



PROVINCIA DI TERNI

Studio sulla dinamica fluviale per la gestione morfo-sedimentaria del sistema alveo-pianura fluviale del Fiume Paglia

(Giunta provinciale – Delibera n. 96 del 08/05/2012)

RELAZIONE TECNICA



Emissioni:
1 dicembre 2012

Corrado Cencetti Pierluigi De Rosa Andrea Fredduzzi
Paolo Tacconi

UNIVERSITÀ DI PERUGIA



Indice generale

1. PREMESSE.....	pag. 2
2. METODI.....	pag. 4
3. PRINCIPALI CARATTERI DEL SISTEMA ALVEO-PIANURA FLUVIALE DEL F. PAGLIA, A PICCOLA SCALA.....	pag. 20
4. INQUADRAMENTO MORFOLOGICO-SEDIMENTARIO DEL SISTEMA ALVEO-PIANURA FLUVIALE DEL FIUME PAGLIA, A MEDIA SCALA.....	pag. 32
5. ANALISI DETTAGLIATA DI MEDIA E GRANDE SCALA DEL SISTEMA ALVEO-PIANURA FLUVIALE DEL F. PAGLIA NEL TRATTO IN STUDIO.....	pag. 38
6. INDAGINE STORICA SUI CARATTERI DEL SISTEMA ALVEO-PIANURA FLUVIALE DEL BASSO PAGLIA.....	pag. 92
7. CARATTERIZZAZIONE GRANULOMETRICA DEI SEDIMENTI DEL FIUME PAGLIA.....	pag. 103
8. CARATTERI DELLE SEZIONI TRASVERSALI.....	pag. 109
9. CARATTERI DEL PROFILO LONGITUDINALE.....	pag. 112
10. CLASSIFICAZIONE DELL'ALVEO.....	pag. 114
11. CARATTERI SINUOMETRICI.....	pag. 116
12. CARATTERIZZAZIONE GENERALE DEL SISTEMA FLUVIALE DEL F. PAGLIA A PICCOLA SCALA.....	pag. 117
13. CARATTERIZZAZIONE GENERALE DEL SISTEMA ALVEO-PIANURA FLUVIALE DEL FIUME PAGLIA, A MEDIA SCALA.....	pag. 119
14. DESCRIZIONE DETTAGLIATA DEL SISTEMA ALVEO-PIANURA FLUVIALE DEL BASSO PAGLIA.....	pag. 123
15. MODELLO CONCETTUALE DEL MEDIO-BASSO PAGLIA.....	pag. 130
16. PRINCIPI ORDINATORI PER IL CONSEGUIMENTO DEGLI OBIETTIVI SPECIFICI.....	pag. 135
17. LINEE GUIDA PROGETTUALI.....	pag. 138
18. CONSIDERAZIONI FINALI.....	pag. 141
19. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	pag. 143

1. PREMESSE

Lo studio in oggetto nasce dall'esigenza, da parte della Provincia di Terni, di dotarsi di uno strumento per la progettazione di interventi sul sistema alveo – pianura fluviale, nel tratto terminale del fiume Paglia (Umbria sud-occidentale – fig. 1), finalizzati alla corretta gestione del sistema stesso e alla mitigazione dei rischi dovuti alla dinamica d'alveo.

Tali interventi non possono prescindere da una corretta conoscenza dei processi di dinamica fluviale che hanno agito in passato e di quelli in atto nel sistema, che condizionano la sua evoluzione futura.

1.1 Contratto di lavoro

1.1.1 Oggetto del lavoro

La Provincia di Terni ha formalizzato, nel maggio 2012, una convenzione - contratto di ricerca con l'Università di Perugia, avente per oggetto lo “*Studio sulla dinamica fluviale per la gestione morfo-sedimentaria del sistema alveo – pianura fluviale del fiume Paglia*”.

Il Responsabile scientifico delle attività previste da parte dell'Università di Perugia è il Prof. Corrado Cencetti, mentre il coordinamento delle attività stesse è stato demandato al Prof. Paolo Tacconi.

1.1.2 Articolazione del lavoro

Lo studio, come riportato nell'art. 1 della convenzione, “... è rivolto in modo completo e dettagliato al solo settore di valle del F. Paglia, ma, per la sua corretta impostazione e sviluppo, è necessario anche un inquadramento generale dell'intero alveo e dei suoi principali affluenti, seppure ad un livello di approfondimento e di scala diversi.”

Pur mantenendo un ampio spettro di finalizzazioni (Direttiva 2000/60/CE; Direttiva 2007/60/CE; DM 30/6/2004, etc.), l'analisi è rivolta a fornire i principali elementi tecnico-conoscitivi in tema di dinamica fluviale, necessari alla corretta progettazione di opere e attività, con particolare riferimento a quelle finalizzate alla stabilità dell'alveo e alla mitigazione del rischio geologico-idraulico causato dalla sua dinamica.

1.1.3 Tempi di consegna

Tra le parti si è stabilito un periodo di 7 mesi, a partire dalla sottoscrizione della convenzione – contratto di ricerca, per l'espletamento da parte del Università di Perugia di tutte le attività previste. Queste sono dettagliate nel prospetto tecnico allegato al testo della convenzione stessa, al quale si rimanda per i dettagli e le fasi operative.



Fig. 1 - Ubicazione dell'area di studio.

1.1.4 Gruppo di lavoro e organizzazione

Il gruppo di lavoro coinvolto nella convenzione è quello del Settore di Geologia Applicata (attualmente appartenente alla Sezione Ingegneria Ambientale del Università di Perugia) ed è costituito da:

Prof. Geol. Paolo Tacconi (Coordinatore delle attività previste dalla convenzione), già Ordinario di “Geologia Applicata alla Difesa del Suolo” presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Perugia;

Prof. Geol. Corrado Cencetti (Responsabile scientifico della convenzione per l'Università di Perugia), Associato di “Geologia Tecnica” presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Perugia;

Dr. Ing. Pierluigi De Rosa, (collaboratore), Dottore di ricerca in “Scienze della Terra e Geotecnologie” e Assegnista di ricerca presso l'Università di Perugia;

Dr. Geol. Andrea Fredduzzi (collaboratore), Dottore di ricerca in “Scienze della Terra e Geotecnologie” e Borsista presso l'Università di Perugia.

2. METODI

2.1 La “conoscenza” come strumento essenziale per la gestione degli alvei fluviali

Una corretta gestione dei sistemi fluviali necessita della conoscenza dei complessi processi che regolano la loro dinamica. Questi processi, infatti, determinano da un lato la tendenza evolutiva del sistema stesso, sia essa naturale e/o indotta dall'attività antropica, dall'altro il loro comportamento attuale relativo sia ai rischi che alle risorse legate al fiume.

Conoscere il sistema significa anche prevedere le sue reazioni ad ogni tipo di intervento teso a:

- valorizzare e mantenere gli habitat fluviali;
- disporre degli elementi conoscitivi necessari a progettare le opere fluviali, valutandone gli effetti, la stabilità, l'efficienza e la durabilità;
- “gestire” i sedimenti, cioè valutare il loro ruolo sulla dinamica dell'alveo e gli effetti della loro mobilitazione e/o estrazione;
- disporre degli elementi conoscitivi necessari a progettare i lavori ordinari e straordinari di manutenzione degli alvei.

Si parla di “dinamica fluviale” non solo perché l'acqua si muove nel fiume con una sua dinamica, ma anche perché lo stesso fiume si muove e varia i suoi caratteri, o meglio può cambiare la sua forma, la sua posizione e le sue dimensioni nel tempo, in relazione al moto dei sedimenti che, attraverso i fenomeni di erosione, trasporto e sedimentazione, ovvero attraverso il fenomeno del trasporto solido, tendono a mantenere il fiume in un equilibrio dinamico che può rendere l'alveo “mobile” e allo stesso tempo “stabile” ovvero in equilibrio con il sistema (fig. 2).



Fig. 2 - Un alveo a meandri. L'alveo è mobile dal punto di vista planimetrico, in quanto il canale cambia la sua posizione assoluta nel tempo, ma la forma del tracciato, con le sue anse e l'accentuata sinuosità, rimane inalterata. Dal punto di vista geomorfologico, questa forma è stabile.

2.2 L'approccio morfologico-sedimentario

I principali approcci utilizzati negli studi di dinamica fluviale sono due:

- **idrologico-idraulico**
- **morfologico-sedimentario**

I due approcci non si pongono in alternativa tra loro, ma si pongono in parallelo e si completano a vicenda.

L'approccio **idrologico-idraulico**, classico dell'Ingegneria idraulica, utilizza i metodi statistici; di norma si analizzano serie storiche di dati e si usano le leggi dell'idraulica per definire i rapporti fra alveo, sedimenti e corrente idrica. Per la complessità dei fenomeni, talora si utilizzano anche

modelli fisici in scala.

Nell'approccio **morfologico-sedimentario** (Tacconi, 1990) non si considerano serie storiche di dati di afflussi o di deflussi (idrici e di trasporto solido) ma si considerano, per così dire, i loro effetti “formativi” caratteristici del sistema fiume, a diverse scale spaziali e temporali:

- alla piccola scala, l'ambito di studio è rappresentato dal bacino idrografico. Le variazioni avvengono in tempi geologici e riguardano gli aspetti climatici e tettonici quali, ad esempio, l'evoluzione della rete idrografica;
- alla media scala, l'ambito di studio è il sistema alveo – pianura fluviale. Le variazioni avvengono in tempi storici e riguardano gli aspetti geomorfologici dell'alveo quali, ad esempio, i caratteri planimetrici (intrecciamento, sinuosità, etc.) e altimetrici (quota del thalweg, cioè del fondo, pendenza, etc.);
- alla grande scala, l'ambito di studio è l'alveo, con le sue componenti. Le variazioni avvengono in tempo reale e riguardano il canale, corpi sedimentari, le sponde, le forme di fondo, la variabilità delle portate solide e liquide, che variano in seguito ad eventi come le piene. Le modificazioni possono essere rapide e perturbanti per l'ambiente, fino a diventare rischiose.

La trattazione dei diversi argomenti a più scale spazio-temporali corrisponde anche ad una trattazione per livelli di approfondimento successivi: ciò può rendere meno “snella” la lettura della presente relazione, ma consente di poterla utilizzare in futuro non solo per gli obiettivi specifici per i quali è stata redatta.

Un aspetto interessante dell'approccio morfologico-sedimentario è che questo non necessita di serie storiche, statisticamente valide ed attendibili di dati sia idrici che di trasporto solido.

Ciò rende possibile studiare un problema e risolverlo in qualsiasi fiume in tempi compatibili con quelli di norma disponibili per le attività di pianificazione o di progettazione.

Ma cosa significa “approccio morfologico-sedimentario”?

Significa osservare, analizzare, studiare, descrivere, per quanto possibile con un linguaggio quantitativo, il sistema naturale “fiume”. In tal senso, i caratteri morfologico-sedimentari di un sistema alveo – pianura alluvionale rappresentano un elemento importante di questo processo di *conoscenza*. Essi sono il frutto della *storia* del sistema, cioè dei processi morfologico-sedimentari ed idraulici che hanno agito in passato e di quelli che agiscono tuttora nel sistema stesso. L'osservazione, il rilevamento e soprattutto la corretta interpretazione del dato morfologico-sedimentario diventano così gli strumenti essenziali di questo processo di conoscenza.

2.3 Caratteri morfologico-sedimentari di un alveo fluviale mobile

I caratteri morfologico-sedimentari di un alveo fluviale mobile, o meglio delle sue componenti principali, oggetto di rilevamenti e di analisi, sono i seguenti:

- il canale (o i canali) di magra. Il loro numero varia a seconda della tipologia di alveo che, a sua volta, è funzione dell'entità e del tipo di trasporto solido. Esistono alvei multicanale e unicanale (fig. 3); in particolare sono i caratteri dei corpi sedimentari (barre) che condizionano il carattere del o dei canali di magra. Alvei con rilevante trasporto solido in sospensione tendono ad avere un canale che si identifica con l'alveo inciso e rappresentano situazioni di rilevante stabilità. Al contrario, alvei con rilevante trasporto solido di fondo possono presentare più canali di magra, divisi da barre e più limitati in larghezza rispetto all'alveo. I canali possono intrecciarsi tra loro e determinare situazioni di minore stabilità. La forma, le dimensioni e i caratteri sedimentari (granulometria del materiale trasportato) variano in dipendenza degli eventi di piena: durante le piene le barre possono muoversi per erosione o per sedimentazione, facendo variare la posizione dei canali; nella fase di morbidità, invece, la mobilità delle barre decresce fino quasi ad annullarsi e rimane tra le barre un tracciato sinuoso nel quale si stabilisce la corrente principale ovvero rimane il canale di magra (fig. 4).



Fig. 3 - Alveo monocanale e multicanale.



Fig. 4 - Il canale di magra, all'interno di un alveo tendenzialmente intrecciato, si evidenzia quando le barre tendono ad essere più stabili a causa della bassa portata.

- le **sponde** dell'"alveo pieno". Sono quelle che delimitano l'alveo e rappresentano il confine areale che divide la zona in cui i processi avvengono all'interno dell'alveo, da quella in cui i processi interessano la pianura alluvionale. Le sponde possono essere alte o basse (fig. 5). Le sponde alte sono caratteristiche di situazioni in erosione, quali ad esempio la sponda esterna di un meandro o la presenza di un alveo inciso in sedimenti relativamente consolidati; oppure si trovano in situazioni di relativa stabilità, come negli alvei privi di barre con prevalente trasporto solido in sospensione. In questo caso si tratta di sponde spesso formate da sedimenti consolidati e resi ancora più stabili da vegetazione spondale. Le sponde basse sono invece caratteristiche di situazioni in accrescimento (es. la sponda interna di un meandro o le grandi pianure alluvionali).



Fig. 5 - Sponde alte (a sinistra) e sponde basse (a destra).

- le **barre**, cioè i corpi sedimentari, più o meno mobili, di un alveo fluviale. La loro presenza è sempre correlata al trasporto solido di fondo e aumenta all'aumentare di questo e all'aumentare della variabilità delle portate. Vengono classificate prevalentemente in base alla loro posizione all'inter-

no dell'alveo (fig. 6) o in base al loro grado di mobilità, che è in stretto rapporto con il clima e con la vegetazione (minore è la mobilità più sono vegetate).

- altre **forme di fondo**, spesso dovute alla presenza di corpi sedimentari sommersi. La linea di fondo (thalweg) di tutti gli alvei fluviali mobili è interessata, oltre che da una sinuosità planimetrica (es. meandri), anche da una sinuosità altimetrica che genera una sequenza di dossi (riffles) e di cunette (pools) capaci di formare anche tratti in contropendenza (fig. 7). La distribuzione delle sequenze di *riffles* e *pools* non è casuale: La distanza tra un riffle ed il successivo è funzione della larghezza del canale e varia da 4 a 6 volte la larghezza stessa. I *riffles* sono caratterizzati da granulometrie più grossolane, mentre le *pools* permettono anche la sedimentazione di materiale più fine.

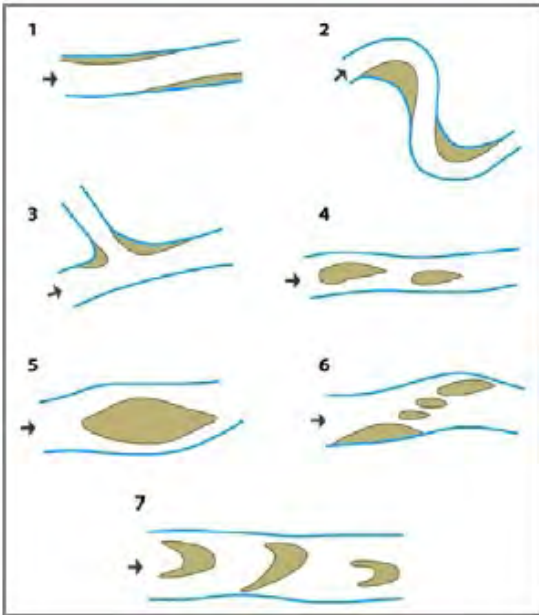


Fig. 6 - Classificazione dei principali tipi di barre (da Kellerhals et alii, 1976). 1. barre laterali; 2. barre di meandro; 3. barre di confluenza; 4. barre longitudinali; 5. barre a losanga; 6. barre diagonali; 7. barre linguoidi o dune.

La loro ampiezza (differenza di quota lungo l'alveo) è maggiore negli alvei meandriiformi ed in quelli rettilinei.

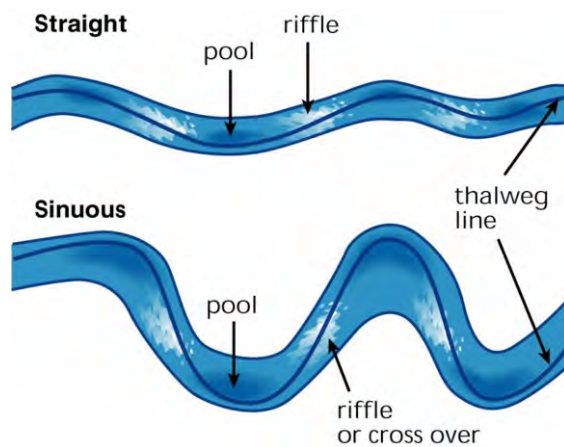


Fig. 1.33 - Sequence of pools and riffles in (a) straight and (b) sinuous streams. In Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices (10/98). Interagency Stream Restoration Working Group (15 federal agencies)(FISRWG).

Fig. 7 - Le sequenze di riffle e pool sono espressione di una sinuosità altimetrica del fondo dell'alveo.

- le **granulometrie** (cioè le dimensioni dei sedimenti) delle componenti dell'alveo (sponde, barre, canale). I metodi di campionamento e di analisi dei sedimenti variano a seconda delle dimensioni dei sedimenti stessi e delle condizioni e della tipologia d'alveo (fig. 8).



Fig. 8 - I metodi di campionamento e di analisi dei sedimenti dell'alveo variano a seconda delle dimensioni degli stessi e della tipologia di alveo: la distribuzione granulometrica può essere determinata per setacciatura per i sedimenti più grossolani, mentre quella dei sedimenti più fini viene determinata per decantazione. Allo stesso modo, quando l'alveo è esposto, è più facile campionare i sedimenti, mentre quando il fondo rimane permanentemente sommerso può rivelarsi necessaria l'opera di un sommozzatore.



Fig. 9 - Le confluenze rappresentano un elemento essenziale di rilevamento dei caratteri morfologico-sedimentari, soprattutto per il loro apporto liquido e solido all'alveo principale.

- le **confluenze** e i loro rapporti con l'alveo principale, soprattutto in termini di apporto sedimentario (fig. 9).
- le **componenti biotiche** ed in particolare la vegetazione. Essa può contribuire alla stabilizzazione delle sponde, ma può anche diventare un pericolo se ostacola il normale deflusso della corrente (fig. 10).
- i **caratteri antropici** (le opere e attività che interferiscono con i processi di dinamica fluviale). Anche tali caratteri sono oggetto di analisi. In particolare viene esaminato lo stato delle opere trasversali e longitudinali

nali, in quanto documentano quale era lo stato dell'alveo al momento della loro realizzazione ed evidenziano le tendenze evolutive attuali dell'alveo.

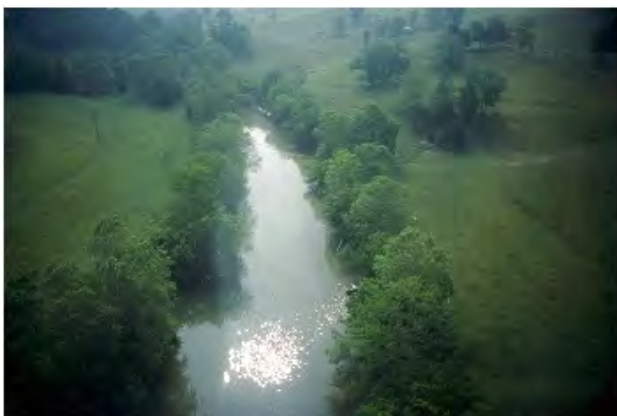


Fig. 10 - La vegetazione può contribuire alla stabilizzazione delle sponde o costituire un ostacolo al normale deflusso della corrente fluviale.

In particolare è descritto lo stato delle fondazioni delle opere (fig. 11), in quanto questo rappresenta un interessante ed inequivocabile indizio della tendenza o meno all'erosione e all'approfondimento dell'alveo, permettendo di valutare l'entità e la velocità dell'erosione (grazie alla ricostruzione della data di realizzazione dell'opera stessa).

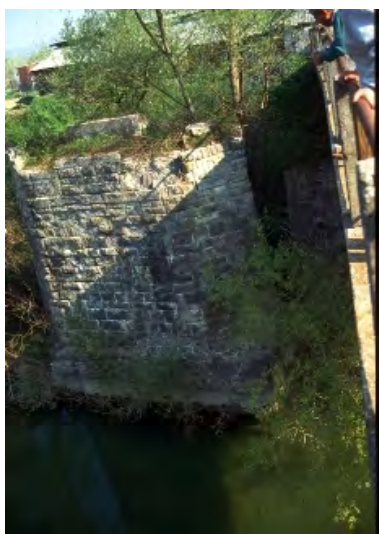


Fig. 11 - Lo stato delle opere che interferiscono con la dinamica dell'alveo è uno degli indizi più importanti sull'entità e la velocità dei processi di erosione in atto.

2.4 Il tipo di alveo fluviale

Il tipo di alveo fluviale non è altro che il risultato della variabilità con cui i caratteri morfologico-sedimentari, precedentemente descritti, si combinano tra loro.

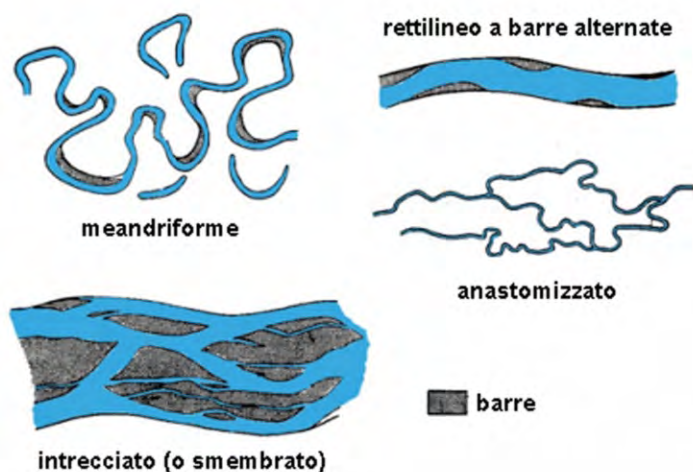


Fig. 12 - Una delle classificazioni degli alvei più semplice ed efficace è quella di Miall (1985).



Fig. 13 - Esempio di alveo rettilineo.

rizzati da un'estrema variabilità delle portate. Il tipo di alveo è dovuto, in genere, ad un apporto eccessivo di trasporto solido. Il fiume, cioè, non ha l'energia sufficiente per trasportare tutto il materiale che proviene da monte e dai versanti, anche in dipendenza di una brusca diminuzione della pendenza e quindi della velocità della corrente fluviale. Il regime di tali fiumi è di notevole variabilità. Il materiale, pertanto, entra tutto all'interno della competenza del corso d'acqua per cui, durante una piena, è con facilità totalmente mobilizzato e ridepositato allo sbocco in pianura e all'interno della pianura alluvionale stessa.

- gli alvei **anastomizzati** (fig. 15) si trovano generalmente nelle grandi pianure deltizie e sono caratterizzati da scarso trasporto solido (essenzialmente in sospensione) e da basse pendenze, con barre assolutamente stabili e vegetate.

Per questo i corsi d'acqua sono classificati principalmente in base al tipo di alveo fluviale. Una delle classificazioni più semplici ed immediate è quella di Miall (1985 – fig. 12) che divide gli alvei in **rettilinei** (*straight*), **intrecciati** o **smembrati** (*braided*), **anastomizzati** (*anastomosing*) e **a meandri** (*meandering*).

- gli alvei **rettilinei** (fig. 13) non si trovano normalmente estesi per lunghe distanze. Sono influenzati da fattori litologici e strutturali (limiti litologici, faglie, fratture);

- gli alvei **intrecciati** (*braided* o *smembrati* – fig. 14) si trovano preferibilmente nelle grandi pianure alluvionali, quando il fondo è mobile, perché costituito da elementi sciolti, trasportati e successivamente depositati dal fiume stesso. In essi l'alveo tende ad occupare ampie fasce della pianura; sono presenti barre temporanee, nude (cioè non coperte da vegetazione) ed estremamente mobili; i canali di magra hanno un carattere effimero e, conseguentemente alla mobilità delle barre, sono anch'essi molto mobili planimetricamente.

Tali alvei, di norma, sono caratte-



Fig. 14 - Esempio di alveo braided.

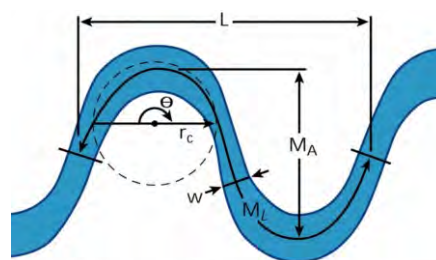


Fig. 15 - Esempio di alveo anastomizzato.

- gli alvei **meandriiformi** si distinguono in due tipologie (a meandri incastrati, tipici degli alvei fissi, e a meandri liberi, tipici degli alvei mobili – fig. 16). Nei primi il tracciato del corso d'acqua segue quello della valle, con l'andamento planimetrico dei suoi versanti. Essi non sono, pertanto, liberi di modificarsi; i meandri liberi sono invece relativamente indipendenti dal tracciato della valle, per la presenza di una pianura fluviale entro la quale divagano, modificandosi. La caratterizzazione di un alveo meandriiforme avviene attraverso la definizione della sua sinuosità e la definizione di alcuni parametri rappresentativi, come: il raggio di curvatura, l'ampiezza, la lunghezza (fig. 17).



Fig. 16 - Alvei a meandri liberi (a sinistra) e incastrati (a destra).



L meander wavelength
 M_L meander arc length
 w average width at bankfull discharge
 M_A meander amplitude
 r_c radius of curvature
 θ arc angle

Fig. 17 - La caratterizzazione dei meandri avviene attraverso la definizione di parametri geometrici (morfologico-planimetrici).

Nei meandri liberi tali parametri non sono combinati tra loro in maniera casuale. Per esempio, esiste una proporzionalità tra la larghezza dell'alveo pieno e la lunghezza dei meandri e tra la lunghezza dei meandri ed il raggio di curvatura. Lunghezza, ampiezza e curvatura risultano proporzionali alla portata del corso d'acqua.

Processi di erosione, trasporto e sedimentazione sono presenti contemporaneamente lungo il meandro. Erosione e sedimentazione avvengono su rive opposte: la sponda esterna alla curva è in erosione e tende a far migrare il meandro lateralmente, mentre la sponda interna è in sedimentazione e genera la presenza di una barra (barra di meandro) – fig. 18.

L'evoluzione di un meandro può provocare una progressiva accentuazione della sinuosità che può portare alla formazione di un vero e proprio *lobo* di meandro. Questo può presentare due tratti controcorrente, divisi dal *collo* di meandro che, in occasione di piene, può essere eliminato per un fenomeno detto *taglio* (o *salto*) di meandro (fig. 19).

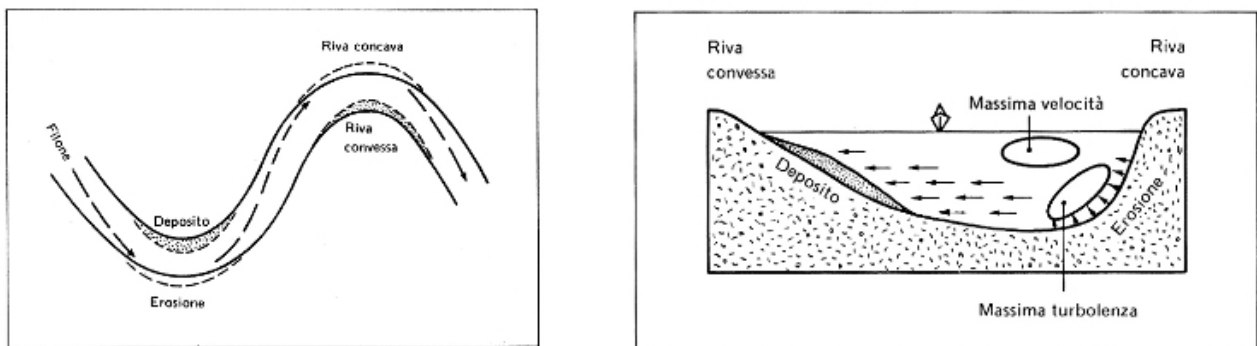


Fig. 18 - Schema planimetrico di un meandro e sezione trasversale, in cui sono evidenziati i processi di erosione e sedimentazione che avvengono contemporaneamente, su rive opposte.



Fig. 19 - I tagli di meandro avvengono spesso in occasione di eventi di piena.

In pratica il corso d'acqua elimina parte del suo tracciato che diventa fossile e che viene occupato, per un periodo di tempo variabile, ma in ogni caso breve, da acqua stagnante (lago di meandro, mortizza, lanca, oxbow). Il suo destino è l'interrimento, più o meno rapido.

2.4.1 La classificazione dei corsi d'acqua di Rosgen (1996)

Una classificazione attualmente molto utilizzata è quella di Dave Rosgen (Rosgen, 1996).

Tale classificazione utilizza sei parametri morfologici per classificare i corsi d'acqua

(fig. 20):

- 1) il trinceramento (in pratica il "grado di incisione" del canale rispetto alla pianura fluviale);
- 2) il rapporto ampiezza/profondità dell'alveo pieno;
- 3) la sinuosità (cioè il rapporto tra la lunghezza dell'alveo pieno e la lunghezza della valle);
- 4) il numero di canali di magra;
- 5) la pendenza (viene misurata per un tratto lungo circa 20 volte la larghezza dell'alveo pieno);

- 6) la granulometria dei sedimenti che costituiscono l'alveo (canale di magra e corpi sedimentari).

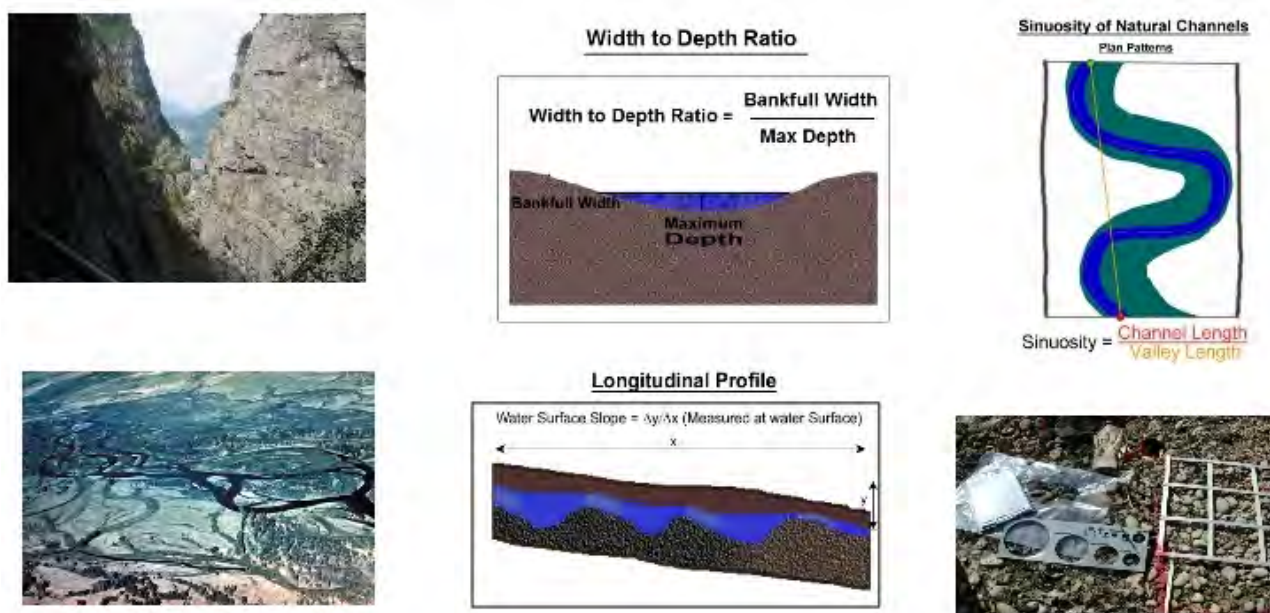


Fig. 20 - I sei parametri utilizzati da Rosgen nella sua classificazione (dall'alto e verso destra: trinceramento, rapporto ampiezza/profondità, sinuosità, numero di canali, pendenza e granulometria dei sedimenti).

La combinazione di tali parametri permette di identificare, tramite lo schema riportato in figura 21 e figura 22, 8 classi principali, ad ognuna delle quali corrispondono varie sottoclassi e tipologie d'alveo (in totale circa 100 tipologie d'alveo) ognuna caratterizzata da una combinazione particolare dei parametri suddetti.

La principale finalità di tale classificazione consiste nel tentativo di riportare i parametri caratteristici di ogni classe con il comportamento del fiume, con la sua tendenza evolutiva e con la previsione e l'identificazione dei fenomeni che lo caratterizzano. Tutto ciò anche in prospettiva di interventi di "riqualificazione fluviale" che possano restituire al fiume, ove possibile, la sua funzionalità naturale (fig. 23), in funzione della resilienza del corso d'acqua, in pratica della sua "capacità di recupero".

Per comprendere le modalità con le quali Rosgen riesce a quantizzare il parametro di trinceramento, cioè il grado di incisione dell'alveo, che viene espresso da un valore ben preciso, è necessario soffermarsi sul concetto di *bankfull discharge* (lett.: "portata ad alveo pieno"), già introdotto da Leopold et alii (1964).

Rosgen utilizza tale concetto per rappresentare la *portata formativa* del canale, cioè quel valore di portata liquida che, se fosse idealmente sostituito all'intero regime delle portate per uno stesso periodo di tempo, produrrebbe la stessa forma e le stesse caratteristiche geometriche dell'alveo (Inglis, 1949).

La portata di *bankfull* viene identificata con la portata che riempie un canale stabile fino all'altezza della pianura alluvionale attiva e quindi, in molti alvei naturali, è la portata che riempie la sezione trasversale senza superare le sponde (da qui il termine di "sponda piena") - fig. 24. In termini di frequenza, tale valore della portata presenta un tempo di ritorno compreso tra 1 e 3 anni.

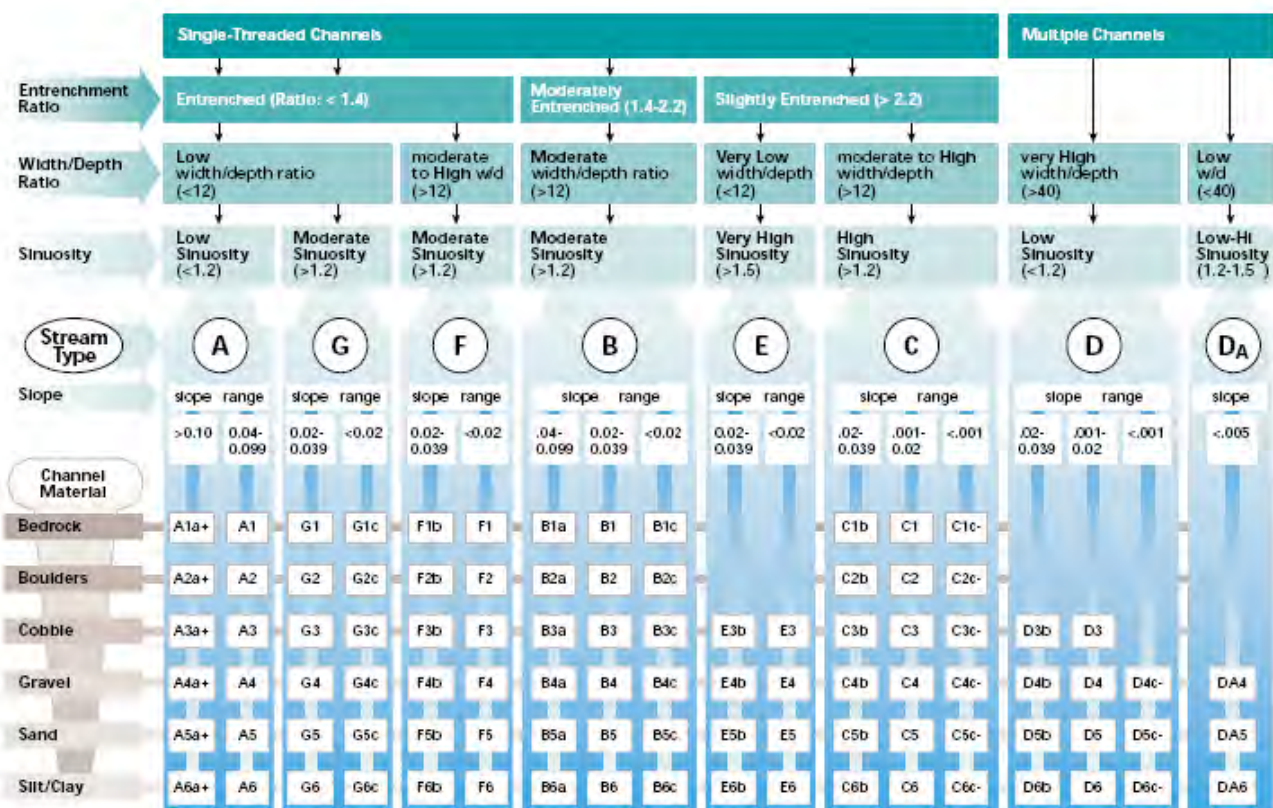


Figure 7.12: Rosgen's stream channel classification system (Level II). This classification system includes a recognition of specific characteristics of channel morphology and the relationship between the stream and its floodplain.

