



Università degli studi della Tuscia

FACOLTA' DI AGRARIA

via S. Camillo de Lellis , Viterbo

ELABORATO FINALE

CORSO DI LAUREA IN

SCIENZE DELLA PIANIFICAZIONE RURALE ED AMBIENTALE

Interventi di Ingegneria Naturalistica per la tutela della biodiversità in ambito fluviale

RELATORE:

Prof. Ing. Dott. Grimaldi Salvatore

CORRELATORE:

Ing. Dott. Nat. Paolo Cornellini

Ing. Dott. Andrea Petroselli

Dott. Lino Ruggieri

LAUREANDO:

Filippo Vicarelli

INDICE

PREMESSA	7
INTRODUZIONE.....	9
CAPITOLO 1 : L'INGEGNERIA NATURALISTICA.....	12
1.1. COS'È L'INGEGNERIA NATURALISTICA (IN).....	12
1.2. LE RELAZIONI FRA LE TECNICHE D'IN E LE SISTEMAZIONI IDRAULICO-FORESTALI.....	19
1.3. ANALISI STORICA DELLO SVILUPPO DELL'IN IN ITALIA.....	23
1.4. LE TIPOLOGIE D'OPERA E GLI AMBITI APPLICATIVI.....	32
1.4.1. <i>I versanti</i>	32
1.4.2. <i>Le opere di versante</i>	36
1.4.2.1. <i>Inerbimenti</i>	36
1.4.2.1.1. La semina a spaglio.....	37
1.4.2.1.2. L'idrosemina (metodo BIANCO-VERDE).....	37
1.4.2.1.3. L'idrosemina con coltre protettiva di paglia e bitume (metodo NERO-VERDE o sistema SCHIECHTELN®).....	38
1.4.2.1.4. La semina con coltre protettiva di paglia (mulch).....	39
1.4.2.1.5. I tappeti erbosi.....	40
1.4.2.2. <i>Sistemi meccanici antierosivi</i>	41
1.4.2.2.1. Le reti.....	42
1.4.2.2.2. I feltri e le stuoie.....	43
1.4.2.3. <i>Opere intensive</i>	44
1.4.2.3.1. Le cordonate.....	44
1.4.2.3.2. Le gradonate.....	45
1.4.2.3.3. Le fascinate vive.....	47
1.4.2.3.4. Le fascinate drenanti.....	48
1.4.2.3.5. Le viminate.....	49
1.4.2.3.6. Le graticciate.....	52
1.4.2.3.7. Le palizzate.....	53
1.4.2.3.8. Le palificate vive in legname ad una parete.....	54
1.4.2.3.9. Le palificate vive in legname a parete doppia.....	56
1.4.2.3.10. Le grate vive (in legname con talee).....	59
1.4.2.3.11. Le terre armate (rinforzate).....	62
1.4.3. <i>I fiumi e i torrenti</i>	66
1.4.4. <i>Le opere di sistemazione idraulica</i>	69
1.4.4.1. <i>Opere in pietrame</i>	69
1.4.4.1.1. Le gabbionate e i materassi.....	69
1.4.4.1.2. Le scogliere.....	71
1.4.4.1.3. I pennelli.....	73
1.4.4.2. <i>Opere in legname e miste</i>	74
1.4.4.2.1. Le briglie in legname o legname e pietrame.....	75
1.4.4.2.2. Palificate vive in legname a parete doppia.....	77
1.4.4.3. <i>Opere di copertura diffusa</i>	78
1.4.5. <i>Le cave e le discariche</i>	79
1.4.6. <i>Le opere di rinaturalizzazione di cave e discariche</i>	80
CAPITOLO 2 : L'INGEGNERIA NATURALISTICA NEL LAZIO.....	83
2.1. CARATTERISTICHE PECULIARI DEL TERRITORIO REGIONALE.....	83
2.2. I MATERIALI DISPONIBILI.....	89
2.3. ALCUNI PRECEDENTI NEL LAZIO.....	92
2.4. LA NORMATIVA REGIONALE.....	94
CAPITOLO 3 : IL MONITORAGGIO DELLE OPERE.....	106
3.1. LO SCOPO DEL MONITORAGGIO.....	106
3.2. IL MONITORAGGIO COME INSIEME DI CRITERI DI VALUTAZIONE.....	107
3.3. I CRITERI APPLICABILI ALLE VARIE TIPOLOGIE DI CANTIERE.....	118

CAPITOLO 4 : I CASI DI STUDIO.....128

4.1. I CRITERI DI SCELTA DEI CASI DI STUDIO.....	128
4.2. LE AREE DI STUDIO.....	134
4.2.1. <i>Rio Fontanelle</i>	135
4.2.1.1. Caratteristiche generali.....	135
4.2.1.2. Analisi delle precedenti sistemazioni idrauliche.....	136
4.2.1.3. Lo stato e i rischi della situazione ante-operam.....	138
4.2.1.3.1. Caratteristiche idrauliche.....	138
4.2.1.3.2. Caratteristiche socio-ambientali.....	139
4.2.1.3.3. I problemi ricorrenti e i rischi potenziali.....	139
4.2.1.4. L'esecuzione degli interventi (lo stato in-opera).....	140
4.2.1.5. Il risultato finale (lo stato post-operam).....	144
4.2.2. <i>Rio Inferno</i>	145
4.2.2.1. Caratteristiche generali.....	145
4.2.2.2. Analisi delle precedenti sistemazioni idrauliche.....	145
4.2.2.3. Lo stato e i rischi della situazione ante-operam.....	148
4.2.2.3.1. Caratteristiche idrauliche.....	148
4.2.2.3.2. Caratteristiche socio-ambientali.....	149
4.2.2.3.3. I problemi ricorrenti e i rischi potenziali.....	150
4.2.2.4. L'esecuzione degli interventi (lo stato in-opera).....	151
4.2.2.5. Il risultato finale (lo stato post-operam).....	154
4.2.3. <i>Rio Mandrinello</i>	154
4.2.3.1. Caratteristiche generali.....	154
4.2.3.2. Analisi delle precedenti sistemazioni idrauliche.....	155
4.2.3.3. Lo stato e i rischi della situazione ante-operam.....	156
4.2.3.3.1. Caratteristiche idrauliche.....	156
4.2.3.3.2. Caratteristiche socio-ambientali.....	157
4.2.3.3.3. I problemi ricorrenti e i rischi potenziali.....	157
4.2.3.4. L'esecuzione degli interventi (lo stato in-opera).....	158
4.2.3.5. Il risultato finale.....	159
4.2.4. <i>Rio Saetta</i>	161
4.2.4.1. Caratteristiche generali.....	161
4.2.4.2. Analisi delle precedenti sistemazioni idrauliche.....	161
4.2.4.3. Lo stato e i rischi della situazione ante-operam.....	163
4.2.4.3.1. Caratteristiche idrauliche.....	163
4.2.4.3.2. Caratteristiche socio-ambientali.....	164
4.2.4.3.3. I problemi ricorrenti e i rischi potenziali.....	165
4.2.4.4. L'esecuzione degli interventi (lo stato in-opera).....	166
4.2.4.5. Il risultato finale (lo stato post-operam).....	171
4.2.5. <i>Rio Valleluce</i>	174
4.2.5.1. Caratteristiche generali.....	174
4.2.5.2. Analisi delle precedenti sistemazioni idrauliche.....	175
4.2.5.3. Lo stato e i rischi della situazione ante-operam.....	176
4.2.5.3.1. Caratteristiche idrauliche.....	176
4.2.5.3.2. Caratteristiche socio-ambientali.....	177
4.2.5.3.3. I problemi ricorrenti e i rischi potenziali.....	177
4.2.5.4. L'esecuzione degli interventi (lo stato in-opera).....	179
4.2.5.5. Il risultato finale (lo stato post-operam).....	182

CAPITOLO 5 ANALISI DEI PROGETTI.....184

5.1. INTRODUZIONE.....	184
5.2. I PROGETTI PRELIMINARI.....	185
5.2.1. <i>Rio Inferno</i>	185
5.2.2. <i>Rio Saetta</i>	186
5.2.3. <i>Rio Valleluce</i>	187
5.3. I PROGETTI ESECUTIVI.....	190
5.3.1. <i>Rio Fontanelle</i>	193

5.3.2. <i>Rio Mandrinello</i>	200
5.3.3. <i>Rio Inferno</i>	205
5.3.4. <i>Rio Saetta</i>	207
5.3.5. <i>Rio Valleluce</i>	209
5.4. APPROFONDIMENTO DELL'ANALISI DEL PROGETTO DI UN CASO DI STUDIO.....	212
CAPITOLO 6 : CONCLUSIONI	222
6.1. L'APPLICABILITÀ DELLE TECNICHE DI IN NEL LAZIO SULLA BASE DEI RISULTATI.....	222
6.2. LE DIFFICOLTÀ DI PROGETTAZIONE E DI CANTIERE.....	227
BIBLIOGRAFIA	232

Riassunto

Questa tesi rientra nell'ambito dell'Accordo di Programma Quadro, *Progetto: intervento n°9 - Valorizzazione Ambientale Fiume Aterno* - relativo ad un studio del suddetto fiume, ricadente nella regione Abruzzo.

