

ALLEGATO 3D

**RELAZIONE GEOLOGICO APPLICATIVA PRELIMINARE
PER LA PREDISPOSIZIONE DELLE OPERE DI
SISTEMAZIONE IDRAULICA DEL BACINO DEL
TORRENTE ARZILLA**

ALLEGATO 3D

INDICE

1	Premessa	Pag. 2
2	Inquadramento geologico	Pag. 4
3	Geomorfologia	Pag. 8
4	Analisi quantitativa	Pag. 13
5	Idrologia	Pag. 23
6	Uso del suolo	Pag. 30
7	Eventi alluvionali	Pag. 32
7.1	Esempi significativi di alcuni siti di alluvionamenti	Pag. 33
8	Opere di sistemazione idraulica e dei versanti	Pag. 34
8.1	Nodi critici e criteri generali di sistemazione	Pag. 34
8.2	Interventi di sistemazione idraulica del bacino tributario Malatesta	Pag. 36
8.3	Alcuni interventi di sistemazione idraulica del tratto d'asta principale in località S. Maria dell'Arzilla	Pag. 38
Appendice 1		
Appendice 2		
Appendice 3		
Appendice 4		

1 PREMESSA

La presente relazione geologico-applicativa preliminare ha il duplice scopo di fornire: da un lato, per l'intero bacino, un'inquadrimento geologico-morfologico integrato dall'uso del suolo, dall'altro alcuni esempi di sistemazione su porzioni di bacino ritenute indicative. Sono allegati, in scala 1:10.000, gli stralci delle seguenti cartografie dell'Uso del suolo e delle Coperture.

Tale studio si basa su un precedente lavoro informatizzato, finalizzato alla valutazione del rischio al dissesto idrogeologico (Borsa di Studio Carifano, D'Angeli Nesci - 2000). In tale occasione è stata eseguita un'analisi geomorfologica quantitativa che ha permesso di classificare e quantificare i vari elementi del bacino. Integrando i risultati ottenuti con quelli geologico-geomorfologici si sono evidenziate le relazioni qualitative e quantitative fra i fattori predisponenti il dissesto, si sono individuate e caratterizzate aree a rapida evoluzione morfologica e, infine, valutato indirettamente il diverso grado d'erosione cui sono soggetti i settori del bacino in relazione a processi geomorfologici prevalenti. Di particolare interesse sono le relazioni che i fenomeni alluvionali hanno con gli eventi meteorici, con i fenomeni d'erosione e d'instabilità dei versanti, con l'evoluzione del sistema idrografico e le condizioni e l'assetto sia dell'alveo che della piana circostante dovuti sia a fattori naturali che agli interventi antropici (Nesci, D'Angeli 4/2000 Geologia Ambientale). Tutti gli elaborati sono stati prodotti mediante un Sistema Informativo Territoriale (SIT) per cui possono essere facilmente assoggettati a future integrazioni ed analisi dei dati.

Si rimanda ad eventuali fasi successive dello studio, la proposta di sistemazione integrale anche in relazione ad ulteriori approfondimenti di natura idrologica e geologico-tecnica; in particolare attualmente non si dispone di dati relativi a prove in sito e in laboratorio per l'identificazione dei parametri idraulici necessari al dimensionamento delle opere di difesa.

Il Torrente Arzilla nasce nel territorio comunale di Pesaro per poi svilupparsi in quello di Fano. Il suo bacino, geograficamente situato tra quelli più estesi del F. Foglia e del F. Metauro, ha forma allungata in senso ESE-WNW per un'estensione di 105 Km².

Tale corso d'acqua che, pur drenando un bacino di modeste dimensioni, sfocia direttamente nel mare Adriatico, ha un pattern di drenaggio che ripropone, in dimensioni ridotte, tutte le problematiche dei maggiori fiumi marchigiani. Le differenze litologiche, il complesso assetto tettonico e l'attiva dinamica geomorfologica di quest'area, oltre a

condizionare l'andamento del canale principale e della rete idrografica, concorrono a determinare nel bacino stesso processi di denudazione differenti e di diversa intensità. Eventi alluvionali anche molto intensi si sono verificati nell'ultimo ventennio e hanno provocato danni ingenti soprattutto nel tratto terminale del torrente.

2 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Substrato pre-quadernario

L'area è caratterizzata dal punto di vista geologico dai termini più recenti della Successione Umbro-marchigiana (**V. Tab. 1**). La sequenza miocenica è costituita dalle Formazioni della Scaglia Cinerea, del Bisciario, dello Schlier, della Gessoso Solfifera, di San Donato e dei Colombacci. La sequenza pliocenica è rappresentata da argille azzurre, sabbie ed arenarie. Lo stile tettonico è caratterizzato da un sistema di pieghe e sovrascorrimenti a vergenza adriatica: in particolare l'area è interessata da due ampie sinclinali appenniniche separate da strette e complesse anticlinali interessate da sovrascorrimenti e faglie trasversali.

Nella struttura anticlinalica più interna il termine affiorante più antico è la Scaglia Cinerea. Si tratta di marne e calcari marnosi a frattura scheggiosa, grigio-verdognoli e bruni. Sono presenti limitatissimi affioramenti nella parte sommitale del bacino. Segue stratigraficamente la formazione del Bisciario caratterizzata da alternanze di marne calcaree e marne argillose con strati calcarei talora silicei che lo fanno risaltare morfologicamente rispetto alle unità sopra e sottostanti. Gli affioramenti, che risultano sempre interessati da una diffusa fratturazione, sono localizzati nella parte alta del bacino. La formazione sovrastante è quella dello Schlier costituita da marne grigio-azzurrognole con contenuto argilloso progressivamente maggiore verso la parte alta della formazione. L'intensa tettonizzazione produce sistemi di fratture talmente fitti da ridurre le marne in minuti prismi che degradano rapidamente e danno origine a spesse coltri di detrito al piede degli affioramenti. Allo Schlier segue la formazione Gessoso-solfifera che in quest'area è rappresentata quasi esclusivamente dalle litofacies prevalentemente pelitico-arenacee e arenacee del Tripoli. La facies pelitico-arenacea è caratterizzata dall'alternanza di marne argillose grigio-plumbeo e arenarie siltose nocciola od oca. La facies arenacea sabbiosa è caratterizzata dalla prevalenza di arenarie sabbiose in strati fogliettati o a banchi color tabacco, entro cui si intercalano strati marnoso- argillosi color grigio. Più ampie e continue si presentano le successive formazioni mioceniche che occupano l'intervallo stratigrafico che va dal tetto della Gessoso-Solfifera alla base dei terreni pliocenici. La sequenza sedimentaria più antica è la formazione flyschoidale di San Donato. Si tratta di un'alternanza di marne siltose grigie e arenarie a grana fine. Gli affioramenti costituiscono alte pareti verticali di arenarie torbiditiche in grossi banchi di colore nocciola particolarmente cementate. La sequenza sedimentaria sovrastante è la Formazione a Colombacci che affiora estesamente nell'area di studio. Si tratta di alternanze di arenarie variamente

cementate e argille marnose-marne argillose. I rapporti arenaria/pelite variano da zona a zona, affiorano perciò facies pelitiche, pelitico-arenacee e arenacee. Quest'ultima facies si presenta in banchi di arenarie gradate, di color ocra all'alterazione, talora debolmente cementati con sottili intercalazioni marnoso-argillose. Nella parte alta si intercalano i ben noti orizzonti evaporitici denominati Colombacci. La successiva sequenza pliocenica occupa la parte intermedia del bacino, al nucleo di un'ampia sinclinale. Essa è costituita da sabbie e arenarie gialle variamente cementate alternate ad argille marnoso siltose. A volte si intercalano caratteristici orizzonti conglomeratici a ciottoli calcarei con spigoli vivi. Le argille marnose azzurre lievemente sabbiose del Pliocene medio sono trasgressive su quelle del Pliocene inferiore e affiorano ampiamente al nucleo della sinclinale più esterna.

Depositi continentali quaternari

La morfologia del bacino del Torrente Arzilla è fortemente condizionata dai processi di versante e fluviali che hanno agito fin dal Pleistocene medio-superiore. A testimonianza di questo si rilevano estesi depositi quaternari, in particolare alluvioni terrazzate e attive, conoidi alluvionali, corpi di frana e depositi eluvio-colluviali.

Depositi alluvionali terrazzati

Lungo la valle del Torrente Arzilla compaiono rari lembi di alluvioni terrazzate. Il rilevamento è stato condotto basandosi sui criteri della tradizionale suddivisione in "ordini" delle alluvioni terrazzate (cfr Nesci et al., 1995). L'estensione, la continuità e il grado di preservazione delle successioni alluvionali diminuiscono progressivamente passando dai terrazzi più bassi sul fondovalle a quelli più alti. I depositi del terrazzo del primo ordine non affiorano nel bacino dell'Arzilla. Si rilevano unicamente ripiani orografici attribuibili ai terrazzi erosivi di Nesci et al. (1992). Anche i depositi del secondo ordine sono estremamente rari e di estensioni limitate. Sono costituiti da ghiaie eterometriche in cui prevalgono ciottoli arenacei della Formazione a Colombacci e della Gessoso-Solfifera. Lo spessore stimato è mediamente sui 20-30 m. Il livello dei terrazzi è a 60-70 m dall'attuale fondovalle. Anche il terrazzo del terzo ordine è presente in lembi isolati. Il livello del terrazzo si eleva di circa 30 m dall'attuale alveo. Nei pressi di Carignano è presente l'unico affioramento costituito da ghiaie eterometriche con molti ciottoli arenacei anche di grosse dimensioni (fino a 30 cm.). La sommità del deposito è estremamente rimodellata e la superficie non è preservata. L'omogeneità litologica dei ciottoli e il loro basso grado di arrotondamento fa ritenere che il deposito sia di provenienza locale e quindi di una conoide laterale. La piana alluvionale più estesa appartiene già all'Olocene. Si individuano

almeno due livelli di terrazzamento distinti che, in mancanza di datazioni assolute, sono stati chiamati indicativamente Olocene antico quello più alto, e Olocene recente quello più basso. I due eventi alluvionali sono separati da scarpate di 10-12 m. Il canale relativo all'evento olocenico più antico presenta in affioramento facies quasi completamente sabbiose con orizzonti di ghiaie fini. Alcune stratigrafie di sondaggi geognostici hanno evidenziato che la litologia delle alluvioni è superiormente limoso-sabbiosa, mentre alla base si osserva sempre un cospicuo spessore di alluvioni ciottolose che potrebbero essere i residui della fase di riempimento del fondovalle relativa all'evento pleistocenico del terzo ordine. Il terrazzo olocenico più recente è meno continuo e caratterizzato al suo interno da terrazzamenti minori di cui il più recente costituisce la piana di esondazione quiescente dell'attuale Arzilla. Il tipo di canale che caratterizza questo evento è di tipo meandrante ad anse molto più accentuate di quello attuale. La caratteristica geomorfologica dominante nella piana alluvionale dell'Arzilla è appunto la presenza di questi due livelli di terrazzo olocenici che si differenziano sia come distribuzione areale che come tipologia. Il primo, più antico, si è formato per l'alluvionamento prodotto da canali anastomizzati, il secondo, più recente e di dimensioni più limitate, è il prodotto di canali meandranti a sinuosità elevata. Tra le due fasi si è instaurato un evento erosivo che ha prodotto il terrazzamento della piana olocenica più antica e la formazione di scarpate dalla caratteristica forma arcuata che costituiscono le anse fluviali della successiva fase olocenica. Un caratteristico paleomeandro si rileva all'altezza del porto fanese. Esso è evidenziato da un'ampia scarpata che permette di seguire il paleomeandro fino alla foce (attuale struttura portuale fanese). Le alluvioni attive sono costituite da ghiaie eterometriche, sabbie e limi nocciola laminati depositati lungo una fascia molto ristretta e talora resa discontinua da affioramenti di substrato pre-quadernario.