Source: Rosgen 1996. Published by permission of Wildland Hydrology.

Fig. 21 - Il sistema classificativo dei corsi d'acqua secondo Rosgen (1996).

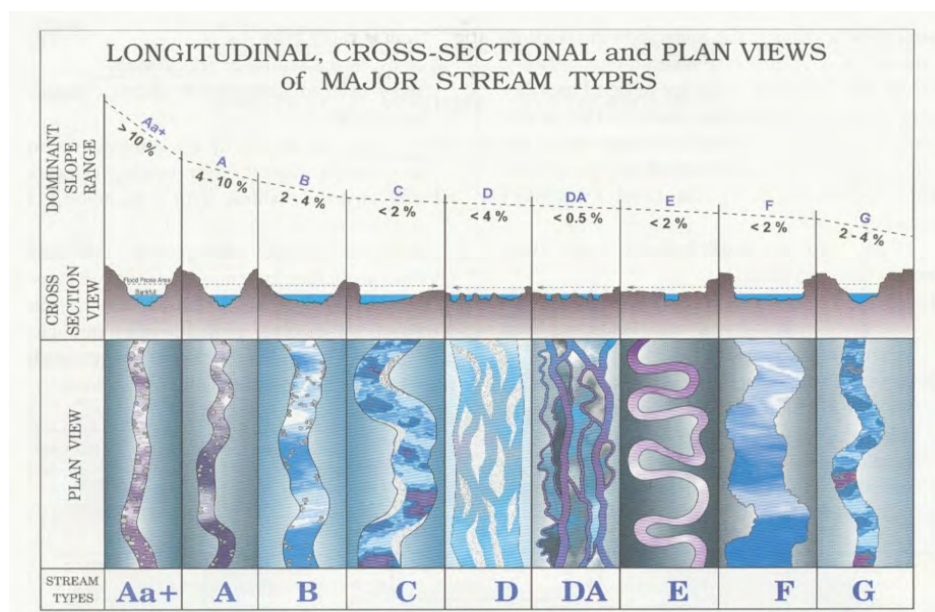


Fig. 22 - Profilo longitudinale, sezioni trasversali e sviluppo planimetrico del tracciato dei corsi d'acqua secondo la classificazione di Rosgen (1996).

Table 2-4. Broad-level/generalized management interpretations by stream type (Rosgen, 1994, 1996).

Stream type	Sensitivity to disturbance	Recovery potential	Sediment supply	Streambank erosion potential	Vegetation controlling influence
A1	very low	excellent	very low	very low	negligible
A2	very low	excellent	very low	very low	negligible
A3	very high	very poor	very high	very high	negligible
A4	extreme	very poor	very high	very high	negligible
A5	extreme	very poor	very high	very high	negligible
A6	high	poor	high	high	negligible
B1	very low	excellent	very low	very low	negligible
B2	very low	excellent	very low	very low	negligible
B3	low	excellent	low	low	moderate
B4	moderate	excellent	moderate	low	moderate
B5	moderate	excellent	moderate	moderate	moderate
B6	moderate	excellent	moderate	low	moderate
C1	low	very good	very low	low	moderate
C2	low	very good	low	low	moderate
C3	moderate	good	moderate	moderate	very high
C4	very high	good	high	very high	very high
C5	very high	fair	very high	very high	very high
C6	very high	good	high	high	very high
D3	very high	poor	very high	very high	moderate
D4	very high	poor	very high	very high	moderate
D5	very high	poor	very high	very high	moderate
D6	high	poor	high	high	moderate
DA4	moderate	good	very low	low	very high
DA5	moderate	good	low	low	very high
DA6	moderate	good	very low	very low	very high
E3	high	good	low	moderate	very high
E4	very high	good	moderate	high	very high
E5	very high	good	moderate	high	very high
E6	very high	good	low	moderate	very high
F1	low	fair	low	moderate	low
F2	low	fair	moderate	moderate	low
F3	moderate	poor	very high	very high	moderate
F4	extreme	poor	very high	very high	moderate
F5	very high	poor	very high	very high	moderate
F6	very high	fair	high	very high	moderate
G1	low	good	low	low	low
G2	moderate	fair	moderate	moderate	low
G3	very high	poor	very high	very high	high
G4	extreme	very poor	very high	very high	high
G5	extreme	very poor	very high	very high	high
G6	very high	poor	high	high	high

Fig. 23 - Rapporto tra tipologie di alvei fluviali (secondo la classificazione di Rosgen) ed elementi utili a definire la tendenza evolutiva generale e la resilienza dei corsi d'acqua.

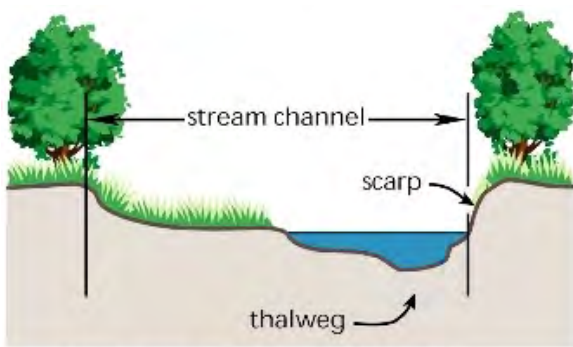


Fig. 1.12 - Cross section of a stream channel. The thalweg is the deepest part of the channel. In Stream Corridor Reassessment: Principles, Processes, and Procedures (1994), Imaginomy/Stream Reassessment Working Group (15 federal agencies/USFWS).



Fig. 24 - Rappresentazione della portata di bankfull.

Questa portata ha un significato morfologico preciso, perché rappresenta il *breakpoint* tra i processi che agiscono all'interno del canale (quindi, in questo senso, è la "portata formativa") e quelli che agiscono sulla pianura alluvionale (fig. 25).

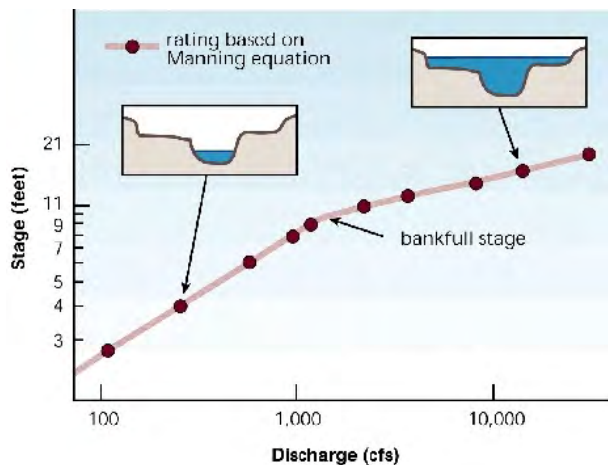


Fig. 25 - Significato fisico della portata di bankfull, quale limite di portata oltre la quale i processi di dinamica fluviale interessano la pianura alluvionale.

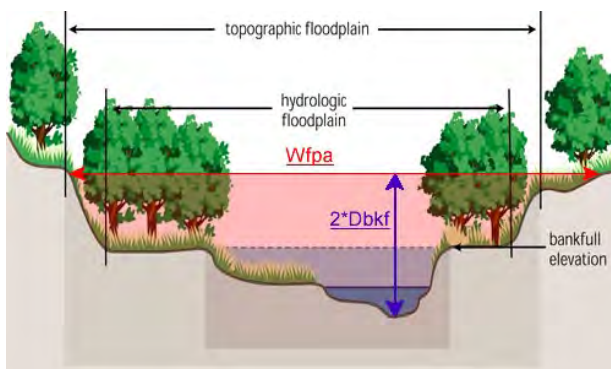


Fig. 26 - Definizione della flood-prone area: una volta stabilita l'altezza di bankfull (in figura: "bankfull elevation") corrispondente al valore di portata ad alveo pieno, l'altezza della flood-prone area e la sezione corrispondente vengono determinate raddoppiando l'altezza di bankfull ($2 \cdot Dbkf$ in figura).

Rosgen, allora, definisce la *flood-prone area* come l'area della sezione trasversale che corrisponde ad un'altezza pari al doppio dell'altezza di bankfull (fig. 26).

Il valore di trinceramento utilizzato da Rosgen è dato dal rapporto tra la larghezza della *flood-prone area* e la larghezza dell'area corrispondente allo stato di *bankfull* (fig. 27).

Ne consegue che valori bassi di tale rapporto (tendenti a 1 e comunque inferiori a 1,4 secondo Rosgen) indicheranno corsi d'acqua con alveo inciso e approfondito, mentre valori alti di tale rapporto ($> 2,2$) indicheranno corsi d'acqua con alveo poco inciso all'interno della sua pianura alluvionale. Secondo Rosgen, valori del rapporto di trinceramento compresi tra 1,4 e 2,2 indicano corsi d'acqua con alveo moderatamente inciso.



Fig. 27 - Determinazione del valore di trinceramento, quale rapporto tra la larghezza della flood-prone area e la larghezza di bankfull.

2.5 L'indagine storica

Una fase importante della metodologia utilizzata di studio dei caratteri evolutivi dei corsi d'acqua è rappresentata dall'indagine storica.

Il reperimento e l'analisi di documenti storici, specialmente di quelli cartografici, permette infatti di ricostruire lo stato dell'alveo in condizioni quasi sempre naturali, prima cioè che interventi di sistemazione idraulica, di rettificazione, arginatura e restringimento delle sezioni d'alveo abbiano modificato i processi in atto e condizionato in maniera inevitabile la tendenza evolutiva naturale dei corsi d'acqua.

Le fonti storiche sono molto diversificate (mappe, catasti, rilievi topografici, etc.) e debbono la loro presenza al fatto che molto spesso proprio la mobilità planimetrica degli alvei è stata in passato causa di contenziosi, in quanto i limiti delle sponde fluviali erano spesso (e in molti casi sono attualmente) anche limiti di proprietà o di Stato. Se le sponde si muovono, per erosione o accrescimento, variano anche i limiti di proprietà.

I nostri archivi storici sono ricchissimi di tali documenti che rappresentano, in quanto tali, eccellenti fonti alle quali rifarsi per verificare qual è stata la mobilità dell'alveo, naturale o indotta, fino ai giorni nostri.

Per quanto riguarda la disponibilità, ma anche la precisione dei documenti topografici storici, la data del 1800 costituisce una sorta di limite temporale. A partire dall'inizio del diciannovesimo secolo, infatti, si è verificato ciò che può essere definito un “rinascimento” scientifico e tecnologico, che ha riguardato anche gli strumenti di rilevamento topografico.

Per le aree dell'Italia centrale, i “catasti” (Gregoriano, Lorenese, entrambi della prima metà del XIX secolo) sono senza dubbio le fonti più attendibili che, tuttavia, riescono a fornire solo informazioni di tipo planimetrico (n quanto “catasti”, non forniscono alcuna informazione di tipo altimetrico) – fig. 28.

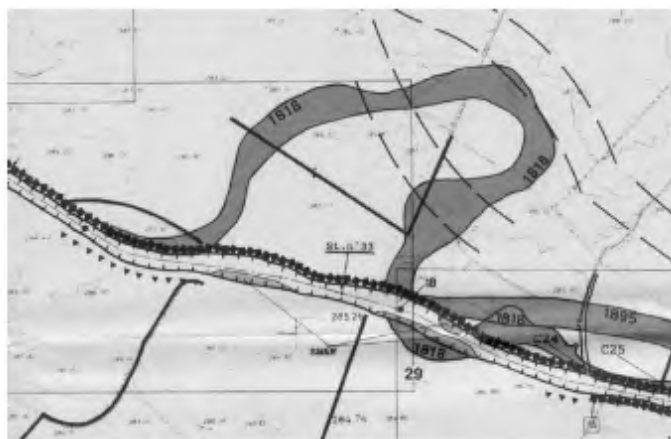


Fig. 28 - A sinistra: uno stralcio del Catasto Gregoriano (1816). A destra: uno stralcio della Carta dei caratteri morfologico-sedimentari del F. Tevere a valle dell'invaso di Montedoglio (IRRES, 1991). Si nota l'alveo attuale del F. Tevere nella sua Alta Valle e il paleoalveo riferito al 1816 (in grigio scuro), tratto dal Catasto Gregoriano. Il confronto planimetrico ha evidenziato un taglio artificiale di meandro avvenuto successivamente.

Altrettanto interessanti, anche se più rari, sono i rilievi di sezioni trasversali e di profili longitudinali che, al contrario dei catasti, forniscono utilissime indicazioni sulle quote degli alvei fluviali e, pertanto, sull'entità e la velocità dei processi di erosione verticale subiti dai corsi d'acqua, tramite il confronto con la situazione attuale.

A tali dati topografici si è aggiunto, recentemente, l'impiego di foto aeree e di immagini da satellite (fig. 29) e l'utilizzo di Sistemi Informativi Geografici (GIS) che permettono di calcolare con ottima approssimazione le differenze planimetriche e altimetriche registrate storicamente (fig. 30).

L'analisi dei documenti cartografici storici è fondamentale, quindi, perché costituisce l'unico mezzo per determinare i cambiamenti avvenuti a medio e a lungo termine (oltre i 25 anni) e consente numerose osservazioni qualitative, ma anche quantitative.



Fig. 29 - Variazione dello stato del sistema fluviale del F. Paglia, evidenziato dal confronto tra riprese aeree effettuate in periodi diversi.

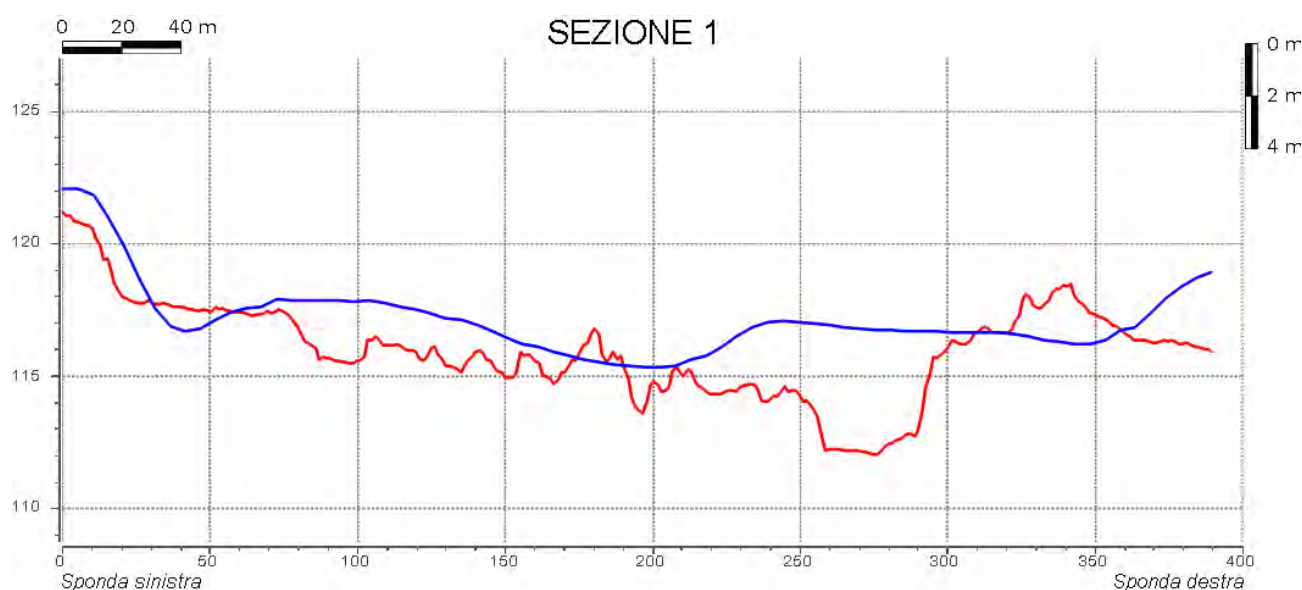
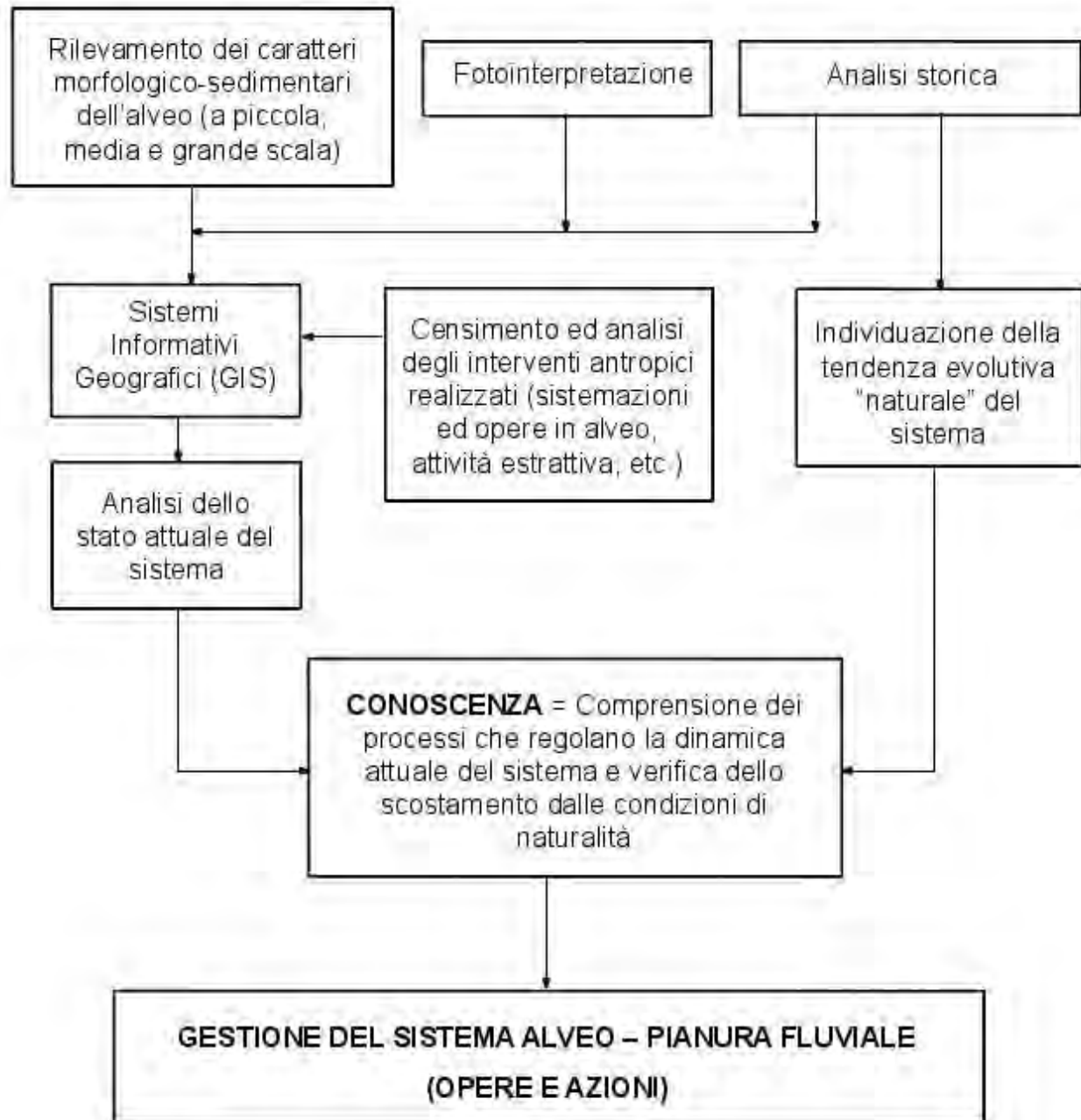


Fig. 30 - Profili di una stessa sezione trasversale del F. Paglia, rilevata in periodi diversi (in blu nel 1951 e in rosso nel 2008), messi a confronto tramite tecnologie GIS.

2.6 Analisi dei sistemi alveo – pianura fluviale

Sulla base di quanto sopra descritto, viene illustrato di seguito (fig. 31) un quadro sinottico delle attività che, secondo l'approccio morfologico-sedimentario discusso, costituiscono le fasi di studio e

analisi del sistema fluviale, finalizzati all'individuazione degli interventi utili e necessari per una loro “gestione”.



3. PRINCIPALI CARATTERI DEL SISTEMA ALVEO-PIANURA FLUVIALE DEL F. PAGLIA, A PICCOLA SCALA

3.1 Inquadramento geologico-geomorfologico del bacino idrografico del F. Paglia

Il Fiume Paglia ha origine dal M. Amiata (1.738 m s.l.m.), dalla confluenza tra il T. Pagliola e il T. Vascio ed è uno dei principali affluenti di destra del F. Tevere.

Il suo bacino idrografico si estende in Umbria, Toscana e Lazio ed interessa le province di Perugia, Terni, Grosseto, Siena, Arezzo e Viterbo. È delimitato ad Ovest e a Nord dall'allineamento Civitella - Monte Amiata - Monte Cetona, a Est dall'allineamento Monte Peglia - Monte Piatto e a Sud dal lago di Bolsena. Confina a Nord con il bacino del Fiume Orcia, ad Est con il bacino del Fiume Tevere, a Sud con il bacino del Lago di Bolsena e ad Ovest con quello del Fiume Fiora.

La sua estensione areale è di circa 1320 km², di cui circa il 50% al di fuori del territorio umbro. La chiusura del bacino (confluenza con il F. Tevere) è situata a 100 m s.l.m.; l'elevazione media del bacino è di 443 m s.l.m.

L'alveo, dopo un tratto iniziale in direzione NO-SE, in prossimità di Acquapendente, devia verso E incassandosi in una stretta gola fino ai pressi di Monte Rubiaglio. Nel tratto finale torna a defluire con direzione NO-SE sino alla confluenza con il F. Tevere, che avviene nei pressi di Baschi.

Il suo tributario principale è il T. Chiani (Cencetti et alii, 2002), che presenta un bacino idrografico di circa 422 km². Il Chiani defluisce prevalentemente in direzione N-S per circa 42 Km sino a confluire nel Paglia nei pressi di Orvieto.

Il tratto di studio è compreso interamente all'interno del territorio umbro ed interessa tutta la bassa valle del fiume F. Paglia, dalla confluenza del T. Fossatello fino alla confluenza con il fiume Tevere. In figura 31 è rappresentato il reticolo idrografico del bacino del F. Paglia.

3.2. Caratteristiche geologiche

Il bacino del fiume Paglia è impostato su un substrato molto variabile dal punto di vista litologico: sono presenti sia rocce sedimentarie, appartenenti a cinque distinte unità stratigrafico-strutturali, sia rocce vulcaniche attribuibili a tre distretti vulcanici.

Le serie sedimentarie affioranti sono riportate di seguito, con riferimento (anche se i termini stratigrafici sono stati parzialmente modificati sulla base di studi successivi) alla carta geologica prodotta da Boila et alii (1982 – fig. 32) che rappresenta tuttora un valido riferimento, anche dal punto di vista geologico-strutturale.

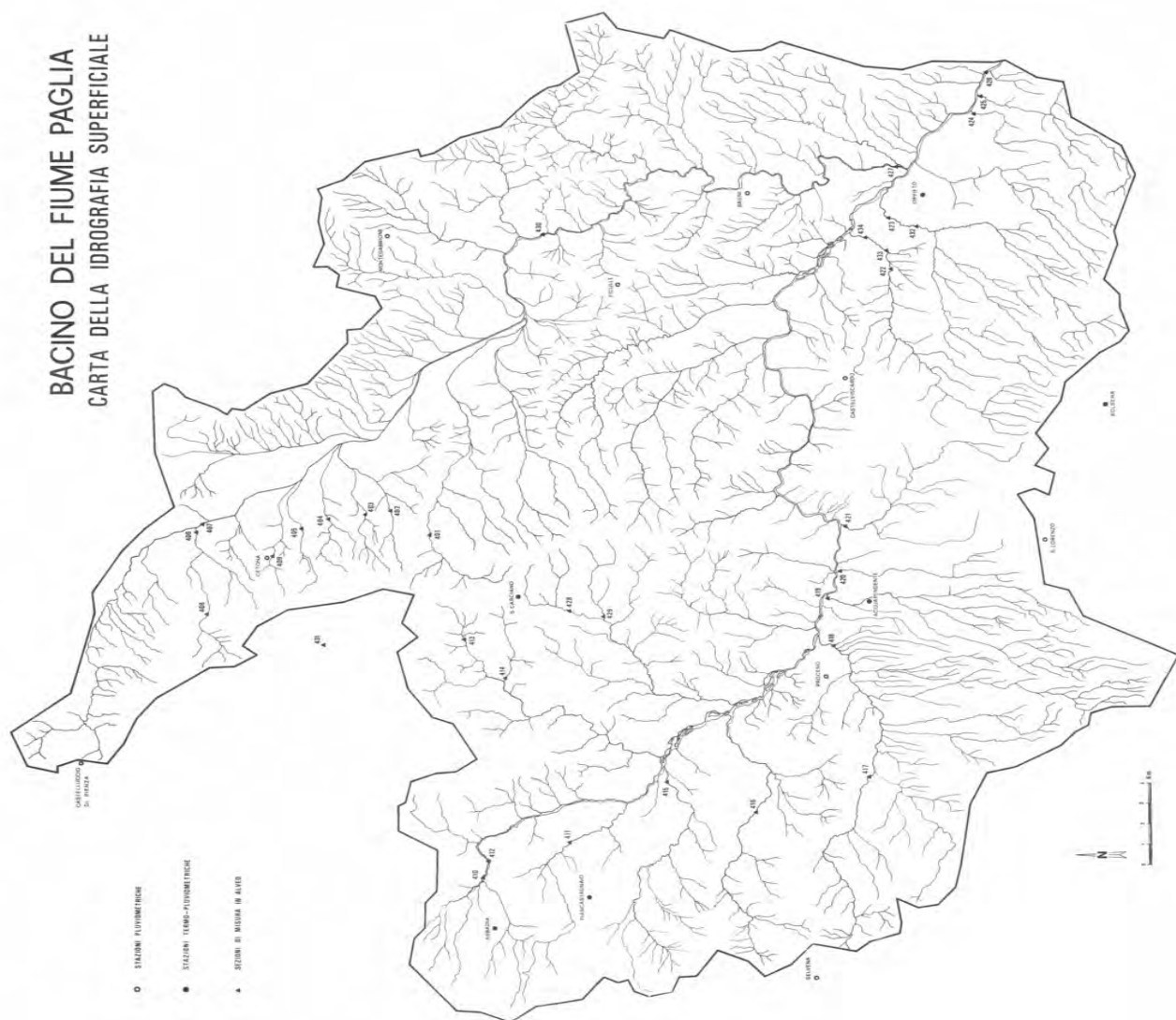


Fig. 31 - Reticolo idrografico del Fiume Paglia (da Boila et alii, lievemente modificato).

- Unità Liguri: si tratta di una coltre alloctona, costituita da formazioni argilloso-calcareo-marnoso-arenitiche. Affiora ad Ovest e al centro del bacino, ovunque in discordanza tettonica con le formazioni sottostanti; presenta una potenza variabile tra 500 e 800 metri ed è riferibile all'intervallo Cretaceo-Oligocene.
- Successione Toscana: affiora a S di Campiglia d'Orcia nei pressi del M. Civitella e nelle zone di M. Rotondo e M. Cetona. Alla base è costituita da Calcare Cavernoso, a cui si sovrappone uno spessore di circa 150 metri di sedimenti del Retico (Calcare neri a *Rhaetavicularia contorta*); al di sopra è situata la formazione del Calcare Massiccio (di spessore medio compreso tra 200 e 300 m), attribuita al Lias inferiore; chiude la serie la successione pelagica mesozoica-terziaria.
- Unità Cervarola-Falterona-Trasimeno: è un complesso flyschoidale, affiorante nella parte orientale del bacino, nei pressi del Monte Peglia. È costituita da un'alternanza di arenarie

micacee e marne in facies torbidity, dell'Oligocene - Miocene Inferiore. Risulta sovrascorsa sui termini mesozoici della Serie Umbra, grazie a una superficie di scollamento

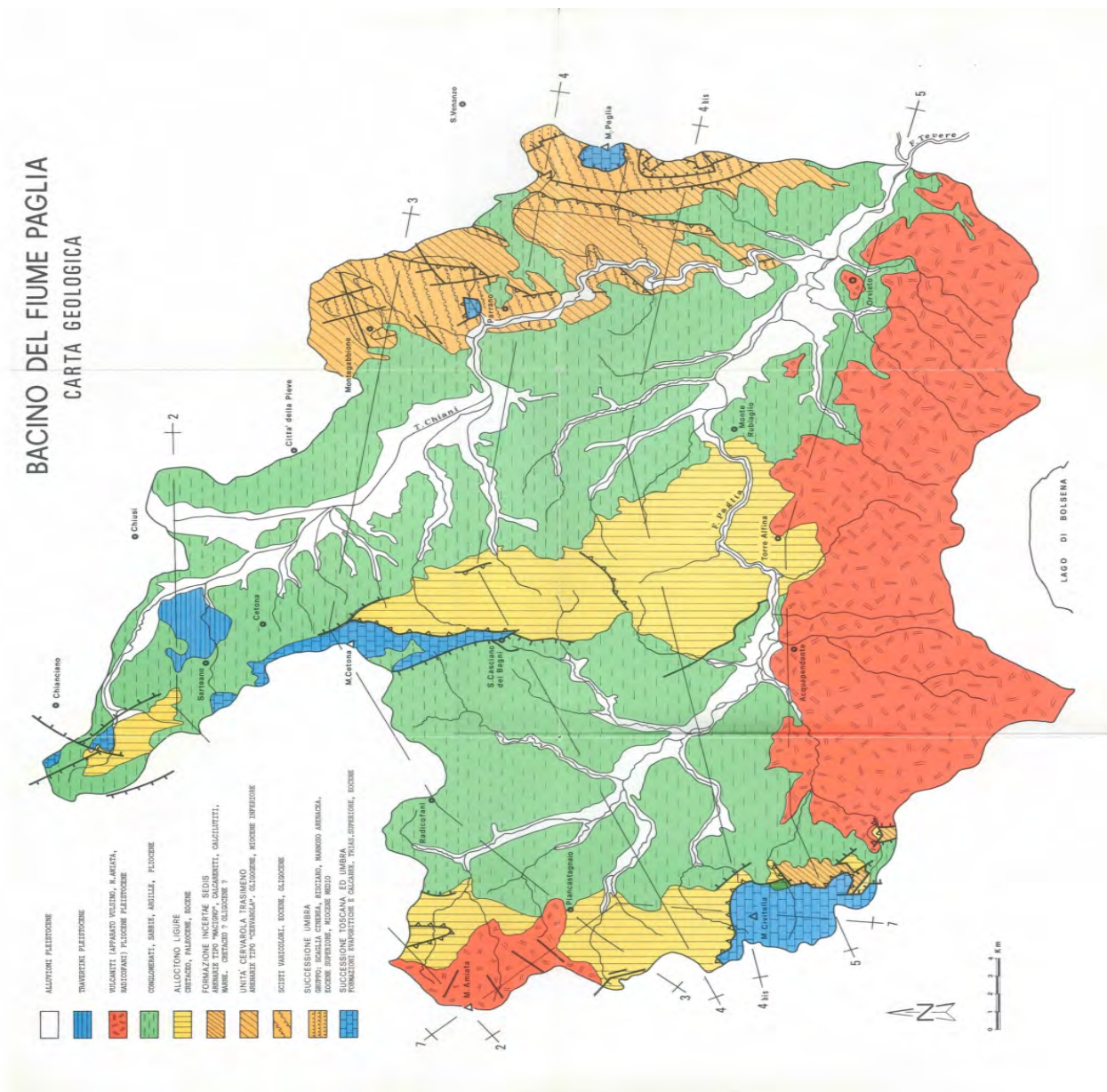


Fig. 32 - Carta geologica del bacino del Fiume Paglia (da Boila et alii, 1982).

rappresentata dal livello marnoso degli Scisti varicolori.

- **Serie Umbra**: affiora in finestra tettonica in una ristretta area in corrispondenza della dorsale M. Peglia - M. Piatto. Si riscontrano soltanto i termini successivi al Giurassico, a partire dalla Maiolica (Cretaceo Inferiore). Seguono le formazioni, in facies pelagica, delle Marne a Fuoidi (Aptiano - Albiano), della Scaglia (Cretaceo Superiore - Oligocene) e del Bisciaro (membro inferiore del complesso flyschoid della Formazione marnoso-arenacea, attribuibili al Miocene Inferiore). I caratteri di questa successione si discostano da quelli tipici, riferibili ad esempio alla serie di Gubbio, per uno spessore inferiore e per il contenuto in selce dei carbonati. Definita "Serie Etrusca" (Damiani & Mencarelli, 1990; Damiani, 1991), può essere considerata una successione di transizione tra la serie Umbra e la serie Toscana s. s.

Le serie sedimentarie sopra descritte sono ricoperte in maniera non omogenea da formazioni neogene e quaternarie, costituite prevalentemente da conglomerati, sabbie e argille della serie marina plio-pleistocenica, che rappresentano i depositi di riempimento di due graben presenti nell'area, quello di Radicofani e quello del Paglia, orientati rispettivamente in direzione N-S e NO-SE. I passaggi da sedimenti di tipo francamente marino a quelli di tipo costiero, osservabili ai margini orientali di entrambe le depressioni, testimoniano fasi trasgressive dal Pliocene Inferiore al Pleistocene Inferiore. In particolare, sono stati individuati due cicli di sedimentazione (Ambrosetti et alii, 1978; 1987).

Nel bacino si riscontrano anche depositi di travertino, talvolta anche molto potenti, come nei pressi di Sarteano, in corrispondenza di grandi fratture caratterizzate da un'intensa attività idrotermale.

La tettonica distensiva ha portato, oltre alla formazione di strutture tipo horst-graben, all'instaurarsi di un'estesa attività vulcanica, che si è realizzata tramite la formazione di tre distinti centri di emissione:

- l'apparato Vulsino, legato alla provincia petrografica laziale, i cui prodotti interessano l'area meridionale del bacino;
- l'apparato di Radicofani, isolato e di modesta estensione;
- il M. Amiata, che costituisce la porzione più occidentale del plutone toscano.

L'attività vulcanica è iniziata nel Pliocene Inferiore, con la formazione dell'apparato Vulsino ed emissione di lave basiche; si è impostato poi l'apparato vulcanico di Radicofani e infine, nel Quaternario, è iniziata l'attività dell'Amiata con emissioni a carattere prevalentemente acido.

Si accenna brevemente alla storia geologica dell'area, che presenta caratteri comuni con quella dell'Appennino centrale.

Durante una prima fase compressiva (Tortoniano), deformazioni di tipo plastico portano alla formazione di strutture anticlinali, quali quella del M. Cetona e di M. Rotondo, con asse N-S e vergenza orientale. Ancora movimenti a carattere compressivo portano alla dislocazione, tramite sovrascorrimenti, di pacchi di sedimenti che si traducono nell'accavallamento di falde di diversa provenienza su altre autoctone (Unità Liguridi e Unità Cervarola-Falterona-Trasimeno, che risultano in discordanza tettonica con i depositi sottostanti). Segue una fase distensiva, plio-pleistocenica, in cui faglie normali tagliano le strutture pregresse dislocando il bacino in una serie di horst-graben. Le aree ribassate sono così colmate da sedimenti di ambiente marino e costiero, ad opera dei due cicli di ingressione-regressione già nominati.

Per quanto riguarda più specificatamente il tratto oggetto di studio, particolare interesse dal punto di vista geologico-strutturale e neotettonico rivestono gli studi carattere morfostrutturale e paleogeografico di Cattuto et alii (1988, 1992, 1994, 1997), Cencetti (1990) e Cencetti et alii (1996), che riescono a spiegare, tra l'altro, il motivo della quasi totale assenza di prodotti vulcanici e piroclastici oltre la riva sinistra del Paglia (fig. 33).