Il presente lavoro utilizza tecniche di Ingegneria Naturalistica per intervenire nella tutela e nel mantenimento degli habitat dell'ambiente fluviale. In coerenza con l'innovativo approccio multidisciplinare, dato dal concetto di Riqualificazione Fluviale, questo lavoro ha come obiettivo la caratterizzazione sia ecologica che idrologica-idraulica del fiume oggetto di studio, per valutare la più idonea modalità d'intervento a tutela della biodiversità ittica, in questo specifico caso di studio zone di rifugio per pesci.

Gli esiti delle analisi condotte hanno consentito di elaborare un'ipotesi progettuale di zone di rifugio a tutela dell'ittiofauna coerentemente dimensionate.

Parole chiave: Riqualificazione fluviale, Ingegneria naturalistica, Ecologia, Analisi idrologica, Tutela ittiofauna.



Interventi di Ingegneria Naturalistica per la tutela della biodiversità in ambito fluviale

Relatore: Prof. Ing. Salvatore Grimaldi

Correlatori: Ing. Dott. Nat. Paolo Cornellini
Dott. Ing. Andrea Petroselli
Dott. Lino Ruggieri

Laureando: Filippo Vicarelli

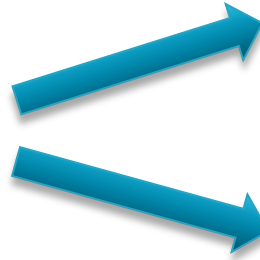
Obiettivi dell'elaborato finale:

- ▶ Utilizzare tecniche di **Ingegneria Naturalistica** per intervenire nella tutela e nel mantenimento degli habitat dell'ambiente fluviale relativo al fiume Aterno, nella regione Abruzzo.
- ▶ Applicare approccio *multidisciplinare* derivato dall'innovativo concetto di **Riqualificazione Fluviale**.
- ▶ Attuare una caratterizzazione **ecologico-idrologica** del fiume Aterno per valutare la più idonea modalità d'intervento a tutela della biodiversità ittica, con la progettazione di opportune zone di rifugio per pesci.

Riqualificazione fluviale



Approccio multidisciplinare



Ecologico-Biologico

Idrologico-Idraulico

Caratterizzazione Ecologico-biologica

► **Indice di Funzionalità fluviale**

Permette di disporre di uno strumento conoscitivo sugli ecosistemi acquatici, per individuare tratti degradati in cui attuare interventi di recupero.

► **Analisi ittiologica**

E' funzionale al censimento delle specie ittiche ed evidenzia la diversa distribuzione della fauna ittica nei diversi tratti del fiume.

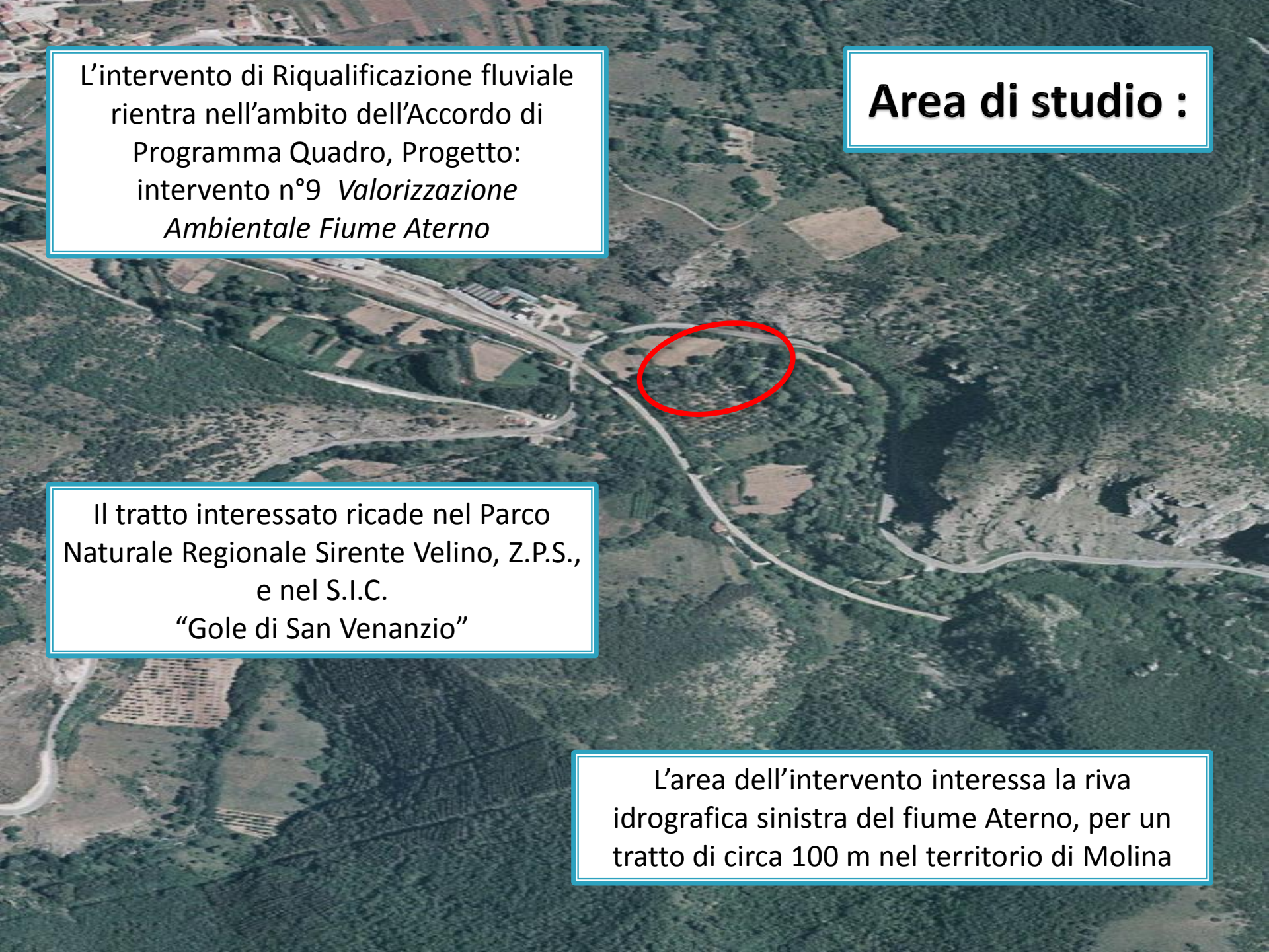
Caratterizzazione Idrologico-idraulica

► **Analisi Idrologica**

E' finalizzata alla valutazione delle portate di piena di assegnata probabilità di accadimento.

► **Analisi Idraulica**

Derivazione del tirante idrico funzionale al dimensionamento dei massi delle zone di rifugio per pesci.