Conoidi alluvionali

Lungo la piana principale in corrispondenza delle confluenze con i corsi d'acqua laterali, si rilevano frequentemente conoidi alluvionali. I corpi deposizionali sono spesso rimodellati per cui la tipica forma originale a cono non è più riconoscibile. La composizione dei corpi alluvionali è essenzialmente argillo-limosa e/o sabbiosa ma, a seconda del litotipo affiorante nel sottobacino di alimentazione, si rinvengono anche alluvioni ciottolose. Le conoidi alluvionali assumono un'importanza notevole nell'evoluzione morfologica del bacino e soprattutto della piana alluvionale. La deposizione di questi corpi alluvionali determina quasi sempre una migrazione in direzione opposta del corso d'acqua principale. Tutto ciò tende a modificare il già delicato profilo longitudinale del fiume determinando

locali ed effimeri livelli di base che poi determinano quei comportamenti episodici e successive risposte complesse che condizionano la dinamica del torrente intero. Questi apporti laterali di conoide, in genere limoso-sabbiosi, contribuiscono inoltre ad aumentare il carico solido dell'Arzilla.

Corpi di frana

I meccanismi di messa in posto e le tipologie dei numerosi fenomeni franosi sono notevolmente diversificate di area in area a causa delle differenze litologiche e strutturali. In particolare dove affiorano litologie arenaceo-marnose si rilevano depositi per colamento e per scivolamento. I primi si impostano prevalentemente su coltri colluviali costituite da materiali fini. I secondi sono favoriti dalla stratificazione a franapoggio e dalla litologia costituita da grossi banchi di arenarie alternate ad argille e a marne argillose. I corpi di frana, specialmente quelli di grandi dimensioni, sono spesso policiclici; per questo motivo diventa a volte difficoltoso definire il loro stato di attività. Le corone di frana spesso non sono rilevabili in quanto cancellate dalla successiva erosione del versante per dilavamento areale o lineare. Sulla base di particolari elementi morfologici sono state delimitate aree interessate da presunti spostamenti in blocco. Essi sono intesi come scorrimenti traslativi e/o debolmente rotazionali, di masse rocciose poco o affatto scompagnate. Non si tratta quindi di veri e propri depositi ma di morfologie che possono avere molta importanza nella valutazione del rischio di frana.

Depositi eluvio-colluviali e detriti fini di versanteLa distribuzione, la tipologia e la litologia dei depositi colluviali sono intimamente legate alla natura del substrato e all'assetto morfostrutturale. Data la prevalenza pelitica e pelitico-arenacea dei terreni affioranti si ha un'ampia diffusione di depositi eluvio-colluviali che riempiono il fondo della maggior parte delle vallecole. I depositi sono rappresentati per lo più da sedimenti fini, con granulometrie delle sabbie, limi e argille in proporzioni variabili, talora con subordinati frammenti arenitici angolari. La distribuzione areale dei depositi colluviali sembra anche condizionata dall'assetto strutturale. I depositi colluviali più estesi e di maggior spessore si rinvengono infatti in aree fortemente tettonizzate e fratturate. Questa caratteristica è da attribuire alla maggiore disponibilità di detrito proveniente da un substrato già profondamente alterato dalla tettonica. Le coltri colluviali sono spesso interessate da movimenti superficiali o deformazioni plastiche che possono preludere alla formazione di veri e propri movimenti franosi. Il materiale si muove lentamente lungo superfici di scivolamento superficiali, corrispondenti con il passaggio alla sottostante roccia inalterata (Nesci, D'Angeli 4/2000 Geologia Ambientale).

3 - GEOMORFOLOGIA

Il bacino del Torrente Arzilla è caratterizzato da processi di denudazione dovuti prevalentemente alla gravità e alle acque dilavanti e incanalate. In relazione alla litologia delle formazioni del substrato e alle strutture tettoniche è stato possibile suddividere il bacino in tre principali settori morfostrutturali (superiore, mediano, inferiore, (V.Fig.1)). Il settore superiore e inferiore sono ulteriormente suddivisibili in sottosectori in funzione delle litologie ritenute omogenee ai fini geomorfologico-applicativi. Tale suddivisione è risultata utile sia per inquadrare i processi geomorfologici che per delimitare sottobacini omogenei nell'eventuale implementazione di modelli matematici. Nella Fig. 2 è riportata una sintesi dei principali processi di dissesto dominanti in ciascun sottosectore. Nel **sottosectore superiore marnoso-calcareo**, interessato dalla struttura anticlinale appenninica Monte Scudo-Vergineto e da un substrato calcareo-marnoso intensamente tettonizzato, i processi prevalenti sono quelli di denudazione per ruscellamento concentrato e spostamenti in blocco. Questi ultimi sono caratterizzati da superfici profonde di scorrimento prevalentemente traslativo. Sovrapposte alle aree interessate dagli spostamenti in blocco talora s'impostano corpi detritici e movimenti franosi più superficiali di colamento. Riguardo ai processi d'erosione concentrata, le acque superficiali subiscono un forte controllo strutturale del substrato intensamente fagliato e fratturato. Il reticolo spesso si sviluppa secondo direzioni preferenziali e le vallecole mostrano frequentemente incisioni a V. L'erosione diffusa e l'intenso denudamento tende a far affiorare il substrato calcareo marnoso la cui disgregazione produce estesi depositi detritici alla base dei versanti. Il **sottosectore montano pelitico-arenaceo** si caratterizza per le frane di scivolamento e di colamento. La struttura tettonica influenza molto la morfologia creando tipiche valli asimmetriche a causa del diverso assetto giaciturale nei due fianchi vallivi. Le corone di frana arretrano avvicinandosi ai crinali per erosione regressiva, gli accumuli spesso si diventano coalescenti e raggiungono il fondovalle. In tal modo il torrente Arzilla riceve un notevole apporto detritico attraverso i suoi tributari. Il ruscellamento concentrato interessa sia le zone di distacco che gli accumuli. Il fondovalle del torrente Arzilla appare molto inciso con presenza di scarpate d'erosione in particolar modo in destra idrografica dove le scarpate presentano un'elevata pendenza (oltre 40°). Quest'ultime sono generate dalla erosione di sponda prodotta dal fiume nelle sue fasi di piena. I depositi alluvionali sono arealmente molto limitati e terrazzi olocenici sono soggetti a esondazione di piena ordinaria. Nel **sottosectore montano arenaceo** il substrato si presenta verticalizzato e la caratteristica morfologica predominante sono le vallecole a fondo piatto delimitate da

scarpate subrettilinee. Gli elementi morfologici sono tipicamente orientati secondo le strutture tettoniche. Sono presenti solo lembi di alluvioni oloceniche. Si rilevano fasce d'esondazione straordinaria e ordinaria (larghe fino a 200 m).

Ogni vallecchia mostra un insieme di movimenti franosi che si sovrappongono e s'intersecano. Spesso i movimenti più recenti s'impostano su vecchie frane; quindi un accumulo gravitativo è in realtà il risultato di vari movimenti.

Le parti terminali dei corpi franosi sono rimaneggiate da acque superficiali e ridepositate come detrito d'impluvio.

Il **settore mediano pelitico**, impostato sulla larga sinclinale al cui nucleo affiorano le argille plioceniche, è quello caratterizzato da minore energia di rilievo e da una più organizzata distribuzione degli impluvi anche se il reticolo di drenaggio pur presentando un tipico pattern subdendritico subisce un certo controllo strutturale. In questo settore le frane sono prevalentemente di scivolamento. Spesso i movimenti più recenti s'impostano su vecchie frane che vengono così riattivate in superficie. Le parti terminali dei corpi franosi oltre ad essere interessate da colamenti, sono spesso rimaneggiate dalle acque superficiali e ridepositate come detriti fini. L'estensione della valle in questo settore aumenta notevolmente in concomitanza degli conoidi che drenano aree litologicamente più erodibili e con coperture detritiche abbondanti. La presenza delle conoidi produce anche dei condizionamenti sull'andamento del fiume con formazioni di anse e migrazioni laterali. Il **sottosettore inferiore arenaceo** interessato dall'anticlinale in cui affiorano le formazioni mioceniche, presenta energia di rilievo mediamente alta. Le vallecchie a fondo piatto sono in genere re-incise e i processi gravitativi sono poco diffusi anche se a nord di Carignano sul versante in destra idraulica dell'Arzilla si verifica un'intensificazione dei movimenti franosi di scivolamento. Sono presenti alluvioni attive e terrazzate dell'Olocene recente e antico. La mancanza di conoidi alluvionali è indicativa di una minore alimentazione detritica da parte dei bacini tributari. Il **sottosettore inferiore sabbioso arenaceo** interessato dalla sinclinale appenninica dove affiorano le sabbie plioceniche, ha una energia del rilievo medio bassa a causa della più alta erodibilità del substrato che favorisce anche la formazione delle conoidi e del detrito di fondovalle. La parte inferiore delle conoidi è spesso rimodellata dall'erosione laterale dell'Arzilla. I movimenti franosi hanno limitatissima diffusione ed estensione. Tale settore è caratterizzato dalla massima estensione dei depositi alluvionali olocenici.

In generale il reticolo idrografico del Torrente Arzilla risente fortemente del controllo litostrutturale delle formazioni che attraversa. Sono presenti tratti perfettamente diaclinali e tratti ortoclinali ma alcuni settori del fiume non sembrano essere condizionati dalle strutture tettoniche inattive. La presenza di superfici sommitali, di terrazzi alluvionali e l'irregolarità del profilo longitudinale evidenziano un'evoluzione recente determinata non solo da variazioni climatiche ma anche dalla neotettonica (NESCI,1982; NESCI et al.,1978; NESCI O. & SAVELLI D., 1990; NESCI et al.,1992).