3.3 Caratteristiche geomorfologiche

Dall'analisi del reticolo idrografico, risulta una densità di drenaggio per il bacino del Paglia pari a 1.41 km^{-1} .

Il pattern del reticolo è tendenzialmente dendritico, stante la scarsa permeabilità di gran parte dei litotipi affioranti, con differenze locali imputabili a condizionamenti di tipo litologico-strutturale. In

particolare, nell'area umbra, il reticolo idrografico evidenzia un forte controllo tettonico, testimoniato non solo dal tracciato dei corsi d'acqua principali (F. Paglia e T. Chiani), ma anche dai corsi d'acqua minori. Le valli del Paglia e del Chiani si allineano, in effetti, in direzione NO-SE o N-S, in accordo con le direttrici principali imposte dalla tettonica (assi strutturali e faglie).

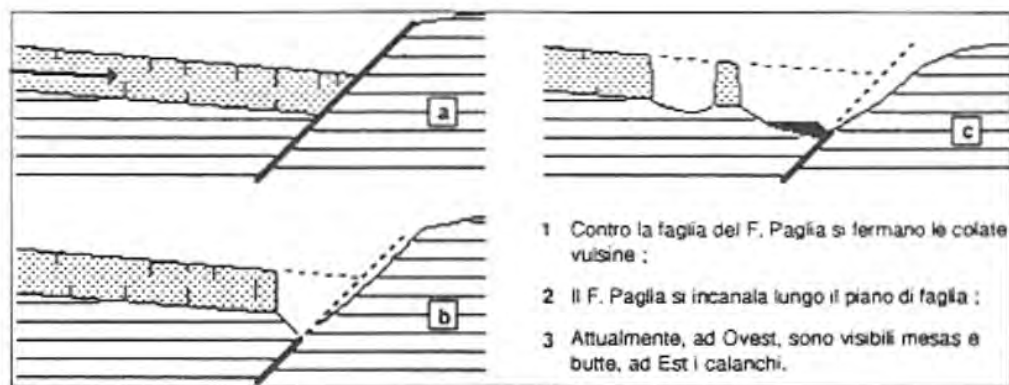


fig. 7.4 - Il fiume Paglia (uno degli affluenti in destra più importanti del Tevere) ha inciso la propria valle in modo selettivo lungo la linea di contatto tettonico tra il piastrone tufaceo e le argille plioceniche. Fin dal Pleistocene inferiore (quando il mare si era definitivamente ritirato dall'area) le argille plioceniche sono state dislocate da una faglia di notevole rigetto. Il blocco sollevato ha costituito un "muro" contro il quale si sono fermate le piroclastiti provenienti dai centri vulcanici di emissione. Il F. Paglia ha inciso il proprio alveo entro le argille più facilmente erodibili (bassa resistenza meccanica) e, un po' alla volta, il piastrone tufaceo è rimasto sempre più in alto e più lontano rispetto alla linea di deflusso principale. Contemporaneamente all'incisione operata dal Paglia, i suoi affluenti di destra hanno smembrato (spesso per fenomeni di erosione regressiva) il piastrone tufaceo che, ancora ben conservato e continuo verso W, risulta progressivamente ridotto in placche (mesas), sempre meno estese verso E, o, addirittura, in guglie isolate (buttes) presso la valle del Paglia.

Fig. 33 - Ricostruzione tettonica e geomorfologica della bassa valle del Fiume Paglia (da Cattuto et alii, 1994).

Le anomalie del reticolo più evidenti, condizionate da elementi tettonici, che impediscono un buon grado di gerarchizzazione del bacino, sono le seguenti:

- Il F. Paglia, nel tratto compreso tra Allerona e la confluenza con il Tevere, defluisce all'interno della pianura alluvionale e si presenta addossato al versante in sinistra idrografica. Questa anomalia denota uno spostamento dell'alveo che effettivamente, come mostrato dall'indagine storica (vedi paragrafo relativo a tale aspetto), si è verificato anche nel corso degli ultimi duecento anni; un'ipotesi plausibile, in assenza di condizionamenti antropici che possano aver determinato uno spostamento così marcato dell'alveo, è che questo comportamento possa essere dovuto all'azione della faglia bordiera, quaternaria, che abbia agito in modo da basculare l'intera pianura alluvionale in questo tratto, in accordo con quanto riportato in fig. 33 (Cattuto et alii, 1994). A riprova di tale interpretazione, in più punti i sedimenti alluvionali che poggiano direttamente sul substrato argilloso si presentano chiaramente inclinati, mostrando un basculamento verso NE (fig. 34);



Fig. 34 - La foto mostra i sedimenti alluvionali del F. Paglia, affioranti in sezione lungo una delle profonde incisioni dell'alveo, in corrispondenza del ponte della SP 48, nei pressi di Alleron. Si nota 1) l'entità dell'approfondimento dell'alveo, testimoniata dalla quota delle fondazioni del ponte precedentemente distrutto; 2) l'assetto fortemente inclinato della stratificazione dei sedimenti alluvionali, che poggiano sul substrato argilloso (Pliocene in facies marina), a dimostrazione di una fase tettonica che ha comportato in tempi recenti il basculamento degli stessi depositi verso NE.

- il T. Chiani, nei pressi di Fabro, devia repentinamente di circa 90° in direzione E-O e incide i terreni flyschiodi, mentre avrebbe potuto più facilmente proseguire il suo corso verso Sud, attraversando i terreni argilloso-sabbiosi, sicuramente più facilmente erodibili. Questo comportamento è comprensibile ipotizzando la presenza di una linea di frattura (Cattuto et alii, 1988, 1991; Cencetti, 1990); essa costringe il fiume ad attraversare i sedimenti torbiditici tra Parrano e Morrano, dopo aver ripreso la sua direzione originaria, seguendo un tracciato quasi a meandri incassati. Anche due affluenti del T. Chiani, il T. Argento e il T. del Bagno, si allineano lungo la stessa dislocazione.

3.4 Clima

Il clima è quello tipicamente mediterraneo, come risulta dai dati relativi agli elementi climatici principali (temperatura e piovosità) ricavati dagli Annali del Servizio Idrografico delle stazioni di misura di Ponte Adunata, presso Orvieto, ed Alleron.

I regimi termico e pluviometrico risentono ovviamente dell'andamento altimetrico.

3.4.1 Temperature

La temperatura media a valle è compresa tra 13° e 15 °C , con valori massimi a luglio e minimi a gennaio. Le temperature registrate mostrano variazioni legate all'altitudine del bacino; diminuiscono spostandosi dall'area valliva verso i rilievi, con un gradiente termico di 0,63 °C ogni 100 m.

3.4.2 Precipitazioni/Afflussi

Nelle stazioni su nominate si registrano precipitazioni medie annue comprese tra i 600 e gli 800 mm, con un massimo in autunno-inverno e un minimo intorno a luglio; inoltre valori più elevati si misurano spostandosi verso i rilievi che delimitano la valle principale del Paglia, specialmente in corrispondenza del lato occidentale.

3.4.3 Deflussi e caratteri idrogeologici

Per quanto concerne i caratteri idrologici, si sottolinea come la presenza di estesi affioramenti di litotipi a bassa permeabilità (complessivamente occupano il 70% del bacino) determina una scarsa alimentazione del F. Paglia nel periodo estivo.

A questo proposito, in figura 35 viene confrontata la portata media mensile con i dati di precipitazioni, temperatura ed evapotraspirazione.

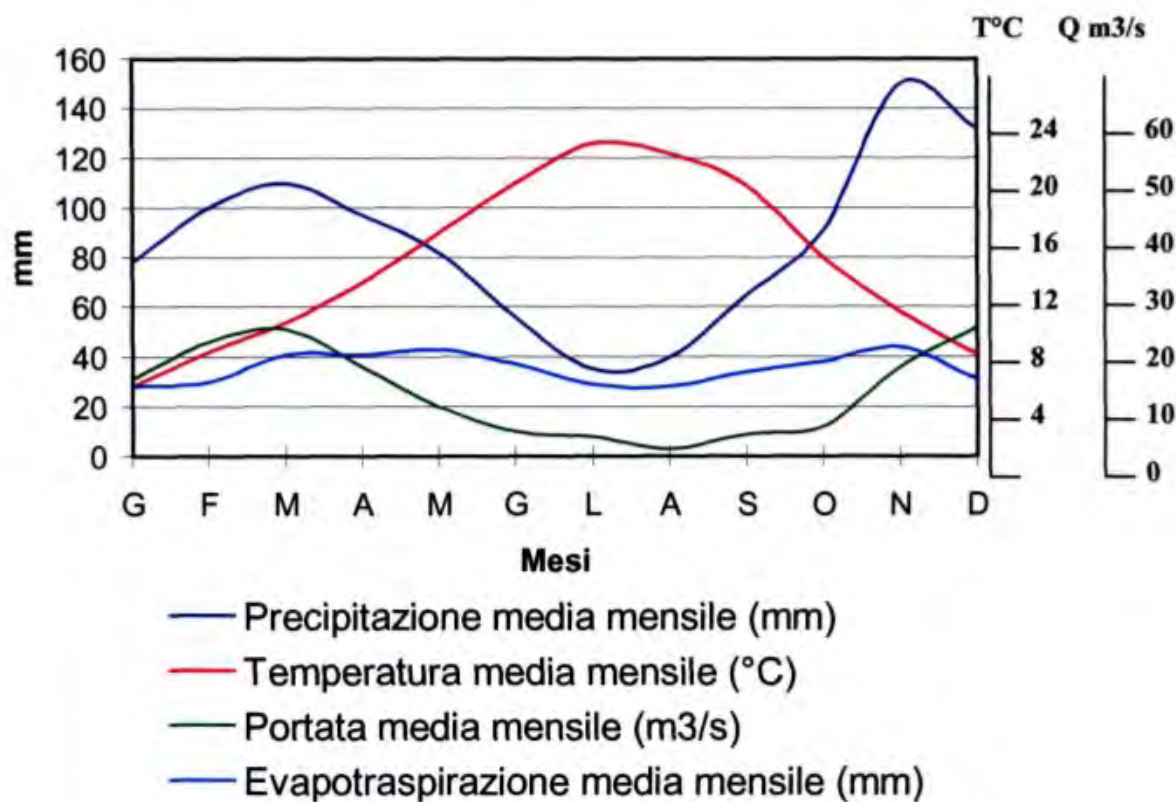


Fig. 35 - Relazione tra elementi climatici e deflussi nel bacino del F. Paglia (da Fredduzzi, 2005).

I dati si riferiscono alla stazione meteorologica di Tordimonte nei pressi della chiusura del bacino; il periodo di rilevazione va dal 1930 al 1959 per le precipitazioni e dal 1932 al 1955 per le temperature.

Le portate medie mensili misurate presso Orvieto variano da valori massimi pari a circa il doppio della portata media annua ($13 \text{ m}^3/\text{s}$), nei mesi di febbraio - marzo, a valori minimi inferiori del 50% nei mesi di luglio – agosto.

L'analisi idrologica ed il censimento dei punti d'acqua (sorgenti e pozzi) compiuti dal CNR (Giacquinto et alii, 1982) hanno evidenziato, sulla base del grado di permeabilità e fratturazione, i principali complessi idrogeologici permeabili:

- Formazioni calcaree mesozoiche, massive o stratificate, caratterizzate da una permeabilità mediamente elevata, funzione del grado di fratturazione;
- Vulcaniti del M. Amiata e dell'apparato Vulsino, permeabili per porosità e fratturazione;
- Travertini di Sarteano, altamente permeabili per porosità e fratturazione.

Quindi sono stati identificati gli acquiferi principali:

- Complesso vulcanico del M. Amiata, confinato al letto da strati flyschoidi scarsamente permeabili;
- Nucleo carbonatico del M. Cetona, delimitato per contatto tettonico da terreni scarsamente permeabili;
- Vulcaniti vulsine, confinate stratigraficamente da terreni cretaceo-pliocenici, a scarsa permeabilità;
- Complesso carbonatico del M. Peglia, confinato sia al letto che al tetto da terreni scarsamente permeabili;
- Complesso carbonatico di M. Rotondo, le cui riserve idriche potrebbero essere drenate al di fuori del bacino del Paglia.

Il regime dei deflussi che caratterizza le diverse sorgenti è molto influenzato dall'andamento delle precipitazioni stagionali, a conferma che le riserve degli acquiferi sopra citati non sono estremamente vaste.

Quanto detto conferma che nel periodo di esaurimento, quando le portate del Paglia sono rappresentate dalle restituzioni sorgive dei suddetti acquiferi (che per altro hanno un'estensione limitata, pari al 30% della superficie del bacino), i deflussi registrati nel corso d'acqua sono di modesta entità.

È da considerare che una parte non piccola dei deflussi minimi deriva dalle vecchie gallerie di scolo presenti ed attive nelle miniere di Abbadia San Salvatore.

3.5 Antropizzazione, vegetazione e uso del suolo

Il centro urbano principale nell'intero bacino del Paglia è Orvieto, situato nei pressi del tratto terminale, a quota 325 m s.l.m. La città di Orvieto domina la pianura alluvionale del Paglia da una rupe

tufacea che poggia su argille sovraconsolidate plioceniche.

Anche i centri urbani limitrofi antichi (Allerona, Fabro, Castel Viscardo, Bagni) risultano per lo più localizzati in posizione elevata rispetto alla pianura, con frequenti frazioni di recente costruzione nel fondo valle in corrispondenza delle principali arterie viarie e ferroviarie.

Nell'area sono presenti arterie e vie di comunicazione di notevole importanza, anche in ambito nazionale. Importanti collegamenti stradali di viabilità ordinaria sono la statale S.S. 71 (Umbro-Casentinese), che mette in comunicazione Arezzo - Città della Pieve - Orvieto e Viterbo e la S.S. 205 (Amerina) che funge da raccordo con Todi (e la Valtiberina) e Terni (e la Valnerina).

La pianura alluvionale del Basso Paglia, in particolare, è attraversata per tutta la sua lunghezza dall'autostrada A1 Milano-Napoli (Autostrada del Sole); inoltre sulla stessa valle insistono tratte molto rilevanti della rete ferroviaria: la ferrovia a doppio binario Firenze-Roma (direttrice Nord-Sud del traffico nazionale di merci e passeggeri) e la linea Direttissima, anch'essa a doppio binario e in costruzione sopraelevata, per i collegamenti ad alta velocità lungo la linea Milano-Bologna-Firenze-Roma-Napoli.

Si sottolinea che questo aspetto assume una notevole rilevanza nello studio dei cambiamenti morfologici dell'alveo, in quanto, come è ragionevole supporre, la realizzazione delle opere suddette ha pesantemente condizionato la trasformazione che il corso d'acqua ha subito negli ultimi cinquant'anni.

L'uso del suolo è principalmente collegato alla pratica del seminativo, soprattutto nella bassa valle del Paglia; nelle aree più elevate la presenza di argille, difficilmente lavorabili e scarsamente produttive, sfavorisce la coltivazione intensiva e le pratiche più frequenti sono il prato-pascolo ed il seminativo asciutto. Caratteristica dell'Orvietano è la coltivazione della vite, favorita dal clima e dai terreni vulcanici; sono anche presenti aree destinate alla pastorizia, castagneti, rimboschimenti di conifere e boschi cedui.

3.6 Fenomeni erosivi/produzione di sedimenti

Il bacino idrografico del F. Paglia è caratterizzato da forme di erosione riconducibili essenzialmente all'azione della gravità e delle acque correnti superficiali, incanalate e non (Ciccacci et alii, 1988).

Le frane si presentano con tipologie diverse, a seconda dei litotipi interessati. Scivolamenti rotazionali e roto-traslazionali sono prevalentemente diffusi nelle unità flyschoidi, mentre i colamenti (sia di fango che di detrito) interessano soprattutto la serie marina plio-pleistocenica (caratterizzata dalla presenza di conglomerati, sabbie e argille). I crolli, infine, interessano i materiali litoidi della serie carbonatica e, soprattutto, le vulcaniti del piastrone tufaceo dell'Alfina (Complesso Vulsino) che risulta sezionato e frammentato sul suo bordo settentrionale, proprio in corrispondenza della valle inferiore del Paglia (Orvietano), segno evidente della forte azione di erosione lineare svolta dai tributari di destra del Paglia stesso.

L'azione di erosione delle acque correnti, incanalate e non, si manifesta con particolare aggressività, dovuta alla scarsa permeabilità della maggior parte dei litotipi affioranti. Un'area a calanchi, particolarmente sviluppati sulle Argille plioceniche di Fabro (che stanno alla base della successione marina plio-pleistocenica) è stata negli ultimi decenni bonificata in sinistra idrografica, a ridosso della valle inferiore del Paglia.

Consegue, da tutto ciò, una forte produzione di sedimenti, sia di materiale grossolano (alimentato dalle formazioni litoidi e dai conglomerati che si trovano al top della serie marina sopra menzionata), sia di materiale fine, limoso-argilloso, tanto da determinare le caratteristiche di alveo braided,

almeno in condizioni naturali, del sistema fluviale (Cencetti et alii, 2004).

3.7 Caratteri idrografici di piccola scala

La lunghezza del fiume misurata lungo l'asse dell'alveo (in seguito chiamato AdA), riferita all'origine dell'asse è di 59,8 km. L'origine degli assi è localizzata sul torrente Pagliola, in corrispondenza del ponte della statale n. 2 (Via Cassia).

Il reticolo idrografico del Fiume Paglia è caratterizzato, a circa 7 km a monte della chiusura del bacino, da due rami principali: il Fiume Paglia ed il Torrente Chiani.

Il Chiani inizia, a monte, attorno a quota 250 m s.l.m nei pressi di Chiusi e confluisce con il Fiume Paglia a Ciconia (al km 52,4 AdA) a quota 113 m s.l.m dopo 52 km di percorso.

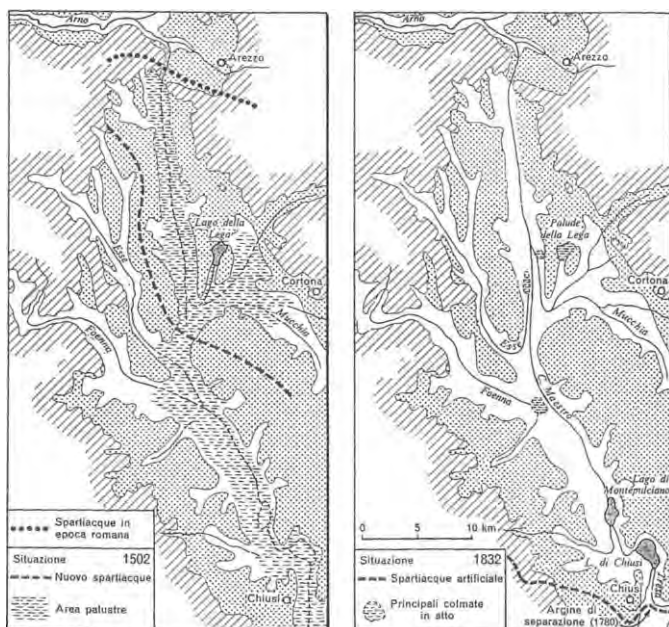


Fig. 36 - Variazioni idrografiche artificiali in Val di Chiana.

tualmente presente a monte fino allo spartiacque artificiale presente in prossimità di Chiusi.

Gli altri affluenti minori, limitatamente a quelli presenti nel tratto di studio (dal km 30,0 AdA corrispondente alla confluenza del Torrente Fossatello, al km 59,8 AdA corrispondente alla confluenza con il Fiume Tevere), sono:

- il Torrente Fossatello in sinistra idrografica (lunghezza 5,2 km; area del bacino 6,8 km²);
- il Fosso Rivarcale in sinistra idrografica (lunghezza 17,1 km; area del bacino 32,3 km²);
- il Fosso Ritorto in sinistra idrografica (lunghezza 19 km; area del bacino 34 km²);
- il Fosso della Sala in sinistra idrografica (lunghezza 8,6 km; area del bacino 12,5 km²);
- il Fosso dei Frati in destra idrografica (lunghezza 4,72 km; area del bacino 4,1 km²);
- il Fosso della Corniola in sinistra idrografica (lunghezza 1,8 km; area del bacino 2,8 km²);

In passato la situazione era inversa: l'attuale Paglia a monte della confluenza con il Chiani era un affluente del Torrente Chiani che, in tempi storici, drenava verso il Tevere assieme al canale della Chiana che attualmente drena verso il Fiume Arno (Epoca romana – media scala temporale – fig. 36).

In tempi geologici passati (piccola scala temporale) è presumibile che anche la parte alta del bacino dell'Arno (Casentino) drenasse verso il Tevere tramite la Chiana ed il Chiani; o, in ipotesi, attraverso il torrente Ritorto, affluente di sinistra del Paglia al km 43 AdA.

Un indizio di questo assetto passato è dato dalla presenza della pianura fluviale eccessivamente ampia nella parte alta del Torrente Chiani, a confronto del piccolo bacino attualmente presente a monte fino allo spartiacque artificiale presente in prossimità di Chiusi.

- il Torrente Romealla in sinistra idrografica (lunghezza 15,6 km; area del bacino 33,7 km²);
- il Fosso Albergo la Nona in destra idrografica (lunghezza 15,2 km; area del bacino 49,75 km²);
- il Fosso dell'Abbadia in destra idrografica (lunghezza 17,7 km; area del bacino 24,6 km²);
- il Fosso di Poggio Grosso (lunghezza 3,1 km; area del bacino 1,9 km²);
- il Fosso Froiana (lunghezza 5,4 km; area del bacino 3 km²).

3.7.1 Trattati caratteristici, a piccola scala, del T. Chiani.

Il sistema alveo-pianura fluviale del Torrente Chiani a piccola scala presenta due tratti caratteristici:

- quello medio-alto dove è presente una ampia pianura nella quale l'alveo attualmente è in buona parte rettificato artificialmente, privo di corpi sedimentari, fisso e arginato.
- Il tratto basso che interessa un fondo valle molto più stretto, dove è presente in modo discontinuo una limitata pianura fluviale. L'alveo è pressoché privo di corpi sedimentari e di mobilità; è un alveo monocanale sinuoso. Le dimensioni dell'alveo pieno sono molto limitate in confronto al bacino di monte; ciò si deve presumibilmente alla presenza dell'ampia pianura a monte che, in condizioni naturali (alveo non arginato, palude?) svolgeva una importante funzione di laminazione delle piene e di trappola per il trasporto solido. Essendo adesso l'alveo del Chiani medio-alto e dei suoi principali affluenti, arginato nel tratto di pianura, è venuto meno l'effetto laminante, anche se, durante le piene maggiori, comunque parte della pianura viene allagata svolgendo ancora un effetto laminante residuo.

Nel tratto più a valle, in settori dove la pianura fluviale è più ampia, sono state realizzate due casse di espansione che, in modo diverso, contribuiscono comunque alla laminazione delle piene del Torrente Chiani.

3.7.2 Trattati caratteristici, a piccola scala, del F. Paglia

Il sistema alveo-pianura fluviale del Fiume Paglia a piccola scala, nel suo insieme, presenta tre tratti caratteristici: l'Alto Paglia, il Medio Paglia e il Basso Paglia.

- L'Alto Paglia scorre in una pianura fluviale piuttosto ampia (da 3 a 10 volte la larghezza dell'alveo pieno) mantenendosi per buona parte del percorso, accostato ai versanti di destra idrografica.

L'alveo è di tipo divagante (*wandering*) ovvero intermedio fra intrecciato (*braided*) e sinuoso (*meandering*), senza mai essere francamente l'uno o l'altro.

- Il Medio Paglia occupa il fondo di una valle a V, quasi priva di pianura fluviale; l'alveo è monocanale sostanzialmente fisso.
- Il Basso Paglia è simile all'Alto Paglia: la pianura è più ampia; l'alveo è più simile ad un alveo intrecciato, ma rimane un alveo divagante, e percorre la valle addossato ai versanti presenti in sinistra idrografica.

Il settore terminale di valle, per condizioni dell'alveo e della pianura, è più simile al Medio Paglia.

4. INQUADRAMENTO MORFOLOGICO-SEDIMENTARIO DEL SISTEMA ALVEO-PIANURA FLUVIALE DEL FIUME PAGLIA, A MEDIA SCALA

4.1 Alto Paglia (a monte dell'area in studio)

L'Alto Paglia si estende dall'origine degli assi, alla progressiva 25,46 km AdA, corrispondente alla progressiva 20,88 km dell'asse della valle (in seguito indicato come AdV).

La lunghezza dell'asse della valle è di km 20,88; la lunghezza dell'asse dell'alveo è di km 25,46; pertanto la sinuosità media del tratto è pari a 1,22.

La pendenza media del tratto è pari a 0,66 %

Il tratto è generalmente caratterizzato da una pianura fluviale non molto ampia, ma per lunghi tratti continua, nella quale l'alveo divaga talora lambendo la base dei versanti, prevalentemente in destra idrografica.

L'alveo pieno, in condizioni naturali, era pressoché allo stesso livello ed in continuità con la pianura fluviale, che quindi era frequentemente inondabile.

Nel settore prossimo al limite di valle, oltre il ponte Gregoriano, la pianura fluviale si restringe progressivamente fin quasi a scomparire.

L'alveo è ghiaioso, con frequenti corpi sedimentari, in parte attivi e in parte maggiore relitti, con vegetazione anche di alto fusto. Le porzioni di alveo relitto sono poste a quote molto vicine a quelle della pianura.

L'alveo relitto, presumibilmente attivo nella prima metà del scolo scorso, era un alveo con tendenza all'intrecciamento, pur non arrivando ad essere un alveo francamente intrecciato e presentando pressoché ovunque un canale di magra principale con una limitata sinuosità. L'alveo era comunque sinuoso, con frequenti barre di meandro e barre intrecciate. L'alveo nel suo insieme può essere classificato come divagante (*wandering*) che definisce una situazione intermedia fra meandriforme (*meandering*) ed intrecciato (*braided*).

Attualmente l'alveo pieno è costituito prevalentemente dal canale principale di magra, che è più inciso, ha maggiori dimensioni e con le sponde fittamente vegetate.

Nel suo insieme si tratta di un alveo pressoché in condizioni naturali, senza soglie artificiali e con alcune non frequenti opere di fissazione di sponda.

L'alveo nei passati decenni è stato interessato da rilevanti asportazioni di sedimenti fini e grossolani per la produzione di inerti e materiali da rilevati e si trova adesso in uno stato di erosione diffusa anche se non molto accentuata.

Il canale principale di magra sembra essere impostato su sedimenti fluviali, quindi l'erosione sembra sia avvenuta senza raggiungere il *bedrock* costituito da sedimenti pliocenici marini.

In ogni caso la recente incisione e l'aumento di sezione del canale principale di magra, ha aumentato l'efficienza idraulica dell'alveo e ha diminuito il volume di invaso diminuendo altresì l'effetto laminante del picco di piena.

4.2 Medio Paglia (parzialmente nell'area in studio)

Il Medio Paglia si estende dalla progressiva 25,46 km AdA pari a 20,88 km AdV sino alla progressiva 38,5 km AdA pari a 31,8 km AdV.

La lunghezza dell'asse della valle è di km 10,93; la lunghezza dell'alveo è di km 13,03; pertanto la sinuosità media del tratto è pari a 1,19.

La pendenza media del tratto è pari a 0,58%.

Il tratto è caratterizzato dalla quasi totale assenza di pianura fluviale.

Il fiume scorre in una stretta valle a V con rari lembi di pianura fluviale, ora in destra, ora in sinistra idrografica.

Sui lembi di pianura sono evidenti i segni di recenti esondazioni con sedimentazione di notevoli volumi di detriti grossolani (fig. 37).

Una parte consistente delle sponde coincide con la base dei versanti, con frequenti fenomeni franosi per scalzamento al piede e conseguente invasione dell'alveo da parte del corpo di frana

Le frane sono sempre pressoché coincidenti con la sponda esterna alla curva (fig. 38).

Si tratta di un alveo ghiaioso, monocanale con *bedrock* spesso affiorante.

Il tratto è privo di opere, sia in alveo che nella pianura, ed è in condizioni pressoché naturali senza condizionamenti.

Il tratto si divide in due settori caratteristici: il settore di monte fino alla progressiva 30,4 km AdA (che coincide con il limite di monte del tratto oggetto del presente studio) e il settore di valle fino al termine del tratto, sino alla progressiva 38,5 km AdA.



Fig. 37 - Materiale grossolano sedimentato sui lembi di pianura alluvionale.

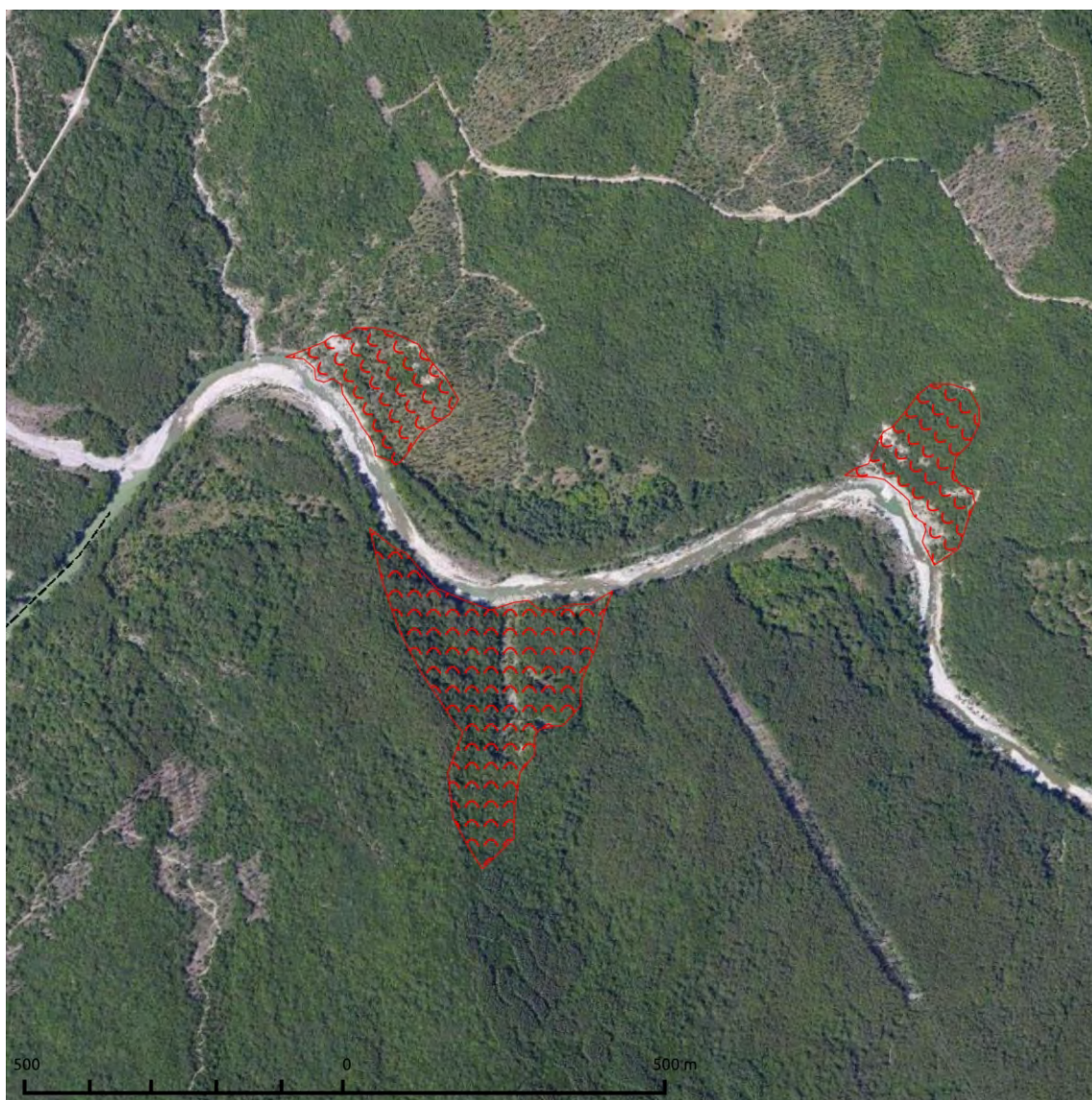


Fig. 38 - Frane (evidenziate in rosso) in corrispondenza delle sponde esterne.

4.2.1 Settore di monte

In questo settore la pianura, seppur discontinua, è abbastanza sviluppata ed interessata da evidenti segni di esondazione e conseguente sedimentazione sulla stessa pianura.

Nella parte alta di questo settore (a monte dell'area in studio) i corpi sedimentari sono rari e costituiti prevalentemente da barre di meandro; mentre sono pressoché assenti nella parte più a valle dove affiora il *bedrock*, prima della confluenza in sinistra idrografica con il Torrente Fossatello.

La mobilità effettiva dell'alveo in questo settore è molto limitata anche nei tratti dove sono “disponibili” lembi di pianura fluviale.

Le sponde sono fittamente vegetate e generalmente stabili.

L'aspetto generale dell'alveo corrisponde ad un alveo dritto a barre alternate, o un alveo a bassa sinuosità, talora francamente fisso, pressoché privo di corpi sedimentari e con *bedrock* affiorante.

Tale situazione può corrispondere sia ad una carenza di trasporto solido di fondo grossolano, sia ad

un eccesso di capacità di trasporto.

Per le considerazioni che verranno fatte relativamente al settore più a valle, si ritiene che il settore, pur avendo una notevole capacità di trasporto, sia interessato da un deficit di trasporto solido di fondo proveniente da monte.

Tale considerazione deriva dall'osservazione che la capacità di trasporto della corrente non è sufficiente a rimuovere in modo efficace i sedimenti grossolani prodotti dal Torrente Fossatello e dalle frane per scalzamento al piede dei versanti, nel settore più a valle.

4.2.2 Settore di valle

Nel settore di valle vi sono rari lembi di pianura di natura incerta, potrebbero anche essere lembi di alveo relitto; in ogni caso vi sono certamente lembi di alveo relitto come è evidente al km 36,5 AdA.

Tali lembi quasi sempre sono presenti in corrispondenza della sponda interna alla curva.

I corpi sedimentari sono molto più frequenti, attivi e ampi, rispetto al settore di monte.

La mobilità potenziale dell'alveo è più accentuata ed evidenziata dalla ricorrente presenza di frane di versante per scalzamento al piede operato dall'alveo in sponda esterna alla curva.

Si evidenzia nuovamente che la differenza rispetto al settore di monte è dovuta all'apporto solido del Torrente Fossatello e a quello prodotto dalle numerose frane in alveo.

Il confronto fra i due settori, di monte e di valle, evidenzia che il trasporto solido di fondo non è particolarmente elevato; infatti nel tratto di monte l'assenza di corpi sedimentari potrebbe corrispondere ad un eccesso di capacità di trasporto.

In realtà i numerosi corpi sedimentari del settore di valle, a fronte di un trasporto solido di fondo dovuto alle frane sul Torrente Fossatello e alle frane in alveo – sorgenti di trasporto solido di fondo significative, ma certamente non rilevanti – dimostrano che la capacità di trasporto non è elevatissima.



Fig. 39 - Clasti molto grossolani presenti in alveo, apportati dai movimenti franosi.

La presenza di clasti di elevata dimensione, nell'alveo del settore di valle del Medio Paglia, è spiegata dalla natura dei corpi franosi che contengono essi stessi clasti di dimensioni notevoli (fig. 39).

In sintesi il Medio Paglia, a differenza dei due tratti superiore ed inferiore, è un “canale di transito” per il trasporto solido di fondo che viene da monte o che deriva dalle frane sul torrente Fossatello e da quelle che interessano direttamente l'alveo.

Si ritiene che il trasporto solido di fondo in uscita dal Medio Paglia sia relativamente basso rispetto a quanto si può pensare osservando l'ampio alveo divagante del Basso Paglia.

4.3 Basso Paglia

Il Basso Paglia si estende dalla progressiva 38,5 km AdA pari a 31,8 km AdV sino alla confluenza

con il Fiume Tevere.

La lunghezza dell'asse della valle è di km 17,9; la lunghezza dell'alveo è di km 21,3; pertanto la sinuosità media del tratto è pari a 1,19.

La pendenza media del tratto è pari a 0,34%.

Il limite di valle del tratto corrisponde alla confluenza con il Fiume Tevere.

Il tratto è caratterizzato da un'ampia pianura fluviale dove sono presenti diversi conoidi di deiezione quasi piatti, tracce di terrazzi fluviali, e paleoalvei che mettono in evidenza la notevole mobilità dell'alveo.

