servizio Ripristino e Valorizzazione Ambientale.
- Regione Lazio. Interventi di manutenzione idraulica del Fiume Velino nei Comuni di Antrodoto, Posta e Cittareale. Relazione Tecnica. Assessorato Opere e Reti di Servizi e Mobilità, Settore decentrato di Rieti, Ufficio 3° - Risorse idriche.
- Regione Liguria. Opere e tecniche di ingegneria naturalistica e recupero ambientale. Assessorato Edilizia, Energia e Difesa del Suolo.
- Regione Toscana. Principi e linee guida per l'ingegneria naturalistica. Vol. 1. Processi territoriali e criteri metodologici. Giunta Regionale. Collana Fiumi e Territorio.
- Regione Emilia Romagna, Regione Veneto. Manuale tecnico di ingegneria naturalistica. Assessorato all'Ambiente (Emilia Romagna), Assessorato Agricoltura e Foreste (Veneto).
- Ministero dei Lavori Pubblici. Dati caratteristici dei corsi d'acqua italiani. Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale.
- Schiechl H.M., 1987. La bioingegneria: una tecnica per il recupero ambientale. *Acer*, 2:11-13.
- Valentini C., 1930. Sistemazione dei torrenti e dei bacini montani. Hoepli, Milano.