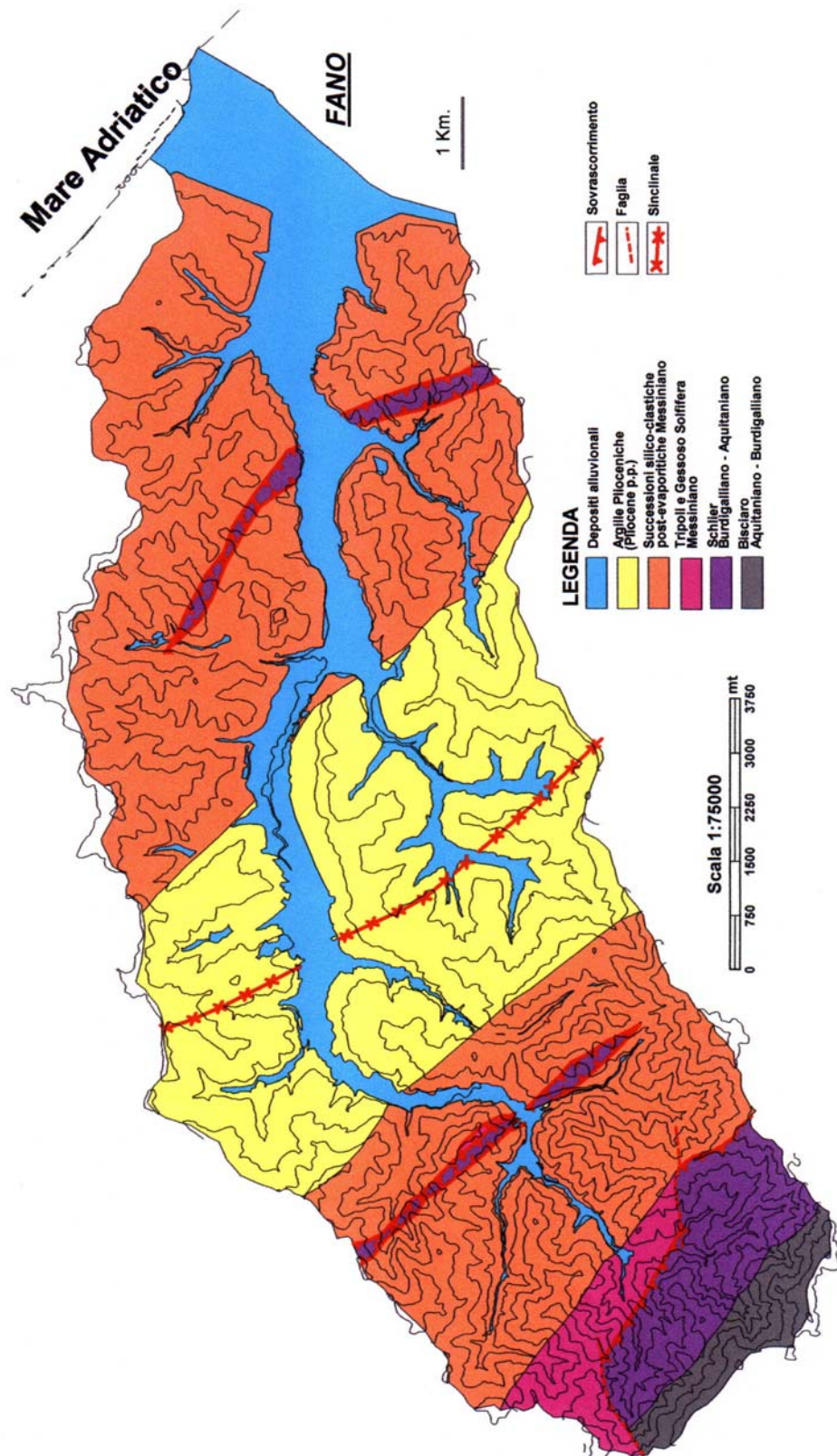


Fig. 1 – Schema geomorfologico del Torrente Arzilla

GEOMORFOLOGIA		
SETTORE	SOTTOSETTORE	PROCESSI DOMINANTI
MONTANO	CALCAREO MARNOSO	Erosione Deformazione gravitativa profonda di versante
	PELITICO ARENACEO	Movimenti franosi di media estensione
	ARENACEO	Vallecole non ramificate a fondo detritico
MEDIANO	PELITICO	Movimenti franosi molto estesi
INFERIORE	ARENACEO PELITICO	Vallecole mediamente ramificate a fondo detritico
	SABBIOSO	Vallecole molto ramificate a fondo detritico
Fig. 2 - Sintesi della geomorfologia dei settori		

4 - ANALISI QUANTITATIVA

Dal punto di vista geomorfologico quantitativo, il reticolo di drenaggio è classificato come proposto da Strahler. Infatti i segmenti idrografici sono distinti con un numero d'ordine in funzione della loro posizione nell'ambito del reticolo stesso.

Attraverso il numero dei segmenti di ogni ordine si calcolano i parametri morfometrici. Essi variano al variare della scala poiché all'aumento di questa sono considerati canali sempre più piccoli (**V. Tab. 1**).

Densità di drenaggio	$Dd = \Sigma l / A$
Frequenza di drenaggio	$Fd = N / A$
Rapporto di biforcazione	$Rb = Nu / Nu + 1$
Rapporto di biforcazione diretto	$Rbd = Nud / Nu + 1$
Indice di biforcazione	$lb = Rb - Rbd$
Indice di conservatività	$Su = (Rb / 2) - 1$
Numero di anomalia gerarchica	Ga
Densità di anomalia gerarchica	$Dga = Ga / A$
Indice di anomalia gerarchica	$Iga = Ga / N1$

N

Σ del numero totale di segmenti

Nu

Σ del numero totale di segmenti di ordine u

Nud

Σ del numero di segmenti di ordine u che confluiscono direttamente in quelli ordine u+1

Nu+1

somma del numero totale di segmenti di ordine u+1

A

area totale del bacino

N1

numero dei segmenti di 1° ordine

Ga

numero minimo di segmenti di 1 ordine necessari a far divenire il reticolo perfettamente gerarchizzato

Σl

Σ della lunghezza totale dei segmenti

Tab.1 – Definizione dei principali parametri morfometrici

Dalla bibliografia risultano intervalli di valori che possono assumere i parametri morfometrici. Questi valori sono indicativi: sullo stato di gerarchizzazione del reticolo e sull'influenza dei vari fattori (clima, acclività, copertura vegetale, litologia, tettonica) sull'idrografia. In generale si può affermare che il grado di gerarchizzazione aumenta nel tempo in relazione all'evolversi del reticolo idrografico. Ciò è vero ovviamente in assenza di un forte controllo tettonico o litologico (litologie a differente erodibilità) sul reticolo idrografico o di eventi che possono interrompere la normale evoluzione del reticolo (per es. variazioni improvvise del livello di base).

Per l'analisi dei parametri morfometrici il bacino del Torrente Arzilla è stato suddiviso in 15 sottobacini tributari e in un'area interbacinale (**V. Fig. 3**). Tale elaborazione quantitativa rivela complessivamente un basso grado di organizzazione del reticolo che normalmente subisce un controllo litologico e strutturale medio-alto del substrato.

In particolare il reticolo risulta fortemente controllato dal substrato nei sottobacini montani o ricadenti fra il settore montano e quello mediano per i quali sono risultati molto significativi i valori di Rb.

Inoltre l'organizzazione del reticolo risulta minima quando si verificano:

confluenze atipiche a rapida evoluzione morfologica come nei sottobacini Piandara (7) e Fossatone per i quali sono risultati molto significativi i valori di Dga, consistenti fenomeni di alimentazione detritica come nei sottobacini Maiani (6) e Malatesta (12) del settore mediano.

I sottobacini che risultano relativamente più organizzati sono quelli dei corsi d'acqua di nei sottobacini 5 e 10 (**V. Tab. 2**).

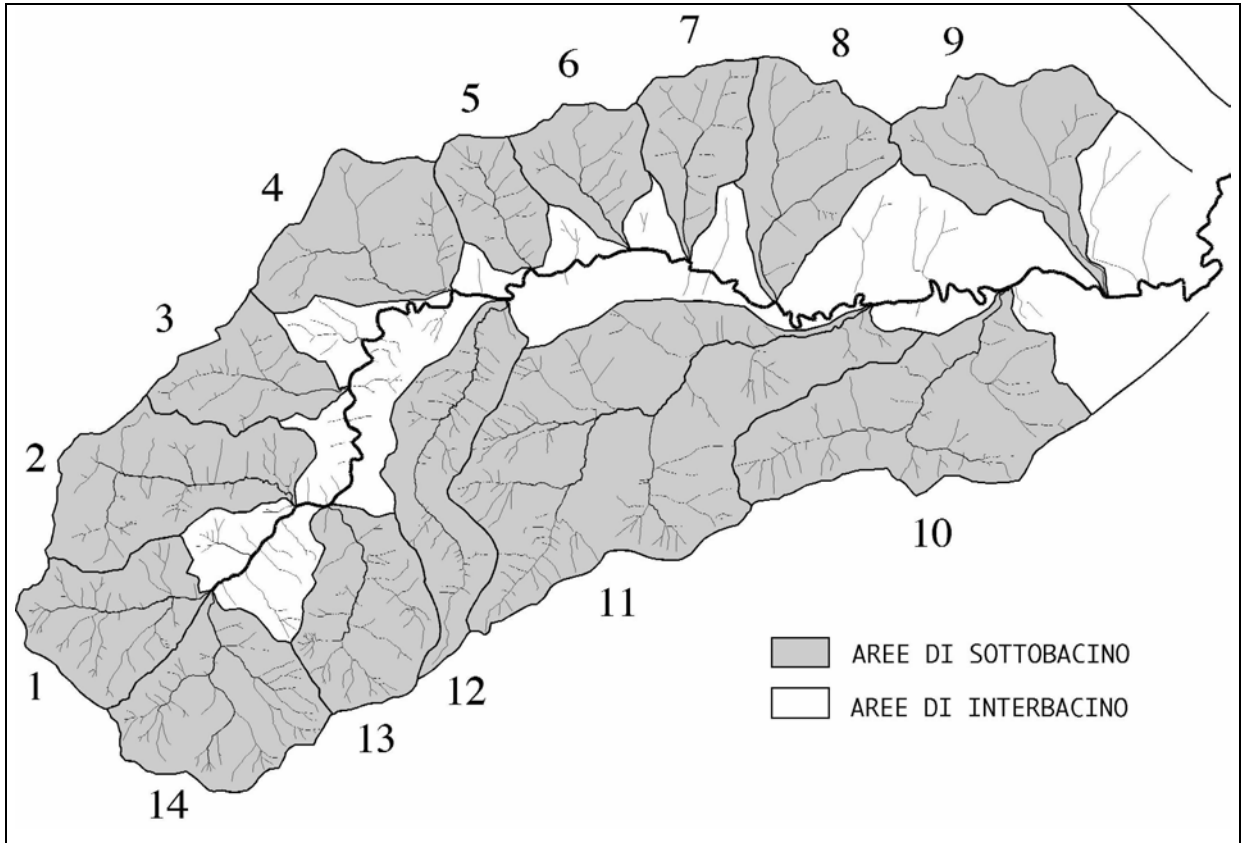


FIG. 3 - Suddivisione del bacino del T. Arzilla in sottobacini

PARAMETRI MORFOMETRICI DESUNTI DALLA CARTOGRAFIA 1:25.000

SOTTOBACINO	Dd	Frd	Fdc	Rb	Rbd	Ib	Su	Ga	Dga	Iga	A
1Molinaccio M	2,45	4,4	4,16	3,4	2,8	0,6	0,7	4	1,033	1,15	3,87
2Gatto M	1,83	4,02	2,3	5,75	3	2,75	1,875	16	2,8	0,55	5,72
3CarnocchioM	1,86	4,04	2,4	3,25	2,5	0,75	0,625	7	2,17	0,44	3,22
4Valcella m	2,15	4,5	3,2	3,83	2,83	1	0,915	4	0,78	0,19	5,1
5Maiani m	2,91	7,5	5,8	6	3,34	2,66	2	10	4,17	1,25	2,4
6Piandara m	2,42	4,2	4,1	3,25	2,25	1	0,625	18	5,18	1,06	3,1
7Fossatone I	2,2	3,1	3,3	3,34	2,67	0,67	0,67	14	4,31	0,74	3,25
8Fenatacci I	1,7	1,91	2	3	3	0	0,5	11	2,34	0,5	4,7
9Villa I	2,07	2,16	2,9	3	2,75	0,25	0,5	2	0,4	0,11	5,56
10Gazza I	2,55	4,31	4,5	3,8	3,4	0,4	0,9	25	2,84	0,62	8,8
11Malatesta m	2,93	5,61	5,9	3,75	3	0,75	0,875	56	3,49	0,65	16,03
12Rio M m	3,2	7,6	7,1	5,43	4	1,43	1,715	11	2,2	0,39	5
13Cannelle M	3	6,9	6,2	3,45	3,11	0,34	0,725	7	1,55	0,24	4,5
14Calcinari M	2,57	3,94	4,5	3,83	3	0,83	0,915	17	2,91	0,41	5,84
Interbacino	3,3	3,4	7,5	6,35	2,8	3,55	2,175	262	9,56	3,7	27,91
Intero bacino	3	4									105

Tab. 2 - parametri morfometrici relativi ai sottobacini

VALUTAZIONE DELL'ENTITA' DI TU

Bacino	Dd	Iga	Tu t/Kmq annue	Area	t/anno annue	M	m	I
1Molinaccio M	2,45	1,15	232	3,87	897,84	897,84	0	0
2Gatto M	1,83	0,55	126	5,72	720,72	720,72	0	0
3CarnocchioM	1,86	0,44	126	3,22	405,72	405,72	0	0
4Valcella m	2,15	0,19	147	5,1	749,7	0	749,7	0
5Maiani m	2,91	1,25	335	2,4	804	0	804	0
6Piandara m	2,42	1,06	222	3,1	688,2	0	688,2	0
7Fossatone I	2,2	0,74	174	3,25	565,5	0	0	565,5
8Fenatacci I	1,7	0,5	113	4,7	531,1	0	0	531,1
9Villa I	2,07	0,11	136	5,56	756,16	0	0	756,16
10Gazza I	2,55	0,62	220	8,8	1936	0	0	1936
11Malatesta m	2,93	0,65	295	16,03	4728,9	0	4728,9	0
12Rio M m	3,2	0,39	340	5	1700	850	850	0
13Cannelle M	3	0,24	282	4,5	1269	1269	0	0
14Calcinari M	2,57	0,41	197	5,84	1150,5	1150,5	0	0
Interbacino	3,3	3,7	1430	27,91	22180	300	948,1	100
MATERIALE EROSO DAL SISTEMA IDROGRAFICO DEL T. ARZILLA			<u>4375</u>	105	459375	5593,8	8768,9	3888,8
DEFLUSSO TORBIDO UNITARIO MEDIO ANNUO SEZ. DI CHIUSURA			<u>269</u>	105	28217	31%	48%	21%

Tab. 3 - Risultati dell'applicazione del metodo degli indici morfometrici per il calcolo di Tu

La stima di Tu è stata effettuata con il Metodo degli indici morfometrici. In **Tab. 3** sono riportati i risultati dell'applicazione, supponendo che tale procedura sovrastimi l'erosione nel sottobacino 4.