L'alveo uscito dalla stretta valle del Medio Paglia si mantiene in destra idrografica, lambendo anche la base del versante intorno alla progressiva km 40,0 AdA.

Dalla progressiva 41,5 km AdA alla progressiva 43,0 km AdA, l'alveo taglia trasversalmente la pianura fluviale verso valle e si mantiene sempre sul lato sinistro della pianura, talora scalzando la base dei versanti di sinistra idrografica.

L'alveo si trova in uno stato di non equilibrio ed è caratterizzato da un'intensa erosione attiva che ha superato la base del materasso alluvionale ed interessa il *bedrock* costituito da argille plioceniche sovraconsolidate.

Fino alla metà del secolo scorso si trattava di un alveo moderatamente intrecciato con un canale principale sinuoso, era impostato a quote molto prossime a quelle della pianura ed era molto mobile (*wandering*). Nella parte media ed alta del tratto erano presenti alcuni meandri ben sviluppati.

Per molti aspetti era simile all'Alto Paglia, ricco di barre di meandro affiancate a barre intrecciate, longitudinali e laterali, per buona parte attive.

Nelle condizioni attuali, da un lato il canale principale si è approfondito formando barre sospese e tratti di alveo relitto, dall'altro buona parte della fascia di divagazione libera dell'alveo è stata recuperata per attività agricole o è interessata da rilevati relativi a infrastrutture, o da aree urbanizzate

impostate direttamente sul piano campagna naturale.

Nel settore finale del tratto, a valle della progressiva 56,0 km AdA, la pianura fluviale diminuisce sensibilmente la sua larghezza, l'alveo diventa francamente monocanale, i corpi sedimentari sono quasi assenti, il *bedrock* è pressoché affiorante e la mobilità dell'alveo è limitatissima (fig. 40).

Le opere fluviali, fatti salvi: la traversa presente a valle di Ponte Adunata (km 53,6 km AdA), i ponti della strada provinciale 48, della vecchia ferrovia, della ferrovia direttissima e dell'autostrada A1 e il Ponte Adunata (tutti privi di platea continua di fondazione), sono limitate a difese di



Fig. 40 - Alveo del Fiume Paglia nel settore più a valle.

sponda presumibilmente realizzate secondo criteri di emergenza e di urgenza, in relazione ai numerosi e reiterati episodi di erosione di sponda che danneggiano aree prevalentemente agricole.

I meandri che erano presenti nella parte alta e media del tratto non sono più presenti.

Solo alcune porzioni della parte media e bassa del tratto sono interessate da argini.

Nel suo complesso l'alveo è in un evidente stato di deficit sedimentario, mantiene un'alta mobilità pur attraversando una evoluzione che rimane nel campo degli alvei *wandering* da moderatamente *braided* a monocanale a bassa sinuosità.

Il tratto è interessato dalla confluenza con il Torrente Chiani, che pur avendo un bacino di notevole estensione (422 km²) non cambia i caratteri dell'alveo del F. Paglia a valle della confluenza.

5. ANALISI DETTAGLIATA DI MEDIA E GRANDE SCALA DEL SISTEMA ALVEO-PIANURA FLUVIALE DEL F. PAGLIA NEL TRATTO IN STUDIO

5.1 Premessa

L'oggetto del presente studio riguarda solo la parte del Fiume Paglia compresa fra la progressiva km 30,5 AdA posta circa alla metà del Medio Paglia e corrispondente alla confluenza del Torrente Fossatello, fino alla progressiva km 59,7 km AdA, corrispondente alla confluenza del Fiume Paglia con il Fiume Tevere.

Le indagini dettagliate di media e di grande scala, necessariamente, possono riguardare solo il tratto oggetto del presente studio, anche se sarebbe utile estenderle all'intero sistema alveo-pianura del Fiume Paglia e del Torrente Chiani.

Prima di passare all'analisi di grande scala, vengono meglio delineati i caratteri del sistema alveo-pianura fluviale di media scala.

La descrizione viene sviluppata partendo dalla confluenza con il Torrente Fossatello, a monte, e organizzata per tratti presumibilmente omogenei o comunque caratteristici.

I principali parametri morfologici utilizzati nell'analisi di media scala sono riferiti alle condizioni di alveo pieno (*bankfull*).

Tali parametri vengono di seguito indicati, assieme ad una sintetica descrizione.

5.2 Definizione dei caratteri e dei parametri morfologici di media scala

- **Caratteri della pianura fluviale** - assenza, presenza, discontinua, continua; larghezza; presenza di conoidi di deiezione; terrazzi fluviali; etc.
- **Larghezza dell'alveo pieno** - espressa in metri (*bankfull*): larghezza della porzione attiva dell'alveo, per piene con tempo di ritorno di 1,5-3 anni, caratterizzata dalla presenza del canale di magra e dei corpi sedimentari attivi;
- **Pendenza dell'alveo** - espressa in percentuale: rapporto tra la differenza di quota del tratto e la lunghezza dello stesso misurata l'ungo l'AdA (i valori sono stati calcolati su settori di lunghezza pari a 500 m, che corrisponde a circa 10 volte la larghezza media dell'alveo pieno).
- **Pendenza della valle** - espressa in percentuale: rapporto tra la differenza di quota nel tratto e la lunghezza dello stesso misurata l'ungo l'asse della valle.
- **Intrecciamento** - misura del numero di canali di magra presenti su un certo numero di sezioni equidistanti tra loro, il valore dell'indice è dato dalla somma complessiva del numero di canali fratto il numero delle sezioni di misura. Nel caso specifico il passo di misura è pari a 10 m. I valori sono stati calcolati su settori di lunghezza pari a 500 m, che corrisponde a circa 10 volte la larghezza media dell'alveo pieno.
- **Sinuosità** – la sinuosità è una caratteristica importante da considerare nella gestione degli

alvei fluviali (realizzazione di opere e azioni, valutazione dei rischi, etc.). All'analisi della sinuosità è dedicato il paragrafo successivo.

5.3 Sinuometria

Gli alvei naturali ghiaiosi generalmente sono interessati da trasporto solido al fondo.

Tali alvei, di norma, non sono rettilinei, anche quelli non francamente meandriformi presentano sempre una certa sinuosità,

La sinuosità dell'alveo pieno è minore della sinuosità del/dei canale/i di magra, per effetto dei corpi sedimentari che rendono più sinuoso il canale di magra stesso.

Esiste una sinuosità propria del canale di magra e una sinuosità propria dell'alveo pieno.

Gli effetti della sinuosità del canale di magra, in certe situazioni, come ad esempio in alcuni alvei divaganti, possono cambiare in condizioni di portata superiore a quella di alveo pieno.

Tali effetti della sinuosità, nel caso su indicato, diminuiscono fortemente, mentre la dinamica dell'alveo tende a variare da sinuoso ad intrecciato, per portate che superano una certa soglia specifica, caso per caso.

La caratterizzazione della sinuosità (sinuometria) si riferisce all'alveo pieno, quando non diversamente indicato.

La misura della sinuosità si effettua sull'asse dell'alveo pieno (AdA) e consiste nella definizione del rapporto tra la distanza tra due sezioni d'alveo misurata lungo l'AdA e la distanza tra le stesse due sezioni, misurata lungo l'AdV.

L'analisi dei caratteri della sinuosità si effettua tramite parametri riferiti alle curve (semimeandri) come sotto elencati:

- semilunghezza d'onda: lunghezza (in metri) del segmento che unisce due punti di flesso successivi (corda) che individuano un semimeandro;
- semiampiezza d'onda: lunghezza (in metri) del segmento normale alla corda che unisce la tangente all'asse dell'alveo pieno parallela alla corda, con la corda stessa;
- raggio di curvatura equivalente: raggio del cerchio (in metri) che passa per i due punti di flesso ed il punto di tangenza della parallela alla corda con l'AdA;
- angoli di flesso: angoli (di monte e di valle) compresi tra la corda e l'asse dell'alveo nei due punti di flesso;

Mentre per le grandi curve non si riscontrano problemi di definizione, per le curve con piccole semilunghezze, semiampiezze e grandi raggi di curvatura possono esserci problemi di scala minima.

In tali casi, si considera curvo in senso proprio, l'alveo che presenta una barra di meandro, anche se minimale o residua, altrimenti si considera l'alveo rettilineo.

5.4 Definizione dei caratteri e dei parametri morfologico-sedimentari a grande scala

I principali caratteri e parametri morfologico-sedimentari dell'alveo sono:

- le componenti dell'alveo (le sponde, il/i canale/i di magra, i corpi sedimentari, le altre forme di fondo, l'eventuale bedrock affiorante)
- i caratteri granulometrici del canale di magra e dei corpi sedimentari (diametro medio, D50, D10, D90; deviazione standard, skewness, kurtosis)
- i caratteri delle sezioni trasversali;
- la vegetazione spondale e in alveo
- le opere e le azioni interferenti con la dinamica dell'alveo.

Le sezioni trasversali, assieme al profilo longitudinale, sono i due elementi conoscitivi tradizionali, che costituivano e costituiscono, adesso assieme a molti altri elementi conoscitivi, il modo di seguire l'evoluzione di un alveo fluviale nel tempo. Ciò può avvenire, ad esempio, rilevando le stesse sezioni in tempi successivi.

Perché il monitoraggio nel tempo possa avvenire correttamente, è necessario che esistano dei capisaldi fissi, esterni alla fascia di divagazione dell'alveo, che consentano di individuare sempre la stessa sezione.

I problemi legati alla affidabilità dei dati sono molti: solo a titolo di esempio, si pensi che un alveo mobile, cambiando la sua forma nel tempo, in corrispondenza della sezione con capisaldi, può non mantenere il suo asse normale alla sezione. In questo caso, rilevando la sezione tra i due capisaldi, si avrebbe una sezione obliqua che falserebbe i parametri significativi (larghezza, perimetro bagnato, raggio idraulico).

Nel caso del F. Paglia, non risultano sezioni munite di capisaldi. Vi sono diverse serie di sezioni, ad esempio quelle utilizzate dal PAI, che non sono state utilizzate per la difficoltà incontrata nella loro validazione.

La misura dei principali parametri morfologici e idrologico-idraulici dell'alveo del F. Paglia stata effettuata sulla base dei 29 sezioni trasversali, estratte dal modello digitale del terreno (risoluzione 1 metro) dell'Autorità di Bacino del F. Tevere, riferibile all'anno 2008 (vedi allegato 1).

La scelta di utilizzare il DTM è dovuta al grado di dettaglio del dato altimetrico (1 misura ogni metro) che consente di individuare, sulla base della fotointerpretazione eseguita sull'ortofoto 2008, i limiti dell'alveo pieno (livello di bankfull).

Le sezioni, come di norma, sono state ubicate in corrispondenza delle zone di riffle. Ciò, oltre ad essere la regola, consente di minimizzare gli errori dovuti all'impossibilità di effettuare misure sotto il pelo libero dell'acqua tramite le comuni tecniche laser scanner.

I parametri misurati sono elencati di seguito e sono riferibili a 2 diversi livelli idrometrici – al livello di bankfull (alveo pieno, in seguito indicato come **Bankfull**) e al doppio della profondità massima in condizioni di bankfull (flood-prone area, in seguito indicato come **FPA**):

- **Larghezza:** ampiezza della sezione normale all'asse dell'alveo pieno in corrispondenza del livello idrometrico considerato.
- **Profondità massima:** profondità massima dell'acqua in corrispondenza del livello idrometrico considerato.
- **Profondità media:** profondità media dell'acqua in corrispondenza del livello idrometrico considerato.

- **Perimetro bagnato:** perimetro della sezione bagnata, in corrispondenza del livello idrometrico considerato.
- **Area:** area della sezione bagnata in corrispondenza del livello idrometrico considerato.
- **Rapporto larghezza-profondità:** rapporto fra la larghezza dell'alveo e la profondità media, in corrispondenza del livello considerato.
- **Raggio idraulico:** rapporto tra l'area bagnata e il perimetro bagnato, in corrispondenza del livello considerato.
- **Rapporto di trinceramento:** rapporto tra la larghezza, misurata in corrispondenza di un livello idrico doppio di quello di bankfull (flood-prone area) e la larghezza di bankfull. Tale rapporto tende a 1 (larghezza di bankfull = larghezza della flood-prone area) man mano che il trinceramento dell'alveo aumenta.

Nel tratto compreso tra la progressiva 50,5 km AdA e la progressiva 53,0 km AdA sono disponibili cinque sezioni rilevate nell'anno 1951 e nell'anno 2008. Tali sezioni sono particolarmente utili per analizzare l'evoluzione dell'alveo in questo periodo.

In allegato 1 sono riportate le schede monografiche di ogni sezione considerata.

Nei paragrafi che seguono sono descritti i parametri di media e grande scala dei tratti caratteristici preliminarmente individuati.

5.5 Tratto caratteristico 1 – Caratteri e parametri morfologico-sedimentari di media e grande scala (dalla progressiva 30,0 km AdA alla progressiva 38,5 km AdA, lunghezza complessiva 8,5 km)

I caratteri e parametri morfologico-sedimentari di grande scala relativi al tratto sono indicati nei paragrafi che seguono o sono rappresentati nella Carta dei caratteri morfologico-sedimentari in scala 1:10.000 o sono contenuti negli allegati.

5.5.1 Caratteri della pianura fluviale

La valle è a V, con versanti piuttosto acclivi, il fondovalle è stretto, la pianura alluvionale è limitata a lembi discontinui, isolati e mai presenti da entrambi i lati dell'alveo. Potrebbe anche non essere una pianura fluviale vera e propria, ma essere costituita dai lembi di un alveo relitto, relativo ad un diverso periodo passato.

I lembi di pianura presentano caratteri pressoché naturali poiché non sono interessati da infrastrutture o da coltivazioni.

La pianura, ove presente, ha dimensioni limitate con larghezza media simile a quella dell'alveo.

L'alveo nelle sponde esterne alla curva generalmente scalza il versante alla base e ne provoca il franamento. Siamo in condizioni di alveo praticamente fisso in cui le sponde esterne alla curva continuano a scalzare il versante alla base e così hanno l'effetto di farlo franare: il numero delle frane nel tratto è pari a 8, che salgono a 9 se si considera quella sul T. Fossatello.

L'area complessiva delle frane, che interessano l'alveo principale, è pari a circa 15 ettari e interessano circa l'8 % della lunghezza complessiva delle sponde. I versanti su cui insistono sono costituiti da rocce mioceniche molto eterogenee (olistostromi?) contenenti argille, argille siltose e marnose grigiastre, lenti calcaree e calcareo marnose, calcareniti, brecciole e brecce calcaree, e interstrati con masse di pietre verdi. Nella parte superiore si rilevano anche travertini di origine continentale.

Le frane costituiscono una fonte apprezzabile di “produzione” di sedimenti fini e sono la fonte quasi unica dei sedimenti più grossolani presenti in alveo.

Nei lembi di pianura si rilevano orli di scarpata che potrebbero corrispondere a orli di terrazzo o a lembi di alveo relitto (con minore evidenza).

È presente un conoide in riva sinistra nel tratto iniziale di monte, alla confluenza con il Torrente Fossatello: presenta un fronte di circa 600m e una profondità di circa 500m. Nel piccolo bacino del Torrente Fossatello sono presenti da almeno 60 anni delle frane che sovralluvionano l'alveo del torrente perché il bacino è piccolo e l'alveo non possiede la capacità di trasporto necessaria a smaltire tutto il materiale prodotto dalle frane. Lo stesso materiale prodotto dalle frane crea il conoide suddetto e modifica in modo sostanziale la dinamica dell'alveo del Fiume Paglia. L'alveo infatti, a valle della confluenza, è ricco di corpi sedimentari, mentre a monte questo non si verifica.

5.5.2 Caratteri generali dell'alveo

L'alveo è monocanale, sostanzialmente fisso, in quanto è privo di una pianura fluviale continua e, presumibilmente, fisso anche in termini verticali perché il substrato è subito sotto ai rari corpi sedimentari e a l'*armour* del canale di magra.

La larghezza è relativamente poco variabile e la pendenza non evidenzia rotture di pendio particola-

ri.

Presenta una scarsa mobilità laterale, spesso “contrastata”, perché le sponde coincidono con il versante, inoltre anche la mobilità verticale è molto limitata perché, presumibilmente, sotto l'*armour* del canale di magra si trova direttamente il *bedrock*.

5.5.3 Sinuometria (allegato 4)

Il tratto, che ha una lunghezza di 8,5 km ed una bassa sinuosità (1,18), presenta 10 curve i cui caratteri sono indicati nella seguente tabella:

Tratto elementare	Semicurva n.	AdA flesso monte (m)	AdA flesso valle (m)	Angolo di flesso monte ϕ_{FM} (°)	Angolo di flesso valle ϕ_{FV} (°)	Semi - lunghezza d'onda LV (m)	Semi - ampiezza d'onda LA (m)	LV/LA	Raggio di curvatura equivalente (m)
1	1	30106	31012	34	82	553	243	2,27	277
	2	31012	31530	52	35	457	110	4,14	286
	3	31530	32125	35	66	431	185	2,33	218
	4	32125	32632	44	37	469	64	7,27	387
	5	32632	33211	28	49	526	92	5,72	413
	6	33211	34223	38	35	965	128	7,53	969
	7	34223	34785	13	10	555	40	13,99	991
	8	34785	36530	36	142	1513	183	8,25	1165
	9	36530	38110	110	45	1261	392	3,22	684
	10	38110	38611	33	55	413	118	3,51	220
	media			42	56	714	156	5,82	561

- Le semilunghezze d'onda variano da 413 metri a 1513 metri, con una media di 714 metri, di poco inferiore alla media dell'intero Basso Paglia (757 metri).
- le semiampiezze d'onda variano da 40 metri a 392 metri, con una media di 156 metri, molto vicina alla media dell'intero Basso Paglia (153 metri).
- il rapporto Lv/La varia da 2,28 a 13,99, con una media pari a 5,82, di poco inferiore alla media del Basso Paglia (6,14);
- il raggio di curvatura equivalente varia da 218 metri a 1165 metri, con una media di 561 metri, di poco inferiore alla media del Basso Paglia (593 metri);
- gli angoli di flesso variano da 10° a 142°, con una media di 49°, molto vicina alla media del Basso Paglia (48,5°). Gli angoli anomali (142, 110) presenti tra la curva 8 e la 10 sono dovuti agli effetti di un grande sperone di roccia presente in alveo, che devia fortemente la corrente verso la sinistra idrografica.

5.5.4 Caratteri e parametri morfologico-sedimentari di grande scala dell'alveo nelle condizioni attuali

5.5.4.1 Sezioni trasversali

I dati di ubicazione e i caratteri morfologico-sedimentari e idraulici di ognuna delle 8 sezioni di controllo relative al tratto sono indicati nelle schede contenute in allegato 1.

Il quadro riassuntivo dei dati è indicato nella tabella che segue.

Quadro riassuntivo sezioni tratto 1													
Elementi Conoscitivi		Sezioni											
		1	2	3	4	5	6	7	8	MIN	MED	MAX	D. ST
Progressiva AdA (km)		30,46	31,72	32,55	33,93	35,03	36,7	37,2	37,95				
Larghezza (m)	Bankfull	30,07	46,68	39,47	47,05	51,51	40,20	33,19	49,05	30,07	42,15	51,51	7,72
	FPA	35,71	70,17	69,28	81,20	67,55	65,11	70,32	91,57	35,71	68,86	91,57	15,98
Profondità max (m)	Bankfull	1,02	1,93	2,09	2,14	1,77	2,02	2,17	1,62	1,02	1,85	2,17	0,38
	FPA	2,04	3,86	4,18	4,28	3,54	4,04	4,34	3,24	2,04	3,69	4,34	0,77
Profondità media (m)	Bankfull	0,68	1,39	1,50	1,42	1,21	1,18	1,29	0,76	0,68	1,18	1,50	0,30
	FPA	1,50	2,64	2,61	2,60	2,37	2,20	2,22	1,69	1,50	2,23	2,64	0,43
Rapp. largh.-prof med	Bankfull	44,30	33,70	26,39	33,03	42,41	34,14	25,69	64,14	25,69	37,98	64,14	12,46
	FPA	23,76	26,63	26,59	31,23	28,47	29,60	31,71	54,20	23,76	31,52	54,20	9,53
Area bagnata (mq)	Bankfull	20,42	64,66	59,04	67,02	62,56	47,33	42,86	37,52	20,42	50,18	67,02	16,18
	FPA	53,66	184,94	180,55	211,12	160,27	143,21	155,95	154,71	53,66	155,55	211,12	46,50
Perimetro bagnato (m)	Bankfull	30,38	47,01	39,85	47,41	51,96	40,55	33,63	49,58	30,38	42,55	51,96	7,75
	FPA	36,71	70,95	70,22	82,07	68,56	66,19	71,07	92,55	36,71	69,79	92,55	15,95
Raggio idraulico (m)	Bankfull	0,67	1,38	1,48	1,41	1,20	1,17	1,27	0,76	0,67	1,17	1,48	0,30
	FPA	1,46	2,61	2,57	2,57	2,34	2,16	2,19	1,67	1,46	2,20	2,61	0,43
Quota livello idrico (m s.l.m)	Bankfull	216,8	208,6	202,7	193,1	186,7	176,8	172,7	169,1				
	FPA	217,9	210,6	204,8	195,3	188,5	178,8	174,9	170,7				
Rapp. Trinceramento		1,19	1,50	1,76	1,73	1,31	1,62	2,12	1,87	1,19	1,64	2,12	0,30
Pendenza alveo (% - media tratto)											0,62		
Pendenza valle (% - media tratto)											0,79		
D50 barre (mm)											112,7		
D50 canale (mm)													

I dati relativi alle sezioni sono descritti nei paragrafi successivi per l'intero Paglia.

5.5.4.2 Componenti dell'alveo

Le sponde

Le sponde sono generalmente alte, con l'eccezione di alcuni tratti di sponda interna alla curva dove, per la presenza di una "barra di meandro" e dei lembi della pianura alluvionale, le stesse degradano più dolcemente e danno luogo a sponde basse. Una buona parte delle sponde sono addossate al versante, quelle che non lambiscono il versante spesso sono comunque sponde alte.

In questo tratto non c'è stato un abbassamento dell'alveo come si è verificato più a valle, si tratta di un alveo sostanzialmente fisso, non esiste un vero e proprio materasso alluvionale e il canale è corazzato.

Per lunghi tratti le sponde esterne alle curve scalzano alla base i versanti con evidenti effetti sulla loro stabilità.

Sono presenti numerose frane che tendono ad occupare l'alveo e vengono progressivamente erose con produzione di sedimenti anche molto grossolani.

Il o i canali di magra

L'alveo è monocanale. Il canale di magra ha una larghezza media poco inferiore a quella dell'alveo in quanto tra una barra e l'altra coincide con l'alveo pieno ed è corazzato.

I corpi sedimentari

I corpi sedimentari sono quasi tutti "barre di meandro" nella parte interna della curva. Nel complesso sono inferiori al 50% della superficie complessiva dell'alveo pieno e si evidenziano tratti privi di barre tra una sinuosità e la successiva.

La frequenza delle barre rispecchia la sinuosità: c'è una barra in corrispondenza di ogni curva in sponda interna.

Il tratto inizia con la barra di confluenza del T. Fossatello. Le barre sembrano diminuire come frequenza andando verso valle: ciò porta a ritenere che la principale sorgente di sedimenti di tali corpi sedimentari, e quindi dei sedimenti grossolani presenti in alveo e del trasporto solido grossolano, sia proprio il T. Fossatello (a monte del T. Fossatello sono assenti e la pendenza dell'alveo è minore).

Nell'alveo del F. Paglia arriva quella parte di sedimento che il T. Fossatello, su cui avvengono le frane, è in grado di trasportare verso l'alveo principale. Tale parte non corrisponde alla totalità dei sedimenti provenienti dalle frane, perché l'alveo dell'affluente è sovralluvionato per carenza di capacità di trasporto rispetto alla produzione di sedimenti. Nell'alveo dell'affluente rimane immagazzinata una importante parte dei sedimenti.

I sedimenti grossolani prodotti dalle frane, in parte si trovano nei sedimenti dell'alveo del torrente, in parte nel conoide alla confluenza e in parte nei corpi sedimentari che vanno diminuendo di superficie e di frequenza andando verso valle nell'alveo del fiume Paglia.

I corpi sedimentari, per quanto riguarda lo stato, sono tutti sostanzialmente nudi e attivi e si nota un aumento di attività rispetto alle condizioni del 2008.

Altre forme di fondo

La configurazione del fondo è costituita sia da forme di tipo *riffles and pools* sia di tipo *steps and pools*, entrambi presenti in questo tratto.

5.5.4.3 Caratteri del bedrock e soglie naturali

L'alveo si presenta pressoché fisso e a tratti con *bedrock* affiorante.

Tale condizione non ha subito variazioni evidenti nei tempi storici indagati.

5.5.4.4 Caratteri granulometrici

In questo tratto, considerato il suo stato quasi fisso, è stato prelevato un solo campione granulometrico (settembre 2012) in corrispondenza della barra di confluenza del T. Fossatello.

Nome	Anno di prelievo	Progr. asse alveo (km)	Unità morfo-sed	Numero di clasti	Media (mm)	D90 (mm)	D50 (mm)	D10 (mm)	Dev. St (mm)	Skewness	Kurtosis
D1	2012	30,5	Barra	79	134,1	269,0	112,7	36,3	87,8	0,7	2,4

Tabella 1: Principali parametri desumibili dalle analisi granulometriche

Variabilità delle granulometrie

L'alveo è interessato da clasti molto grossolani (D_{90} 269 mm; D_{50} 113 mm).

Il canale di magra spesso è costituito da *bedrock* sopra il quale permangono clasti grossolani isolati.

Talora il *bedrock* non è visibile ed il canale di magra è corazzato.

5.5.4.5 La vegetazione in alveo, spondale e nella pianura attiva

Trattandosi un alveo fisso o poco mobile (quasi fisso), con una limitata pianura alluvionale, e quindi stabile, la vegetazione non gioca un ruolo rilevante nella sua dinamica.

Le sponde ed i versanti sono vegetati a bosco per tutto il tratto

I corpi sedimentari presenti sono pressoché tutti nudi e attivi.

5.5.4.6 Caratterizzazione delle opere e delle azioni di interesse

Il sistema alveo-pianura fluviale si trova pressoché in condizioni naturali lungo tutto il tratto.

Non sono presenti opere né nell'alveo, né sui lembi di pianura fluviale, né alla base dei versanti.

Il tratto non è stato oggetto di azioni influenti sulla sua dinamica, nel periodo storico analizzato.

5.5.4.7 Frane di sponda o di versante

Il numero delle frane nel tratto è pari a 8, che salgono a 9 se si considera quella sul T. Fossatello.

L'area complessiva delle frane, che interessano il collettore principale, è pari a circa 15 ettari e costituiscono circa l'8 % della lunghezza complessiva delle sponde. I versanti su cui insistono sono costituiti da rocce mioceniche molto eterogenee (olistostromi?) contenenti argille, argille siltose e marnose grigiastre, lenti calcaree e calcareo marnose, calcareniti, brecciole e brecce calcaree, e interstrati con masse di pietre verdi. Nella parte superiore si rilevano anche travertini di origine continentale.

Tali frane producono sedimenti anche molto grossolani.

5.5.5 Variazioni storiche dei parametri planimetrici

L'esame dei documenti storici reperiti (Carta Topografica d'Italia edita dal IGM e riferibile ad un rilievo del 1952 e foto aeree del volo GAI - 1954) non ha messo in evidenza alcuna variazione o evoluzione.

Le caratteristiche del tratto, diverse dal tratto immediatamente a monte, non facente parte di questo studio, sono sempre state presenti a partire dagli anni '50 del secolo scorso. Negli anni '50 le frane già esistevano (sia quelle T. Fossatello sia quelle sul collettore principale).

	Larghezza (m)	Sinuosità	Intrecciamento
2012	45,4	1,18	1,02
2008	40,9	1,18	1,02
2003	46,1	1,13	
1977	63,4	1,15	
1954	72,1	1,20	1,13
1823	nessun dato		

Tabella 2: Variazione storica dei parametri planimetrici

5.6 Tratto caratteristico 2 – Caratteri e parametri morfologico-sedimentari di media e grande scala (dalla progressiva 38,5 km AdA alla progressiva 43,2 km AdA, lunghezza complessiva 4,7 km)

I caratteri e parametri morfologico-sedimentari di grande scala relativi al tratto sono indicati nei paragrafi che seguono o sono rappresentati nella Carta dei caratteri morfologico-sedimentari in scala 1:10.000 o sono contenuti negli allegati.

5.6.1 Caratteri della pianura fluviale

La pianura si presenta continua in riva sinistra e discontinua in riva destra sino al km 40,8 AdA.

L'alveo, per un primo tratto, si mantiene aderente alla base del versante in riva destra, sino alla progressiva 41,4 km AdA. Da questa l'alveo attraversa trasversalmente la pianura e va a lambire il versante in sinistra idrografica. Presumibilmente questo comportamento è dovuto all'azione combinata del conoide del Fosso Rivacale e di cause tettoniche.

Nella prima parte del settore (da 38,5 km AdA a 40,8 km AdA) si rilevano in destra idrografica solo lembi di pianura e i versanti, per una buona parte, presentano la morfologia tipica di un versante scalzato alla base dall'alveo in periodi passati.

Dal km 40,8 AdA al km 41,4 AdA, il corso d'acqua è tuttora privo di pianura alluvionale in destra idrografica e scalza alla base in modo molto attivo il versante.

Nella stessa porzione in riva sinistra si estende la pianura alluvionale, che presenta un'ampiezza compresa tra i 400 e 1000 m. Sono evidenti tracce di paleoalvei: il più evidente è quello che si localizza attorno alla progressiva 39,0 dell'AdA, al quale in sponda sinistra corrisponde uno dei tratti in cui il versante risulta scalzato e che probabilmente corrispondeva alla “sponda esterna alla curva” dell'antico meandro.

Sono presenti tre ampi conoidi caratterizzati da una pendenza molto bassa, formati dai torrenti Ripuglie e Rivacale in sponda sinistra e dal Fosso delle Prese in sponda destra. Quello più esteso dei tre, originato dal Fosso Rivacale, potrebbe essere il responsabile del “mantenimento” dell'alveo schiacciato lungo la base del versante destro, così come quello del Fosso delle Prese potrebbe aver sospinto l'alveo attraverso la pianura fino alla base del versante sinistro.

Le confluenze più importanti sono quelle con i suddetti Torrente Ripuglie, Fosso Rivacale e Fosso delle Prese.

5.6.2 Caratteri generali dell'alveo

L'alveo tende a permanere monocale, con settori che presentano anche canali secondari pur non assumendo nel suo insieme una morfologia francamente intrecciata. Si presenta come un alveo di-vagante (*wandering*) che in sé presenta sia i caratteri di un meandriforme, sia quelli di un intrecciato: questi ultimi più attivi in fase di piena.

L'alveo è in uno stato di evidente deficit sedimentario per erosione del canale principale di magra, che si autoaccresce.

Lo stesso canale di magra, nei settori dove l'alveo lambisce il versante in destra idrografica, sembra essere impostato ad una quota molto prossima al *bedrock* che talora affiora in sponda destra.

La mobilità dei canali secondari risulta limitata dalla presenza di una vegetazione fitta e di alto fusto che protegge la superficie superiore dei corpi sedimentari, la cui mobilità si esplica soprattutto attraverso “erosione di sponda” operata dai canali nelle fasi di piena e di morbida.

5.6.2.1 Rapporti con la pianura e con gli affluenti

Alcuni corpi sedimentari “sospesi” vengono sommersi da piene a maggior tempo di ritorno rispetto al tempo di ritorno di *bankfull* ed evolvono praticamente solo per erosione laterale operata dai canali di magra.

Altre porzioni di alveo, a quote superiori alle barre sospese, corrispondono ad uno stato precedente che indicheremo, nel seguito, come “**alveo relitto**”. Questi lembi di alveo sono rimasti “sospesi” rispetto all'alveo pieno attuale, e in misura ancora maggiore rispetto al canale di magra, a causa dell'intensa erosione in atto. Nel canale di magra tale erosione inizia ad essere evidenziata in corrispondenza dell'inizio del tratto e aumenta la sua intensità verso valle.

Le misure effettuate sul modello digitale del terreno (DTM) evidenziano che la differenza di quota tra canale di magra (pelo libero di magra) e piana alluvionale (aree agricole) varia da 5 a 8 m, mentre la differenza altimetrica tra canale di magra e alveo relitto (dove insiste la vegetazione ripariale di alto fusto) varia da 2 a 4 m.

I rapporti fra alveo e pianura erano diversi già nel 1954: l'alveo era più ampio e più intrecciato e aveva una maggiore mobilità laterale. I rapporti con la pianura erano diversi, perché i dislivelli erano molto inferiori rispetto a quelli attuali. L'alveo del 1954 non sembra essere in erosione. Non si può dire se questo corrispondesse ad una maggiore esondabilità dovuta ai minori dislivelli, perché questa esondabilità poteva essere compensata (in tutto o in parte) da una maggiore larghezza, da una maggiore capacità di invaso e da una minore velocità della corrente.

Gli affluenti principali non risultano sospesi. Fa eccezione il Torrente Ritorto (progressiva 43,1 km AdA) che evidenzia una situazione che si ripete anche nei tratti successivi per altre confluenze: il fosso arriva su una barra laterale ghiaiosa, ad una quota più elevata del canale di magra dell'alveo, e poi defluisce sino al canale con una sorta di rapida. In pratica non ha la capacità di incidere il corpo sedimentario con un suo canale.



Fig. 41 - Spalla del vecchio ponte, appena a monte della Provinciale SP 48 (OT 1). La quota di fondo alveo al momento della realizzazione del ponte, e che corrisponde alla base della fondazione, è pari a 150 m s.l.m.

5.6.2.2 Mobilità orizzontale e verticale

L'alveo presenta una discreta mobilità laterale ed una possibile mobilità verticale in quanto, almeno sino alla progressiva 41,4 km AdA, non sono presenti livelli locali di base, né di natura geologico-strutturale né artificiale.

In effetti l'alveo si trova in un'intensa fase attiva di erosione verticale. Per quantificare il fenomeno si può fare riferimento alla spalla di un vecchio ponte, che si trova circa 15 metri a monte di quello della SP 48 (fig. 41). Secondo il rilievo topografico eseguito nell'anno 2011 dal Consorzio di Bonifica della Valdichiana Romana e Val di Paglia, la spalla destra si trova ad quota di 150 m

s.l.m, sopraelevata di 5,8 m rispetto al fondo dell'alveo.

5.6.3 Sinuometria (allegato 4)

Il tratto ha una lunghezza di 4,7 km, con una sinuosità di 1,86.

È l'unico tratto francamente sinuoso del Basso Paglia ed è costituito da due curve complete, i cui caratteri sono indicati nella seguente tabella:

Tratto elementare	Semicurva n.	AdA flesso monte (m)	AdA flesso valle (m)	Angolo di flesso monte ϕ_{FM} (°)	Angolo di flesso valle ϕ_{FV} (°)	Semi - lunghezza d'onda LV (m)	Semi - ampiezza d'onda LA (m)	LV/LA	Raggio di curvatura equivalente (m)
2	11	38611	40740	95	77	1599	509	3,14	869
	12	40740	42220	74	53	1174	375	3,13	630
	media			85	65	1387	442	3,13	749

- La semilunghezza d'onda media è 1.387 metri, quasi doppia rispetto alla media generale del Basso Paglia (757 metri);
- la semiampiezza d'onda media è 442 metri, quasi il triplo dell'ampiezza media generale del Basso Paglia (153 metri);
- il rapporto Lv/La medio è 3,14 e corrisponde a circa la metà della media generale del Basso Paglia (6,14);
- il raggio di curvatura equivalente è 750 metri, notevolmente superiore alla media generale del Basso Paglia (593 metri);
- l'angolo di flesso medio è 75°, naturalmente più ampio della media del Basso Paglia (48,5°)

Le due curve sono relativamente poco ampie e con angoli di flesso tra i più aperti presenti nel Basso Paglia.

5.6.4 Caratteri e parametri morfologico-sedimentari di grande scala dell'alveo nelle condizioni attuali

5.6.4.1 Sezioni trasversali

I dati di ubicazione e i caratteri morfologico-sedimentari e idraulici di ognuna delle 5 sezioni di controllo relative al tratto sono indicati nelle schede contenute in allegato 1.

Il quadro riassuntivo dei dati è indicato nella tabella che segue.