L'intervento di Riqualificazione fluviale rientra nell'ambito dell'Accordo di Programma Quadro, Progetto: intervento n°9 *Valorizzazione Ambientale Fiume Aterno*

Area di studio :

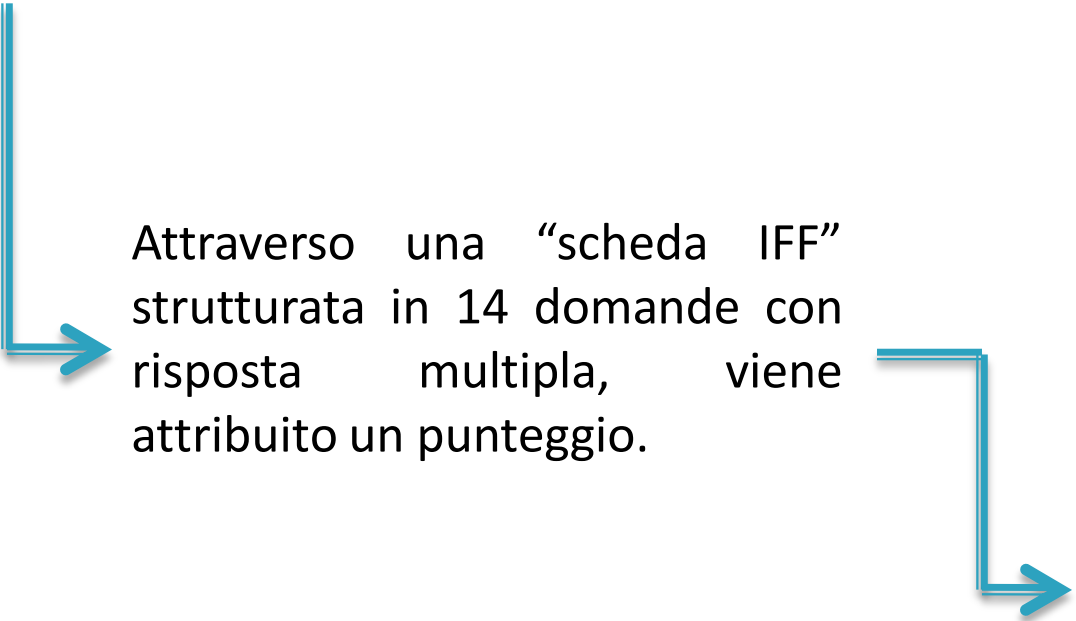
Il tratto interessato ricade nel Parco Naturale Regionale Sirente Velino, Z.P.S., e nel S.I.C.
“Gole di San Venanzio”

L'area dell'intervento interessa la riva idrografica sinistra del fiume Aterno, per un tratto di circa 100 m nel territorio di Molina

Approccio Ecologico - Biologico

Indice di Funzionalità Fluviale (IFF)

L'obiettivo principale dell'indice consiste nel rilievo dello stato complessivo dell'ambiente fluviale e nella valutazione della sua funzionalità.



Attraverso una “scheda IFF” strutturata in 14 domande con risposta multipla, viene attribuito un punteggio.

Una tabella di riferimento viene utilizzata per differenziare i punteggi in classi o livelli di funzionalità che vanno da I a V.

Valore di IFF	Livello di Funzionalità	Giudizio di Funzionalità	Colore
261-300	I	Ottimo	BLU
251-260	I-II	Ottimo - Buono	
201-250	II	Buono	VERDE
181-200	II-III	Buono - Mediocre	
121-180	III	Mediocre	GIALLO
101-120	III-IV	Mediocre - Scadente	
61-100	IV	Scadente	ARANCIO
51-60	IV-V	Scadente - Pessimo	
14-50	V	Pessimo	ROSSO

Approccio Ecologico - Biologico

Analisi Ittiologica

➤ Il tratto fluviale in oggetto è stato suddiviso in tre segmenti di circa 150 m ciascuno.



➤ Il campionamento della fauna ittica è avvenuto tramite uno storditore elettrico, attraverso cui il pesce riceve un certo gradiente di voltaggio che lo costringe a nuotare verso il guadino di cattura.

➤ L'indagine ha consentito la definizione dell'elenco delle specie catturate mediante pesca elettrica.

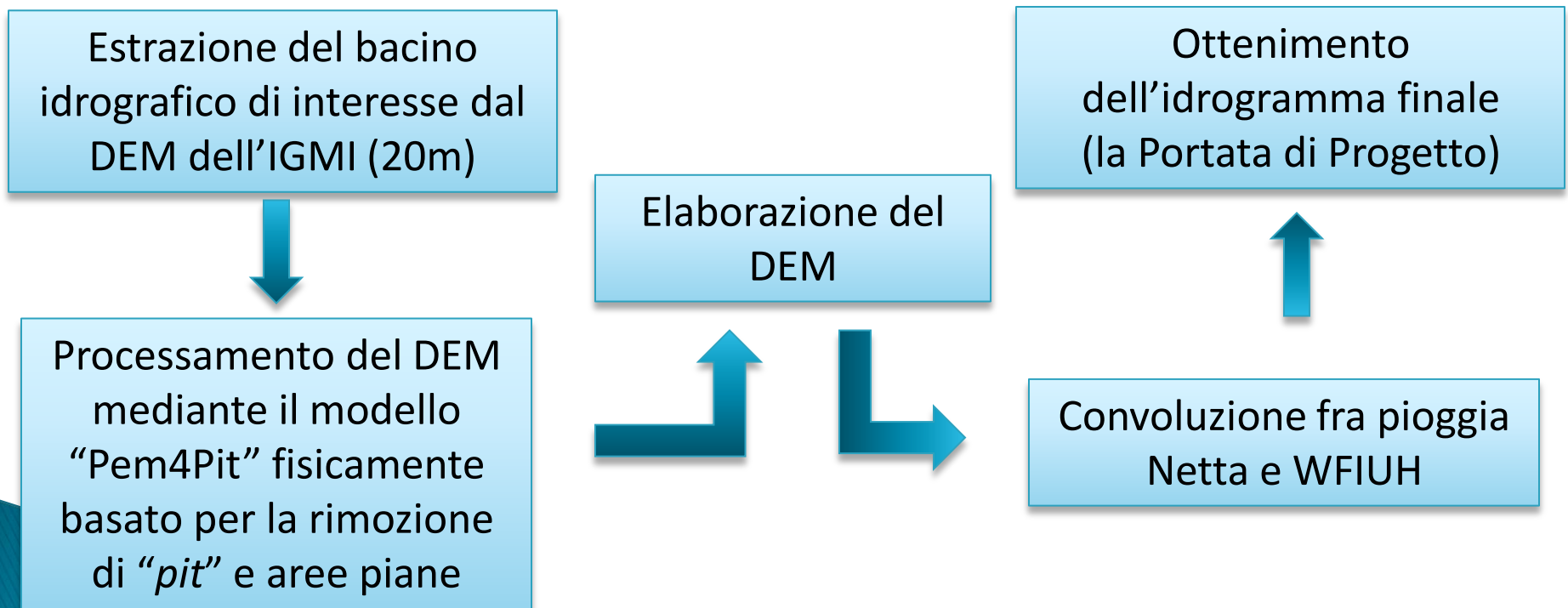
➤ L'indagine è stata di tipo conservativo in quanto gli esemplari catturati, dopo essere stati classificati, sono stati di nuovo immessi nel corso d'acqua nel medesimo punto di prelievo

Approccio Idrologico - Idraulico

Analisi Idrologica

Finalizzata alla valutazione delle portate di piena con assegnata probabilità di accadimento.

L'analisi condotta si può riassumere in 5 fasi:



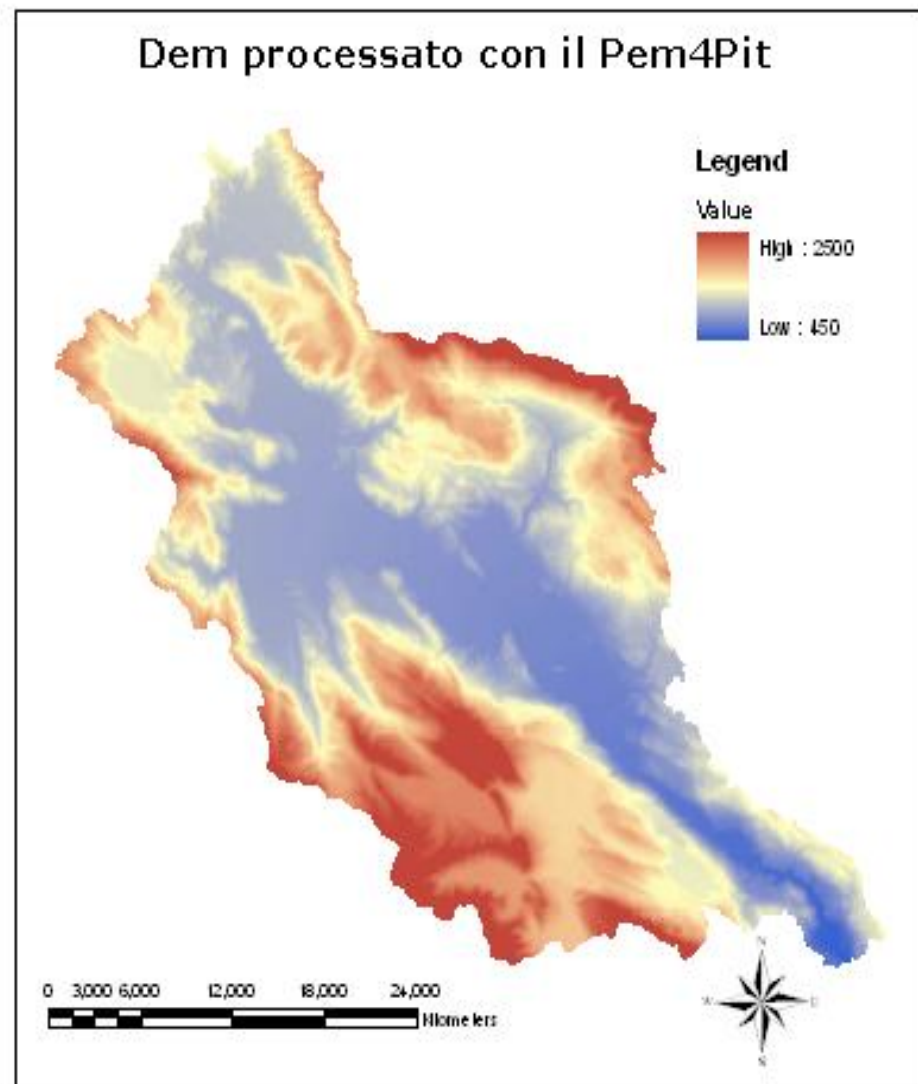
Estrazione del Bacino idrografico

Il programma informatico utilizzato per visualizzare ed estrarre il DEM è stato *ArcGIS 9.2* (ESRI).

Processamento DEM

Con l'utilizzo della routine "***pem4pit***", sono stati rimossi gli errori dovuti alle approssimazioni (*pit*) in fase di acquisizione, elaborazione e ricampionamento del DEM; Ottenendo così un DEM ripulito da errori:

Quota max = 2500 m s.l.m.
Quota min = 450 m s.l.m.
Area = 1831 km²

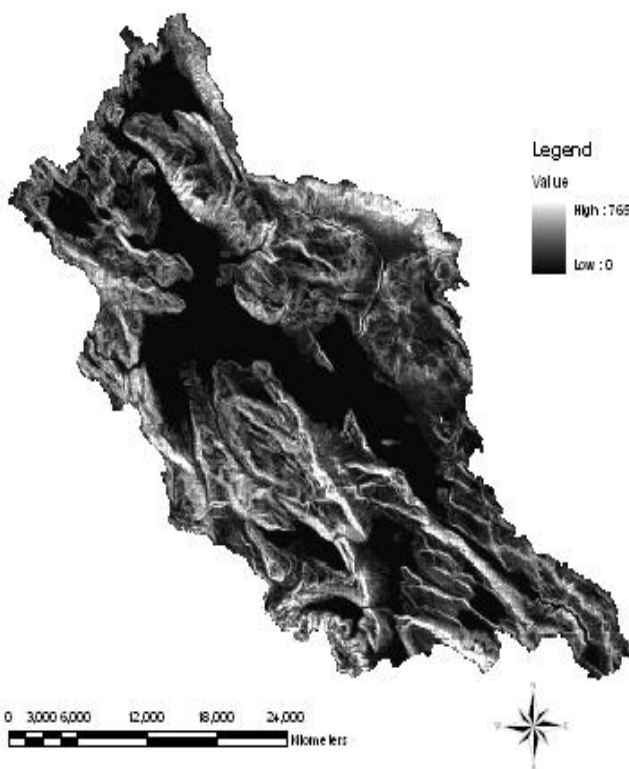


Elaborazioni DEM

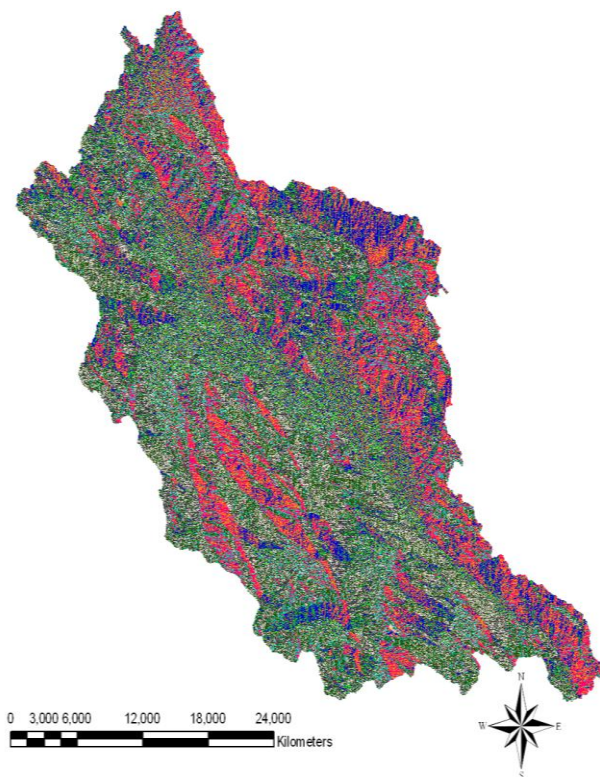
Le Routines utilizzate (implementate dal GISTAR GROUP, www.gistar.org) hanno permesso di ottenere i seguenti output:

1) **Carta delle pendenze**, 2) **Carta delle direzioni di deflusso**, 3) **Carta delle aree contribuenti**