Si tratta di relazioni basate sulla gerarchizzazione dei bacini. I parametri morfometrici utilizzati sono la densità di drenaggio e la densità d'anomalia gerarchica del bacino. Ambedue queste grandezze sono influenzate dal clima, dalla morfologia, dalla litologia affiorante e dalla copertura vegetale, fattori che sono i parametri principali che influenzano l'entità del trasporto solido.

Le seguenti relazioni sono state proposte da CICCACCI et Alii.

$$\log Tu \text{ (t/kmq)} = 0.04387 \times Ga + 2.2075;$$

$$\log Tu \text{ (t/kmq)} = 1.44780 + 0.32619Dd + 0.10247Iga \text{ per } Dd < 6 ;$$

$$\log Tu \text{ (t/kmq)} = 2.93936 \times Dd + 1.13430 \text{ per } Dd > 6 ;$$

dove:

Tu=trasporto solido unitario annuo per kmq di bacino;

Ga=densità d'anomalia gerarchica;

Iga=indice d'anomalia gerarchica

Dd=densità di drenaggio;

H (m)=altezza media del bacino rispetto alla sezione di chiusura;

S(kmq)=area del bacino in esame.

Da tale stima risulta che quasi la metà del materiale solido proviene dal settore mediano; mentre il 31% e il 21% derivano rispettivamente dai settori montano e inferiore che è quello interessato in minor misura da fenomeni franosi ed erosivi (**V. Fig. 4**).

L'apporto detritico non deriva solo da fenomeni strettamente erosivi ad opera delle acque superficiali ma anche dai fenomeni franosi. La litologia e l'acclività dei versanti interagiscono come fattori determinanti della denudazione.

Nel grafico, dove sono considerati esclusivamente i tributari, i sottosectori sono ordinati in funzione dell'intensità di detritazione in senso decrescente (**V. Fig. 5**).

I settori mediano pelitico e montano pelitico-arenaceo per cui l'apporto detritico ha maggiore intensità, sono interessati prevalentemente da movimenti franosi.

Il sottosectore montano marnoso-calcareo ha una media intensità d'apporto detritico. Mentre i settori con vallecicole a fondo piatto presentano un basso grado di detritazione.

Tutto questo evidenzia l'importanza dei movimenti franosi sul trasporto torbido e quindi sui fenomeni d'esondabilità in relazione alla possibilità di riduzione della sezione di deflusso.

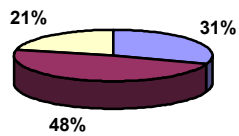


Fig. 4 - Percentuale di apporto detritico per ogni settore

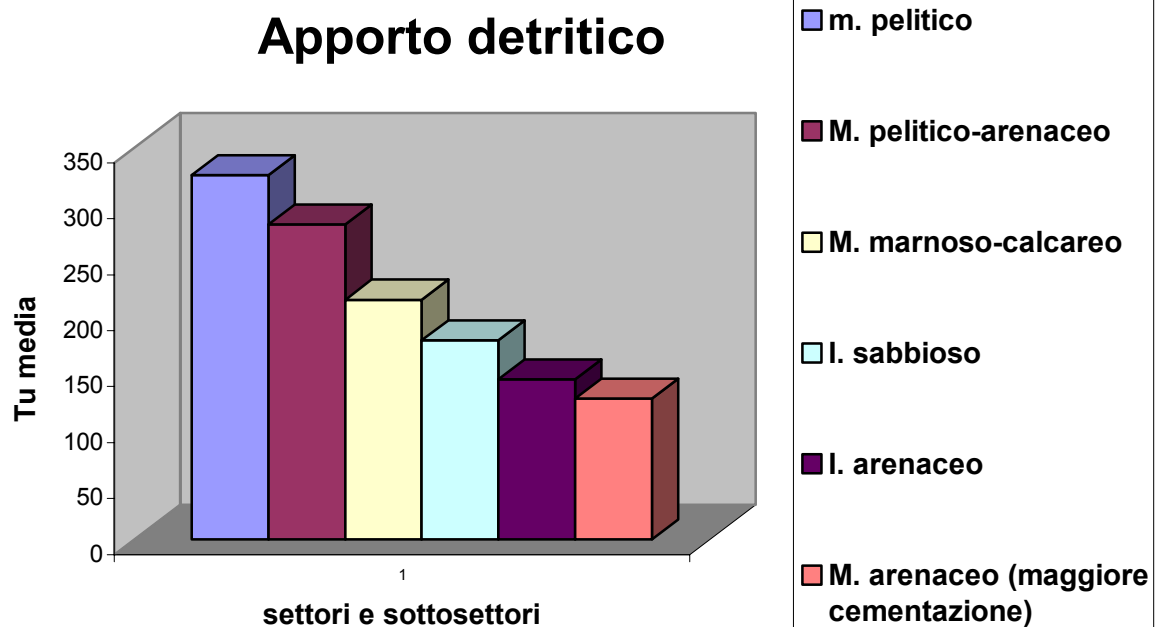


Fig. 5 - Apporto detritico (Nesci, D'Angeli 4/2000 Geologia Ambientale).

In particolare le **Fig. 6 - 7 - 8 - 9** sono indicative di come la detrizione sia:

- molto forte principalmente nei bacini tributari 11, 12, 13 secondariamente 6, 14, 7.

- particolarmente intensa nel tratto dell'asta del T. Arzilla fra C. Zonghetti e C. Rinalducci sulla sinistra orografica.