Quadro riassuntivo sezioni tratto 2									
Elementi Conoscitivi		Sezioni							
		9	10	11	12	13	MIN	MED	D. ST
Progressiva AdA (km)		38,99	39,73	41,96	42,52	43,14			
Larghezza (m)	Bankfull	49,23	67,71	47,24	109,79	72,10	47,24	69,22	25,20
	FPA	79,45	165,65	119,12	199,51	204,13	79,45	153,57	53,60
Profondità max (m)	Bankfull	1,90	1,94	1,75	2,24	2,51	1,75	2,07	0,30
	FPA	3,80	3,88	3,50	4,48	5,02	3,50	4,14	0,61
Profondità media (m)	Bankfull	0,85	1,08	1,36	1,20	1,46	0,85	1,19	0,24
	FPA	2,26	1,85	1,58	2,54	2,10	1,58	2,07	0,37
Rapp. largh.-prof med	Bankfull	57,98	62,81	34,82	91,61	49,54	34,82	59,35	20,93
	FPA	35,18	89,57	75,19	78,57	97,33	35,18	75,17	24,03
Area bagnata (mq)	Bankfull	41,80	73,00	64,09	131,59	104,94	41,80	83,08	35,35
	FPA	179,46	306,33	188,71	506,62	428,12	179,46	321,85	144,63
Perimetro bagnato (m)	Bankfull	49,91	68,53	48,14	111,66	72,97	48,14	70,24	25,63
	FPA	81,70	167,81	120,62	201,68	206,71	81,70	155,70	53,78
Raggio idraulico (m)	Bankfull	0,84	1,07	1,33	1,18	1,44	0,84	1,17	0,23
	FPA	2,20	1,83	1,56	2,51	2,07	1,56	2,03	0,36
Quota livello idrico (m s.l.m)	Bankfull	160,7	157,8	146,2	144,0	140,3			
	FPA	162,6	159,7	148,0	146,2	142,8			
Rapp. Trinceramento		1,61	2,45	2,52	1,82	2,83	1,61	2,25	0,51
Pendenza alveo (% - media tratto)								0,55	
Pendenza valle (% - media tratto)								0,78	
D50 barre (mm)								80,3	
D50 canale (mm)								135,5	

I dati relativi alle sezioni sono descritti, per l'intero Paglia, nei paragrafi successivi.

5.6.4.2 Componenti dell'alveo

Le sponde

In accordo con lo stato di erosione in cui si trova l'alveo, le sponde dell'alveo pieno attuale sono prevalentemente alte. In particolare, quelle che si trovano nella parte esterna delle curve, quando non protette, manifestano una intensa erosione laterale.

A quote superiori si trovano le sponde dell'alveo relitto, dove questo è presente, mentre dove non è presente l'altezza della sponda corrisponde alla somma delle due.

A partire dalla progressiva 40,8 km AdA, la sponda destra corrisponde alla base di un versante in forte scalzamento al piede, che determina fenomeni di frana direttamente in alveo.

In corrispondenza di questo versante eroso alla base vengono esposte le rocce che compongono il bedrock e che sono costituite da sedimenti argillosi, sabbiosi e conglomeratici appartenenti alle formazioni plio-pleistoceniche.

Il o i canali di magra

Per buona parte del tratto oltre al canale di magra principale si rileva almeno un altro canale non attivo nei periodi di magra.



Fig. 42 - Affioramento del bedrock sul canale di magra, in prossimità del ponte dell'autostrada (OT 4).

Il canale di magra risulta sempre corazzato. Nel settore terminale del tratto il canale di magra inizia a mettere allo scoperto il substrato argilloso (fig. 42).

I corpi sedimentari

I corpi sedimentari sono numerosi ed arealmente molto sviluppati. Si tratta di corpi sedimentari di tipologia non sempre ben definibile, in accordo con i caratteri dell'alveo che per portate superiori ad una certa soglia cambia la sua dinamica da alveo sinuoso (a bassa sinuosità) ad alveo intrecciato..

All'inizio del tratto (progressiva 38,5 km AdA) si rileva una porzione di alveo relitto isolata fra due canali, intensamente ve-

getata con alberi ad alto fusto, che nel 1954 costituiva una barra quasi completamente attiva.

Questo tratto di alveo in periodi precedenti era caratterizzato da una notevole sinuosità, come evidenziato dalle tracce di paleoalvei riscontrabili sia in riva destra sia in riva sinistra.

Verso valle i corpi sedimentari aumentano in superficie in funzione anche della maggiore larghezza dell'alveo e, in buona misura, risultano attivi. Fanno eccezione quei lembi di alveo relitto che sono comunque presenti lungo tutto il tratto.

Altre forme di fondo

Le forme di fondo sono costituite dalle classiche sequenze di riffles e pools, con i riffles posizionati nei punti di passaggio del canale di magra da una sponda all'altra.

5.6.4.3 Caratteri del bedrock e soglie naturali

Nel tratto in esame il bedrock affiora per la prima volta, venendo da monte, nella sponda destra a monte del ponte sulla provinciale SP 48, ed inizia ad affiorare nel canale di magra, attorno alla progressiva 42,8 in corrispondenza del ponte dell'autostrada (OT 4).

5.6.4.4 Caratteri granulometrici

Il tratto è stato oggetto di ripetuti rilievi relativi ai caratteri granulometrici; il primo rilievo, con 6 determinazioni, è stato eseguito nel 2003; il secondo rilievo con 3 determinazioni nel 2011; il terzo rilievo con 3 determinazioni nel 2012.

Unità morfologico-sedimentaria	Numero campioni	Numero di clasti
Barra	5	380
Canale	3	200
Barra + canale	4	486
Totale	12	1066

Tabella 3: Riepilogo dei campioni granulometrici prelevati nel tratto

Nome	Anno di prelievo	Progr. asse alveo (km)	Unità morfo-sed	Numero di clasti	Media (mm)	D90 (mm)	D50 (mm)	D10 (mm)	Dev. St (mm)	Skewness	Kurtosis
C1	2011	41,5	Barra	79	161,2	364,5	121,0	7,9	160,6	1,6	6,1
C2	2011	41,6	Barra	81	180,8	397,6	130,9	23,9	158,0	1,5	5,7
C3	2011	41,8	Barra	81	64,4	127,7	52,6	18,8	44,4	1,1	3,8
29 barra	2003	42,2	Barra	103	112,5	278,5	51,8	19,0	124,5	2,2	9,5
29 canale	2003	42,2	Canale	77	215,6	348,4	179,9	93,8	116,6	1,5	7,8
29 totale	2003	42,2	Barra + canale	180	156,6	329,1	131,8	26,9	131,5	1,5	6,6
9 canale	2003	42,5	Canale	51	110,3	230,2	94,3	16,3	82,1	0,6	2,3
8 totale	2003	42,9	Barra + canale	106	123,2	229,1	90,5	31,4	113,4	3,4	19,9
7 totale	2003	43,2	Barra + canale	92	91,4	162,6	81,2	35,3	52,3	1,2	5,1
D2 totale	2012	43,2	Barra + canale	108	130,1	258,4	90,5	32,7	109,4	2,3	12,1
D2 canale	2012	43,2	Canale	72	155,8	293,1	132,4	43,7	117,0	2,2	11,4
D2 barra	2012	43,2	Barra	36	78,6	173,1	45,3	21,7	67,3	1,6	5,2

Tabella 4: Principali parametri desumibili dalle analisi granulometriche.

Fenomeni di armouring

Il canale principale di magra è interessato da corazzamento, anche se non molto spinto.

5.6.4.5 La vegetazione in alveo, spondale e nella pianura attiva

I lembi di “alveo relitto”, se non recuperati all'agricoltura, più spesso sono interessati da una vegetazione spontanea ad alto fusto che difficilmente viene asportata anche durante le piene rilevanti, se si trova nella superficie superiore dell'alveo relitto.

La fascia limitrofa alle sponde non sempre è interessata da vegetazione ad alto fusto ma coincide talora con l'uso agricolo dei terreni.

5.6.4.6 Caratterizzazione delle opere e delle azioni di interesse

Opere in alveo

Non sono presenti dighe traverse e soglie.

Il tratto è caratterizzato dalla presenza di diversi ponti: l'autostrada del Sole (A1), le strade provinciali SP 48, SP 49 e SP 51, la linea ferroviaria Roma-Firenze e la linea ferroviaria dell'alta velocità (Direttissima). Nel complesso sono presenti 4 ponti.

Tutti i ponti sono sorretti (come meglio descritto in seguito) da piloni posti all'interno dell'alveo attivo e sono sottofondati, con opere molto ingombranti che comunque non costituiscono una “soglia” continua trasversale.

Di particolare interesse sono i ruderi del ponte presenti subito a monte dell'attuale provinciale n. 48, che mettono in evidenza un abbassamento dell'alveo pari a 5,8 m. Anche per quanto riguarda gli altri ponti citati, più recenti, dalla loro costruzione l'alveo si è abbassato mettendo a nudo le fondazioni tanto da rendere necessaria una sottofondazione.

Si descrivono di seguito le condizioni dei ponti presenti.

- OT1 (progressiva 41,4 km AdA) – Ponte della SP 48. Uno dei piloni è all'interno dell'alveo (nel canale) e uno è in corrispondenza delle sponde (sull'alveo relitto). Il pilone in alveo è stato sottofondato. Il livello di magra non consente di verificare lo stato attuale di scalzamento (figg. 43 e 44).



Fig. 43 - Pione nel canale di magra - ponte della provinciale n. 48 visto, da monte.



Fig. 44 - Ponte della provinciale n. 48 visto da valle.

- OT2 (progressiva 41,8 km AdA) – Ponte della linea ferroviaria ad alta velocità (Direttissima). Uno dei piloni è in l'alveo e i due a fianco si trovano in corrispondenza delle sponde. Il pilone in alveo è stato sottofondato in modo molto ingombrante, tanto da condizionare lo sviluppo del corpo sedimentario a valle (figg. 45 e 46).



Fig. 45 - Ponte della linea ferroviaria Direttissima, pilone in alveo, visto da valle.



Fig. 46 - Ponte della linea ferroviaria Direttissima, visto da valle.

- OT3 (progressiva 42,7 km AdA) – Ponte della linea ferroviaria Roma-Firenze. Si rilevano 3 piloni in alveo (fig. 47): quello centrale, nel canale, è sottofondato, come anche quello in riva destra. Nella foto si vede il resto di un pilone di un vecchio ponte appena a monte dell'opera su citata.



Fig. 47 - Ponte della linea ferroviaria Roma-Firenze, visto da monte.



Fig. 48 - Ponte autostradale (A1), visto da monte.



Fig. 49 - Scogliera in massi (OL1), localizzabile sulla sponda esterna (sinistra idrografica) dell'ansa della "Barca Vecchia".



Fig. 50 - Scogliera in massi a difesa del versante in sinistra idrografica.

- OT4 (progressiva 42,8 km AdA) – Ponte dell'autostrada A1. Si rilevano 3 piloni in alveo (fig. 48). Non si evidenzia scalzamento su nessuno dei tre piloni. Tuttavia informazioni reperite nel cantiere per i lavori di "ripristino e restauro", presente al momento del rilevamento (settembre 2012) indicano che non più di 3 anni or sono il pilone centrale è stato sottofondato.

Il tratto non è interessato da molte opere longitudinali: si rilevano due scogliere costituite da massi di basalto gettati in alveo.

- OL1 (inizia alla progressiva 38,9 km AdA) – Scogliera di massi gettati sulla sponda sinistra, in corrispondenza della sponda esterna dell'ansa della "Barca Vecchia" (fig. 49). La scogliera è relativamente recente, poiché è stata realizzata successivamente al 2003, e si presenta nel complesso in buone condizioni, sebbene si rilevino alcuni massi della scogliera nel canale (settembre 2012).
- OL 2 (inizia alla progressiva 43,0 km AdA) – Scogliera in massi gettati a difesa della sponda esterna di una ampio meandro, che scalza al piede il versante in sinistra idrografica. La scogliera si presenta in cattive condizioni: è stata in buona parte smantellata e i massi si trovano per almeno 500 m a valle (fig. 50).

Opere nella pianura

- Argini

Si rileva un vecchio argine con un andamento da trasversale a parallelo all'alveo. L'argine inizia poco a monte del ponte della ferrovia Direttissima (OT 2) e si congiunge al rilevato della linea ferroviaria Roma-Firenze.

- Rilevati di infrastrutture

Il tratto è caratterizzato dalla presenza di 4 infrastrutture: l'autostrada del Sole (A1), la strada provinciale SP 48, la linea ferroviaria Roma-Firenze e la linea ferroviaria dell'alta velocità (Direttissima). Di queste le prime tre sono in rilevato, mentre la linea ferroviaria Direttissi-

ma non costituisce un ostacolo essendo quasi completamente realizzata su viadotto.

- Cave

La pianura alluvionale è, in linea generale, caratterizzata da indizi dell'attività di estrazione: le aree di cava “a fossa” sono in parte ricolmate. Nel caso specifico di questo tratto si rileva un impianto di selezione e trasformazione del materiale, immediatamente adiacente alla riva sinistra che inizia in corrispondenza della progressiva 40,7 km AdA.

Frane di sponda o di versante, di interesse

Si rileva un tratto di versante in frana che termina poco a monte del ponte sulla provinciale SP 48 (OT 1) e che inizia alla progressiva 40,9 km AdA.

5.6.5 Variazioni storiche dei parametri planimetrici

Facendo riferimento alla situazione testimoniata dalle foto aeree del volo GAI (1954), si rilevano le stesse condizioni della pianura alluvionale, fatta eccezione per il fatto che le dimensioni dell'alveo erano molto più estese di quelle attuali, a scapito della pianura.

	Larghezza (m)	Sinuosità	Intrecciamento
2012	92,3	1,86	1,29
2008	76,2	1,85	1,25
2003	58,7	1,85	1,27
1977	114,2	1,81	1,35
1954	136,7	1,86	1,15
1823	160,8	1,72	no dati

Tabella 5: Variazione storica dei parametri morfologico-planimetrici

5.7 I caratteri del sistema alveo-pianura fluviale – Tratto 3 (dalla progressiva 43,2 km AdA alla progressiva 49,0 km AdA, lunghezza complessiva 5,8 km)

I caratteri e parametri morfologico-sedimentari di grande scala relativi al tratto sono indicati nei paragrafi che seguono o sono rappresentati nella Carta dei caratteri morfologico-sedimentari in scala 1:10.000 o sono contenuti negli allegati.

5.7.1 Caratteri della pianura fluviale

La pianura in questo tratto è più ampia e continua in riva destra, con larghezze minime di 600 metri, mentre in riva sinistra è limitata al tratto da 44,5 km AdA a 48,5 km AdA, con una larghezza attorno a 100 m ed è assente nei settori di monte e di valle dove l'alveo scalza direttamente la base del versante.

Secondo alcuni autori (Cattuto et alii, 1988, 1992, 1994, 1997; Cencetti, 1990; Cencetti et alii, 1996), l'azione di una faglia diretta ha comportato il basculamento della pianura alluvionale del F. Paglia. Tale faglia può spiegare lo sviluppo così fortemente asimmetrico della stessa.

In destra idrografica il limite fra pianura e rilievi è costituito da un ampio conoide piatto prodotto dal Torrente Romealla, che si collega attraverso ampie fasce colluviali al versante.

La pianura presente in riva sinistra è interessata da una lunga scarpata che si sviluppa parallelamente all'alveo attuale e che storicamente corrispondeva alla sponda sinistra dell'alveo della prima metà del '900.

La pianura, sebbene ampia, è sensibilmente condizionata dall'uso agricolo e dalle infrastrutture che la interessano.

Le colture interessano anche l'ampia fascia che, nella prima metà del '900, era parte dell'alveo attivo, che era interessato e che sarà interessato dalle piene maggiori quando il comportamento di alveo intrecciato prevaleva e prevarrà su quello di alveo sinuoso.

5.7.2 Caratteri generali dell'alveo

L'alveo è caratterizzato da una bassa sinuosità ed è prevalentemente monocanale seppure con alcune barre longitudinali.

L'alveo nell'intero tratto è in rapida ed intensa evoluzione dovuta, da un lato, ad uno stato evidente di deficit sedimentario, dall'altro dalla eliminazione di ampie porzioni di alveo a vantaggio dell'agricoltura.

Esiste un canale principale di magra che, a tratti, è l'unico attivo ad alveo pieno, mentre gli altri canali, che certamente erano attivi in passato, sono adesso discontinui e appartenenti anche a settori di alveo relitto, attivo solo nelle piene con tempo di ritorno molto maggiore dello stato di alveo pieno.

L'erosione del canale principale di magra si è spinta oltre il materasso alluvionale ed interessa direttamente il *bedrock* costituito da sedimenti pliocenici marini.

I corpi sedimentari attivi, molto frequenti e sviluppati, si comportano più frequentemente come barre laterali o barre di meandro.

Durante le piene maggiori gli stessi corpi sedimentari tendono a comportarsi, se non come braids,

almeno come barre longitudinali, mentre l'alveo tende a variare la sua dinamica da quella di monocolle sinuoso a quella di multicanale intrecciato.

Durante questi periodi di piena sono attivi anche frequenti lembi di alveo relitto, presumibilmente anche parte di quelli attualmente recuperati a fini agricoli.

Nelle fasi discendenti dell'idrogramma di piena le lunghe barre longitudinali, che in realtà spesso sono leggermente trasversali, vengono tagliate trasversalmente dal canale di magra che passa da una sponda alla sponda opposta, formando un riffle trasversale alla barra, ricostituendo così una situazione pressoché monocolle a barre laterali alternate e/o di meandro.

Si tratta di una condizione instabile di rilevante mobilità, sia verticale che laterale.

La mobilità laterale, principale fonte di sedimenti, talora è contrastata da difese di sponda costruite come intervento urgente per la difesa della pianura interessata da uso agricolo, ovvero per mantenere l'alveo fisso nello status quo.

5.7.2.1 Rapporti con la pianura e con gli affluenti

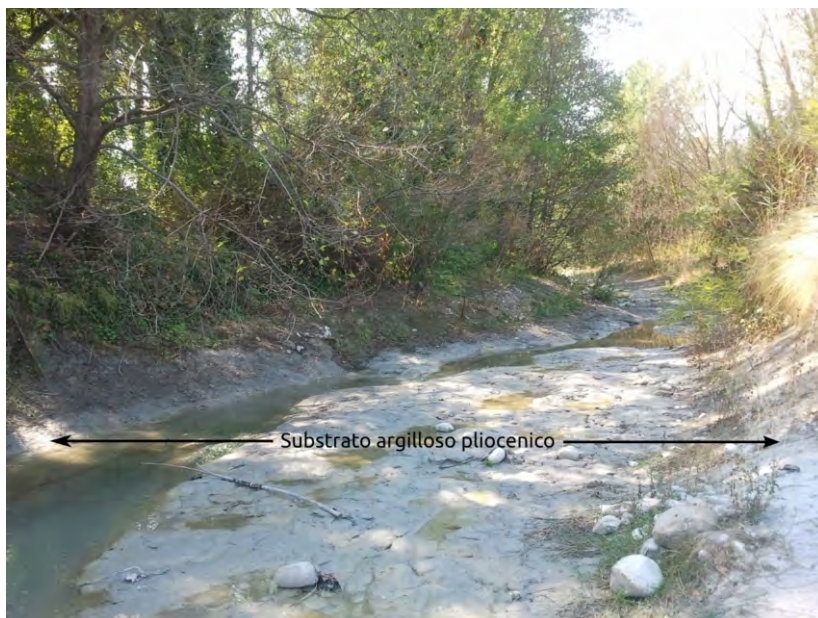


Fig. 51 - Alveo del torrente Romealla in prossimità della confluenza (progressiva 48 km AdA). Si vede come, anche in questo caso, è stato inciso il substrato argilloso.

Gli affluenti principali, il Fosso della Sala (progressiva 45,2 km AdA) e il Torrente Romealla (progressiva 48 km AdA) non danno luogo a confluenze sospese. Il torrente Romealla, in prossimità della confluenza, presenta il fondo inciso sul substrato argilloso come l'alveo principale (fig. 51).

Per gli affluenti minori invece, si ripete quanto osservato sul tratto a monte: il Fosso dei Frati arriva su di una barra laterale sospesa (alveo relitto) e forma una curva molto stretta per raccordarsi al canale.

elevata del precedente, arriva sulla barra e scompare (si infila?). Quando la portata è più elevata, questa defluisce sopra la barra; quindi la confluenza è sopraelevata.

Il Rio di Orvieto, che ha probabilmente un'energia molto meno

5.7.2.2 Mobilità orizzontale e verticale

Non si rilevano livelli di base locali costituiti da soglie o altri ostacoli naturali o artificiali ed il canale di magra è in forte erosione verticale.

La mobilità orizzontale è notevole e il corso d'acqua tende ad aumentare la sua sinuosità ed il suo intrecciamento a spese della pianura, che perlopiù in tempi storici era essa stessa alveo attivo.

5.7.3. Sinuometria (allegato 4)

Il tratto ha una lunghezza di 5,7 km AdA, con una sinuosità di 1,11.

Il settore a valle della progressiva 44,0 km AdA, per una lunghezza di circa 1000 metri, è pressoché rettilineo.

Considerato il carattere dell'alveo pieno, molto prossimo ad un alveo rettilineo, in questo settore non si considera il raggio di curvatura nella elaborazione dei valori medi relativi al tratto in esame.

I dati che descrivono la sinuosità del tratto sono riportati nella seguente tabella:

Tratto elementare	Semicurva n.	AdA flesso monte (m)	AdA flesso valle (m)	Angolo di flesso monte ϕ_{FM} (°)	Angolo di flesso valle ϕ_{FV} (°)	Semi - lunghezza d'onda LV (m)	Semi - ampiezza d'onda LA (m)	LV/LA	Raggio di curvatura equivalente (m)
3	13A	42220	44015	50	57	1361	547	2,49	696
	13B	44015	45004						
	13C	45004	45583	33	38	502	130	3,86	307
	14	45583	46389	78	44	615	132	4,68	410
	15	46389	46939	40	24	511	85	6,00	405
	16	46939	47354	22	17	405	30	13,63	598
	17	47354	47865	23	40	486	65	7,42	441
	18	47865	48843	43	48	884	148	5,98	727
	media			41	38	681	162	6,29	512

Nel tratto si rilevano tre situazioni molto differenziate per sinuometria:

- la parte più a monte è costituita da una curva simile alle due curve del settore più a monte;
- la parte intermedia, per circa 1000 metri è pressoché rettilinea;
- la parte più a valle della progressiva 45,0 AdA è costituita da 8 curve molto diverse da quelle presenti a monte del tratto rettilineo, con lunghezze limitate, ampiezze molto limitate ed angoli di flesso notevolmente chiusi.

5.7.4. Caratteri e parametri morfologico-sedimentari di grande scala dell'alveo nelle condizioni attuali

5.7.4.1 Sezioni trasversali

I dati di ubicazione e i caratteri morfologico-sedimentari e idraulici di ognuna delle 6 sezioni di controllo relative al tratto sono indicati nelle schede contenute in allegato 1.

Il quadro riassuntivo dei dati è indicato nella tabella che segue.

Quadro riassuntivo sezioni tratto 3											
Elementi Conoscitivi		Sezioni									
		14	15	16	17	18	19	MIN	MED	MAX	D. ST
Progressiva AdA (km)		44,00	44,61	46,55	47,44	48,24	48,77				
Larghezza (m)	Bankfull	53,76	50,21	73,13	125,00	106,17	66,87	50,21	79,19	125,00	30,00
	FPA	178,86	173,81	330,44	328,32	382,39	229,98	173,81	270,63	382,39	88,14
Profondità max (m)	Bankfull	2,34	2,17	2,43	2,10	1,99	2,27	1,99	2,22	2,43	0,16
	FPA	4,68	4,34	4,86	4,20	3,98	4,54	3,98	4,43	4,86	0,32
Profondità media (m)	Bankfull	1,75	1,48	1,62	1,47	1,42	1,23	1,23	1,49	1,75	0,18
	FPA	2,08	1,80	1,90	1,97	1,42	1,73	1,42	1,82	2,08	0,23
Rapp. largh.-prof med	Bankfull	30,70	34,01	45,10	85,13	55,90	54,49	30,70	50,89	85,13	19,68
	FPA	85,88	96,44	173,64	166,26	55,90	133,05	55,90	118,53	173,64	46,91
Area bagnata (mq)	Bankfull	94,15	74,14	118,58	183,55	123,82	82,08	74,14	112,72	183,55	39,87
	FPA	372,50	313,23	628,84	648,34	742,17	397,55	313,23	517,11	742,17	177,27
Perimetro bagnato (m)	Bankfull	54,44	51,07	73,53	126,38	106,56	67,84	51,07	79,97	126,38	30,12
	FPA	180,94	175,99	331,80	330,61	384,19	232,37	175,99	272,65	384,19	87,95
Raggio idraulico (m)	Bankfull	1,73	1,45	1,61	1,45	1,41	1,21	1,21	1,48	1,73	0,18
	FPA	2,06	1,78	1,90	1,96	1,41	1,71	1,41	1,80	2,06	0,23
Quota livello idrico (m s.l.m)	Bankfull	136,9	135,1	128,2	124,8	122,1	119,5				
	FPA	139,3	137,3	130,7	126,9	124,1	121,8				
Rapp. Trinceramento		3,33	3,46	4,52	2,63	4,83	3,44	2,63	3,70	4,83	0,82
Pendenza alveo (% - media tratto)									0,35		
Pendenza valle (% - media tratto)									0,42		
D50 barre (mm)									67,4		
D50 canale (mm)									87,8		

I dati relativi alle sezioni sono descritti, per l'intero Paglia, nei paragrafi successivi.

5.7.4.2 Componenti dell'alveo

Le sponde

Si ripete la condizione osservata nel tratto più a monte: le sponde sono prevalentemente in erosione, mentre si rilevano degli ampi lembi di “alveo relitto”, la cui superficie è stata colonizzata da una fitta vegetazione, anche ad alto fusto. Le sponde si raccordano, ad una quota superiore, alla pianura alluvionale.

Il o i canali di magra

L'alveo è prevalentemente monocanale. Il canale di magra presenta dimensioni molto variabili ed è “discontinuo nella sua planimetria” perché spesso si passa da un canale in sinistra idrografica alla sponda opposta tramite un riffle che separa due barre o taglia quella che durante il passaggio del picco di piena era una unica barra longitudinale leggermente trasversale.

A parte i *riffles*, tra due corpi sedimentari contigui, il canale di magra è impostato quasi costantemente nei sedimenti pliocenici del *bedrock* argilloso e talora, in certi settori, non solo il canale magra, ma anche porzioni importanti dell'alveo attivo risultano prive di sedimenti. In sostanza, l'alveo in certi tratti è sostanzialmente privo di sedimenti che si ritrovano solo sulla sponda che in genere è in erosione (figg. 52 e 61).

In queste condizioni il canale può essere definito “di transito”: sulle argille il sedimento grossolano (trasporto solido di fondo) transita velocemente finché non arriva ad un riffle o ad una barra dove si può fermare.



Fig. 52 - Affioramento del bedrock su ampie porzioni dell'alveo attivo - vista verso monte (progressiva 46,6 km AdA).



Fig. 53 - Affioramento del bedrock su ampie porzioni dell'alveo attivo - vista verso valle (progressiva 46,6 km AdA).

I corpi sedimentari

Non è semplice effettuare una classificazione morfologico-sedimentaria dei corpi sedimentari poiché, in relazione alle curve, non presentano un comportamento tipicamente associabile a barre di meandro, né a barre laterali. Nel complesso, per il comportamento e per la posizione, sono maggiormente assimilabili a barre laterali.

L'alveo, pertanto, è caratterizzato da una bassa sinuosità e da una morfologia a barre laterali: si tratta di un alveo sicuramente “transizionale” che sta passando da una tipologia quasi francamente “braided” ad una tipologia “monocanale a bassa sinuosità”, con corpi sedimentari più vicini a barre laterali.

Probabilmente, consentendo al corso d'acqua di evolvere, si arriverebbe ad un aumento della sinuosità e le barre diventerebbero delle “point bars” (barre di meandro).

Per quanto riguarda lo stato dei corpi sedimentari, sono sostanzialmente tutti attivi nell'alveo pieno, essendo stati “riattivati” in occasione delle piene verificatesi nel 2010, mentre sono vegetate, con alberi anche ad alto fusto, nell'alveo relitto.

Confrontando i rilievi dell'alveo dal 1954 ad oggi si vede come la larghezza si sia ridotta dei due terzi, passando da 233 a 82 m.

Altre forme di fondo

Anche in questo caso le forme di fondo sono costituite dall'alternanza di riffles e pools. I riffles, in genere, sono in corrispondenza del passaggio del canale di magra da una sponda alla sponda opposta.

5.7.4.3 Caratteri del bedrock e soglie naturali

In questo tratto il bedrock affiora con continuità nel canale e in ampie porzioni di sponda.

L'erosione verticale ha interessato il bedrock argilloso pliocenico per una profondità generalmente superiore al metro. In alcuni punti della parte terminale del tratto, lo spessore del substrato argilloso sulla sponda supera i 2 metri.

Si riscontrano ampi settori del tratto in cui l'alveo risulta inciso nelle argille, non soltanto in corrispondenza del canale di magra, ma anche per tutta la sua larghezza: talora il substrato è coperto da un corpo sedimentario, talora è esposto anche nelle parti laterali della sezione, se privi di barre. In pratica le barre si muovono direttamente sul *bedrock* argilloso.

In condizioni storiche si presume che ci fosse continuità nel materasso alluvionale, anche se con spessori limitati. Questo corrisponde anche alle presumibili condizioni naturali.

Il fenomeno di esposizione in alveo del *bedrock* sembra aumentare di intensità, procedendo da monte a valle. Il massimo si rileva poco prima del limite di valle, alla progressiva 48,6 km AdA, dove il bedrock affiora nella sponda sinistra per uno spessore di circa 2,5 m (fig. 54).



Fig. 54 - Affioramento del bedrock sulla sponda sinistra – progressiva 48,6 km AdA – lo spessore dello strato argilloso esposto è pari a 2,5 m.

5.7.4.4 Caratteri granulometrici

Il tratto è stato oggetto di diversi rilievi effettuati negli anni 2003 con 9 determinazioni e nel 2012 con 3 determinazioni.

Unità morfologico-sedimentaria	Numero campioni	Numero di clasti
Barra	7	625
Canale	2	142
Barra + canale	3	330
Totale	12	1097

Tabella 6: Riepilogo dei campioni granulometrici prelevati nel tratto.

Nome	Anno di prelievo	Progr. asse alveo (km)	Unità morfo-sed	Numero di clasti	Media (mm)	D90 (mm)	D50 (mm)	D10 (mm)	Dev. St (mm)	Skewness	Kurtosis
30 barra	2003	43,6	Barra	91	114,6	222,8	86,5	19,4	123,1	3,4	17,8
23-barra	2003	44,5	Barra	96	57,4	120,5	43,6	14,7	42,9	1,3	4,5
6-totale	2003	45,5	Barra + canale	90	91,1	181,0	75,6	30,4	59,4	0,8	2,7
D3-barra	2012	45,5	Barra	86	67,6	170,4	37,3	11,0	75,0	1,8	5,9
D3-canale	2012	45,5	Canale	27	141,6	266,6	124,3	49,6	80,4	0,7	2,6
D3-totale	2012	45,5	Barra + canale	113	85,3	209,9	49,5	12,9	82,6	1,3	4,0
6-barra	2003	45,7	Barra	78	120,9	213,5	113,9	40,4	62,5	0,5	2,7
5-canale	2003	46,0	Canale	115	79,1	184,4	51,3	15,6	71,3	1,7	7,2
4-barra	2003	46,5	Barra	97	56,4	112,0	42,9	18,6	38,8	1,5	5,5
2-tot	2003	46,8	Barra + canale	127	48,7	84,0	37,8	16,7	47,9	4,9	36,2
28-barra	2003	47,0	Barra	76	116,2	224,6	94,3	31,1	79,6	1,2	5,1
22-barra	2003	47,8	Barra	101	73,9	153,6	53,2	25,3	56,3	1,7	6,0

Tabella 7: Principali parametri desumibili dalle analisi granulometriche.

Fenomeni di armouring

Il canale di magra, essendo esposto il *bedrock* argilloso, non solo non è corazzato, ma è anche facilmente erodibile e presenta una scabrezza molto bassa.

5.7.4.5 La vegetazione in alveo, spondale e nella pianura attiva

Le sponde sono in erosione. Si rileva una fascia ripariale, molto variabile nell'ampiezza, che interessa una parte consistente dell'alveo relitto.

5.7.4.6 Caratterizzazione delle opere e delle azioni di interesse

Opere in alveo

Al km 46,95 AdA era presente nel 2003 (anno di esecuzione di un precedente rilevamento morfologico-sedimentario) un guado su rilevato realizzato con tubi in ferro e una struttura in cemento, che attualmente è stato distrutto: nel canale sono presenti dei blocchi di cemento che potrebbero costituire i resti dello stesso (figg. 55 e 56).



Fig. 55 - Guado in corrispondenza della progressiva 46,95 km AdA. La foto è stata scattata nel mese di settembre 2003.



Fig. 56 - Guado in corrispondenza della progressiva 46,95 km AdA (foto stato attuale – settembre 2012).

Si rilevano, inoltre, due serie di pennelli. La prima, in sponda destra, è costituita da 13 pennelli distanziati di circa 30 m l'uno dall'altro, dalla progressiva 43,7 km AdA alla progressiva 44,05 km AdA. I pennelli sono collocati in corrispondenza del limite tra la pianura alluvionale (aree agricole) e l'alveo relitto. Tale posizione, coerente con l'alveo storico del 1954, fa pensare che si tratti di pennelli piuttosto vecchi. Infatti, sono sopraelevati di circa 5 m rispetto al fondo dell'alveo attuale.

La seconda serie, in sponda destra, è costituita da 6 pennelli posti ad una distanza variabile, dalla progressiva 45,6 km AdA alla 45,95 km AdA. Con tutta probabilità sono coetanei dei precedenti, con la differenza che si trovano sulla sponda esterna di una curva, a diretto contatto con il canale di magra. Essendo ad una quota più elevata, come i precedenti, sono scalzati ed è stata realizzata una scogliera (OL 4), forse anche a protezione degli stessi. L'ultimo pennello a valle è recentemente franato (fig. 57).

Si rilevano tre scogliere costituite da massi di basalto:

Difese di sponda

- OL 3 (inizia alla progressiva 45,2 km AdA) – Scogliera di massi gettati sulla sponda sinistra, in corrispondenza della sponda esterna alla curva. La scogliera è relativamente recente, poiché è stata realizzata successivamente al 2003; la campagna di rilevamento effettuata in quell'anno evidenziava una forte tendenza all'arretramento della sponda.

Le condizioni della scogliera non sono buone (fig. 61): si presenta in parte smantellata e addirittura scalzata posteriormente (all'esterno della sponda). I massi sono stati trasportati dalla corrente e attualmente si ritrovano in alveo. Probabilmente i danni sono dovuti alle piene del 2010 (settembre 2012).



Fig. 57 - Pennello di non recente costruzione, franato in alveo.



Fig. 58 - Scogliera in massi (OL 3) parzialmente smantellata.

- OL 4 (inizia alla progressiva 45,6 km AdA). Scogliera in massi in sponda destra. All'esterno e superiormente alla scogliera sono presenti i pennelli descritti precedentemente.

La scogliera è stata cementata alla base, tanto che che è rimasta sopraelevata ed è aggettante rispetto alla parte inferiore della sponda, dove affiora il *bedrock* argilloso per almeno 1,3 m (fig. 59).



Fig. 59 - Scogliera in massi (OL 4) cementata alla base. Risulta scalzata e aggettante rispetto al resto della sponda. Era appoggiata sul bedrock argilloso che è stato eroso per almeno 1,3 m.

SP 44 e la linea ferroviaria Roma-Firenze.

- Cave

La pianura alluvionale in destra idrografica è densamente interessata da aree di cava, in particolare si rilevano: un impianto di frantumazione e selezione (progressiva 48,0 km AdA) e almeno altre otto aree di cava, alcune già ricolmate altre caratterizzate dalla presenza di lago di falda.

- Discariche e colmate

Al limite del tratto, alla progressiva 48,7 km AdA sul versante in sinistra costituito da sedimenti argillosi plio-pleistocenici, si rileva una discarica, che non determina interferenze con la dinamica dell'alveo.

- OL 5 (inizia alla progressiva 48,6 km AdA). Scogliera in massi in sponda destra, realizzata in corrispondenza della sponda dell'alveo relitto. Il canale di magra è a distanza di almeno 50 m da questa opera.