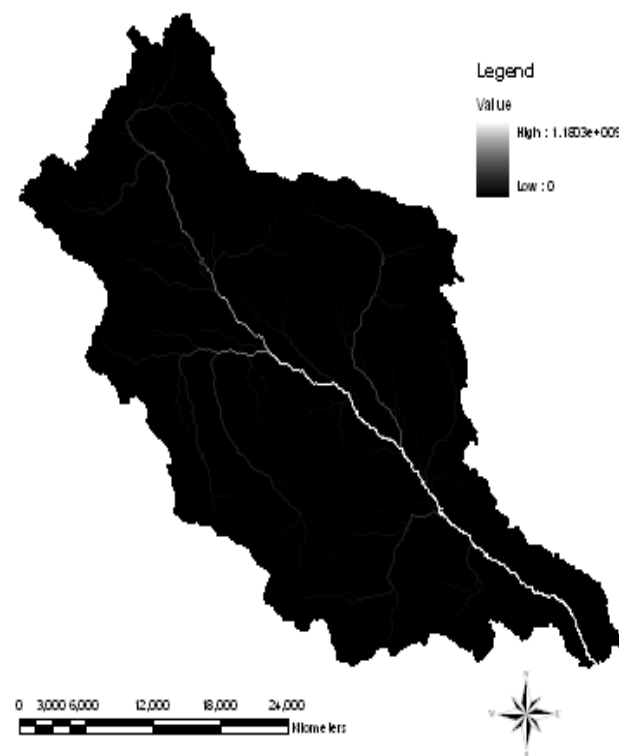
Carta della Pendenza



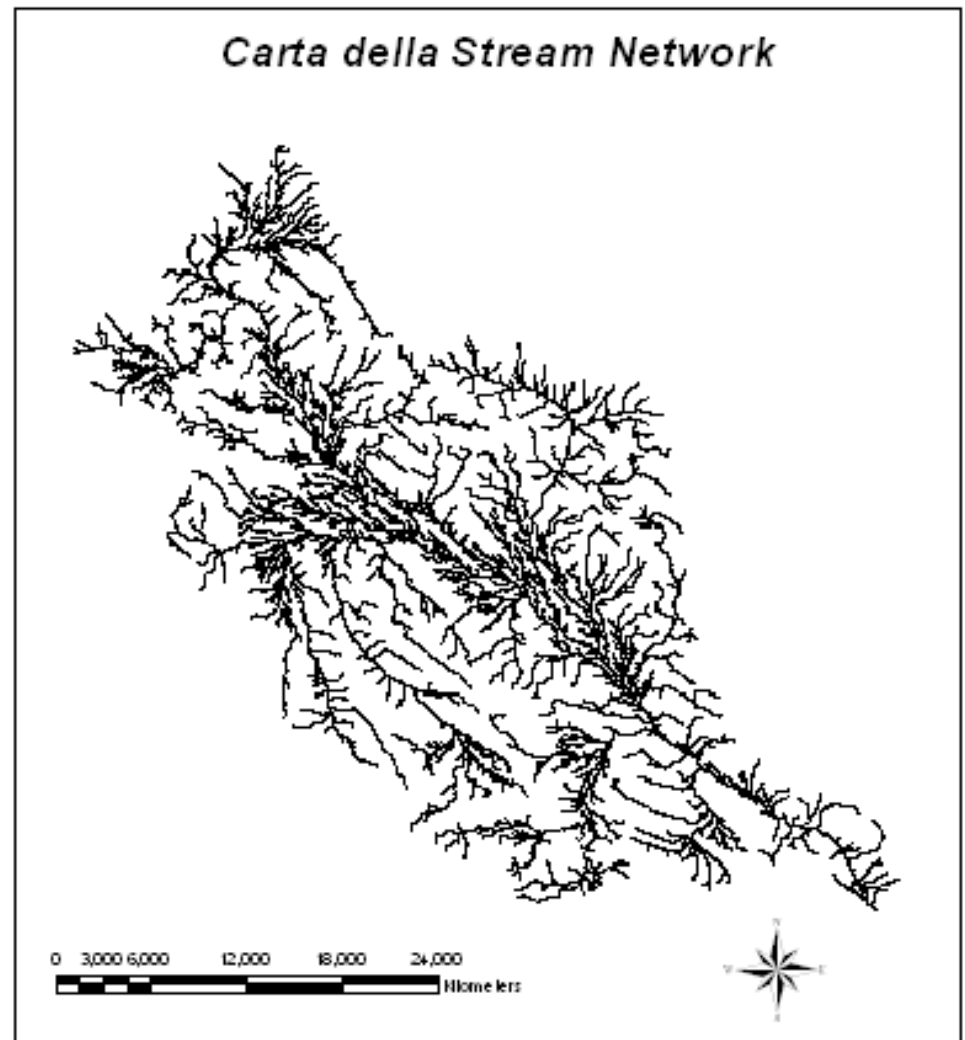
Carta della Flow Direction



Carta della Flow Accumulation

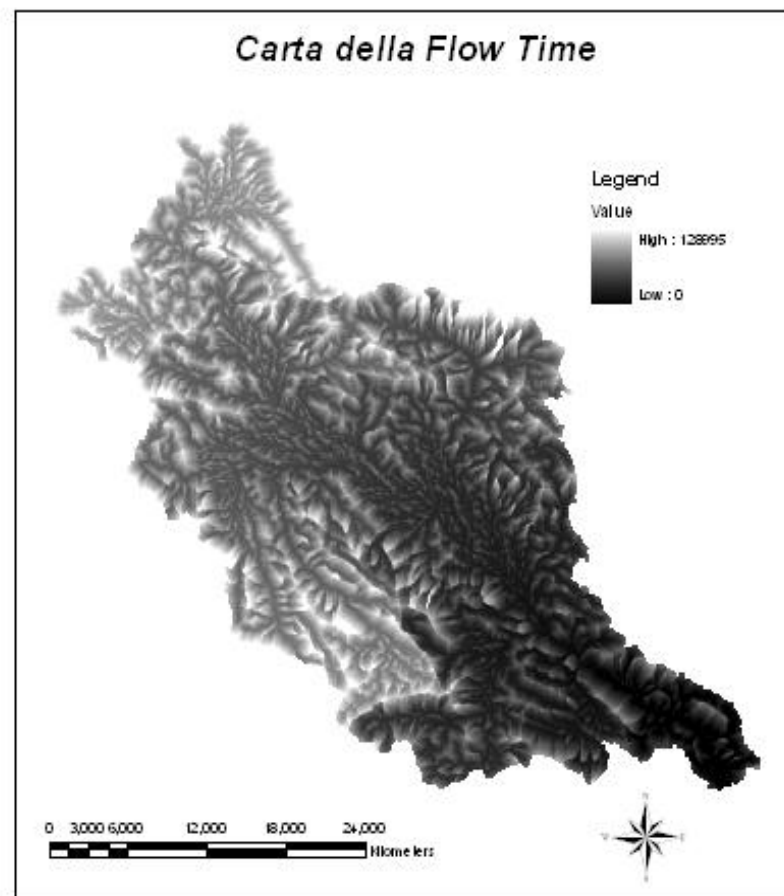
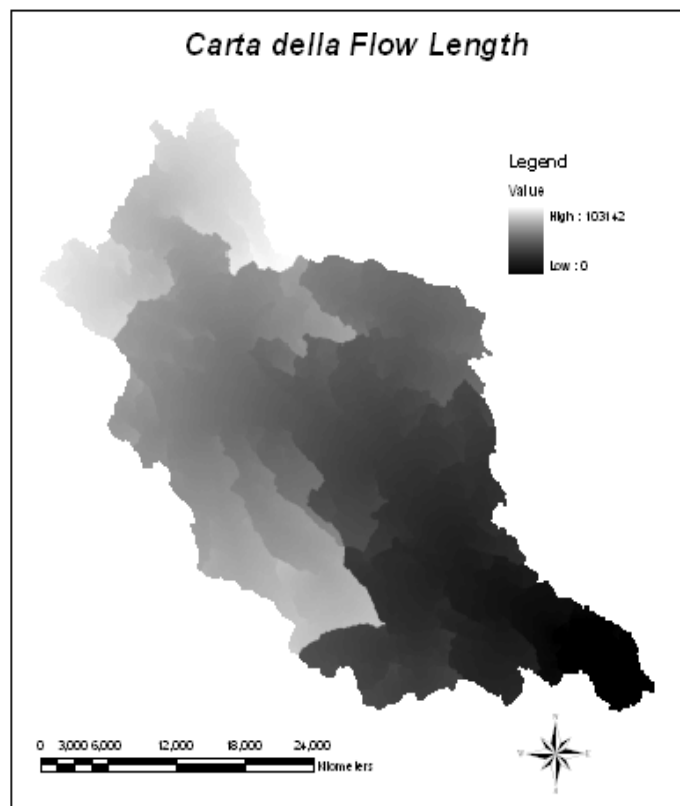


Successivamente è stato estratto il reticolo idrografico del bacino considerato o **Carta della *Stream Network***.

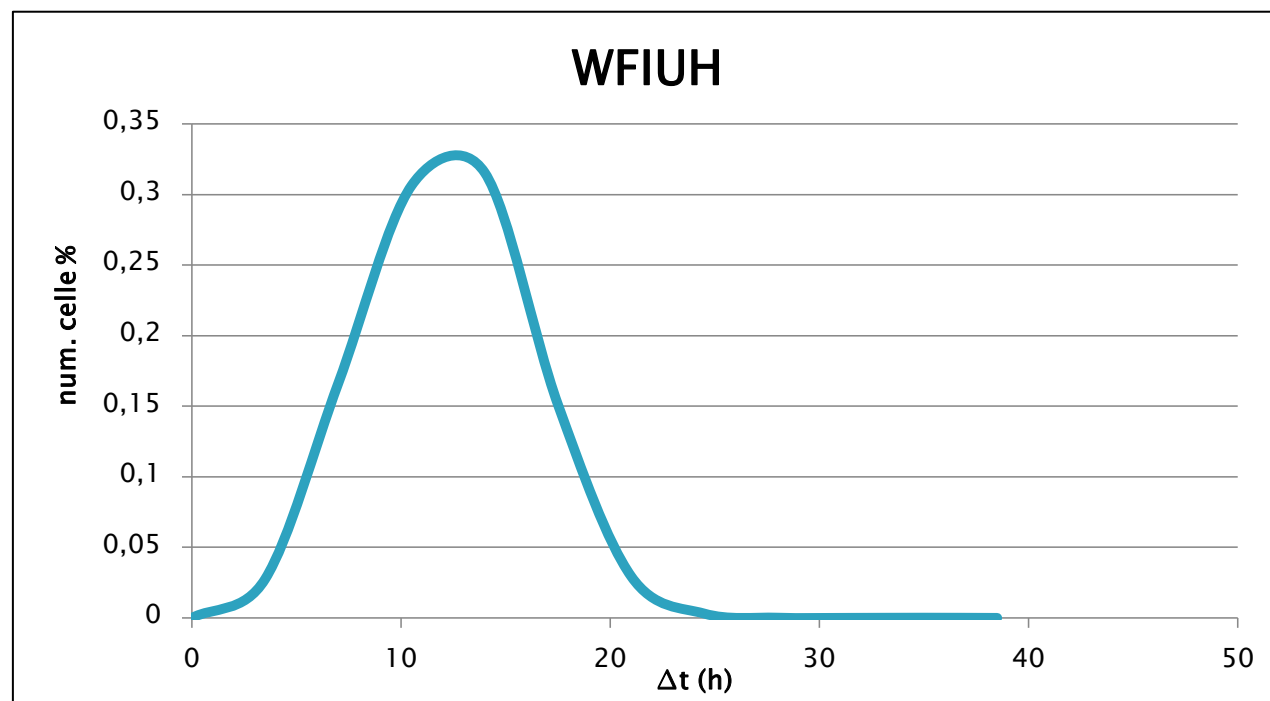


Dall'insieme di canali e versanti si ricavano due distinte carte:

- **Carta della *Flow Length*** (*Width Fuction* in funzione dello spazio);
- **Carta della *Flow Time*** (*Width Fuction* in funzione del tempo).