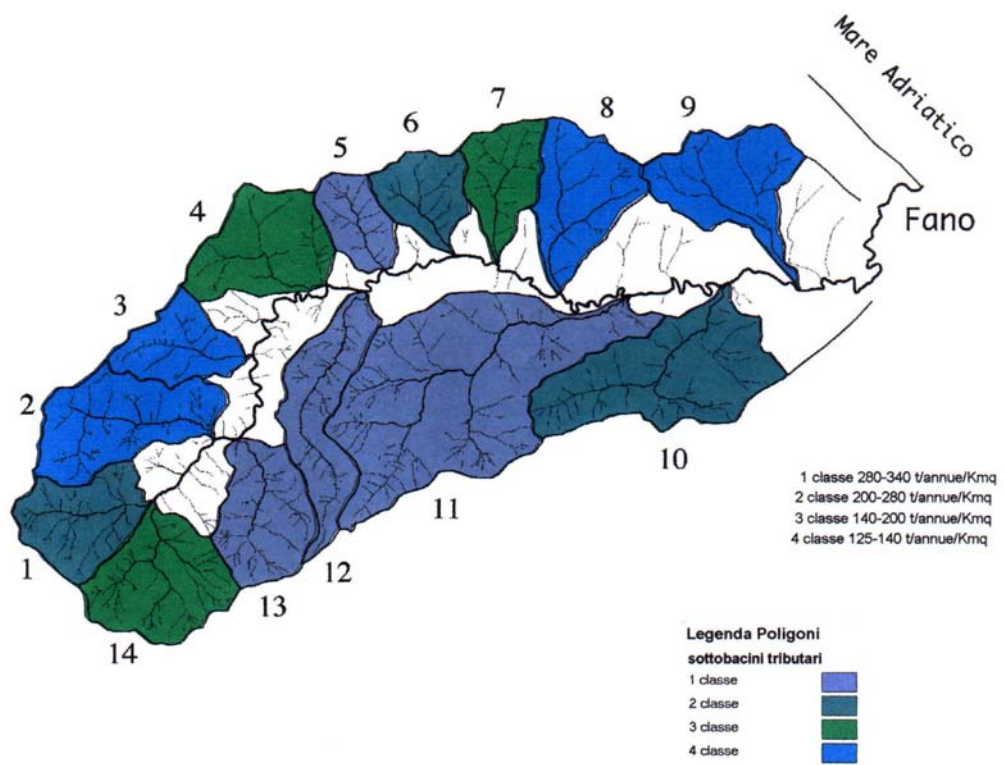


Fig. 6 - Intensità di detritazione di ogni sottobacino tributario

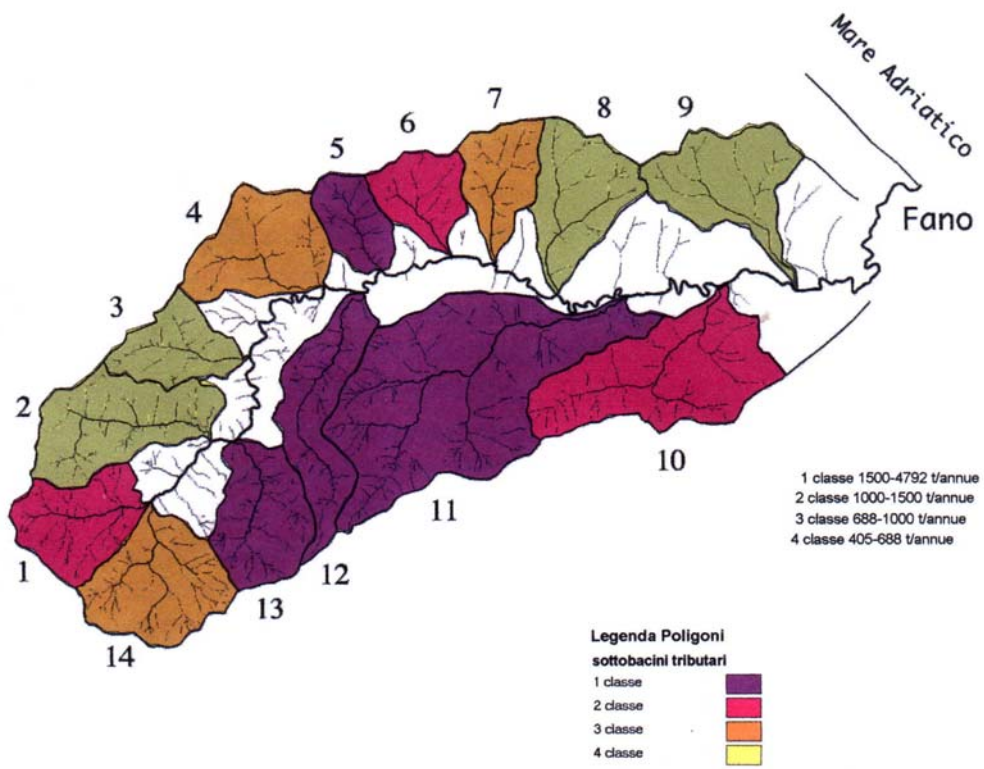


Fig. 7 - Detrizzazione di ogni sottobacino tributario

Fig. 8 Intensità di detrizione di ogni sottobacino tributario

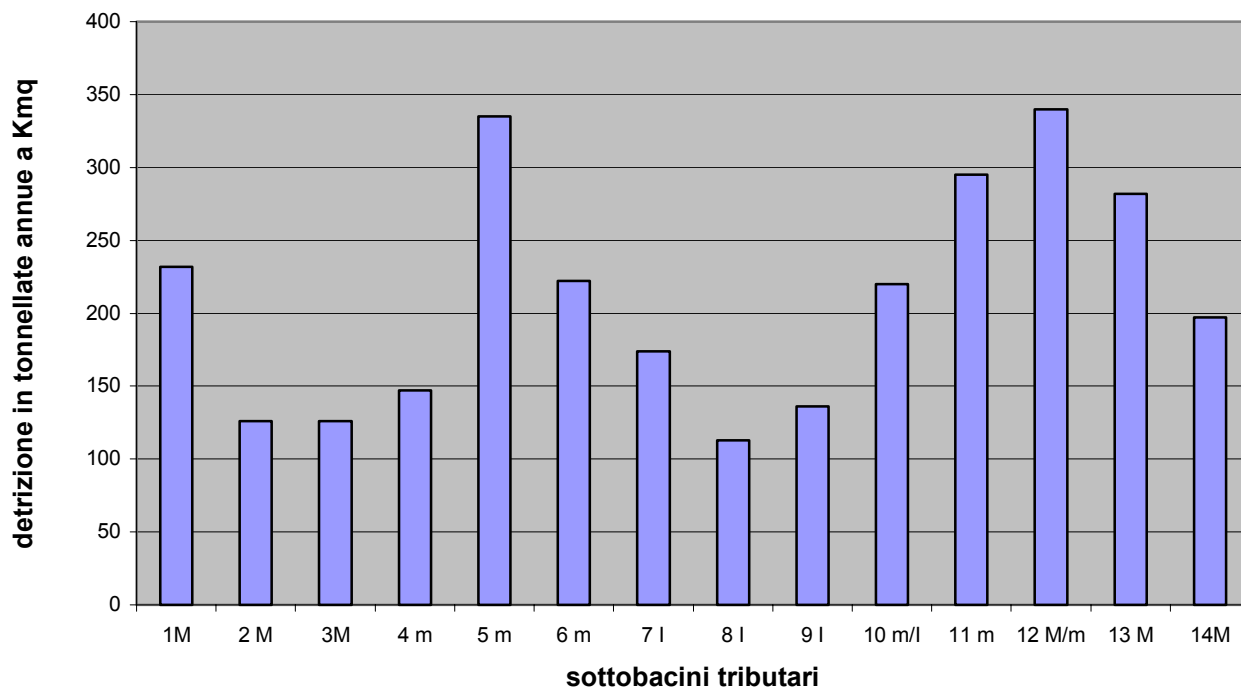
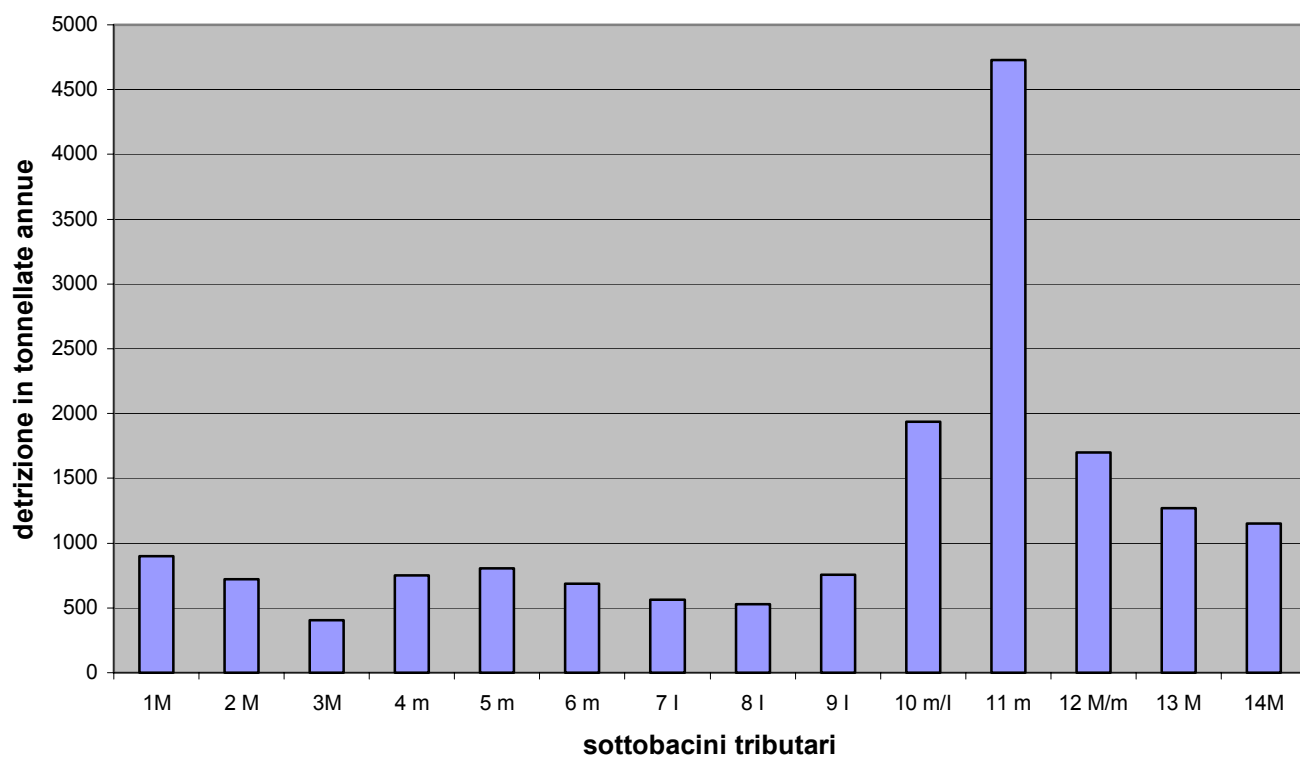


Fig. 9 Detrizione di ogni sottobacino tributario



5 - IDROLOGIA

L'area in esame è caratterizzata da un clima associabile alla zona sublitoranea appenninica, caratterizzato da un massimo pluviometrico autunnale e un minimo nel periodo estivo. Il bacino del Torrente Arzilla appartiene alla categoria dei bacini appenninici impermeabili, nei quali le zone permeabili occupano una parte trascurabile.

Il tempo di corrivazione (t_c) è il periodo d'afflusso che acque meteoriche impiegano a raggiungere la sezione di chiusura, partendo dai punti più lontani del bacino. Il calcolo della portata di massima piena è eseguito sulla base del valore del tempo di corrivazione.

Questo parametro è funzione della morfologia, delle litologie affioranti e della copertura vegetale.

Un'indicazione dell'ordine di grandezza di t_c può essere ottenuta dividendo la lunghezza totale dell'asta principale per un fattore pari a $1 \div 2$:

$$t_c(s) = L / (1 \div 2) = 7 \text{ h (considerando anche le sinuosità).}$$

Le prossime tre relazioni sono impiegabili per bacini di piccola e media estensione.

La *Formula F.A.O.*

$$t_c(h) = L_p / (15 \times h_{max}^{0.38}) = 5 \text{ h (considerando anche le sinuosità).}$$

La *Formula di Giandotti* è:

$$t_c(h) = [4 \times \sqrt{S} + 1.5 \times L_p] / (0.8 \times \sqrt{H_m}) = 6.3 \text{ h (considerando un percorso rettilineo).}$$

Notoriamente la formula di Giandotti tende a sovrastimare il t_c , perciò è spesso adottata considerando il percorso fluviale rettilineo per compensare tale tendenza.

dove:

$S(\text{km}^2)$ =superficie del bacino;

L_p (km)=lunghezza dell'asta principale;

P_m (%)=pendenza media del bacino;

H_m (m)=altezza media del bacino sul livello del mare;

h_{max} (km)=altezza massima del bacino rispetto alla sezione di chiusura.

Δ =(m)=dislivello fra gli estremi dell'asta fluviale principale.

Adottando uno *schema geometrico semplificato* del bacino si può valutare l'ordine di grandezza di t_c con la seguente formula:

$$t_c = (L_p/V_p) + (L_v/V_v) = 6.59 \text{ h}$$

dove:

L_p = lunghezza dell'asta principale;

V_p =velocità media di deflusso nell'asta principale;

L_v =lunghezza del versante;

Vv=velocità media di deflusso nel versante.

In relazione al fatto che il bacino ha un reticolo soprattutto nel settore montano caratterizzato da: strette e ripide valli laterali, pendici scoscese e tributarie di un letto principale profondamente incassato, con certa pendenza anche nel tronco terminale, si presuppongono tempi di corrivazione limitati.

Mentre in relazione alla forma allungata del bacino si presuppongono tempi di corrivazione maggiori.

Considerando le formule adottate, le caratteristiche morfologiche e morfometriche del bacino, si ritiene si ritiene cautelativo e rappresentativo porre $t_c(h)=6$.

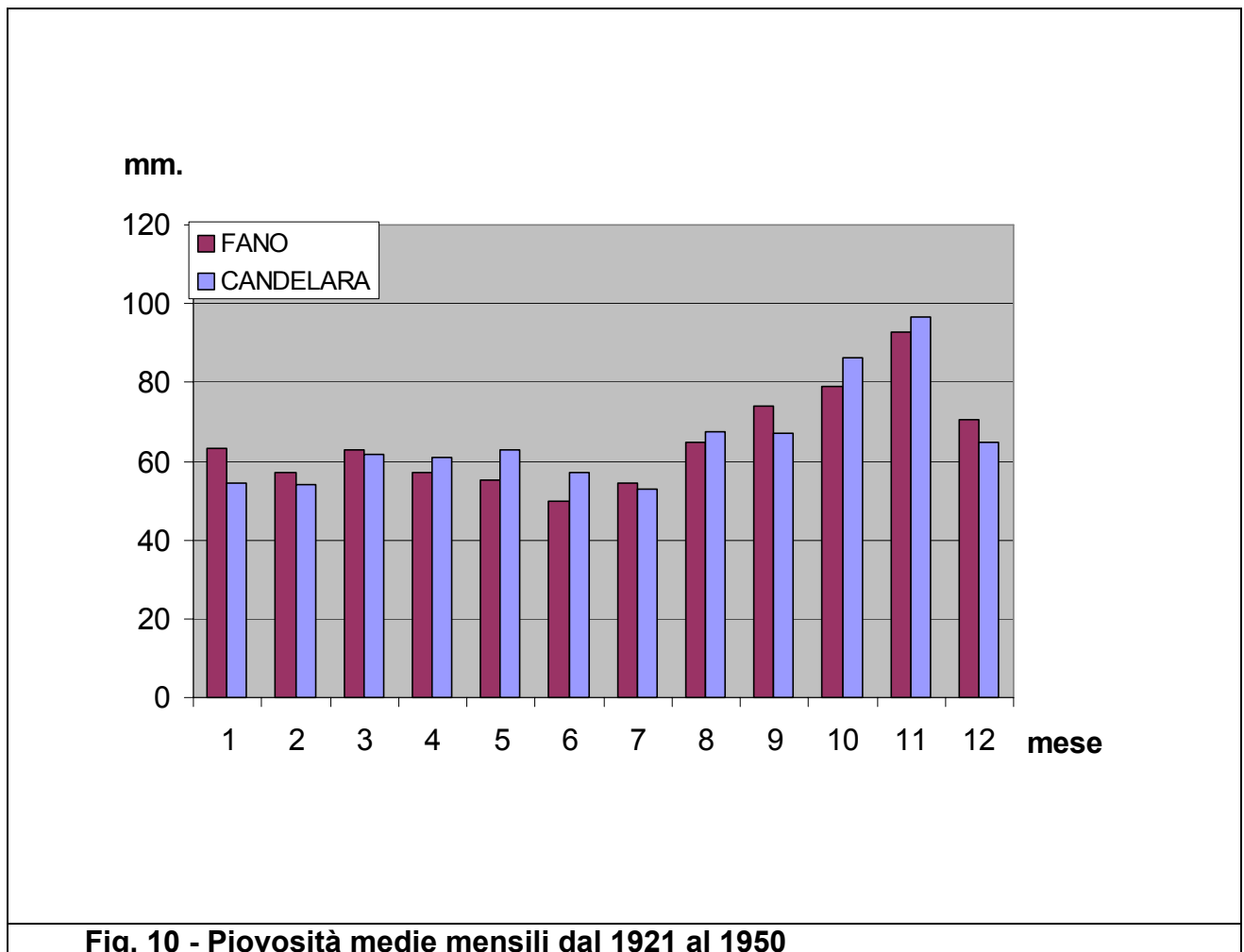


Fig. 10 - Piovosità medie mensili dal 1921 al 1950

Partendo dai dati pluviometrici reperibili sugli Annali Idrologici forniti dalle stazioni pluviografiche di misura di Candelara e Fano, sono state eseguite le elaborazioni necessarie per ottenere i valori di piovosità media mensile calcolati su di un arco di 30 anni (**V. Fig. 10**)

Inoltre gli Annali Idrologici relativi alla Stazione di Candelara forniscono, in forma tabellare, le massime precipitazioni orarie registrate anno per anno, per le durate di riferimento t di 1, 3, 6, 12 e 24 ore; le precipitazioni h_p di massima intensità compaiono in altezze pluviometriche espresse in mm.