Opere nella pianura

- Rilevati di infrastrutture

Sono presenti i rilevati di 3 infrastrutture, localizzabili nella pianura in destra idrografica, che presentano in questo tratto un andamento longitudinale: Autostrada del sole (A1); Strada Provinciale

5.7.5 Variazioni storiche dei parametri planimetrici

La porzione di pianura interessata dall'alveo in tempi storici era più ampia. Nella parte terminale del tratto sono evidenti le tracce di un paleoalveo ad ampi meandri, in sponda destra, attivo nel 1900 e non presente nel Catasto Gregoriano del 1820 circa.

	Larghezza (m)	Sinuosità	Intrecciamento
2012	81,5	1,105	1,207
2008	66,4	1,108	1,184
2003	64,8	1,110	1,183
1977	101,0	1,064	1,264
1954	259,3	1,063	1,627
1823	244,5	1,105	no dati

Tabella 8: Variazione storica dei parametri morfologico-planimetrici.

5.8 I caratteri del sistema alveo-pianura fluviale - Tratto 4 (dalla progressiva 49,0 km AdA alla progressiva 52,4 km AdA, lunghezza complessiva 3,38 km)

I caratteri e parametri morfologico-sedimentari di grande scala relativi al tratto sono indicati nei paragrafi che seguono o sono rappresentati nella Carta dei caratteri morfologico-sedimentari in scala 1:10.000 o sono contenuti negli allegati.

5.8.1 Caratteri della pianura fluviale

Si mantiene, rispetto al tratto più a monte, una pianura alluvionale più limitata, ma comunque piuttosto ampia, presente e continua da entrambi i lati.

Si rilevano diverse tracce di paleoalvei. Il primo è localizzabile in sponda destra, nel settore di monte del tratto. In parte è compreso anche nel tratto precedente (inizia al km 48,2 AdA e termina al km 49,9 AdA) e corrisponde ad un ampio meandro antecedente al 1950.

Il secondo (localizzabile in riva destra dalla progressiva 50,4 km AdA alla 51,3 km AdA) è noto come “Curva del Pantano” ed è costituito da un ampio meandro, abbandonato per il taglio del meandro stesso a seguito di un evento di piena.

Il fenomeno è in accordo con la tendenza dell'alveo a comportarsi come sinuoso al di sotto di certi valori di portata, oltre i quali si comporta come intrecciato.

Facendo riferimento ai documenti del “*Progetto per la sistemazione del Fiume Paglia dalla curva Pantano al Ponte dell'Adunata*”, datato 1951 e reperito presso l'archivio del Genio Civile, il meandro è stato abbandonato in un'occasione di una grande piena verificatasi nel 1937.

Sull'altra sponda (in sinistra idrografica), da 50,4 km AdA a 51,4 km AdA, si rileva una traccia di paleoalveo, messa in evidenza da una scarpata che coincide con la sponda sinistra dell'alveo attivo attorno agli anni 1950.

Altre tracce di paleoalvei, individuabili in riva sinistra in un terreno agricolo appena a monte dalla confluenza con il T. Chiani (progressiva 52,2 km AdA), testimoniano una tendenza passata del corso d'acqua ad organizzare il suo tracciato, in questo tratto, mediante ampi meandri e quindi con sinuosità più elevata.

Si rileva un ampio conoide a bassa pendenza in riva destra, dovuto ai depositi del Fosso Albergo la Nona. Inoltre, è presente un terrazzo in corrispondenza dell'abitato di Ciconia, connesso anche alla dinamica del F. Chiani, la cui confluenza costituisce il limite di valle del tratto.

5.8.2 Caratteri generali dell'alveo

L'alveo attuale presenta una larghezza inferiore al tratto più a monte, una minore mobilità ed una minore tendenza all'intrecciamento.

Sino alla confluenza con il Fosso Albergo la Nona l'alveo è monocanale e sostanzialmente rettilineo. A valle segue un tratto sinuoso, caratterizzato da curve piuttosto regolari per quanto riguarda l'alveo attivo, mentre la fascia interessata dall'alveo relitto rimane sostanzialmente rettilinea sino alla fine del settore.

I corpi sedimentari sono progressivamente meno frequenti e più limitati in superficie. Si tratta per lo più di barre laterali e di meandro distanziate le une dalle altre.

5.8.2.1 Rapporti con la pianura e con gli affluenti

L'alveo continua ad essere, come nei tratti precedenti, incassato rispetto all'alveo relitto e quindi trincerato.

In questo tratto gli affluenti principali sono il Fosso Albergo la Nona, il Fosso di Cavaione e il Torrente Chiani; in tutti i casi la confluenza non presenta discontinuità altimetrica.

5.8.2.2 Mobilità orizzontale e verticale

La mobilità laterale è in progressiva diminuzione verso valle. In ogni caso le sponde esterne alla curva sono interessate da erosione, ma in misura minore rispetto al tratto a monte.

Anche questo tratto risulta in disequilibrio: è in una fase transizionale, ma con una mobilità inferiore e ed una tipologia più francamente sinuosa del tratto di monte.

5.8.3. Sinuometria (allegato 4)

Il tratto ha una lunghezza di 3,4 km, con una sinuosità molto bassa (1,12).

I caratteri della sinuosità sono indicati nella seguente tabella:

Tratto elementare	Semicurva n.	AdA flesso monte (m)	AdA flesso valle (m)	Angolo di flesso monte ϕ_{FM} (°)	Angolo di flesso valle ϕ_{FV} (°)	Semi - lunghezza d'onda LV (m)	Semi - ampiezza d'onda LA (m)	LV/LA	Raggio di curvatura equivalente (m)
4	19	48843	50392	59	45	1403	228	6,16	941
	20	50392	50865	49	97	415	93	4,48	278
	21	50865	51251	97	29	317	88	3,60	181
	22	51251	51776	29	31	486	88	5,51	379
	23	51776	52167	45	29	354	71	5,01	255
	24	52167	52516	44	46	322	51	6,35	266
	media			54	46	550	103	5,18	384

- La semilunghezza d'onda varia da 317 metri a 1403 metri, con una media di 550 metri, notevolmente più bassa dei settori più a monte e minore della media generale del Basso Paglia (757 metri);
- la semiampiezza d'onda varia da 51 a 228 metri, con un valore medio pari a 103, più basso del settore più a monte e prossimo alla metà della media generale del Basso Paglia (153 metri);
- il rapporto Lv/La medio è 5,18 ed è poco più basso della media generale del Basso Paglia (6,14);
- il raggio di curvatura equivalente varia da 181 metri a 941 metri, con una media di 384 metri, notevolmente inferiore rispetto al tratto più a monte e alla media generale del Basso Paglia (593 metri);
- gli angoli di flesso variano da 29° a 97° e l'angolo di flesso medio è 50°. Tali valori corrispondono ad angoli moderatamente aperti, come nel settore più a monte.

5.8.4 Caratteri e parametri morfologico-sedimentari di grande scala dell'alveo nelle condizioni attuali

5.8.4.1 Sezioni trasversali

I dati di ubicazione e i caratteri morfologico-sedimentari e idraulici di ognuna delle 4 sezioni di controllo relative al tratto sono indicati nelle schede contenute in allegato 1.

Il quadro riassuntivo dei dati è indicato nella tabella che segue.

Quadro riassuntivo sezioni tratto 4									
Elementi Conoscitivi		Sezioni							
		20	21	22	23	MIN	MED	MAX	D. ST
Progressiva AdA (km)		49,95	50,75	51,23	52,26				
Larghezza (m)	Bankfull	54,70	82,60	48,14	70,67	48,14	64,03	82,60	15,58
	FPA	122,30	155,46	159,57	167,06	122,30	151,10	167,06	19,79
Profondità max (m)	Bankfull	2,20	2,09	2,00	2,18	2,00	2,12	2,20	0,09
	FPA	4,40	4,18	4,00	4,36	4,00	4,24	4,40	0,18
Profondità media (m)	Bankfull	1,53	0,97	1,36	1,26	0,97	1,28	1,53	0,23
	FPA	2,27	2,21	1,66	2,18	1,66	2,08	2,27	0,28
Rapp. largh.-prof med	Bankfull	35,84	85,28	35,33	55,95	35,33	53,10	85,28	23,50
	FPA	53,90	70,32	96,08	76,62	53,90	74,23	96,08	17,43
Area bagnata (mq)	Bankfull	83,48	80,01	65,59	89,27	65,59	79,59	89,27	10,08
	FPA	277,50	343,66	265,00	364,24	0,00	312,60	364,24	48,75
Perimetro bagnato (m)	Bankfull	55,81	83,40	48,94	72,19	48,94	65,08	83,40	15,63
	FPA	124,76	158,00	161,22	169,48	0,00	153,36	169,48	19,67
Raggio idraulico (m)	Bankfull	1,50	0,96	1,34	1,24	0,96	1,26	1,50	0,23
	FPA	2,22	2,18	1,64	2,15	1,64	2,05	2,22	0,27
Quota livello idrico (m s.l.m)	Bankfull	115,9	114,0	112,7	110,5				
	FPA	118,1	116,1	114,7	112,7				
Rapp. Trinceramento		2,24	1,88	3,31	2,36	1,88	2,45	3,31	0,61
Pendenza alveo (% - media tratto)							0,25		
Pendenza valle (% - media tratto)							0,36		
D50 barre (mm)							43,7		
D50 canale (mm)							59,5		

I dati relativi alle sezioni sono descritti, per l'intero Paglia, nei paragrafi successivi.

5.8.4.2 Componenti dell'alveo

Le sponde

Sono in erosione, soprattutto nella parte esterna delle curve, anche se si presentano maggiormente stabili rispetto al settore più a monte. In effetti anche i corpi sedimentari, descritti ampiamente nel paragrafo seguente, sono meno mobili e meno attivi, in quanto presentano vegetazione anche nelle porzioni più vicine ai canali.

Il o i canali di magra

L'alveo è sostanzialmente monocanale. I canali secondari, anche quelli non attivi in periodi di magra, sono più rari e discontinui.

Anche in questo tratto il canale di magra è sostanzialmente inciso sul substrato argilloso.

In questo tratto si registrano misure di esposizione del *bedrock* argilloso nel canale di magra analoghe ai massimi del tratto di monte (2,1 m) sino alla progressiva 50,9 km AdA, dopo di che si rilevano valori inferiori sino alla progressiva 52,2 km AdA, vicino alla fine del tratto, dove il substrato affiora nel canale ma non sulle sponde.

I corpi sedimentari

I corpi sedimentari hanno dimensioni più contenute e sono meno frequenti rispetto ai tratti di monte. Nella parte di monte del tratto (rettilineo) sono assimilabili a barre laterali alternate; nella parte a valle (sinuosa) sono assimilabili a barre di meandro.

Lo stato delle barre è di minore mobilità, tanto che si rileva vegetazione vicino al canale di magra.

L'ipotesi è che gli effetti sulla dinamica dell'alveo delle piene, che hanno interessato l'alveo in modo evidente nel 2010, siano sensibilmente minori rispetto ai settori di monte.

Altre forme di fondo

Le forme di fondo sono costituite da sequenze di riffles e pools, con sistematicità minore.

Al km 52,0 AdA il canale è rettilineo, regolare, anche come ampiezza; ciò fa pensare che sia stato sagomato artificialmente, tagliando e/o rimuovendo il riffle a valle.

5.8.4.3 Caratteri del *bedrock* e soglie naturali

Come nel tratto più a monte il *bedrock* affiora con continuità nel canale e in ampie porzioni di sponda. Sino alla progressiva 50,9 km AdA si mantiene la situazione del tratto precedente (fig. 60): il *bedrock* affiora nel canale e sulle sponde per spessori consistenti (2 m circa).

A valle lo spessore osservabile sulle sponde inizia a diminuire sino al km 52,3 AdA, dove si riscontra ancora l'affioramento sul canale, ma non sulla sponda (fig. 61).



Fig. 60 - Affioramento del bedrock sulla sponda sinistra – progressiva 50,9 km AdA – lo spessore del substrato argilloso, data la profondità del canale, è superiore a 2 m e altrettanto sono spesse le alluvioni sovrastanti costituite da sedimenti limoso argillosi. In figura il limite tra substrato e alluvioni nella sponda è evidenziato da una linea bianca tratteggiata.



Fig. 61 - Affioramento del bedrock nel canale – progressiva 52,2 km AdA.

5.8.4.4 Caratteri granulometrici

Il tratto è stato interessato dalla campagna di rilevamento del 2003, nella quale furono effettuate 8 determinazioni.

Unità morfologico-sedimentaria	Numero campioni	Numero di clasti
Barra	3	300
Canale	0	0
Barra + canale	5	442
Totale	8	742

Tabella 9: Riepilogo dei campioni granulometrici prelevati nel tratto.

Nome	Anno di prelievo	Progr. asse alveo (km)	Unità morfo-sed	Numero di clasti	Media (mm)	D90 (mm)	D50 (mm)	D10 (mm)	Dev. St (mm)	Skewness	Kurtosis
27 barra	2003	49,1	Barra	99	60,8	110,2	44,4	17,9	47,6	1,9	6,7
13 tot	2003	49,5	Barra + Canale	105	70,9	142,7	54,6	23,1	52,5	1,7	6,7
12 barra	2003	49,8	Barra	101	64,9	120,7	46,0	26,9	41,3	1,5	5,3
12 tot	2003	49,9	Barra + Canale	90	73,9	136,8	57,2	20,8	60,3	2,9	16,0
11 tot	2003	50,3	Barra + Canale	83	57,2	121,0	44,9	17,2	39,5	1,2	3,6
10 tot	2003	50,8	Barra + Canale	52	104,7	203,5	82,6	37,3	65,7	0,9	3,3
26 barra	2003	51,2	Barra	100	48,3	85,8	40,8	18,0	28,8	1,3	5,2
21 tot	2003	51,7	Barra + Canale	112	74,5	151,1	58,0	30,8	49,0	1,3	4,3

Tabella 10: Principali parametri desumibili dalle analisi granulometriche.

Fenomeni di armouring

Non sono evidenti fenomeni di corazzamento del canale di magra.

5.8.4.5 La vegetazione in alveo, spondale e nella pianura attiva

La vegetazione ripariale interessa una larghezza complessiva sui due lati pari a circa 200 m, si mantiene sostanzialmente rettilinea e coincide con l'alveo relitto. L'alveo al suo interno divaga da un lato al lato opposto.

5.8.4.6 Caratterizzazione delle opere e delle azioni di interesse

Opere in alveo

Difese di sponda



Fig. 62 - Scogliera in massi (OL 6), si presenta in buone condizioni.

- OL 6 (in sponda sinistra, inizia nel tratto precedente alla progressiva 48,9 km AdA, ma è ricompresa quasi completamente nel tratto in esame). Si presenta in buone condizioni perché, probabilmente, si risentono meno gli effetti delle piene del 2010 (fig. 62).
- OL 7 (in sponda destra, inizia alla progressiva km 49,5 AdA). Anche questa si presenta in buone condizioni e fortemente rivegetata anche con alberi ad alto fusto (fig. 63).
- OL 8 (in sponda destra, inizia alla progressiva km 50,5 AdA). Si presenta in buone condizioni.



Fig. 63 - Scogliera in massi (OL 7), si presenta in buone condizioni e fortemente rivegetata anche con alberi ad alto fusto.

- OL 9 (in sponda destra, inizia alla progressiva km 51,3 AdA). Scogliera in massi. Le condizioni sembrano buone, ma si vede poco, perché è estremamente vegetata (fig. 64).
- OL 10 (in sponda sinistra, inizia alla progressiva km 51,3 AdA). Scogliera in massi. Distrutta: in parte è stata smantellata ed in parte inglobata su una barra laterale ghiaiosa (fig. 65). Nel 2003 (precedente rilevamento) la sponda era più alta e il canale la lambiva. Ciò evidenzia che si possono verificare fenomeni molto localizzati di sedimentazione. Quanto detto non va confuso con il concetto di “sovralluvionamento”.

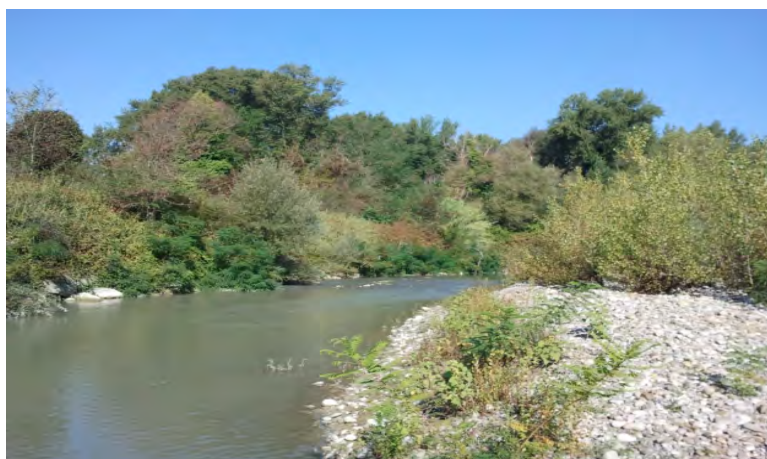


Fig. 64 - Scogliera in massi (OL 9). Le condizioni sembrano buone, ma si vedono poco perché è estremamente vegetata



Fig. 65 - Scogliera in massi (OL 10). Ormai risulta inglobata in una barra laterale ghiaiosa.

Opere nella pianura

- **Argini**

Si rilevano, in sinistra idrografica, 2 rilevati arginali, posti nei pressi dell'abitato di Ciconia a difesa dal F. Chiani che presentano, in parte, un andamento trasversale.

Nella pianura alluvionale si rilevano 5 rilevati arginali con andamento longitudinale.

- **Rilevati di infrastrutture**

Sono presenti i rilevati di 4 infrastrutture, localizzabili nella pianura in destra idrografica, che presentano in questo tratto un andamento longitudinale: Autostrada del Sole (A1); la SS 71; la linea ferroviaria Roma-Firenze e la linea ferroviaria ad Alta Velocità (Direttissima).

- **Cave**

La pianura alluvionale in destra idrografica è densamente interessata da aree di cava. In particolare si rilevano: un impianto di frantumazione e selezione (progressiva 50,1 km AdA) e altre 2 aree di cava, in parte ricolmate, in parte caratterizzate dalla presenza di acqua.

5.8.5 Variazioni storiche dei parametri planimetrici

In condizioni storiche (1954 – volo GAI) l'alveo era caratterizzato da una larghezza maggiore (Tabella 10), e la fascia a disposizione del corso d'acqua per la sua naturale divagazione era molto più ampia ma comunque più limitata rispetto al tratto a monte.

Le condizioni naturali (antiche) corrispondono a una configurazione morfologico-planimetrica caratterizzata da una sinuosità maggiore, ad ampi meandri. La mobilità era maggiore e l'alveo divagava in tutta la pianura alluvionale che aveva a disposizione.

Considerando le tracce di paleoalvei prossime alla progressiva 51,0 km AdA (curva Pantano e traccia sulla sponda opposta) la fascia nella disponibilità del fiume, oramai persa, è pari a complessivamente a circa 300 m di larghezza.

	Larghezza (m)	Sinuosità	Intrecciamento
2012	52,4	1,118	1,095
2008	48,2	1,116	1,148
2003	33,5	1,107	1,281
1977	95,4	1,080	1,706
1954	218,4	1,078	1,713
1823	173,5	1,136	<i>no dati</i>

Tabella 11: variazione storica dei parametri morfologico-planimetrici.

5.9 I caratteri del sistema alveo-pianura fluviale - Tratto 5 (dalla progressiva 52,4 km AdA alla progressiva 56,5 km AdA, lunghezza complessiva 4,1 km)

I caratteri e parametri morfologico-sedimentari di grande scala relativi al tratto sono indicati nei paragrafi che seguono o sono rappresentati nella Carta dei caratteri morfologico-sedimentari in scala 1:10.000 o sono contenuti negli allegati.

5.9.1 Caratteri della pianura fluviale

Fino al km 55,9 AdA la pianura si mantiene ampia e continua su entrambi i lati, come nel tratto a monte. Da lì, in corrispondenza del Fosso Froiana, la valle si restringe fortemente sino alla fine del tratto: presumibilmente per motivi “strutturali”, si passa da una larghezza della pianura di circa 800-1000 m a 300 m.

Dal km 55,9 AdA sino alla fine del tratto, l'alveo si addossa al versante di sinistra, caratterizzato dall'affioramento di sedimenti argillosi e sabbiosi pliocenici, e lo scalza al piede.

Nella pianura di sinistra idrografica, dalla progressiva 53,3 km AdA sino al km 54,0 AdA, è presente una scarpata prossima alla confluenza con il Fosso di Poggio Grosso che ha costruito un piatto conoide, più alto della pianura circostante.

Il Fosso di Poggio Grosso, successivamente (progressiva 53,5 km AdA), ha inciso il suo conoide e questa incisione si esaurisce alla scarpata, che corrisponde alla sponda dell'alveo “storico” del Paglia nella prima metà del secolo scorso.

Come il Fosso di Poggio Grosso, tutti gli affluenti di sinistra hanno inciso le loro alluvioni: T. Chiani (tratto precedente), F. del Fanello, F. di Poggio Grosso, F. Froiana.

F. del Fanello, F. di Poggio Grosso e F. Froiana hanno costruito dei conoidi a bassa pendenza.

In riva sinistra, in corrispondenza dell'abitato di Ciconia, si rileva un terrazzo connesso, oltre che all'azione del F. Paglia, alla dinamica del T. Chiani.

5.9.2 Caratteri generali dell'alveo

L'alveo è in questo tratto francamente monocanale, non è più presente la tendenza all'intrecciamento. È più stretto e meno mobile rispetto a quello situato a monte.

I corpi sedimentari si fanno ancora meno frequenti rispetto al tratto a monte, più limitati di superficie e via via più lontani l'uno dall'altro.

Si tratta per lo più di barre laterali o di meandro, oltre alla barra di confluenza del Torrente Chiani.

A valle della traversa situata a valle di Ponte Adunata, i corpi sedimentari sembrano praticamente assenti, a parte barre di salto legate alla stessa traversa.

5.9.2.1 Rapporti con la pianura e con gli affluenti

Permane la condizione di trinceramento, forse più accentuata verso valle.

Gli affluenti confluiscono senza discontinuità con l'alveo principale e si presentano essi stessi trincerati nei tratti a monte delle evidenti paleosponde.

5.9.2.2 Mobilità orizzontale e verticale

Per contrastare la tendenza al trinceramento è stata realizzata una traversa (OT 7) alla progressiva 53,6 km AdA, a monte della quale è stata realizzata una scogliera di protezione della sponda destra.

Tale opera è l'unica traversa presente nel Basso Paglia.

5.9.3. Sinuometria (allegato 4)

Il tratto ha una lunghezza di 4,1 km, con una sinuosità molto bassa (1,12), come il tratto più a monte.

I caratteri della sinuosità sono indicati nella seguente tabella:

Tratto elementare	Semicurva n.	AdA flesso monte (m)	AdA flesso valle (m)	Angolo di flesso monte σ_{FM} (°)	Angolo di flesso valle σ_{FV} (°)	Semi - lunghezza d'onda LV (m)	Semi - ampiezza d'onda LA (m)	LV/LA	Raggio di curvatura equivalente (m)
5	25	52516	53020	33	14	495	34	14,69	925
	26	53020	53688	26	27	650	60	10,92	874
	27	53688	54745	47	49	954	164	5,83	759
	28	54745	55526	42	18	741	99	7,50	713
	media			37	27	710	89	9,73	818

- La semilunghezza d'onda varia da 495 a 954 metri, con una media di 710 metri, non molto inferiore alla media generale del Basso Paglia (757 metri);
- la semiampiezza d'onda varia da 34 a 164, con una media è 89 metri, notevolmente inferiore alla media generale del Basso Paglia (153 metri);
- il rapporto Lv/La varia da 7,49 a 14,56, con una media è 9,68, notevolmente superiore alla media generale del Basso Paglia (6,14);
- il raggio di curvatura equivalente varia da 713 a 925 metri, con una media di 721 818, superiore alla media generale del Basso Paglia (593 metri);
- Gli angoli di flesso variano da 14 a 49 con media di 32. Si tratta di angoli relativamente aperti, simili ai due tratti più a monte.

Le due curve sono relativamente poco ampie e con angoli di flesso più aperti rispetto alla media del Basso Paglia.

5.9.4 Caratteri e parametri morfologico-sedimentari di grande scala dell'alveo nelle condizioni attuali

5.9.4.1 Sezioni trasversali

I dati di ubicazione e i caratteri morfologico-sedimentari e idraulici di ognuna delle 2 sezioni di controllo relative al tratto sono indicati nelle schede contenute in allegato 1.

Il quadro riassuntivo dei dati è indicato nella tabella che segue.

Quadro riassuntivo sezioni tratto 5							
Elementi Conoscitivi		Sezioni					
		24	25	MIN	MED	MAX	D. ST
Progressiva AdA (km)		54,86	56,03				
Larghezza (m)	Bankfull	48,87	45,47	45,47	47,17	48,87	2,41
	FPA	78,24	71,79	71,79	75,02	78,24	4,56
Profondità max (m)	Bankfull	1,79	1,97	1,79	1,88	1,97	0,13
	FPA	3,58	3,94	3,58	3,76	3,94	0,25
Profondità media (m)	Bankfull	1,01	1,47	1,01	1,24	1,47	0,33
	FPA	1,94	2,57	1,94	2,26	2,57	0,45
Rapp. largh.-prof med	Bankfull	48,53	30,84	30,84	39,68	48,53	12,51
	FPA	40,35	27,91	27,91	34,13	40,35	8,80
Area bagnata (mq)	Bankfull	49,22	67,03	49,22	58,12	67,03	12,59
	FPA	151,71	184,71	151,71	168,21	184,71	23,33
Perimetro bagnato (m)	Bankfull	49,89	45,91	45,91	47,90	49,89	2,82
	FPA	80,38	72,75	72,75	76,57	80,38	5,40
Raggio idraulico (m)	Bankfull	0,99	1,46	0,99	1,22	1,46	0,33
	FPA	1,89	2,54	1,89	2,21	2,54	0,46
Quota livello idrico (m s.l.m)	Bankfull	104,3	102,1				
	FPA	106,1	104,1				
Rapp. Trinceramento		1,60	1,58	1,58	1,59	1,60	0,02
Pendenza alveo (% - media tratto)					0,22		
Pendenza valle (% - media tratto)					0,22		
D50 barre (mm)							
D50 canale (mm)					79,9		

I dati relativi alle sezioni sono descritti, per l'intero Paglia, nei paragrafi successivi.

5.9.4.2 Componenti dell'alveo

Le sponde

Sono prevalentemente sponde alte per il trinceramento dell'alveo. Dalla progressiva 55.9 AdA la sponda sinistra corrisponde alla base del versante.

Le sponde presentano una crescente stabilità verso valle e sono spesso vegetate con piante ad alto fusto.

Come nel tratto superiore, permangono porzioni di alveo relitto a quota intermedia rispetto alla pianura.

Fa eccezione un breve tratto di sponda destra di circa 75 m (progressiva 54,9 km AdA) che risulta in erosione attiva.

Il o i canali di magra

Il canale di magra è più stabile e spesso di larghezza non molto inferiore all'alveo pieno.

I corpi sedimentari

I corpi sedimentari sono meno frequenti e meno estesi arealmente. Fanno eccezione alcuni, caratterizzati da una dinamica di “barra di meandro”: una barra subito a valle di Ponte Adunata (progressiva 52,6 km AdA), un'altra in corrispondenza della zona in erosione attiva sopra citata (progressiva 54,9 km AdA).

Vi è, inoltre, la classica barra dovuta al salto, subito a valle della traversa OT 7.

Le barre sono parzialmente attive, ma prevalentemente vegetate ad arbusti. Sulle barre si rileva anche qualche pianta ad alto fusto.

Altre forme di fondo

Rari riffles in corrispondenza delle barre, distanziati da ampie pools.

5.9.4.3 Caratteri del bedrock e soglie naturali

Il rilevamento morfologico-sedimentario effettuato nel mese di settembre c.a. non ha evidenziato in questo tratto affioramenti del substrato, né sulle sponde, né sul canale.

Le caratteristiche morfologiche di questo tratto sono diverse rispetto ai precedenti di monte: alveo essenzialmente monocanale, caratterizzato da rari riffles, piuttosto distanti l'uno dall'altro, e da pools molto ampie. Il fondo del canale non è mai esposto e visibile.

Non è possibile escludere che anche in questo tratto il canale sia, almeno in alcuni punti, inciso nel substrato argilloso.

5.9.4.4 Caratteri granulometrici

Il tratto è stato interessato dalla campagna di rilevamento del 2003, nella quale furono effettuate 5 determinazioni.

Unità morfologico-sedimentaria	Numero campioni	Numero di clasti
Barra	0	0
Canale	1	90
Barra + canale	4	382
Totale	5	472

Tabella 12: Riepilogo dei campioni granulometrici prelevati nel tratto

Nome	Anno di prelievo	Progr. asse alveo (km)	Unità morfo-sed	Numero di clasti	Media (mm)	D90 (mm)	D50 (mm)	D10 (mm)	Dev. St (mm)	Skewness	Kurtosis
17 tot	2003	53,0	Barra + canale	100	53,0	107,2	41,0	17,5	38,1	1,7	6,2
16 tot	2003	53,9	Barra + canale	90	43,7	78,3	39,2	11,3	29,6	2,5	14,5
15 canale	2003	54,4	Canale	90	48,1	107,2	30,8	10,0	41,1	1,5	5,5
14 tot	2003	54,6	Barra + canale	91	161,8	347,4	99,9	21,4	169,2	2,1	7,7
20bis tot	2003	56,0	Barra + canale	101	209,4	362,0	188,8	60,3	143,0	1,8	7,8

Tabella 13: Principali parametri desumibili dalle analisi granulometriche.

Fenomeni di armouring

Sembrano presenti modesti caratteri di corazzamento del canale di magra.

5.9.4.5 La vegetazione in alveo, spondale e nella pianura attiva

I diversi tratti di alveo relitto sono fittamente vegetati con piante di alto fusto, presenti anche nella quasi totalità delle sponde.

5.9.4.6 Caratterizzazione delle opere e delle azioni di interesse

Opere in alveo

Si tratta del tratto più urbanizzato (aree urbane residenziali e artigianali/industriali di Orvieto).

Si rilevano complessivamente 2 ponti e una traversa. Si descrivono di seguito le condizioni delle opere trasversali presenti.

- **Traverse**

OT 7 (progressiva 53,6 km AdA) – Traversa costruita tramite blocchi in basalto collegati tramite un livello di calcestruzzo alla base, per consentire la risalita e il passaggio della fauna ittica (fig. 66). Le condizioni sono complessivamente buone, anche se si evidenzia come alcuni dei massi siano stati trasportati a valle dell'opera.

- **Ponti**

OT 5 (progressiva 52,7 km AdA) – Ponte pedonale. Uno dei piloni è all'interno dell'alveo. Non è possibile verificare le condizioni di scalzamento del pilone, per il tirante idrico troppo elevato (fig. 67).

OT 6 (progressiva 53,1 km AdA) – Ponte Adunata (statale SS71). 2 piloni in alveo, di cui uno nel canale. Tutti e due i piloni sono scalzati, come anche la spalla destra, che è in sponda esterna alla curva (fig. 68).



Fig. 66 - Traversa in massi e calcestruzzo (OT 7), vista dalla riva sinistra.



Fig. 67 - Ponte pedonale (OT 5), visto da monte. Non è possibile verificare le condizioni del pilone presente nel canale.



Fig. 68 - Ponte Adunata (statale SS71 - OT6). Foto scattata da valle. Si vede il pilone centrale e la spalla destra.

In questo tratto le opere longitudinali sono piuttosto rare: due scogliere in massi di cui una, a difesa della spalla del ponte pedonale, lontana dall'alveo attivo in sponda destra.

Il rilievo precedente (2003) evidenziava la presenza di una difesa di sponda a “graticciata”, sulla sponda sinistra a valle di Ponte Adunata che, considerata la scarsa resistenza dell'opera stessa, è stata completamente asportata.

- Difese di sponda

OL 11 (inizia alla progressiva 52,55 km AdA). Scogliera in massi, sponda destra. È realizzata a difesa della spalla del ponte pedonale ed è lontana dall'alveo attivo. In pratica si trova sulla sponda dell'alveo relitto.

OL 12 . Scogliera in massi che insiste su tutta la sponda destra compresa tra Ponte Adunata (OT 6) e la traversa a valle (OT 7). È in buone condizioni (fig. 69).



Fig. 69 - Scogliera in massi (sponda destra, OL12) a monte della traversa OT 7. Il punto di vista è dalla riva opposta.

Opere nella pianura

- Rilevati di infrastrutture

La SS 71, nei pressi di Ponte Adunata, presenta un breve tratto (in rilevato) con un andamento trasversale.

Sono presenti i rilevati di 6 infrastrutture, localizzabili nella pianura in destra idrografica, che presentano in questo tratto un andamento longitudinale: l'Autostrada del Sole (A1); la SS 71, la SS 205 e la SP 56; la linea ferroviaria Roma-Firenze e la linea ferroviaria ad Alta Velocità (Direttissima). Tutti presentano un tracciato sostanzialmente longitudinale.

- Argini

È presente un rilevato arginale in riva destra, con andamento longitudinale.

- Cave

Nella pianura non è visibile alcuna cava. Si segnala una cava di materiali vulcanici (basalto) sul versante destro (progressiva 55,0 km AdA) che non interessa la dinamica dell'alveo.

5.9.5 Variazioni storiche dei parametri planimetrici

Anche in questo tratto l'alveo era molto più ampio, a spese della pianura alluvionale, soprattutto in sinistra idrografica dove si individuano tracce di “paleosponde” che sono arrivate ad erodere la base dei versanti e i conoidi presenti sulla pianura.

	Larghezza (m)	Sinuosità	Intrecciamento
2012	41,2	1,119	1,041
2008	38,4	1,120	1,063
2003	32,1	1,113	1,046
1977	61,4	1,056	1,286
1954	113,0	1,107	1,138
1823	206,6	1,240	no dati

Tabella 14: variazione storica dei parametri morfologico-planimetrici.

5.10 I caratteri del sistema alveo-pianura fluviale - Tratto 6 (dalla progressiva 56,5 km AdA alla confluenza con il Fiume Tevere, lunghezza complessiva 3,3 km)

I caratteri e parametri morfologico-sedimentari di grande scala relativi al tratto sono indicati nei paragrafi che seguono o sono rappresentati nella Carta dei caratteri morfologico-sedimentari in scala 1:10.000 o sono contenuti negli allegati.

5.10.1 Caratteri della pianura fluviale

Dall'inizio del tratto sino alla confluenza con il F. Tevere la pianura risulta stretta e quasi completamente sviluppata in destra idrografica. In riva sinistra la pianura è quasi completamente assente a parte un piccolo settore di circa 500 m, in cui si rileva un piccolo lembo di pianura.

In prossimità della confluenza con il F. Tevere il corso d'acqua attraversa tutta la pianura e si appoggia all'altro versante, in sinistra idrografica.

Come nel tratto precedente, i tributari principali, in riva sinistra, risultano piuttosto incisi. Sono il F.so Cavarello, il F.so Generoso e F.so Bisconti.

In prossimità della confluenza è presente un ampio terrazzo “antico”, non connesso all'evoluzione storica recente, dovuto principalmente alla dinamica F. Tevere.

5.10.2 Caratteri generali dell'alveo

Come il tratto a monte, l'alveo è monocanale e non si riscontra la tendenza all'intrecciamento. È più stretto, quasi privo di corpi sedimentari, con il canale di magra occupato da blocchi o massi di grandi dimensioni, presumibilmente provenienti dagli affluenti locali o direttamente dai versanti.

5.10.2.1 Rapporti con la pianura e con gli affluenti

L'alveo è ancora notevolmente trincerato. La stessa condizione si evidenzia negli affluenti.

Particolare è la condizione del F.so Cavarello, la cui confluenza è in parte sopraelevata: arriva sull'alveo relitto e forma una sorta di rapida per raggiungere il canale di magra del Paglia.

5.10.2.2 Mobilità orizzontale e verticale

In questo tratto, in accordo con la quasi assenza di corpi sedimentari, l'alveo manifesta una mobilità molto limitata.

5.10.3 Sinuometria (allegato 4)

Il tratto ha una lunghezza di 3,3 km, con una sinuosità bassissima (1,09).