Infine si è pervenuti
all'Idrogramma Unitario
Istantaneo (WFIUH)



Convoluzione fra Pioggia Netta e WFIUH

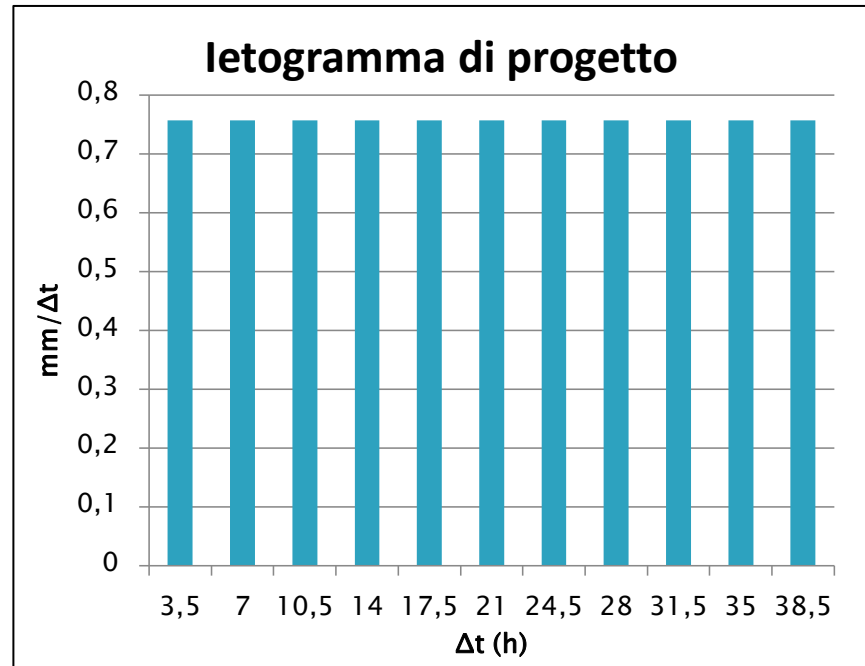
Calcolo della Pioggia Netta
con un T_r di 10 anni
(metodo ad intensità
costante nel tempo)