Precipitazioni con durata inferiore ad 1 ora rappresentano piogge di notevole intensità e breve durata. Dagli Annali Idrologici per la Stazione di Candelara la massima precipitazione del 1979 con $t=6$ ore è $h_p=47,4$ del 3 Nov.; mentre per la Stazione di Fano la massima precipitazione del 1979 con $t=6$ ore è $h_p=104,2$ del 11 Nov. giorno in cui si verificò l'evento alluvionale di piena straordinaria del 1979. Quindi dai dati della Stazione di Candelara non risultano eventi pluviometrici particolarmente intensi nel 1979, come invece si sono verificati con la nota alluvione nel bacino del T. Arzilla. Nonostante ciò si ritiene rappresentativa questa stazione pluviometrica per la sua posizione quasi baricentrica nell'ambito del bacino; essa domina, come topoieta, circa il 60% dell'intera area imbrifera.

Per la limitata estensione del bacino si presuppone una certa uniformità degli eventi pluviometrici. Se si considerano gli eventi pluviometrici rilevati a Candelara, come proporzionali alle effettive altezze di precipitazione, ragguagliate sull'intero bacino, per i medesimi fenomeni è possibile costruire delle curve di possibilità climatica o pluviometrica indicative dell'altezza delle precipitazioni in funzione della loro durata (**V. Fig. 11**).

La stima della curva segnalatrice di possibilità climatica è sufficientemente attendibile poiché le di registrazioni utilizzate coprono un intervallo superiore a 30-35 anni (**V. Tab. 4**). Minore è l'intervallo di registrazione, minore è l'attendibilità dei risultati.

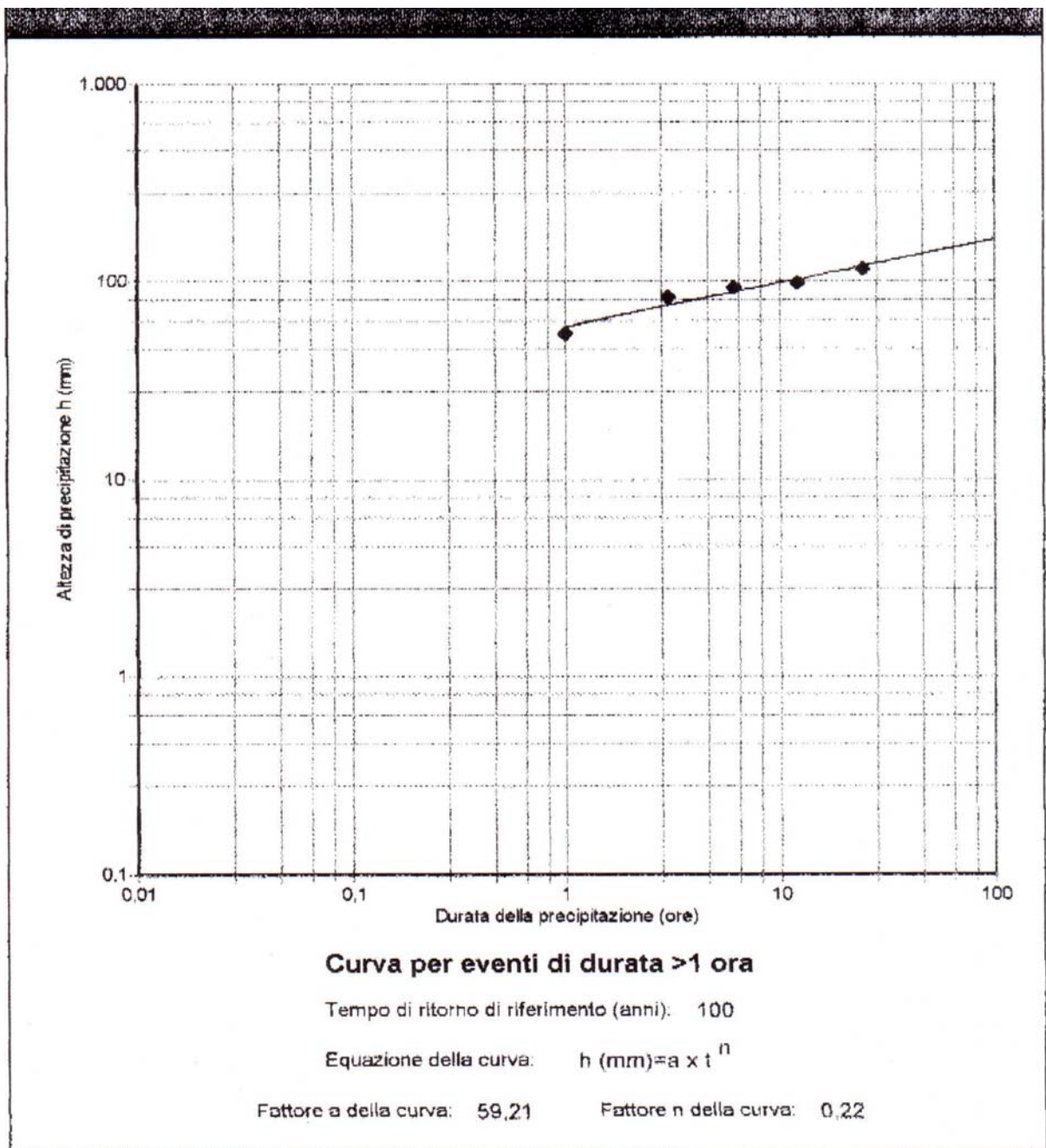


Fig. 11 – Curva per eventi di durata maggiori di un’ora

1951					22,4	33,8	33,8	43,8	60,4
1952					20,6	20,8	23,6	31,4	40,4
1953					17	25,2	36,8	59	67,2
1954					23,4	25,6	35	51,4	57,6
1955					21,6	28,4	45,4	56,6	77,2
1956					19	37,2	43,6	44	56,6
1957					18,2	22	32	52,6	58,2
1958					20,6	24,6	39,4	39,4	59
1959					24,4	30,8	46,6	64,2	64,8
1960					50,2	55,4	55,4	55,4	55,4
1961					10,4	16,2	24	32,2	40,6
1963					24,4	40,2	43,2	46,2	61,8
1965					37,6	42,6	42,2	43,4	51,6
1966					18,2	28	38,8	48,8	50,2
1967					15,4	18,4	19,2	24	36,2
1968					33,8	34	34,2	39,6	46,4
1969					31	83	86	91,2	91,2
1970					34,2	57,4	61,8	70,2	85
1971					13,2	15	22,8	35,8	55,2
1972					32	32,6	38,6	41,2	47,2
1973					33,8	38,2	49,6	60,6	85,8
1974					19,4	35,8	45,4	46,8	49,2
1975					46	55	71	85,4	109
1976					34	42	49,2	49,2	75
1977					26,8	50	52	53,4	68,8
1978					15,2	19,6	21,4	32,6	47,4
1979					35,2	41,8	47,4	55,4	90
1980					39	55,8	57	57	67,2
1981					23	37,6	45,6	51,4	58,4
1982					23,4	25,8	37,2	48	59,8
1983					32,6	67,6	91,4	91,4	97,8
1984					14,8	26,2	28,2	31	41,6
1985					14,2	22	36	50,6	55
1986					33,4	48	48,4	49	57
1987					26	35,4	37,8	46	50,2
1988					24,4	26,8	27	29,2	33,6
1989					22,8	33,6	49,8	50,6	60,8

Tab. 4 – Valori medi relativi alle altezze massime di precipitazione per il periodo 1951 ÷ 1989

Per ogni durata di riferimento, sono stati ordinati e numerati i valori delle precipitazioni ricavati dagli Annali Idrologici, per regolarizzarli con il metodo statistico-probabilistico di Gumbel.

L'equazione che collega altezze pluviometriche h_p alle durate di riferimento t , è:

$$h_p \text{ (mm)} = a \times t^n$$

dove:

a = variabile funzione del tempo di ritorno

n = costante per un dato valore di t

Ponendo i valori massimi per ogni intervallo di tempo sulla prima riga di una tabella quelli minimi sull'ultima è possibile realizzare un grafico utilizzando i dati d'ogni riga. Quindi si ricavano i valori dei parametri a e n relativi ad ogni anno. Il numero identificativo d'ogni riga rappresenta il tempo di ritorno dell'evento meteorico. Sono stati considerati tempi di ritorno pari a: 3, 5, 10, 15, 25, 50, 100, anni. E' evidente che l'estrapolazione parametrica a non deve andare troppo oltre il periodo di registrazione.

Il tempo di ritorno T_r ha il significato probabilistico d'intervallo di tempo nel quale ci si può aspettare che, in media per lunghi periodi d'osservazione, l'evento che si considera sia uguagliato o superato.

Considerando gli eventi del catalogo delle calamità idrauliche e le maggiori altezze pluviometriche registrate dalla Stazione di Candelara dal 1951 al 1989, questi eventi risultano abbastanza frequenti (**V. Tab. 5**).

LOCALITA'	BACINI INTERESSATI	DATA
Fano (Foce)	Metauro, Arzilla	12/09/55
Fano, Piaggie	Cesano, Metauro	03/02/73
Fano	Adriatico	17/08/76
Fano	Metauro, Arzilla	11/11/79
Fano, linea F.S.	Metauro, Rio Secco, Arzilla	18/11/79
Fano	Adriatico	01/12/82
Fano	Metauro, Arzilla	01/02/86
Fano, Piaggie	Metauro	10/12/90
Fano (Foce)	Metauro, Arzilla	22/11/91
Tab 5 - Catalogo delle calamità idrauliche		

Nell'ultimo cinquantennio si è avuta una progressiva e rapida modifica dell'assetto territoriale e agronomico. Il cambiamento delle tecnologie colturali e delle caratteristiche di

copertura e permeabilità di vasti territori (soprattutto per motivi antropici), hanno condotto variazioni dell'assetto idraulico del territorio. Si sono verificate infatti riduzioni dei tempi di corrivazione e dei volumi di invaso sui terreni. La diminuzione di tali parametri e l'aumentata vulnerabilità dei siti, incrementano il rischio anche per eventi pluviometrici non estremi. Le relazioni fra pioggia e portata sono quindi condizionate da fattori geologico-ambientali. La stessa pioggia può perciò causare portate ben diverse al variare di tali condizioni (Nesci, D'Angeli 4/2000 Geologia Ambientale).

Le precipitazioni causano portate diverse a seconda del periodo in cui si verificano, del diverso grado di saturazione dei terreni e dello stato dell'alveo. Alle stesse sollecitazioni meteoriche possono manifestarsi quindi differenti risposte del sistema idrografico.

Non essendo disponibili rilevazioni dirette delle portate e le scale idrometriche per la loro valutazione indiretta si è cercato di stimare le portate elaborando i dati pluviometrici e considerando le informazioni derivata dalla campagna di rilevamento, in particolar modo i livelli massimi raggiunti dalle inondazioni nelle varie località.