I caratteri della sinuosità sono indicati nella seguente tabella:

Tratto elementare	Semicurva n.	AdA flesso monte (m)	AdA flesso valle (m)	Angolo di flesso monte ϕ_{FM} (°)	Angolo di flesso valle ϕ_{FV} (°)	Semi - lunghezza d'onda LV (m)	Semi - ampiezza d'onda LA (m)	LV/LA	Raggio di curvatura equivalente (m)
6	29	55526	56168	27	57	577	117	4,93	372
	30	56168	57601	68	45	1241	312	3,97	717
	31	57601	59052	30	41	1360	165	8,23	1073
	32	59052	59798	36	54	735	174	4,23	474
	media			40	49	978	192	5,34	659

- La semilughezza d'onda varia da 577 a 1360 metri, con una media di 978 metri, notevolmente superiore alla media generale del Basso Paglia (757 metri);
- la semiampiezza d'onda varia da 117 a 312 metri, con una media di 192 metri, superiore alla media generale del Basso Paglia (153 metri);
- il rapporto L_v/L_a medio varia da 3,97 a 8,23 con una media di 5,34, inferiore alla media generale del Basso Paglia (6,14);
- il raggio di curvatura equivalente varia da 372 a 1073 metri, con una media di 659 metri, superiore alla media generale del Basso Paglia (593 metri);
- l'angolo di flesso varia da 27 a 68 con media di 45.

5.10.4 Caratteri e parametri morfologico-sedimentari di grande scala dell'alveo nelle condizioni attuali

5.10.4.1 Sezioni trasversali

I dati di ubicazione e i caratteri morfologico-sedimentari e idraulici di ognuna delle 2 sezioni di controllo relative al tratto sono indicati nelle schede contenute in allegato 1.

Il quadro riassuntivo dei dati è indicato nella tabella che segue.

Quadro riassuntivo sezioni tratto 6									
Elementi Conoscitivi		Sezioni							
		26	27	28	29	MIN	MED	MAX	D. ST
Progressiva AdA (km)		56,77	57,52	58,12	59,17				
Larghezza (m)	Bankfull	41,17	64,95	45,40	34,35	34,35	46,47	64,95	13,14
	FPA	79,57	91,81	67,19	78,07	67,19	79,16	91,81	10,08
Profondità max (m)	Bankfull	2,14	2,85	2,14	1,96	1,96	2,27	2,85	0,39
	FPA	4,28	5,70	4,28	3,92	3,92	4,55	5,70	0,79
Profondità media (m)	Bankfull	1,67	0,98	1,61	1,64	0,98	1,48	1,67	0,33
	FPA	2,62	2,63	3,04	1,94	1,94	2,56	3,04	0,46
Rapp. largh.-prof med	Bankfull	24,64	66,57	28,16	20,90	20,90	35,07	66,57	21,21
	FPA	30,38	34,84	22,09	40,27	22,09	31,89	40,27	7,69
Area bagnata (mq)	Bankfull	68,77	63,36	73,19	56,44	56,44	65,44	73,19	7,22
	FPA	208,42	241,91	204,37	151,38	151,38	201,52	241,91	37,42
Perimetro bagnato (m)	Bankfull	42,09	65,78	46,23	35,02	35,02	47,28	65,78	13,17
	FPA	81,58	93,84	68,83	79,74	68,83	81,00	93,84	10,25
Raggio idraulico (m)	Bankfull	1,63	0,96	1,58	1,61	0,96	1,45	1,63	0,32
	FPA	2,55	2,58	2,97	1,90	1,90	2,50	2,97	0,44
Quota livello idrico (m s.l.m)	Bankfull	100,8	99,5	96,5	93,2				
	FPA	102,9	102,4	98,6	95,2				
Rapp. Trinceramento		1,93	1,41	1,48	2,27	1,41	1,77	2,27	0,40
Pendenza alveo (% - media tratto)							0,37		
Pendenza valle (% - media tratto)							0,47		
D50 barre (mm)							74,3		
D50 canale (mm)							105,4		

I dati relativi alle sezioni sono descritti, per l'intero Paglia, nei paragrafi successivi.

5.10.4.2 Componenti dell'alveo

Le sponde

Si accentua la tendenza evidenziata dal tratto più a monte, l'alveo scarsamente mobile è trincerato e caratterizzato da sponde alte, vegetate con alberi ad alto fusto, sostanzialmente stabili. La sponda sinistra lambisce più volte la base del versante, poi dalla progressiva 59,2 km AdA sino alla confluenza con il F. Tevere è la sponda destra a scalzare il rispettivo versante.

Le porzioni di alveo relitto, seppure ancora presenti, risultano in questo tratto molto meno estese e poco frequenti.

Il o i canali di magra

Il canale di magra si presenta stabile e corazzato per la presenza di clasti di grandi dimensioni (massi) presumibilmente derivanti dai versanti laterali.

I corpi sedimentari

In questo tratto corpi sedimentari sono quasi completamente assenti. Sono individuabili solamente due barre: una, in corrispondenza della progressiva 57,5 km AdA, è classificabile come “point bar” e si presenta quasi completamente vegetata, risultando ormai sostanzialmente inattiva; l'altra, in

corrispondenza della progressiva 58,9 km AdA, è una barra laterale addossata alla sponda sinistra, appena a valle della confluenza con il F.so Bistoni, che si presenta invece non vegetata e attiva.

Altre forme di fondo

Come nel tratto precedente, i riffles sono rari e localizzati in corrispondenza delle barre, mentre le pools sono molto estese.

5.10.4.3 Caratteri del bedrock e soglie naturali

Non si notano affioramenti del *bedrock* né sul canale, né sulle sponde dei tratti di pianura.

5.10.4.4 Caratteri granulometrici

Il tratto è stato interessato dalla campagna di rilievo del 2003, nella quale furono effettuate 5 determinazioni.

Unità morfologico-sedimentaria	Numero campioni	Numero di clasti
Barra	1	82
Canale	3	277
Barra + canale	1	67
Totale	5	426

Tabella 15: Riepilogo dei campioni granulometrici prelevati nel tratto.

Nome	Anno di prelievo	Progr. asse alveo (km)	Unità morfo-sed	Numero di clasti	Media (mm)	D90 (mm)	D50 (mm)	D10 (mm)	Dev. St (mm)	Skewness	Kurtosis
20 canale	2003	56,9	Canale	95	168,4	370,3	129,9	13,1	193,8	3,8	26,6
1 totcorrettografi	2003	57,5	Barra+canale	67	258,3	758,7	109,3	22,0	308,6	1,6	5,7
25 barra	2003	58,0	Barra	82	71,1	117,5	67,2	34,9	32,1	0,7	3,1
19 canale	2003	58,3	Canale	77	185,1	338,2	182,7	55,4	108,8	0,6	2,7
18 canale	2003	58,6	Canale	105	221,3	432,8	207,0	27,3	150,2	0,5	3,1

Tabella 16: Principali parametri desumibili dalle analisi granulometriche.

Fenomeni di armouring

Il canale di magra risulta sensibilmente corazzato.

5.10.4.5 La vegetazione in alveo, spondale e nella pianura attiva

La vegetazione spondale è fitta e ben sviluppata, con alberi ad alto fusto che interessano anche alcuni lembi di alveo.

5.10.4.6 Caratterizzazione delle opere e delle azioni di interesse

Opere in alveo

È presente solamente un ponte autostradale.

- Ponti

OT 8 (progressiva 58,8 km AdA) – Ponte autostradale (A1). Due piloni sono in alveo (in

corrispondenza delle sponde). Non si apprezza il grado di scalzamento perché il battente è abbastanza elevato: il pilone in sinistra è protetto da blocchi in calcestruzzo gettati alla rinfusa (figg. 70 e 71).



Fig. 70 - Ponte autostradale OT8 (A1). Il punto di vista è da valle.



Fig. 71 - Ponte autostradale (A1 - OT8). Foto del pilone destro. In basso i blocchi di calcestruzzo gettati a protezione del pilone sinistro.

In questo tratto le opere longitudinali presenti sono poche e si concentrano in corrispondenza della confluenza. Si tratta di un muro, che sostiene la linea ferroviaria Roma-Firenze e di una scogliera in massi, entrambe localizzate in riva destra.

Difese di sponda

- OL 13 (inizia alla progressiva 59,3 km AdA). Muro in calcestruzzo. È stato realizzato in corrispondenza della linea ferroviaria Roma-Firenze. Le condizioni sono buone.
- OL 14 (inizia alla progressiva 59,6 km AdA). Scogliera in massi, sponda destra. Le condizioni sono buone, anche se non facilmente valutabili a causa della vegetazione, anche ad alto fusto, presente (fig. 72).



Fig. 72 - Scogliere in massi (OL 14), sponda destra a monte della confluenza con il F. Tevere. Il punto di vista è dalla riva opposta.

Opere nella pianura

- Argini

In riva sinistra, al momento del rilievo, erano presenti due rilevati arginali messi a protezione del sito archeologico del Porto romano di Pagliano.

- Rilevati di infrastrutture

Sono presenti i rilevati di 3 infrastrutture, localizzabili nella pianura in destra idrografica, che presentano in questo tratto un andamento longitudinale: l'Autostrada del Sole (parzialmente in sinistra idrografica); la SS 205; la linea ferroviaria Roma-Firenze. Tutti presentano un tracciato sostanzialmente longitudinale.

5.10.5 Variazioni storiche dei parametri planimetrici

In questo ultimo tratto l'alveo pieno è rimasto molto simile a quello storico, in generale il restringimento è stato molto meno intenso. Quindi, al contrario di quanto si è verificato nei settori più a monte, la pianura non ha visto aumentare la sua superficie nel corso degli ultimi cinquant'anni.

	Larghezza (m)	Sinuosità	Intrecciamento
2012	36,4	1,093	1,104
2008	36,1	1,095	1,106
2003	24,4	1,097	1,048
1977	<i>no dati</i>	<i>no dati</i>	<i>no dati</i>
1954	58,5	1,017	1,016
1823	<i>no dati</i>	<i>no dati</i>	<i>no dati</i>

Tabella 17: variazione storica dei parametri morfologico-planimetrici.

6 INDAGINE STORICA SUI CARATTERI DEL SISTEMA ALVEO-PIANURA FLUVIALE DEL BASSO PAGLIA

6.1 Informazioni storiche nello studio della dinamica fluviale

La comprensione della dinamica di un corso d'acqua non può prescindere dallo studio dei cambiamenti storici da esso subiti nel tempo.

Informazioni a carattere storico posso essere utili sotto molti aspetti: per evidenziare e “datare” importanti trasformazioni verificatesi a scala di bacino o a scala di alveo; per documentare i cambiamenti di quella che può essere definita la “pressione antropica” sul corso d'acqua; per documentare e quantificare le trasformazioni morfologiche dell'alveo; per determinare la risposta del sistema ad eventi eccezionali come piene centennali o altri “disturbi” anche non naturali. In sintesi sono un elemento conoscitivo essenziale nello studio della dinamica fluviale.

6.2 Acquisizione dei documenti cartografici storici: scansione e georeferenziazione

I documenti devono essere in primo luogo acquisiti tramite scanner.

Un aspetto importante è la scelta della risoluzione della scansione, che viene effettuata tenendo conto di due elementi:

- **risoluzione al suolo**, ossia la dimensione reale al suolo, in metri, delle celle che rappresentano l'immagine raster. A parità di scala nominale della foto, quanto maggiore è la risoluzione della scansione tanto maggiore è il livello di dettaglio e quindi la risoluzione al suolo;
- **dimensione del file immagine**, quanto maggiore è la risoluzione della scansione, tanto maggiore è la dimensione del file di immagine e, al contrario, tanto minore è la velocità di elaborazione del dato.

6.3 Descrizione dei documenti topografici (antichi e recenti) utilizzati nello studio delle tendenze evolutive del F. Paglia.

La ricerca dei documenti cartografici storici è stata effettuata presso gli Archivi di Stato di Terni e di Viterbo, nonché tramite l' Archivio dell'Ufficio del Genio Civile di Terni, gestito dalla Regione Umbria, presso Solomeo.

Di seguito sono elencati e descritti i documenti topografici reperiti presso i due Archivi sopra citati.

- **Carte del Catasto Gregoriano - 1821.** Sono state recuperate presso gli Archivi di Stato di Terni e di Viterbo; riguardano rispettivamente il tratto umbro ed una limitata porzione nella Regione Lazio.

La cartografia del Catasto Gregoriano (primo Catasto generale geometrico-particellare, redatto nello Stato Pontificio tra il 1818 ed il 1822 per volere del pontefice Gregorio XVI) si è dimostrata uno strumento molto valido, in quanto è stata realizzata con meticolosa attenzione dai tecnici dell'epoca e rappresentata in scala 1:2000, in modo tale da consentire osservazioni piuttosto dettagliate. Le carte del territorio di Orvieto risalgono, al più tardi, al 1821.

L'errore medio commesso nell'operazione di georeferenziazione è pari a 3,8 m e ciò conferma la elevata capacità tecnica con cui le carte sono state realizzate dai tecnici dell'epoca.

I documenti sono stati utilizzati per la vettorializzazione dell'alveo pieno e per la misura dei principali parametri morfologico-planimetrici.

- **Planimetria tratta dal progetto per la realizzazione di un “Nuovo Ponte sul Fiume della Paglia da costruirsi lungo la Strada comunale obbligatoria che da Monte Rubbiaglio mette ad Allerona” - 1873.** La carta ricopre un breve tratto che comprende la località “Barca vecchia” tra il km 37,5 AdA e il km 40,5 AdA.

La carta, in scala 1:4000, è stata acquisita con una risoluzione al suolo pari a 50 cm ed è stata georeferenzata nel sistema di riferimento Gauss Boaga – Roma 40.

L'aspetto più interessante della carta è la configurazione planimetrica del fiume nella zona della “Barca vecchia” (38,5-39,5 AdA) che evidenzia come la presenza di un canale secondario (o, meglio, di un canale di taglio del meandro) fosse presente e come, diversamente dalla situazione attuale, il meandro in sinistra idrografica fosse molto più sviluppato, fino a lambire il versante.

- **Planimetria che riporta il “Corso attuale del Fiume in confronto del Fiume nel 1895 (Anno in cui fu fatto il rilievo della carta dell'IGM)” - Anteriore al 1937.** La carta interessa quasi tutto il tratto in studio, dalla località “Barca vecchia” fino alla confluenza con il F. Tevere.

Sebbene il catalogo del Genio Civile attribuisca all'anno 1953 il tracciato del fiume definito “attuale”, in effetti questo deve risultare anteriore al 1937, poiché riporta il meandro della “Curva Pantano” che, come noto, è stato tagliato e abbandonato in occasione di una piena eccezionale verificatasi nel 1937.

La carta è stata acquisita con una risoluzione al suolo pari a 155 cm; l'errore medio commesso nell'operazione di georeferenziazione (sistema di riferimento Gauss Boaga – Roma 40) è pari a 40 metri.

Anche in questa carta il meandro in sinistra della “biforcazione” della “Barca vecchia” lambiva il versante sinistro.

- **Planimetria tratta dal “Progetto per la sistemazione del Fiume Paglia dalla curva Pantano al Ponte dell'Adunata” - 1951.** La carta interessa un tratto di circa 3 km. compreso tra le progressive 50,0 AdA e 53,0 AdA.

La carta, in scala 1:2000, è stata acquisita con una risoluzione al suolo pari a 16 cm; l'errore medio commesso nell'operazione di georeferenziazione (sistema di riferimento Gauss Boaga – Roma 40) è pari a 5,4 metri.

La planimetria riporta, oltre alla configurazione morfologica del fiume, l'ubicazione di 5 sezioni trasversali con i relativi punti quotati, ulteriori punti quotati e curve di livello.

Le preziosissime informazioni altimetriche sono state vettorializzate e utilizzate per la realizzazione di un DTM, riferibile al 1951, che è stato messo a confronto con quello del 2008.

- **Foto aree del volo GAI – 1954.** Sono state scattate sul territorio nazionale nel volo GAI, dell'Istituto Geografico Militare. Sono in bianco e nero e a scala di circa 1:33.000.

Sono state acquisite con una risoluzione di 600 dpi, che corrisponde ad una risoluzione al suolo di 284 cm. L'errore medio commesso nell'operazione di georeferenziazione (sistema di

riferimento Gauss Boaga – Roma 40) è pari a 6,05 metri.

I documenti sono stati utilizzati per la vettorializzazione dei caratteri morfologico-sedimentari dell'alveo o e per la misura dei principali parametri morfologico-planimetrici.

- **Foto aree del volo AR08 - 1977.** Sono state scattate sul territorio umbro nel volo AR08, realizzato dalla Compagnia Generale Riprese Aree di Parma. Sono a colori e a scala di circa 1:13000.

Sono state acquisite con una risoluzione di 300 dpi, che corrisponde ad una risoluzione al suolo di 110 cm. L'errore medio commesso nell'operazione di georeferenziazione (sistema di riferimento Gauss Boaga – Roma 40) è pari a 8,3 metri.

I documenti sono stati utilizzati per la vettorializzazione dei caratteri morfologico-sedimentari dell'alveo e per la misura dei principali parametri morfologico-planimetrici.

- **Foto CASI (Compact Airborne Spectrographic Imager) – 1999.** Sono state fornite dalla Regione Umbria e realizzate in occasione del P.A.I. del 2000; sono in formato jpg e georeferenziate nel sistema di riferimento UTM - European Datum 1950.

Sono stati utilizzate per la vettorializzazione dei caratteri morfologico-sedimentari dell'alveo e per la misura dei principali parametri morfologico-planimetrici.

- **Ortofoto - 2008.** Sono state fornite dalla Regione Umbria e realizzate sul Bacino Idrografico del Fiume Tevere; sono in formato ecw e georeferenziate nel sistema di riferimento Gauss Boaga – Roma 40.

Sono state utilizzate per la vettorializzazione dei caratteri morfologico-sedimentari dell'alveo e per la misura dei principali parametri morfologico-planimetrici.

6.4 Gli interventi realizzati dall'Ufficio del Genio civile di Terni tra il 1915 e il 1960

Una fonte molto interessante per comprendere il comportamento del Fiume Paglia è l'Inventario dei lavori dell'Archivio dell'Ufficio del Genio civile di Terni, che riporta tutti gli interventi realizzati sul fiume nell'arco di 45 anni, a partire dal 1915 sino al 1960, nella Provincia di Terni.

Il catalogo evidenzia come sul fiume si siano susseguiti nel periodo di tempo considerato più di 100 interventi: almeno 46 sono costituiti da nuove opere di sistemazione (in media uno all'anno) e altrettanto numerosi sono gli interventi di riparazione e di manutenzione ordinaria delle opere realizzate (tab. 18).

I dati confermano non solo l'estrema mobilità dell'alveo, ma anche la notevole capacità di trasporto della corrente, che si traduce in una elevata forza distruttiva in occasione delle piene maggiori.

Infatti, gli interventi classificati come riparazione spesso riportano nella descrizione il fatto che gli stessi si sono resi necessari in seguito agli ingenti danni subiti dalle opere già realizzate (difese di sponda o pennelli) a causa di piene.

Decennio	Nuove opere di sistemazione	Opere di riparazione	Opere di manutenzione ordinaria	Opere di manutenzione straordinaria	Interventi incerti
1915 - 1925	1	0	1	0	2
1925 - 1935	11	2	5	0	3
1935 - 1945	10	8	0	0	11
1945 - 1955	10	2	8	1	10
1955 - 1965	14	0	7	0	1
Totale	46	12	21	1	27

Tabella 18: Interventi eseguiti dall'Ufficio del Genio Civile di Terni sul F. Paglia tra il 1915 e il 1960.

6.5 Analisi delle variazioni planimetriche

Misura dei principali parametri planimetrici

I documenti cartografici utilizzati per lo studio delle variazioni planimetriche sono di seguito elencati:

1. Catasto gregoriano – 1821;
2. Foto aeree del volo GAI – 1954;
3. Foto aeree del volo AR08 – 1977
4. Foto Casi – 1999;
5. Ortofoto 2008;

Per ognuno dei documenti sopra citati, tramite un lavoro di fotointerpretazione eseguita in ambiente GIS, sono stati vettorializzati gli elementi morfologico-sedimentari descritti di seguito:

- i corpi sedimentari, distinguendo lo stato vegetazionale e di attività (nudi/attivi, vegetati/attivi e arborati/sospesi);
- il canale (o i canali) di magra;
- l'alveo attivo, cioè quella parte di corso d'acqua non fortemente vegetata e caratterizzata dalla presenza di sedimenti ghiaiosi (Winterbottom S. J., 2000), che può essere considerato sostanzialmente coincidente con l'alveo pieno;
- l'asse dell'alveo (inteso come la linea dei punti equidistanti dalle sponde dell'alveo attivo).

Fanno eccezione le carte del Catasto Gregoriano che, diversamente dai fotogrammi aerofotogrammetrici, consentono di definire soltanto i limiti dell'alveo pieno e l'asse dell'alveo.

Inoltre i risultati del rilevamento di campagna dei caratteri morfologico-sedimentari, eseguito a set-

tembre su tutto il tratto in studio, hanno consentito di aggiungere gli elementi morfologici relativi alla configurazione attuale (settembre 2012).

Successivamente, sulla base degli elementi morfologici vettorializzati, sono stati misurati i seguenti parametri planimetrici:

- larghezza dell'alveo attivo - può essere calcolata sia come valore medio del tratto analizzato dividendo l'area dell'alveo attivo per la lunghezza dell'asse dell'alveo, sia come valore puntuale misurato ortogonalmente all'asse dell'alveo. Il passo di misura utilizzato è pari a 10 m.
- indice di intrecciamento (Ii) – definito come numero di canali attivi, separati da barre misurato lungo una sezione trasversale. Il valore finale viene ottenuto mediando le misure su tratti lunghi 10 volte la larghezza media dell'alveo.

Nello specifico il dato è stato misurato con un passo pari a 10 m e mediato su tratti lunghi 500 m (la larghezza media dell'alveo attuale è pari a 58 m).

- indice di sinuosità (Is): definita come rapporto tra la distanza misurata lungo l'asse dell'alveo tra due sezioni e la distanza tra le stesse sezioni, misurata lungo l'asse della valle. La misura è stata effettuata con un passo pari a circa 10 volte la larghezza media dell'alveo, cioè 500 m.

Le misure, molto laboriose data l'elevata frequenza, sono state effettuate in automatico tramite due appositi codici di calcolo scritti in linguaggio python, ed implementati all'interno del software GIS (open source) GRASS GIS.

Risultati

Larghezza dell'alveo pieno

Prendendo in considerazione il dato medio, si nota come l'alveo abbia subito un restringimento già nei primi anni del '900, tuttavia a partire dagli anni cinquanta il fenomeno è diventato molto più veloce (fig. 73).

Per un periodo di circa 130 anni (dal 1821 al 1954) l'alveo, in media, ha subito un restringimento modesto (si è passati da circa 202 m a 155 m), dopodiché nell'arco di tempo di circa cinquant'anni il valore medio della larghezza è passato da 155 m nel 1954, a 97 m nel 1977 sino a 46 m nel 1999; in pratica dagli anni 50 al 1999 il corso d'acqua si è ristretto di circa il 70%.

Nell'ultimo decennio (sino alla configurazione rilevata nell'estate 2012) la tendenza si è invertita e l'alveo ha in parte riguadagnato gli spazi originari: la larghezza media è passata da 46 m del 1999 a 60 m del settembre 2012.

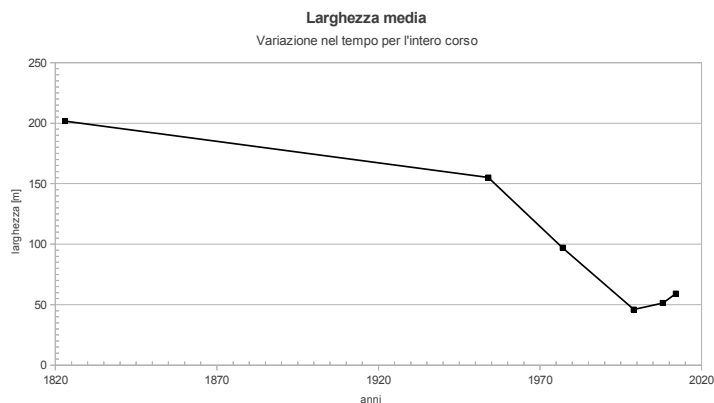


Fig. 73 - Variazione della larghezza media nel tempo.

L'allargamento è avvenuto ad opera di alcuni importanti eventi di piena che si sono succeduti dal 1999 al 2012.

Interessante è la velocità con cui si è verificato il fenomeno:

- tra il 1823 e 1954 il tasso di restringimento è piuttosto contenuto, pari a 0,4 m/anno;
- dopo il 1954 il tasso di restringimento aumenta notevolmente passando a 2,5 m/anno tra il '54 e il '77 e a 2,3 m/anno tra il '77 e il '99;
- dal 1999 al 2012 l'alveo è tornato ad allargarsi ad una velocità di circa 1m/anno.

In figura 74 è messa a confronto la stessa porzione di alveo nei periodi interessati dalle riprese aeree del 1954, 1977 e 1999.

La stessa figura permette di comprendere le modalità con cui è avvenuto il restringimento che è strettamente connesso ad un processo di incisione ed approfondimento del canale di magra e alla conseguente progressivo abbandono di molti corpi sedimentari: si vede come le barre laterali e longitudinali, nude nel 1954, diventano sempre più vegetate e, di conseguenza, sempre meno attive (e mobilitate) passando al 1999.

Si tratta di un processo che una volta innescato si autoalimenta in quanto il progressivo abbandono dei corpi sedimentari comporta un ulteriore aumento del deficit sedimentario ed in ulteriore impulso all'incisione.

La letteratura scientifica sull'argomento ha messo in evidenza come questo processo di incisione e restringimento (*narrowing and incision*) sia comune alla maggioranza dei fiumi italiani.

Il fenomeno, estremamente rapido da un punto di vista geologico, è connesso con l'antropizzazione e lo sviluppo industriale che negli ultimi 100 anni hanno vessato in particolar modo le aree di pertinenza fluviale.

Le cause principali possono essere individuate in una serie di “disturbi” antropici che hanno fortemente ridotto l'apporto sedimentario ai collettori principali ed indotto negli stessi un deficit del trasporto solido.

Analogamente a quanto mostrato dalle variazio-

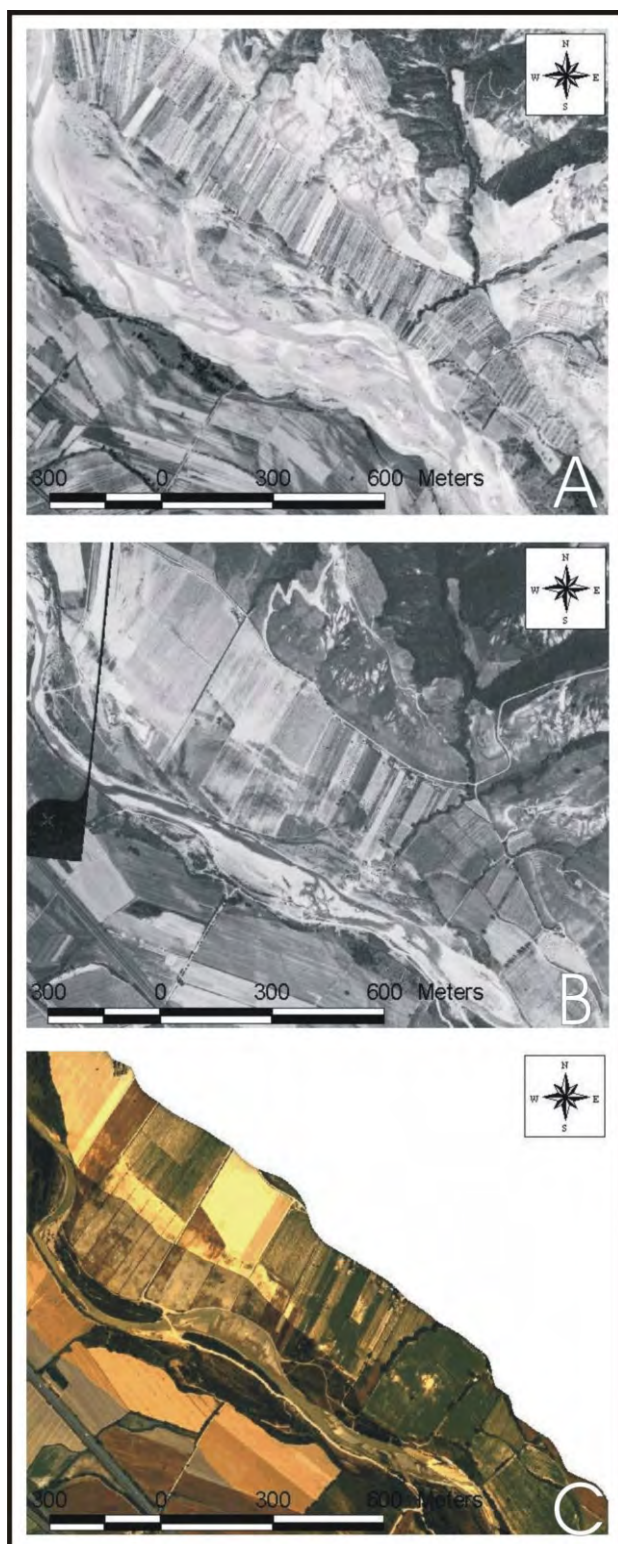


Fig. 74 - Confronto tra l'alveo del 1954 (A), del 1977 (B) e del 1999 (C).

ni di larghezza del Paglia (fig. 73), la velocità delle trasformazioni dei corsi d'acqua italiani consente di individuare diverse fasi:

1. una prima fase iniziata nel XIX in cui si sono verificati aggiustamenti (abbassamento-restringimento) meno intensi, probabilmente indotti da interventi a scala di bacino (rimboschimenti o sistemazioni idrauliche nei torrenti montani, variazioni di uso del suolo connessi all'abbandono delle campagne) ;
2. una seconda fase successiva al 1950, caratterizzata da trasformazioni molto più intense causate dalla massiccia estrazione di inerti, dalla costruzione di dighe e da interventi di canalizzazione dell'alveo;
3. infine gli studi più recenti mettono in evidenza come a partire dagli anni '90-2000 alcuni corsi d'acqua abbiano invertito il processo tramite una fase di parziale recupero morfologico.

Le trasformazioni descritte non sono avvenute in modo uniforme sul tratto in studio.

Facendo riferimento ai tratti omogenei individuati, la figura 75 mostra come le variazioni più intense hanno riguardato i tratti centrali (3, 4 e 5), cioè quelli che sino al 1954 presentavano una più spiccata tendenza all'intrecciamento (morfologia multicanale).

Si può notare inoltre come, sebbene complessivamente la larghezza media sia diminuita tra il 1821 e il 1954, nei tratti 4 e 5 si sia verificato il fenomeno opposto. In questi tratti l'alveo ha mantenuto una morfologia leggermente intrecciata.

Il primo tratto, sostanzialmente fisso, è quello che ha manifestato i cambiamenti più contenuti.

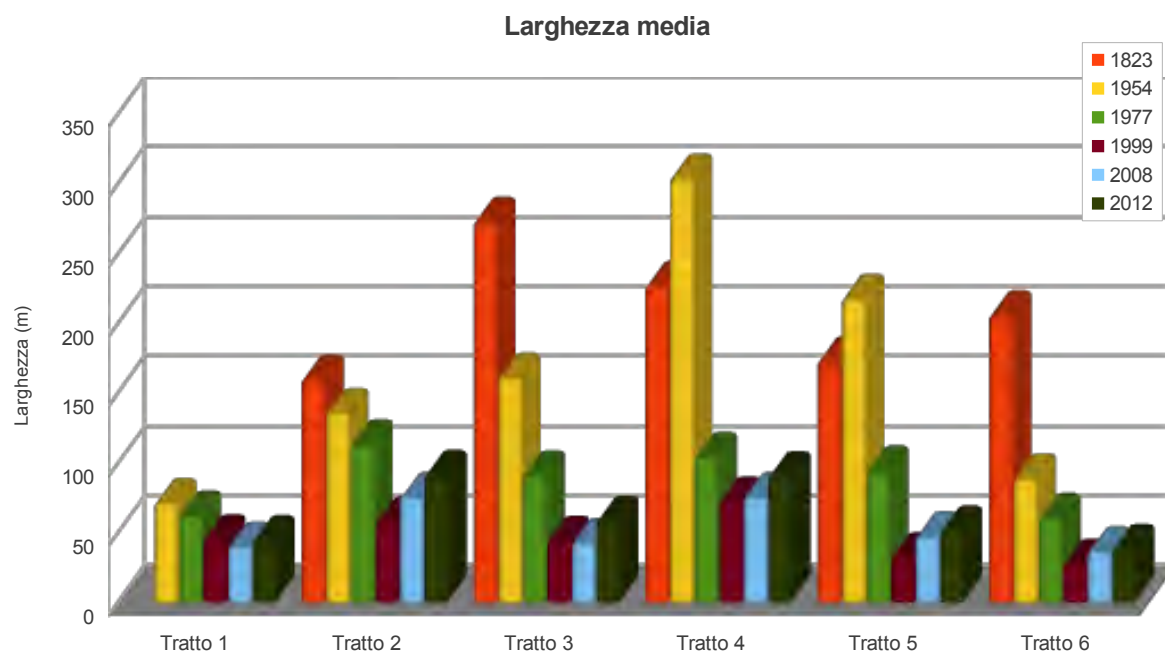


Fig. 75 - Variazione della larghezza in funzione dei tratti omogenei individuati.

Passando a considerare la velocità delle trasformazioni (fig. 76) si nota che per i tratti 3, 4 e 5 l'intensità del restringimento è maggiore nell'intervallo '54-'77, mentre nei tratti di monte e di valle

(2 e 6) è maggiore tra il '77 e il '99.

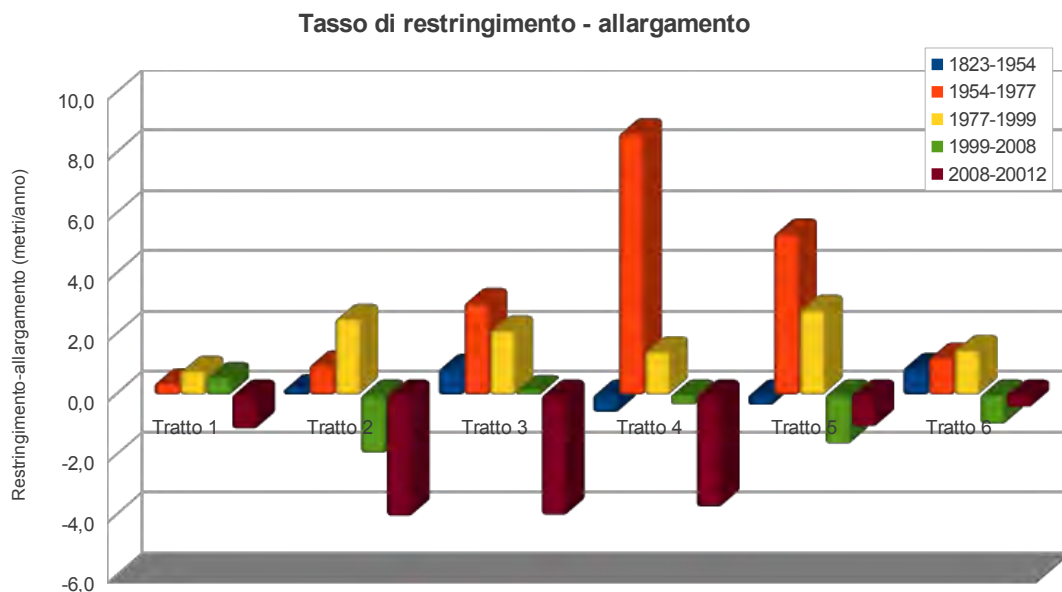


Fig. 76 - Velocità della variazione di larghezza (m/anno). I valori positivi indicano restringimento, quelli negativi allargamento.

Questo potrebbe indicare che l'estrazione di inerti dall'alveo (causa principale del fenomeno di restringimento-incisione) sia stata effettuata dopo il 1954 prevalentemente nei tratti centrali.

Indice di Intrecciamento

Per le mappe del Catasto gregoriano non è stato calcolato l'indice di intrecciamento, poiché si tratta di mappe catastali che riportano le sponde dell'alveo pieno ma non i canali di magra.

L'indice, nel primo periodo considerato ('54-'77), è aumentato leggermente (da 1,32 a 1,39), questo significa che la prima fase del restringimento è avvenuta mantenendo una certa tendenza all'intrecciamento (fig. 77).

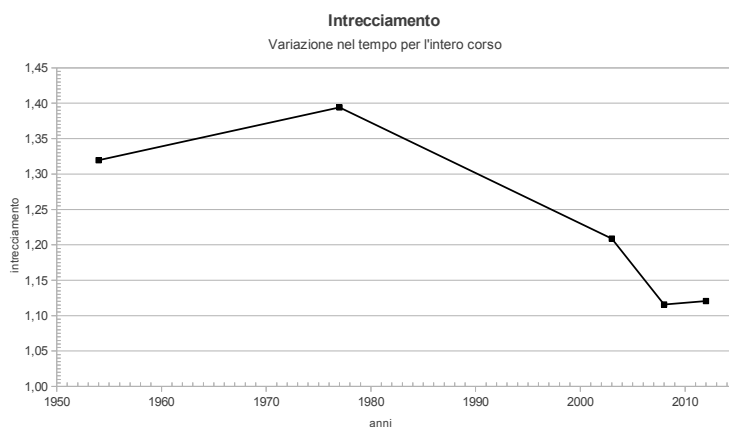


Fig. 77 - Variazione dell'indice di intrecciamento nel tempo.