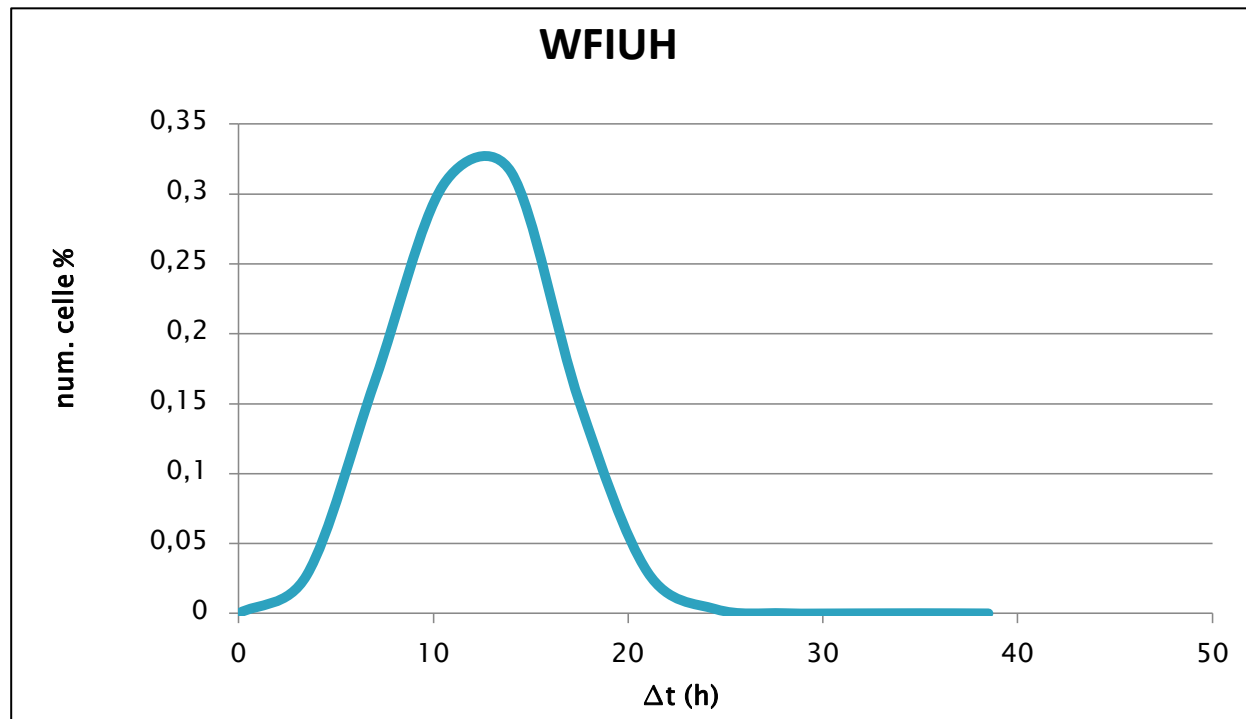
Discretizzazione
della Pioggia
Netta



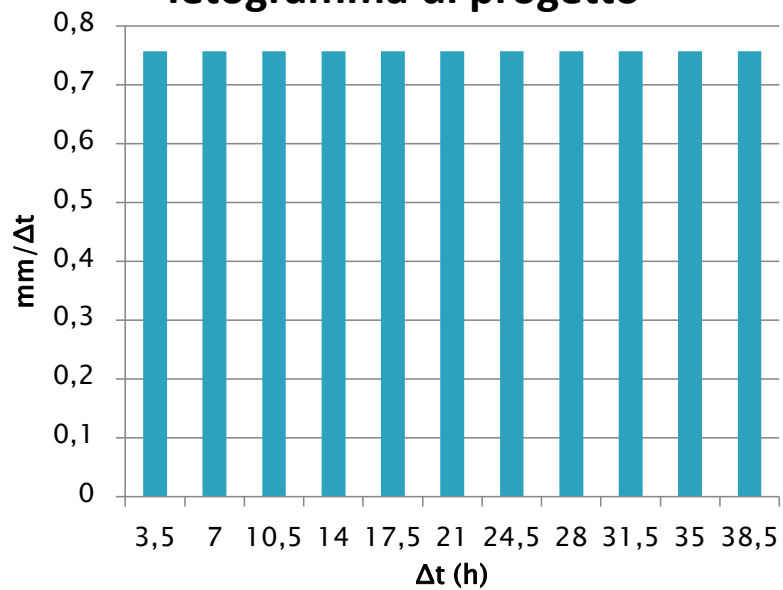
Ietogramma di
Progetto



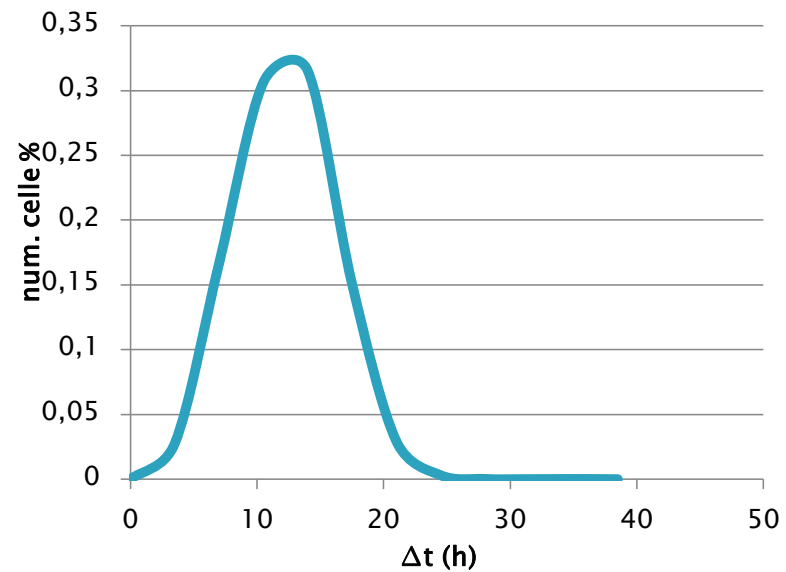
Discretizzazione del WFIUH



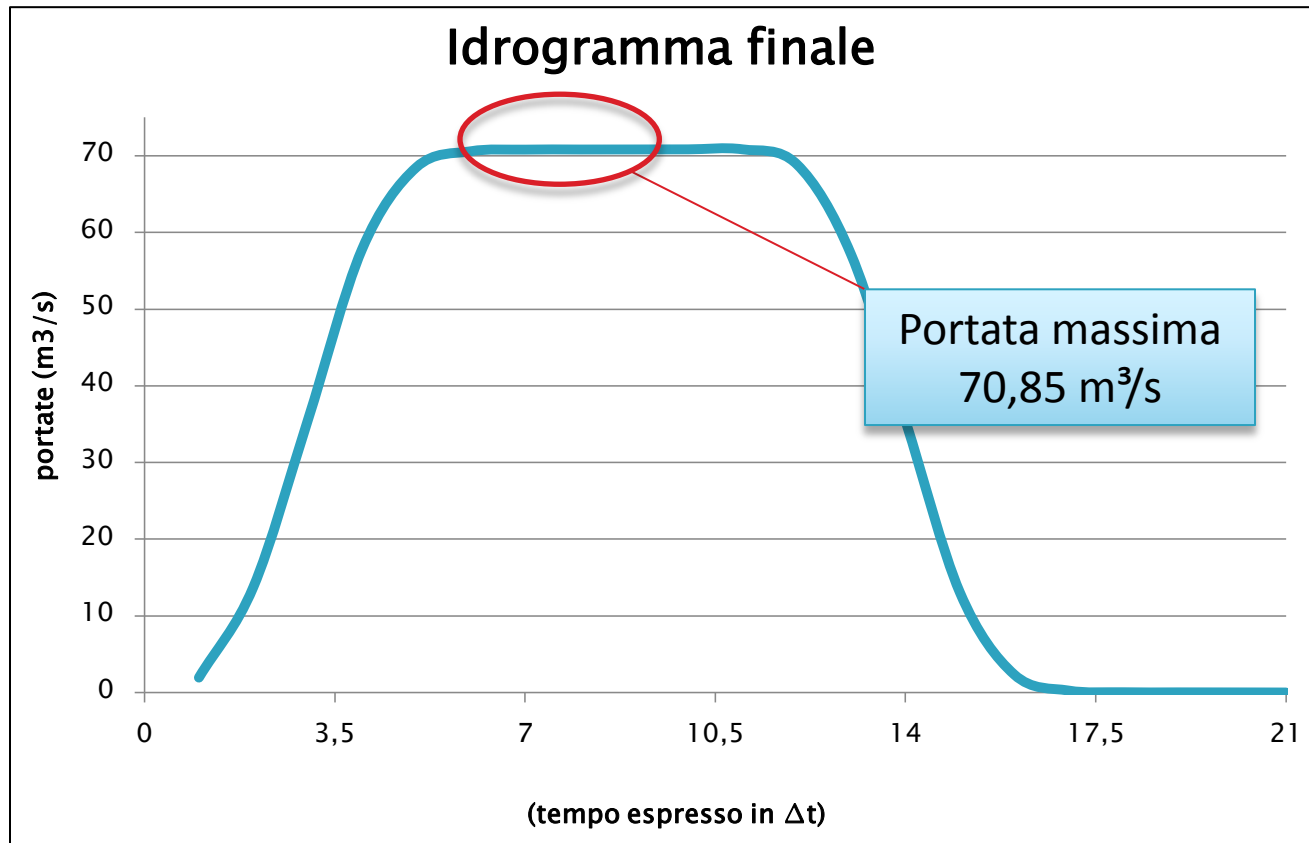
letogramma di progetto



WFIUH



Ottenimento dell'Idrogramma Finale (La Portata di Progetto)



Analisi Idraulica

Calcolo del Tirante Idrico



Portata 70,85
 m^3/s

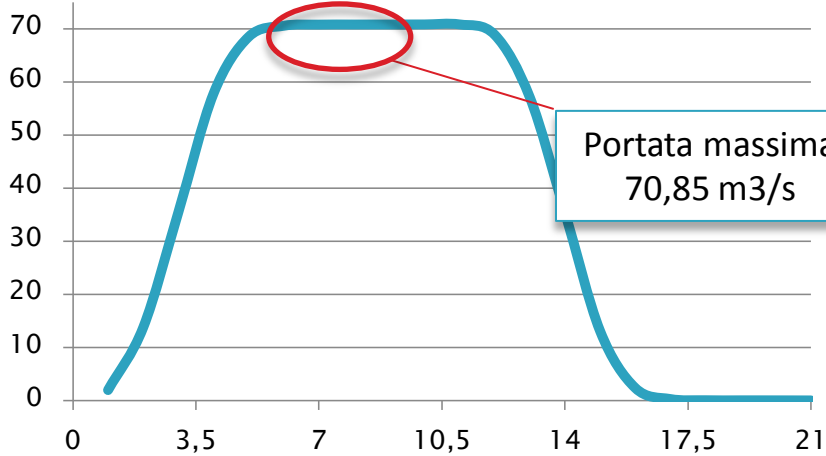
input

Software
Macra 1

input

Andamento delle
sezioni

Idrogramma finale



Valore del Tirante Idrico = 2,20 m

La derivazione del TIRANTE IDRICO

È stata funzionale alla verifica della seguente ipotesi progettuale, relativa al dimensionamento dei massi delle zone di rifugio per pesci

L'ipotesi di diametro dei massi costituenti la struttura dell'opera di Ingegneria Naturalistica è la seguente:

$$d = 25 \div 30 \text{ cm} \\ 35 \div 60 \text{ cm}$$

Verifica ipotesi progettuale

Valutazione della forza
tangenziale al fondo



$$\tau_{agente} = \gamma * R * i$$



$$R = \frac{\text{Area sezione}}{\text{Contorno bagnato}}$$

Tensione critica calcolata
con la formula di *Shields*

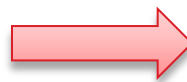


$$\tau_{resistente} = 0,056 * (\gamma_s - \gamma) * d$$

$\tau_{resistente}$



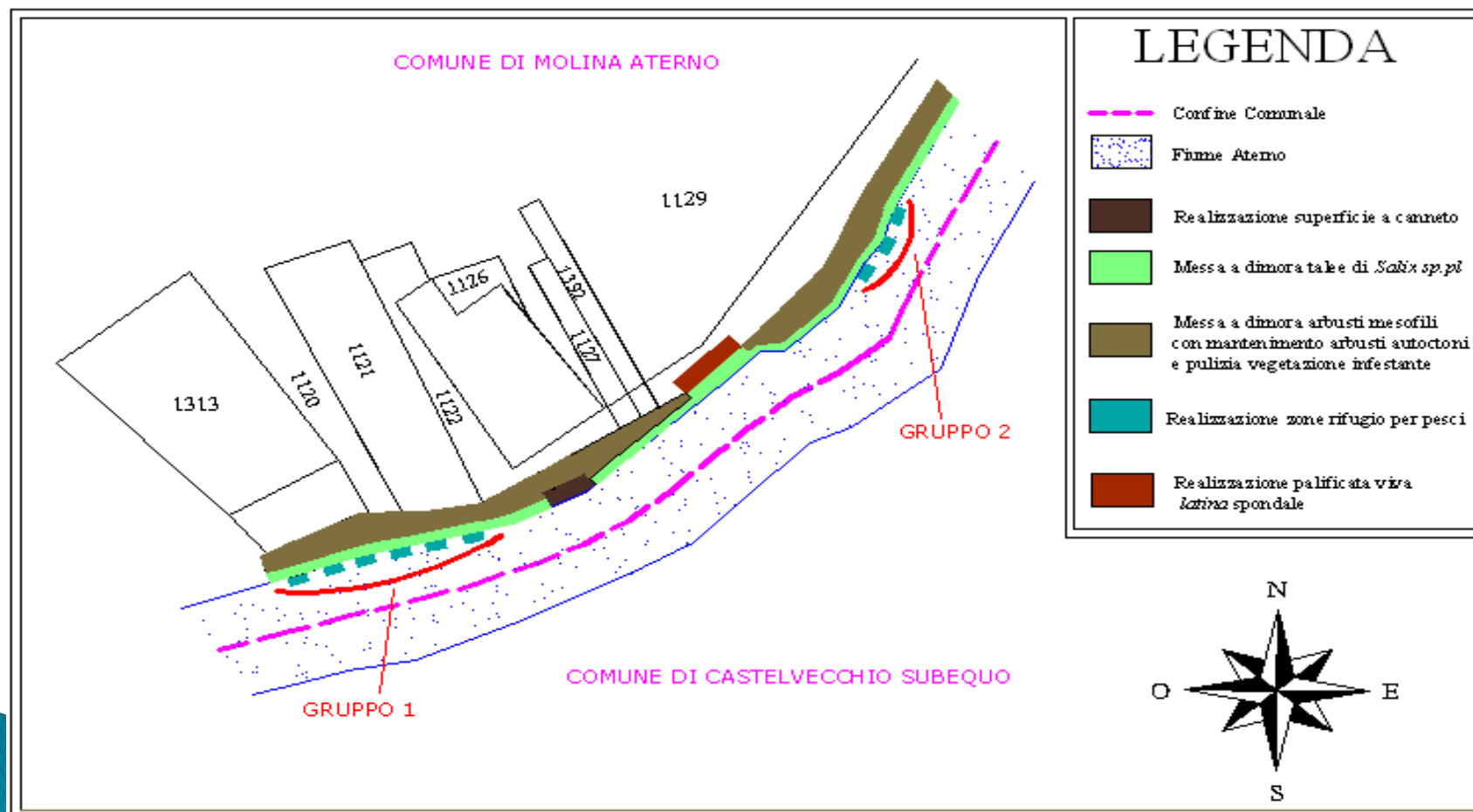
τ_{agente}

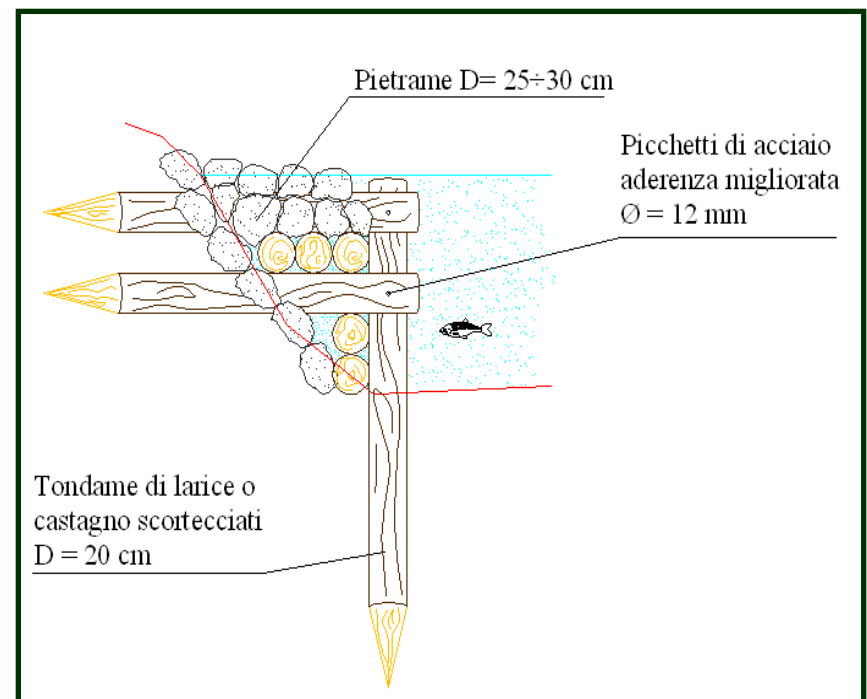


**IPOTESI DI DIMENSIONAMENTO
ACCETTABILE**

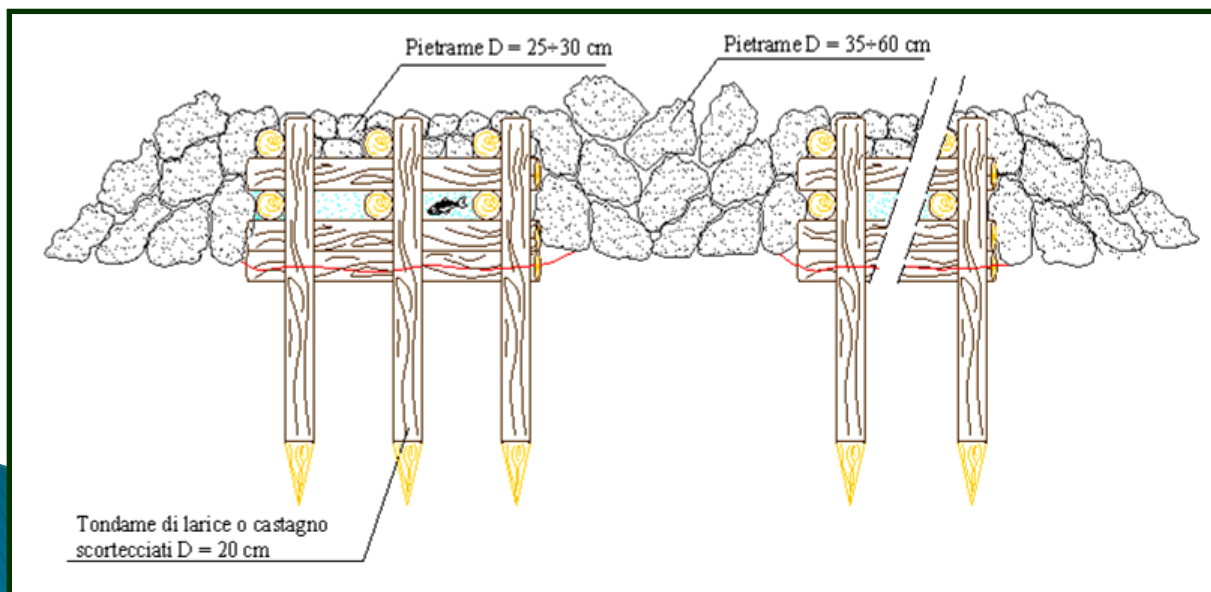
Progetto Finale

A seguito dei risultati delle analisi si sono progettate 9 zone di rifugio per pesci, dislocate in due gruppi distinti rispettivamente di 6 e 3.





Sezione laterale

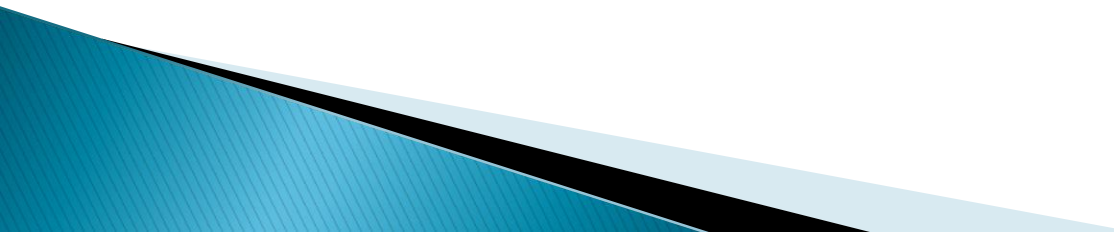


Prospetto frontale

Conclusioni:

Con questo progetto d'intervento si auspica una migliore integrazione tra differenti comparti disciplinari, in questo studio l'ecologia con l'idrologia e l'idraulica.

Attraverso un approccio analitico e sintetico di questo tipo, ovvero ***multidisciplinare***, si può pervenire a soluzioni progettuali più congrue alle situazioni ambientali articolate entro cui tali progetti si inseriscono.



GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Abstract

This work is included in “*Accordo di Programma Quadro*, Project n. 9 about: *Environmental Exploitation Aterno river*”, in Abruzzo distrect.

This work has the objective to characterize Aterno river in ecological and hydrological way, in according to the new concept about “River Retraining”. The purpose of this analysis is to project fit areas to protect fishes living in the river in object, using Naturalistic Engineering. The results have shown that we can consider 9 fish shelters, organized in two different groups.

To our knowledge, this is one of the few works that analysis and characterizes a river in two different approaches, ecological and Hydrological one, to protect more effectively the river fishing biodiversity.