Per tali motivi si ricorre alla formula cinematica di Giandotti la quale tende notoriamente a sovrastimare (talora del doppio) i valori di portata rispetto ai metodi propri dell'ingegneria idraulica.

La Formula di Giandotti derivata da quella di Turazza, è la seguente:

$$Q_{max}(mc/s) = 0.278 \times [g \times p / (l \times t_c)] \times h_p \times S;$$

dove $g = 6$, $p = 0.3$ e $l = 4$ per piccoli bacini con area <300 kmq.

Risulta Q=390 mc/s nella zona della foce in relazione ai dati degli eventi di piena del 1979.

Quindi il valore fornito è da ritenersi puramente indicativo.

6 USO DEL SUOLO

Nell'area superiore marnoso-calcareo prevalgono i terreni a pascolo sia per l'elevata pendenza dei versanti che per l'azione di degradazione è impossibile l'impiego di mezzi agricoli per la coltivazione di seminativo o altri tipi di colture. Inoltre la fascia interessata dalla formazione del Bisciario è prevalentemente ricoperta da bosco ceduo.

Nelle Formazioni pelitico-arenacee e arenacee i terreni sono impiegati a varie colture quali seminativo a rotazione e vegetazione a basso fusto. Varie aree sono ricoperte di vegetazione boschiva ad alto fusto. Vi sono vari centri abitati; i principali sono ubicati sulla linea spartiacque.

Il settore medio per la quasi totalità è coltivato a seminativo ed a varie colture agricole. Il paesaggio è caratterizzato da interi versanti a monocoltura solo sporadicamente interrotta da vigneti. La vegetazione spontanea è stata lasciata quasi esclusivamente lungo i corsi d'acqua. In queste zone sono numerosi gli invasi artificiali, di piccole e medie dimensioni, alimentati generalmente dalle acque meteoriche a causa della bassissima permeabilità di questi terreni. Gli invasi artificiali sono utilizzati per irrigare i campi coltivati nel periodo estivo.

E' stata informatizzata, mediante sistema territoriale, la cartografia dell'Uso del Suolo come inquadramento generale mirato soprattutto alla distinzione fra aree boschive e a seminativo, nell'intero bacino del Torrente Arzilla. Quale esempio di tale elaborato si fornisce uno stralcio relativo al settore montano (**V. App. 1**).

In tale cartografia dell'Uso del Suolo sono state mappate le seguenti classi:

- formazioni boschive caratterizzate da densità ed essenze vegetali variabili,
- vegetazione di ripa costituite da fasce alberate lungo i corsi d'acqua,
- seminativo,
- seminativo degradato a causa di fenomeni erosivi, gravitativi e/o pascolo,
- incolto,
- aree fortemente erosive entro cui affiora il substrato litologico,
- principali zone edificate e industriali.

Poiché hanno spesso limitata estensione, le aree a vigneto sono state incorporate entro la classe del seminativo.

Confrontando cartografie e fotogrammi in successione cronologica si osserva una generale riduzione delle aree boschive. Infatti nel bacino dell'Arzilla col passare degli anni si è avuta una progressiva e rapida modificazione delle caratteristiche territoriali:

l'abbandono delle terre, il cambiamento delle tecnologie colturali e i mutamenti delle caratteristiche di copertura e permeabilità di vasti territori. Per esempio il bosco del Beato Sante nel 1700 arrivava nelle vicinanze dell'abitato di Novilara. Tali fattori conducono, in termini idrologici: alla riduzione dei tempi di corrivazione e alla vistosa diminuzione dei volumi d'invaso superficiale; ambedue questi fattori agiscono nel senso di far aumentare il rischio d'alluvionamento. In particolare riguardo l'azione antierosiva e di regimazione, la copertura vegetale ha un ruolo fondamentale nella caratterizzazione dei deflussi; durante gli eventi di piena, i prati erbosi pur rappresentando un'apprezzabile difesa del suolo contro l'erosione, hanno un'efficacia nettamente inferiore rispetto i boschi. Essi dissipano l'energia battente posseduta dall'acqua piovana che raggiunge il terreno con benefico ritardo accresciuto dalla capacità di ritenzione del suolo. L'azione di regimazione di un bosco dipende oltre che dalla sua struttura arborea dall'intensità e dalla durata effettiva della precipitazione rispetto al tempo di corrivazione, nonché dalla percentuale di superficie boschiva rispetto all'estensione del bacino. L'efficacia dell'azione boschiva è apprezzabile in un bacino come quello dell'Arzilla a causa dei ridotti tempi di corrivazione in relazione alla sua limitata estensione e al suo carattere torrentizio.

7 EVENTI ALLUVIONALI

Si distinguono varie tipologie d'eventi alluvionali in funzione del modo d'inondazione, dell'intensità e della durata delle precipitazioni concomitanti, del livello di terrazzamento raggiunto, del tempo di ritorno dell'evento stesso (intervallo medio di tempo probabile affinché si ripeta un evento simile o con intensità superiore).

Riguardo alle modalità d'inondazione, i fenomeni alluvionali si possono distinguere in eventi d'allagamento e d'esondazione.

Gli eventi d'allagamento comportano ristagni d'acqua senza che si verifichino tracimazione delle acque dall'alveo.

Gli eventi d'esondazione in ogni caso comportano la tracimazione delle acque dall'alveo. A loro volta i fenomeni d'esondabilità sono discriminabili per quanto possibile in fenomeni di piena ordinaria e straordinaria.

Attraverso la distinzione tipologica i fenomeni alluvionali sono rapportati alle molteplici cause che possono averli generati. Questo è utile per una miglior razionalizzazione delle sistemazioni idrauliche. Nella **Carta allegata (Fig. 12)** sono elencate le principali località di alluvionamento

I fenomeni d'allagamento spesso interessano aree del livello 1 (Olocene recente) ma anche il livello 2 (Olocene antico), si verificano anche in zone arginate in seguito ad eventi di esondazione straordinaria. Essi si manifestano in occasione di precipitazioni intense anche di breve durata. Inoltre questi fenomeni si verificano in concomitanza con anomalie dei tributari e disfunzioni della rete fognante.

Gli eventi d'esondazione ordinaria interessano i sottolivelli inferiori e talora anche quelli superiori dell'Olocene recente (livello 1) della piana alluvionale del torrente Arzilla. Essi si ripetono 2 o 3 volte all'anno, soprattutto nei periodi autunnali e primaverili. Tali eventi si manifestano in occasione di precipitazioni intense anche di breve durata in concomitanza con squilibri idraulici e scarsa manutenzione dell'alveo.

Gli eventi d'esondazione straordinaria interessano di solito i sottolivelli superiori dell'Olocene recente (livello 1) e talora dell'Olocene antico (livello 2) della piana alluvionale del torrente Arzilla. Essi hanno intervalli di tempo pluriennali (es. 66, 79, 97). Tali eventi si verificano in seguito a periodi di precipitazioni eccezionali per intensità e durata (settimane ininterrotte di pioggia) in concomitanza con l'alto livello marino, in assenza di argini, ostruzioni dell'alveo ecc..

Da testimonianze locali tali fenomeni sono caratterizzati da notevoli quantitativi di materiale solido in sospensione (in relazione a fenomeni di erosione e instabilità dell'alveo).

7.1 Esempi significativi di alcuni siti di alluvionamento

Località di Rio Piandara

Si tratta di un caso di confluenza atipica di un tributario nel torrente Arzilla in seguito ad una recente deviazione dello stesso e ad una probabile variazione del livello di base verosimilmente legata a riporto antropico. Conseguentemente, si verificano fenomeni d'allagamento. Infatti, da vecchie cartografie R. Piandara confluiva, tramite un'ansa meandrante verso est, incidendo la scarpata sull'alveo portandosi quindi alla stessa quota del torrente Arzilla. Attualmente il tratto terminale di R. Piandara prosegue in direzione nord-sud senza solcare la scarpata sull'alveo; trovandosi ad una quota nettamente maggiore di quella del torrente Arzilla sfocia con una conoide attiva nella piana olocenica dell'Arzilla. Questa conoide oltre a depositare limi grigi reincisi allaga il terrazzo olocenico. In condizioni di piena ordinaria, non è l'Arzilla che è nettamente più in basso a esondare ma è il suo tributario ad allagare la piana.

Nella conoide di R. Piandara c'è un canale sotterraneo antropico che riaffiora a tratti. Questo canale ha depositato nell'area golenale dell'Arzilla un'altra piccola conoide attiva spingendo lo stesso in destra idrografica.

Tale conoide costituita da limi nocciola finemente laminati, nella sua parte sinistra ha una reincisione dove sono depositati ciottoli medio-piccoli.

Località di Rio Fossatone

Si rilevano fasce d'esondazione ordinaria con limi e canali d'esondazione, coltivazioni sradicate, smottamenti nelle scarpate golenali.

Recentemente il meandro di confluenza di R. Fossatone è stato catturato dall'Arzilla in fase d'approfondimento; l'erosione regressiva fa affiorare il substrato in R. Fossatone.

Tale cattura ha causato un aumento di sinuosità; la conseguente accentuazione dei fenomeni d'erosione laterale favorisce la formazione dei canali d'esondazione e degli smottamenti nelle sponde. Essi a loro volta interagiscono con i fenomeni d'esondabilità favorendo: ostruzione nelle strettoie, innalzamento del fondo e del livello idrico dell'alveo in risposta all'incremento locale dell'apporto detritico, deviazioni di deflusso sulla sponda opposta nei tratti a meandri.

8 OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICA E DEI VERSANTI

La sistemazione del bacino dell'Arzilla comporta, senza impedire espansioni del Torrente in altri luoghi, la tutela dei centri abitati fra Fano e Fenile, nonché delle attività produttive come quelle industriali di Villa Betti; spesso si tratta d'insediamenti limitrofi ad aree golenali.

In relazione alle limitate dimensioni, il bacino del torrente Arzilla mostra risposte evolutive molto accentuate rispetto a variazioni anche modeste dei suoi parametri idraulici. Per cui fra i vari interventi proponibili sono da prediligere quelli che, a parità di benefici, producano il più basso impatto. Mentre in termini economici, s'individua la soluzione corrispondente al valore minimo della somma dei costi dell'opera e dei danni per insufficienze della stessa in occasione d'eventi straordinari.

8.1 Nodi critici e criteri generali di sistemazione

In particolare, l'analisi quantitativa e il rilevamento, evidenziarono che i fenomeni alluvionali hanno particolare incidenza nelle seguenti situazioni (nodi critici):

- forte anomalia gerarchica in bacini tributari con confluenza atipica probabilmente legata a variazioni recenti del livello di base
- bacini tributari con elevata detrizione principalmente fornita dai fenomeni franosi secondariamente da quelli erosivi
- irregolarità trasversali e longitudinali dell'alveo comportano la presenza di tratti in forte erosione di fondo e segmenti a notevole sedimentazione
- erosione di sponda con smottamenti per scalzamento al piede in successioni di meandri ad alta sinuosità
- zone topograficamente depresse
- ostruzione delle luce degli attraversamenti dell'alveo per il deflusso di corpi di notevoli dimensioni come tronchi
- scadente manutenzione dell'alveo
- fognature in sovraccarico idraulico e risalienza dalla falda idrica
- risalita idrica dall'alveo alle zone golenali retrostanti attraverso tubazioni di drenaggio superficiale
- ruscellamento incontrollato

- tratti arginali deteriorabili

Quindi è importante intervenire per controllare tali situazioni. Alla foce intervengono anche altri fattori come: il livello marino, l'interfaccia salmastra ecc..

Inoltre le sistemazioni si diversificano a seconda che riguardino i sottobacini tributari o l'asta del corso d'acqua principale nei suoi vari tratti.

Nei sottobacini tributari gli interventi mirano a controllare i fenomeni di detritazione e le confluenze atipiche. Nel tratto d'asta superiore-medio, le sistemazioni hanno lo scopo di stabilizzare il fondo e le sponde dell'alveo, limitare l'erosione a monte, nonché favorire il deflusso del materiale solido verso valle senza significativi depositi localizzati in alcuni punti del corso d'acqua stesso.

Nel tratto d'asta medio-inferiore, la difesa dell'area dalle alluvioni si ottiene o aumentando la capacità di portata con argini, ricalibratura dell'alveo o diminuendo la portata di piena con casse d'espansione, canali scolmatori ecc.

In situazioni di deterioramento degli argini gli interventi sono mirati alla protezione di tali rilevati da possibili fenomeni di collasso per:

- tracimazione e asportazione progressiva degli strati superficiali del rilevato,
- per instabilità del rilevato,
- per crolli successivi,
- per sifonamento (piping) nel corpo arginale o la liquefazione del materiale costituente il rilevato stesso.

Di seguito si considerano alcuni esempi di sistemazione applicati a un sottobacino tributario ed a un tratto d'asta del T. Arzilla ritenuti indicativi. Relativamente a tali aree si allegano la cartografia delle Coperture (**V. App. 2**).

Poichè attualmente non sono disponibili sia le sezioni topografiche a scala particolareggiata che i parametri idraulici e geotecnici necessari alla progettazione delle opere di sistemazione, tali esempi preliminari approfondiscono solo alcune problematiche delle aree campione. In particolare, sia relativamente al T. Arzilla che ai suoi tributari, non sono disponibili rilevazioni dirette delle portate e le scale idrometriche per la loro valutazione indiretta. Tali dati sono importanti anche per lo studio e l'eventuale sistemazione di confluenze atipiche.

8.2 Interventi di sistemazione del bacino tributario Malatesta

Come esempio di sistemazione di un tributario si ritiene indicativo il sottobacino Malatesta, del settore pelitico, per molti aspetti: alti valori di anomalia gerarchica e di detrizione, forte instabilità dei versanti, confluenza immediatamente a monte dell'area di paleoalveo potenziale cassa d'espansione per cui l'onda di piena sarà caratterizzata da un notevole carico detritico in tale zona.

Poiché risulta che principalmente la detrizione del bacino proviene dai movimenti gravitativi, i quali possono rifornire i tributari di notevoli quantitativi di materiale solido anche in modo improvviso, è importante il controllo e il consolidamento dei versanti interessati da frane.

Pur non disponendo di dati ricavati da prove in sito e di laboratorio sono state eseguite verifiche di stabilità speditive sui versanti post-frana di tale sottobacino per esaminare la tendenza di tali corpi ad ulteriori rimobilizzazioni in varie situazioni. Alcuni esempi d'elaborati grafici e numerici in Loc. Uffreduccia sono allegati a fine relazione (**V. App. 3**). Comunque tali verifiche di stabilità dimostrano come le porzioni superiori dei pendii, in condizioni estreme quali falda al piano di campagna, sovraccarichi esterni e sollecitazioni sismiche, i coefficienti di sicurezza siano nettamente inferiori ai valori imposti dalle normative lungo superfici di scorrimento superficiali. Quindi si tratta di una spiccata tendenza a rimobilizzazioni parziali di vecchi movimenti franosi soprattutto durante periodi di precipitazioni abbondanti. Le cause del dissesto sono riconducibili a: fattori predisponenti come litotipi fortemente alterati e rimaneggiati di notevole spessore, presenza d'acqua, fattori determinanti come opere antropiche scavi, riporti.

In prossimità dei centri abitati occorre controllare se si esistono:

a) nella zona di distacco e del corpo di frana, scarichi, perdite di fognature, che comportino l'aumento di peso e la perdita di coesione o sovrappressioni in caso di presenza di corpi sabbiosi fra le peliti

b) nelle testate delle frane sovraccarichi per esempio dovuti a riporti di materiale di riempimento che contribuiscano ad accelerare i fenomeni gravitativi in atto.

Riguardo le opere di sistemazione di tali versanti andrebbero eseguiti, rispettando l'ordine di priorità, i seguenti interventi:

- canalizzazione delle acque di scarico fuori dalle aree di frana, scarichi continui che contribuiscano ad aumentare l'instabilità;
- eventualmente scaricare nel substrato roccioso integro le tensioni delle fondazioni di edifici anche limitrofi il corpo di frana;

- dreni, profondi e ortogonali a opere di sostegno, fino al substrato con scarico fuori dal corpo di frana; gli scarichi vanno eseguiti evitando che gli edifici si lesionino in seguito a cedimenti delle fondazioni;
- opere di sostegno con immersione nel substrato integro;
- livellazioni del corpo di frana eliminando gibbosità;
- regimazioni delle acque superficiali mediante fossi rivestiti con materiali che sono propri dell'ingegneria naturalistica per allontanare le acque dall'area;
- "tecnologie verdi".

Riguardo le frane di sponda di fosso Malatesta sono stati effettuati calcoli speditivi di stabilità relativi a un movimento gravitativo in prossimità della confluenza di fosso Malatesta in destra idraulica. Si è ritenuto opportuno applicare il metodo di Janbu ipotizzando una superficie potenziale di rottura probabilmente lontana dalla circolarità (**V. App. 4**). In condizioni d'erosione al piede e falda superficiale si è constatato che i coefficienti di sicurezza sono nettamente inferiori ai valori imposti dalle normative lungo superfici sia più superficiali che più profonde rispetto a quella di scorrimento attuale quindi si tratta di una spiccata tendenza sia alla rimobilizzazione del movimento franoso presente che alla regressione verso monte del fenomeno.

Le eventuali opere di stabilizzazione tradizionali lungo le sponde dovranno garantire il deflusso delle acque d'infiltrazione per non provocare un aumento di quota della falda e quindi sovrappressioni interstiziali.

Per consolidamento di versanti e sponde instabili superficialmente, si può anche intervenire con le cosiddette "tecnologie verdi" tipo "VETIVER" (*Vetiveria Zizanioides* Linn) sterile. Si tratta di una pianta erbacea perenne, cespitosa, molto resistente all'allettamento con un'enorme massa di radici spugnose resistenti che si accrescono verticalmente anche oltre 5 m. senza sviluppo radiale con il vantaggio che la pianta non risulta competitiva con le coltivazioni limitrofe. Quindi queste radici impiantate a file, formano una sorta di palificazione naturale caratterizzata anche da una grossa capacità di fitodepurazione e di ampia adattabilità a svariate condizioni climatiche e pedologiche.

8.3 Alcuni interventi di sistemazione del tratto d'asta principale in Località S. Maria dell'Arzilla

Come esempio di sistemazione di un segmento d'asta principale si ritiene indicativo il tratto nel settore pelitico in Loc. S. Maria dell'Arzilla. Qui si concentrano varie tipologie di nodi critici come: confluenze atipiche, erosione di fondo, forte instabilità delle sponde per erosione laterale nei tratti ad alta sinuosità con la formazione di smottamenti che deviano e ostruiscono l'alveo.

Riguardo la sistemazione della confluenza atipica di Rio Piandara quale tributario di una certa importanza l'immissione può avvenire con tracciato obliquo come in passato.

La sponda esterna di tale tributario dovrà essere adeguatamente difesa nel tratto a maggior curvatura.

Anche in funzione delle portate di piena si deve valutare il rischio al rigurgito che l'Arzilla può provocare per l'intersezione dei deflussi nella confluenza sistemata. In tal caso il sezionamento idraulico di Rio Piandara dall'Arzilla si realizza allo sbocco del tributario tramite una struttura sfiorante con difesa al suo piede dallo scalzamento sul fondo in magra controllando possibili sifonamenti causati dal dislivello. La sponda esterna del Torrente Arzilla opposta alla confluenza deve essere ugualmente protetta dalla possibile erosione specie nel caso di portate elevate del tributario.

La sponda esterna del Torrente Arzilla dovrà eventualmente essere conformata in modo tale da indirizzare il filone della corrente verso la zona di deposito del trasporto solido del tributario per favorirne l'allontanamento per evitare la divisione del letto in due rami; dato che la sezione dell'Arzilla è molto stretta non dovrebbero crearsi problemi del genere.

Ma si deve anche evitare che l'immissione del tributario produca nel Torrente Arzilla un deposito a monte per il possibile rallentamento della corrente.

La stabilizzazione del fondo dell'alveo in erosione in prossimità di Rio Fossatone può avvenire con soglie di fondo che fissano la sezione dell'alveo e possono anche essere realizzate in legname e pietrame.

Le sponde vanno protette dall'erosione attraverso opere di difesa longitudinali. Tali interventi dovrebbero: sia trattenere la vegetazione durante le piene che consentire un flusso controllato del materiale solido per evitare pericolosi e improvvisi sovralluvionamenti. Si escludono le difese sporgenti in quanto la limitata estensione

trasversale dell'alveo dell'Arzilla non consentirebbe materialmente la messa in posto di tali opere.

Le opere di difesa radenti comportano generalmente una regolarizzazione e quindi un restringimento dell'alveo conseguentemente un suo approfondimento soprattutto dove l'alveo ha una buona inclinazione per cui occorre valutare attentamente tali effetti.

In particolare per la progettazione e il dimensionamento delle opere radenti, le prove sono rivolte alla determinazione dei seguenti parametri idraulico-geotecnici:

- granulometria del fondo e delle sponde comparata alla curva velocità critica/diametro dei granuli,
- velocità media dell'acqua per la quale in condizione di moto uniforme si adotta la formula di Chezy,
- la tensione di trascinamento cioè lo sforzo efficace esercitate dal flusso idraulico sulle particelle nel fondo e sulle sponde dell'alveo,
- i coefficienti di scabrezza e i coefficienti di stabilità della sponda.

Le difese radenti longitudinali sono di varie tipologie e di materiali diversi a seconda del corso d'acqua della sua forza erosiva, trasporto e del genere di sponda. In tal caso si possono prevedere difese a gabbioni visto che il trasporto solido non ha valori di granulometria e velocità di deflusso tali da poter facilmente incorrere in rotture della rete di contenimento degli'inerti. I gabbioni possono essere ricoperti con terreno inerbito o piantumato inglobante massi. Piene significative possono asportare lo strato di terreno che in tal caso sarà nuovamente reimpiantato. Può essere usato del tondame (legno) di protezione al piede.

In sezioni trasversali molto ridotte si potrebbero utilizzare i muri di sponda fondati almeno 2-2,50 mt. dal fondo dell'alveo e protetti ai piedi da massi.

Visto che si tratta di litotipi limoso-sabbiosi moderatamente ghiaiosi si possono adottare difese spondali "naturalistiche" le quali comportano l'infissione di palificate in legno.

Per esempio la difesa con legname e pietrame consiste in una struttura a cassoni di tondame (larice, castagno) disposto parallelamente e ortogonalmente alla sponda. Il cassone è riempito da pietrame e terreno di scavo. Tale manufatto è difeso dallo scalzamento al piede tramite colonna di massi collegati tra loro e protetti una serie di pali

in legno infissi. Entro il riempimento sono inserite le talee il cui apparato radicale collega la palizzata e la sponda. Anche in tali casi si possono utilizzare le cosiddette “tecnologie verdi” tipo “VETIVER”.

Un'altra tipologia di difesa spondale naturalistica è quella delle viminate costituite da pali in legno infissi nel terreno fra i quali s'intrecciano vimini di salice fresco.

Riguardo agli interventi di laminazione si ritiene di ubicare le *eventuali casse d'espansione* in aree incolte e/o agricole e già naturalmente predisposte, onde assecondare il più possibile le caratteristiche fisiche e le tendenze evolutive del reticolo. Per esempio un'area che risponde a tali esigenze è la zona di paleomeandro ubicata a sud di S. Andrea. (**V. Fig. 12 e Tav. 4**). Infatti già attualmente funge da cassa d'espansione poichè l'onda di piena ordinaria risale il canale abbandonato attraverso due imboccature; inoltre la capienza di tale area può essere facilmente aumentata. Altre aree idonee a questo scopo sono situate in Località Centinarola (**V. Fig. 12 e Tav. 4**) ed anche a monte della zona industriale di Villa Betti (**V. Fig 12**). Pure in tal caso sarebbe importante considerare la possibilità di utilizzare il materiale di deposito nelle casse d'espansione per il ripascimento delle spiagge.