Dopo di che l'indice è diminuito in maniera costante (1,21 nel 1999 e 1,12 nel 2008 e nel 2012), tanto che l'alveo nella sua condizione di alveo pieno, dal 1999 in avanti ha cambiato completamente la sua configurazione morfologica, passando ad un morfotipo a bassa sinuosità e tendente al monocanale.

La fase di allargamento rilevata nell'ultimo decennio, non si è accompagnata ad un aumento della tendenza all'intrecciamento.

Indice di sinuosità

Il parametro della sinuosità è quello che mostrato le variazioni meno significative: presenta infatti un andamento oscillante tra i valori di 1,25 (1821) e 1,19 (1954) ed è rimasto sostanzialmente costante.

Questo perché i valori di bassa sinuosità caratteristici della morfologia intrecciata, che il corso d'acqua ha mantenuto sino al 1954, sono rimasti tali anche durante le trasformazioni descritte, che hanno portato all'attuale morfologia monocanale dell'alveo in condizioni di alveo pieno.

6.6 Analisi delle variazioni altimetriche. Confronto tra sezioni trasversali (1951 – 2008) – vedi allegato 1

Al fine di ottenere informazioni di carattere storico riguardo a variazioni della quota del fondo dell'alveo del F. Paglia è stata eseguita una ricerca presso l'archivio del Genio Civile della Provincia di Terni.

La ricerca ha consentito di reperire i documenti di un progetto “Per la sistemazione del fiume Paglia dalla curva Pantano al ponte dell'Adunata” datato 1951 e redatto dall'Ing. G. di Maria. Tali documenti comprendono un rilievo topografico plano-altimetrico costituito da 5 sezioni trasversali e da una planimetria con l'ubicazione delle sezioni, punti quotati e curve di livello.

Il tratto, preso in esame dal progetto, va dalla vecchia “curva del Pantano” sino a Ponte Adunata per una lunghezza complessiva di circa 3 km (progressiva 50,5 km AdA – 53,5 km AdA).

La buona corrispondenza tra i valori di quota dei due rilievi topografici nella pianura alluvionale indica una soddisfacente attendibilità del rilievo topografico del 1951.

Tutte le informazioni altimetriche sono state vettorializzate e utilizzate per la realizzazione di un DTM, riferibile al 1951, che è stato messo a confronto con quello del 2008.

Il confronto ha consentito di analizzare, per il tratto considerato, le variazioni altimetriche subite dall'alveo del fiume Paglia negli ultimi 60 anni.

Le sezioni trasversali rilevate nel 1951 sono state messe a confronto con le sezioni estratte, nei punti corrispondenti, dal DTM dell'Autorità di Bacino del F. Tevere riferibile al 2008.

Il DTM dell'Autorità di Bacino del F. Tevere del 2008 è stato rilevato con tecniche Lidar, che non consentono di indagare il terreno al di sotto del pelo libero dell'acqua, pertanto la differenza di quota con le sezioni del 1951 è sottostimata.

I dati indicano che il fondo dell'alveo si è abbassato: i valori massimi si registrano all'inizio del tratto in corrispondenza della sezione 1, alla progressiva 50,6 km AdA (fig. 78), dove l'abbassamento è stato pari a 3,3 m; procedendo verso valle, avvicinandosi a ponte Adunata, la differenza decresce sino a 1,8 m.

In corrispondenza di Ponte Adunata (sezione 5 del rilievo del 1951) l'abbassamento del fondo è li-

mitato (0,5 m). La traversa presente 500 m a valle è stata realizzata anche con la finalità di proteggere il ponte dallo scalzamento.

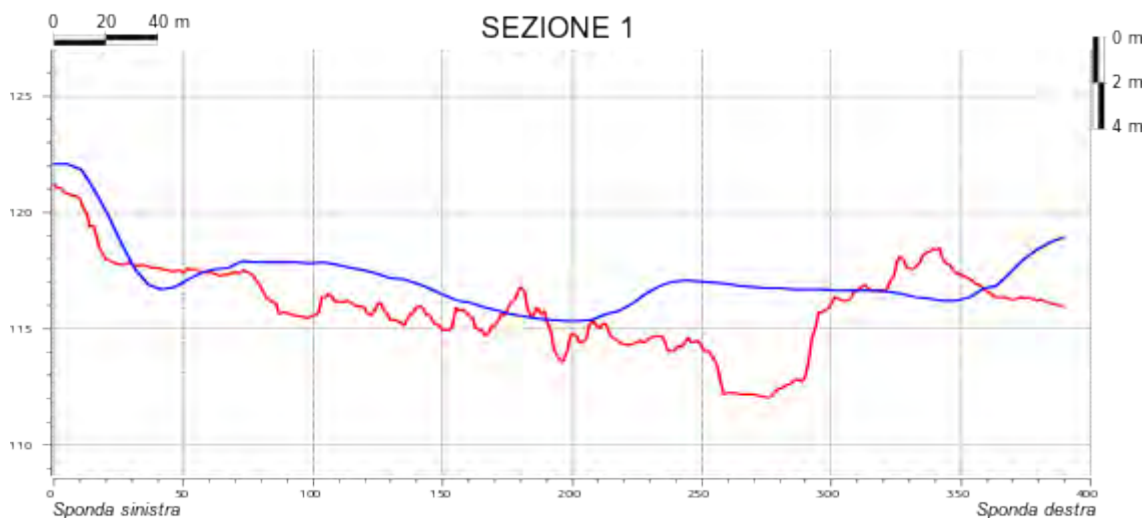


Fig. 78 - Confronto tra la sezione 1 rilevata nel 1951, in blu, e la sezione corrispondente estratta dal DTM del 2008, in rosso.

In base a quanto emerso dall'analisi delle variazioni planimetriche nonché dal rilevamento dei caratteri morfologico-sedimentari dell'alveo, si valuta che l'abbassamento nei settori di monte sia maggiore di quello registrato nella sezione 1.

Utilizzando il software GRASS GIS è stato effettuato un confronto tra il modello digitale del terreno ottenuto dal rilievo del 1951 e quello del 2008, sottraendo ai valori di elevazione del DTM 2008 quelli del 1951. Dalla mappa raster ottenuta sono stati isolati i valori negativi che rappresentano gli abbassamenti verificatisi tra il 1951 e il 2008.

Il risultato dell'operazione è mostrato in figura 79: si può notare che gli abbassamenti localizzabili nella pianura alluvionale potrebbero essere correlati all'asportazione diretta del materiale operata dall'attività estrattiva, mentre quelli evidenziati all'interno dell'alveo fluviale (compresi le barre sospese e l'alveo relitto) possono essere correlati al processo di erosione dell'alveo.

Nel tratto compreso all'interno del rilievo topografico del 1951, lungo circa 3 km, è stato calcolato che il volume perso nell'alveo ad opera dell'erosione, o comunque mancante rispetto al 1951, ammonta a circa 760.000 m³.

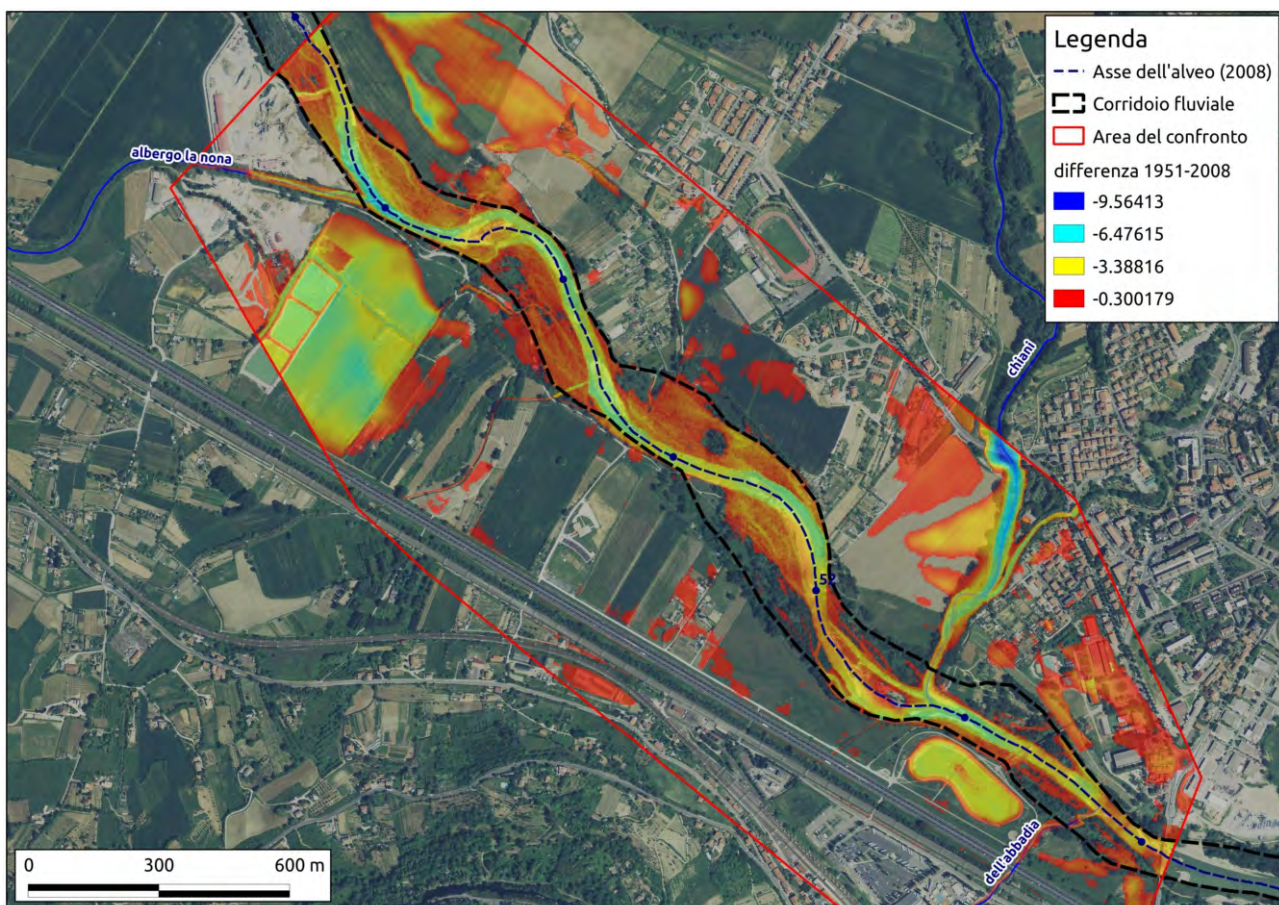


Fig. 79 - Abbassamenti evidenziati dal confronto tra il DTM del 2008 e quello del 1951.

7 CARATTERIZZAZIONE GRANULOMETRICA DEI SEDIMENTI DEL FIUME PAGLIA (ALLEGATO 2)

Per caratterizzare dal punto di vista granulometrico i sedimenti dell'alveo si fa riferimento alle seguenti campagne di campionamento, realizzate dal gruppo di ricerca di Geologia Applicata.

- **Campagna agosto – settembre 2003:** sono stati prelevati complessivamente 36 campioni, di cui 12 campioni su barra (metodo della griglia), 8 su canale (metodo del transetto) e 15 riferibili all'alveo pieno nel suo complesso (barra + canale, metodo del transetto).

La campagna ha riguardato un tratto lungo complessivamente circa 16 km, che va dal km 42,2 km AdA (350 m a valle del ponte della linea ferroviaria direttissima – OT 2), sino alla confluenza con il F. Tevere.

- **Campagna luglio 2011:** sono stati prelevati 3 campioni su barra (metodo della griglia) riferibili al tratto compreso tra il ponte della S.P. 48 (OT 1) e il ponte della linea ferroviaria direttissima (OT 2).
- **Campagna settembre 2012:** sono stati prelevati 7 campioni di cui 3 su barra (metodo della griglia e transetto, 2 su canale (metodo del transetto) e 2 riferibili all'alveo pieno nel suo complesso (barra + canale, metodo del transetto). Due dei campioni sono stati prelevati nelle stesse stazioni di campionamento della campagna 2003, al fine di confrontarne i dati.

Le tre campagne sono riferibili a diverse condizioni dell'alveo. I risultati vengono analizzati separatamente.

Il 2003, come evidenziato dall'indagine storica, rappresenta la condizione di minima attività dell'alveo: il numero e l'estensione dei corpi sedimentari nudi (ghiaiosi e attivi) è ai livelli più bassi nel periodo analizzato (1825-2012). La campagna di campionamento eseguita nel 2003 è la più estesa.

Nel 2012 la situazione è leggermente diversa probabilmente a causa delle piene verificatesi nell'inverno del 2010: alcune porzioni dell'alveo si sono riattivate tramite l'asportazione e l'erosione per scalzamento laterale, della porzione vegetata delle barre, tanto che si rileva un aumento (seppur modesto) della larghezza dell'alveo pieno e del numero e dell'estensione delle barre nude.

Pertanto le campagne del 2011 e del 2012 riflettono la distribuzione granulometrica dei sedimenti dell'alveo dopo la “riattivazione” operata dalle piene del 2010.

Le due campagne del 2011 e del 2012 sono finalizzate a validare i dati della estesa campagna effettuata nel 2003.

In particolare le stazioni di campionamento “D2” e “D3” della campagna 2012 coincidono con quelle dei campioni “7 totale” e “6 totale” dalla campagna 2003.

I campioni “D2” (2012) e “7 totale” (2003) sono localizzabili in corrispondenza della progressiva 43,2 km AdA. Il confronto fra i fusi granulometrici dei due campioni evidenzia come le granulometrie del 2012 siano leggermente maggiori: il D_{50} è passato da 82,2 a 90,5 mm.

Il campione più recente è molto più eterogeneo: la deviazione standard è più che raddoppiata, passando da 52,2 (2003) a 109,4 m (2012).

La situazione è diversa per i campioni “D3” (2012) e “6 totale” (2003), localizzabili alla progressiva 45,5 km AdA: i parametri della tendenza centrale del campione più recente D3 presentano valori più bassi di quelli del campione 7 totale – la media è passata da 91,1 mm (2003) a 85,3 mm (2012)

mentre la mediana (D_{50}) è passata da 75,6 a 49,5 mm; come per il confronto precedente, il campione del 2012 è più eterogeneo e meno classato di quello del 2003 (la deviazione standard passa da 59,4 a 82,6 mm) tanto che per i sedimenti più grossolani la tendenza è invertita: il D_{90} è passato dai 181 mm del 2003 a 209,9 mm del 2012.

Campagna agosto – settembre 2003

Nome	Anno di prelievo	Progr. asse alveo (km)	Unità morfo-sed	Numero di clasti	Media (mm)	D90 (mm)	D50 (mm)	D10 (mm)	Dev. St (mm)	Skewness	Kurtosis
29 barra	2003	42,2	Barra	103	112,5	278,5	51,8	19,0	124,5	2,2	9,5
29 canale	2003	42,2	Canale	77	215,6	348,4	179,9	93,8	116,6	1,5	7,8
29 totale	2003	42,2	Barra + canale	180	156,6	329,1	131,8	26,9	131,5	1,5	6,6
9 canale	2003	42,5	Canale	51	110,3	230,2	94,3	16,3	82,1	0,6	2,3
8 totale	2003	42,9	Barra + canale	106	123,2	229,1	90,5	31,4	113,4	3,4	19,9
7 totale	2003	43,2	Barra + canale	92	91,4	162,6	81,2	35,3	52,3	1,2	5,1
30 barra	2003	43,6	Barra	91	114,6	222,8	86,5	19,4	123,1	3,4	17,8
23-barra	2003	44,5	Barra	96	57,4	120,5	43,6	14,7	42,9	1,3	4,5
6-totale	2003	45,5	Barra + canale	90	91,1	181,0	75,6	30,4	59,4	0,8	2,7
6-barra	2003	45,7	Barra	78	120,9	213,5	113,9	40,4	62,5	0,5	2,7
5-canale	2003	46,0	Canale	115	79,1	184,4	51,3	15,6	71,3	1,7	7,2
4-barra	2003	46,5	Barra	97	56,4	112,0	42,9	18,6	38,8	1,5	5,5
2-tot	2003	46,8	Barra + canale	127	48,7	84,0	37,8	16,7	47,9	4,9	36,2
28-barra	2003	47,0	Barra	76	116,2	224,6	94,3	31,1	79,6	1,2	5,1
22-barra	2003	47,8	Barra	101	73,9	153,6	53,2	25,3	56,3	1,7	6,0
27 barra	2003	49,1	Barra	99	60,8	110,2	44,4	17,9	47,6	1,9	6,7
13 tot	2003	49,5	Barra + Canale	105	70,9	142,7	54,6	23,1	52,5	1,7	6,7
12 barra	2003	49,8	Barra	101	64,9	120,7	46,0	26,9	41,3	1,5	5,3
12 tot	2003	49,9	Barra + Canale	90	73,9	136,8	57,2	20,8	60,3	2,9	16,0
11 tot	2003	50,3	Barra + Canale	83	57,2	121,0	44,9	17,2	39,5	1,2	3,6
10 tot	2003	50,8	Barra + Canale	52	104,7	203,5	82,6	37,3	65,7	0,9	3,3
26 barra	2003	51,2	Barra	100	48,3	85,8	40,8	18,0	28,8	1,3	5,2
21 tot	2003	51,7	Barra + Canale	112	74,5	151,1	58,0	30,8	49,0	1,3	4,3
17 tot	2003	53,0	Barra + canale	100	53,0	107,2	41,0	17,5	38,1	1,7	6,2
16 tot	2003	53,9	Barra + canale	90	43,7	78,3	39,2	11,3	29,6	2,5	14,5
15 canale	2003	54,4	Canale	90	48,1	107,2	30,8	10,0	41,1	1,5	5,5
14 tot	2003	54,6	Barra + canale	91	161,8	347,4	99,9	21,4	169,2	2,1	7,7
20bis tot	2003	56,0	Barra + canale	101	209,4	362,0	188,8	60,3	143,0	1,8	7,8
20 canale	2003	56,9	Canale	95	168,4	370,3	129,9	13,1	193,8	3,8	26,6
1_totcorrettografini	2003	57,5	Barra+canale	67	258,3	758,7	109,3	22,0	308,6	1,6	5,7
25 barra	2003	58,0	Barra	82	71,1	117,5	67,2	34,9	32,1	0,7	3,1
19 canale	2003	58,3	Canale	77	185,1	338,2	182,7	55,4	108,8	0,6	2,7
18 canale	2003	58,6	Canale	105	221,3	432,8	207,0	27,3	150,2	0,5	3,1

Tabella 19: Principali parametri statistici dei campioni granulometrici, prelevati nella campagna 2003.

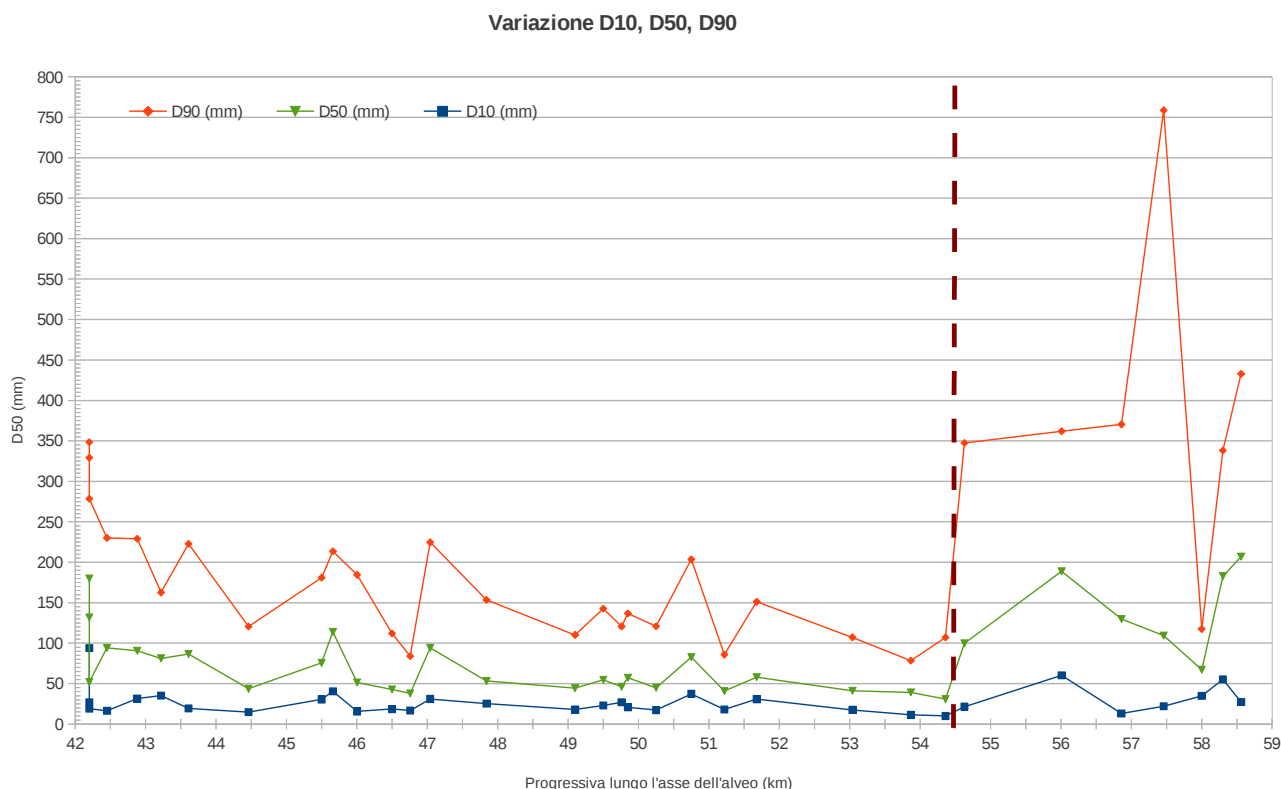


Fig. 80 - Variazione del 10°, 50° e 90° percentile in funzione della distanza lungo l'asse dell'alveo.

La tabella 19 riporta i valori dei principali parametri statistici dei campioni prelevati nell'estate del 2003, mentre in figura 80 sono stati plottati i percentili D_{10} , D_{50} e D_{90} da monte a valle lungo l'asse dell'alveo.

Il tracciato del F. Paglia oggetto del presente studio può essere suddiviso, in base alle granulometrie d'alveo rilevate, in tre tratti.

Il primo tratto, dalla progressiva 30 alla progressiva 38,5 km AdA, dove sono presenti rare barre di meandro “residuali”; ovvero con granulometria di poco inferiore a quella del canale di magra.

Tali barre si sono riformate nella fase discendente dell'ultima piena rilevante. Durante il picco di piena anche le parti interne alle curve prendono parte al trasporto solido di fondo.

Tali barre non riescono ad accrescersi in quanto la sponda esterna alla curva non riesce ad essere erosa in misura sufficiente.

Nella parte intermedia dal km 38,5 AdA sino al km 54,5 AdA, la granulometria è caratterizzata da valori più bassi e il trend è in diminuzione da monte verso valle. Tutto ciò si verifica in un tratto in cui la pianura alluvionale è piuttosto ampia e dove i versanti in sinistra idrografica, ai quali l'alveo principale è frequentemente addossato, sono costituiti da litotipi incoerenti o pseudocoerenti, prevalentemente sabbioso-argillosi.

La tendenza alla diminuzione delle granulometrie (prima parte del grafico) è ben nota in letteratura. I cambiamenti da monte verso valle nelle caratteristiche dei materiali dell'alveo, rappresentano un elemento tipico del processo di trasporto: come cambiano la pendenza dell'alveo del fiume e la portata, andando da monte verso valle, così cambiano la taglia e la distribuzione granulometrica dei sedimenti.

Due processi sono essenzialmente responsabili della diminuzione delle granulometrie: il processo di selezione e quello di abrasione.

Il grafico in figura 80 evidenzia come ci siano diversi punti di massimo relativo. Questi sono dovuti essenzialmente alla rimovimentazione del materiale nel canale ad opera dell'erosione delle sponde, che produce degli incrementi locali delle dimensioni dei sedimenti; infatti, i dati indicano che, in questo primo tratto, i massimi non sono generalmente causati dagli apporti laterali dei principali affluenti: i campionamenti eseguiti in corrispondenza delle confluenze hanno mostrato come le dimensioni granulometriche dei sedimenti apportati dai tributari siano circa uguali a quelle del materiale che transita nell'alveo.

Fa eccezione la confluenza con il Fosso dei Frati dove il campione prelevato sulla barra di confluenza (campione “5 barra”, progressiva 45,7 km AdA) presenta una granulometria maggiore di quella del campione prelevato, tramite transetto, 200 metri a monte e riferibile all'alveo nel suo complesso (campione “6 totale”, progressiva 45,5 km AdA).

Il grafico di figura 80 mostra che a partire dal km 54,5 AdA lungo l'asse dell'alveo si rileva un netto aumento della dimensione dei sedimenti nell'alveo del fiume. Questo incremento si verifica nell'ultima parte del tratto di studio, corrispondente all'incirca agli ultimi due tratti omogenei individuati (tratti 5 e 6).

Il fiume lambisce entrambi i versanti e le granulometrie più grossolane, riscontrate nel canale di magra, provengono dai versanti stessi attraverso diversi meccanismi.

La fonte principale è costituita dagli apporti laterali dei tributari che, in questo tratto, incidono litotipi più competenti dei sedimenti plio-pleistocenici del tratto di monte: gli affluenti in riva sinistra interessano con il loro bacino idrografico le formazioni flyschoidi e calcaree della struttura del Monte Piatto, mentre gli affluenti di destra drenano i litotipi basaltici, piroclastici e travertinosi delle formazioni vulcaniche e continentali dei versanti meridionali.

Esaminando la seconda parte del grafico (fig. 80), si può notare che c'è un punto in cui le curve di variazione dei percentili scendono e tornano ad essere in linea i valori della prima parte (progressiva 58,0 km AdA). È l'unico caso (in questo secondo tratto) in cui la granulometria è relativa ad una barra. L'osservazione è confermata dal grafico di figura 81 in cui i valori della mediana (D_{50}) sono diagrammati distinguendo tra i campioni prelevati sulle barre e quelli prelevati nel canale di magra: i campioni prelevati sul canale di magra evidenziano l'incremento dei valori sopracitato, al contrario dei campioni riferibili alle barre, che si mantengono in un range piuttosto costante.

Quanto osservato, evidenzia che il canale è corazzato ad opera di sedimenti estremamente grossolani, e poco mobili, provenienti dai versanti, mentre i clasti della barra (campione “25 barra”) costituiscono il materiale che effettivamente si mobilita durante le piene e sono, pertanto, rappresentativi del trasporto solido al fondo.

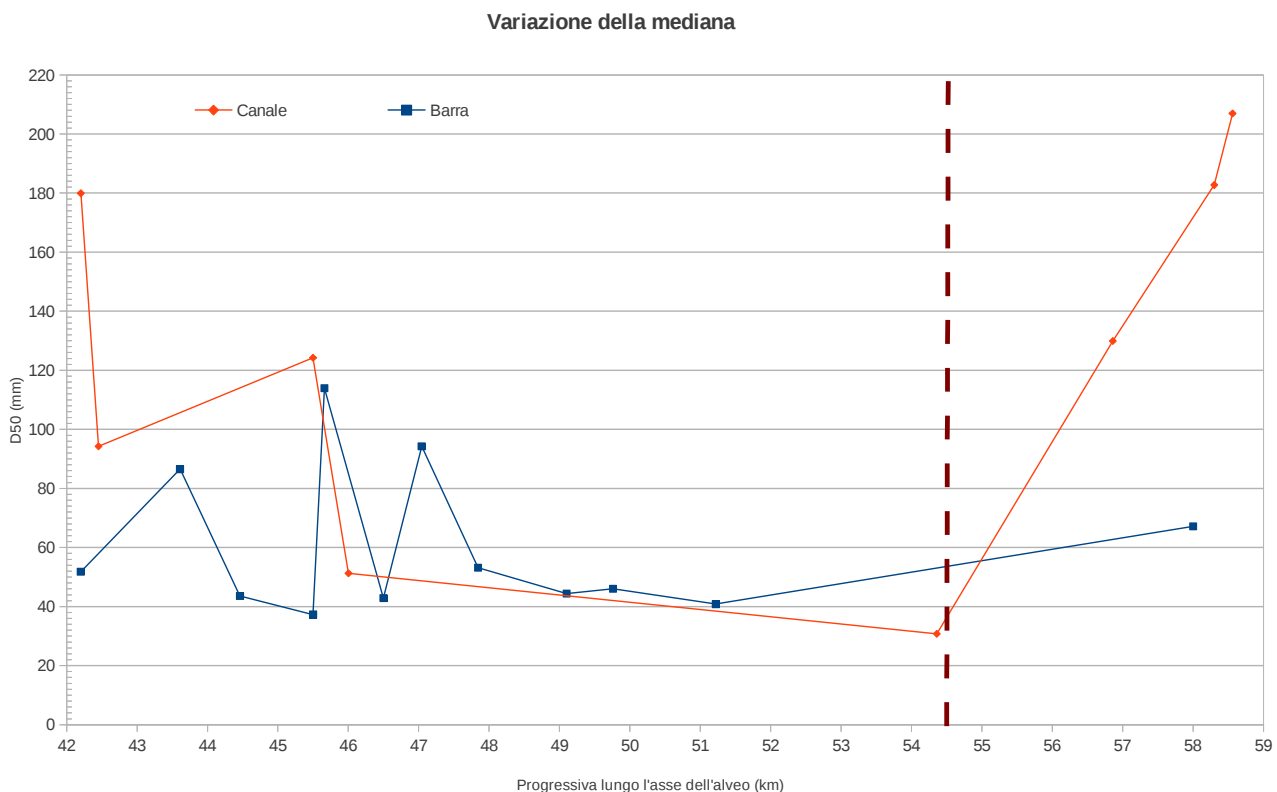


Fig. 81 - Variazione della mediana in funzione della distanza lungo l'asse dell'alveo.

Nelle altre stazioni di campionamento di questo secondo tratto, tutte riferibili al canale di magra, si riscontrano fusi granulometrici con distribuzione bimodale.

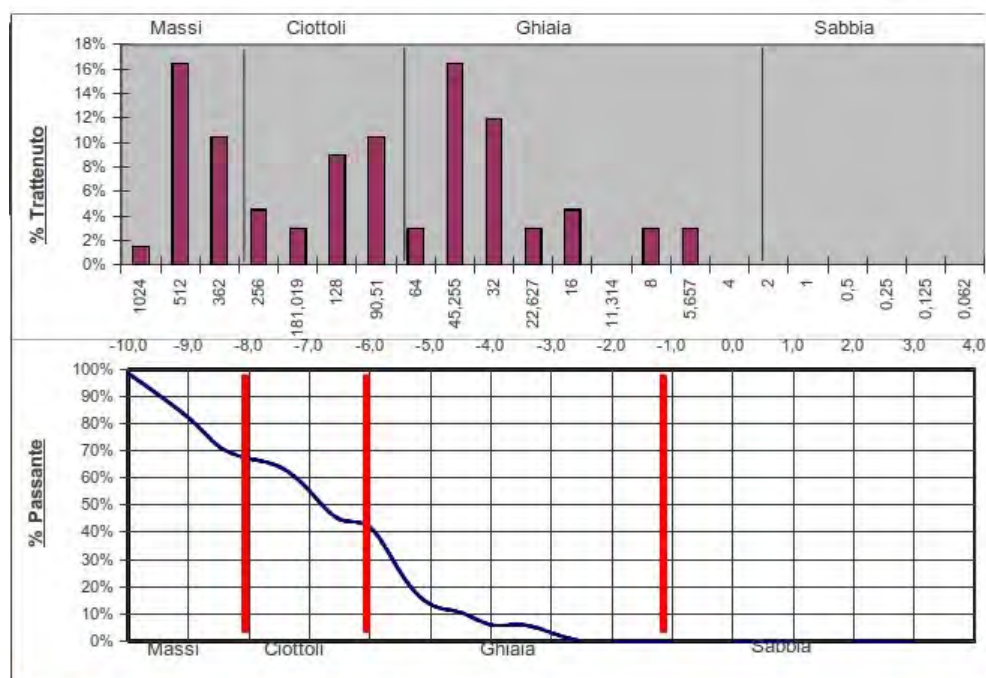
La moda più fine corrisponde al materiale dell'alveo del fiume che è mobile e mobilizzabile e che infatti è simile per diametro alle granulometrie meno grossolane del tratto a monte: si tratta dei sedimenti che transitano e provengono dalle aree a monte.

La moda più grossolana corrisponde ai sedimenti provenienti dai versanti: si tratta di massi difficilmente mobilizzabili, se non durante piene eccezionali. Questi materiali contribuiscono ad aumentare in maniera rilevante la scabrezza del canale, con importanti conseguenze per quanto riguarda il flusso della corrente negli eventi di piena.

A questo proposito è significativa la distribuzione granulometrica del campione prelevato in corrispondenza del km 57,5 AdA (transetto – fig. 82) dove si può notare la chiarissima distinzione fra le due mode, quella relativa al materiale più fine (ghiaia e ciottoli) che costituisce il trasporto solido al fondo, e quella relativa a materiale molto più grossolano (massi) proveniente dal versante in sinistra idrografica, che resta in sito, ma che contribuisce comunque a rifornire di materiale il fiume subendo un'azione di abrasione.

Campione numero =			1-totcorrettograni		Dist. lungo l'asse dell'alveo			Collocazione: Zona sezione
Numero ciottoli			67	Note:				
phi	mm	cumulativo	trattenuto	perc.cumulativo	perc. trattenuto	perc. passante	3	
-10,0	1024	1	1	1,493%	1,493%	98,507%		
-9,0	512	12	11	17,910%	16,418%	82,090%		
-8,5	362	19	7	28,358%	10,448%	71,642%		
-8,0	256,000	22	3	32,836%	4,478%	67,164%		
-7,5	181,019	24	2	35,821%	2,985%	64,179%		
-7,0	128,000	30	6	44,776%	8,955%	55,224%		
-6,5	90,510	37	7	55,224%	10,448%	44,776%		
-6,0	64,000	39	2	58,209%	2,985%	41,791%		
-5,5	45,255	50	11	74,627%	16,418%	25,373%		
-5,0	32,000	58	8	86,567%	11,940%	13,433%		
-4,5	22,627	60	2	89,552%	2,985%	10,448%		
-4,0	16,000	63	3	94,030%	4,478%	5,970%		
-3,5	11,314	63	0	94,030%	0,000%	5,970%		
-3,0	8,000	65	2	97,015%	2,985%	2,985%		
-2,5	5,657	67	2	100,000%	2,985%	0,000%		
-2,0	4,000	67	0	100,000%	0,000%	0,000%		
-1,0	2,000	67	0	100,000%	0,000%	0,000%		
0,0	1,000	67	0	100,000%	0,000%	0,000%		
1,0	0,500	67	0	100,000%	0,000%	0,000%		
2,0	0,250	67	0	100,000%	0,000%	0,000%		
3,0	0,125	67	0	100,000%	0,000%	0,000%		
4,0	0,062	67	0	100,000%	0,000%	0,000%		
			67		100,000%			

NOTE: il campionamento viene effettuato sulla base di due transeetti. Questo dato è depurato dalle granulometrie più fini



	Media	D90	D50	D10	Dev. St	Skewness	Kurtosis
mm	258,34	758,69	109,26	21,96	308,61	1,64	5,74

Fig. 82 - Distribuzione granulometrica relativa al campione 1 tot, progressiva 57,5 km.

8 CARATTERI DELLE SEZIONI TRASVERSALI

La misura dei principali parametri morfologico-sedimentari e idraulici dell'alveo del F. Paglia nella condizione attuale è stata effettuata sulla base delle 29 sezioni trasversali, estratte dal modello digitale del terreno (risoluzione 1 metro) dell'Autorità di Bacino del F. Tevere, riferibile all'anno 2008 (vedi allegato 1).

Nel tratto a monte del Ponte Adunata, compreso tra le progressive 50,5 e 53,0 AdA, sono disponibili diverse sezioni rilevate dal Genio Civile nel 1951, dal Consorzio per la Bonifica della Valdichiana Romana e la Val di Paglia nel 2009 e estrapolate dal rilievo LiDAR dell'AdB del Fiume Tevere del 2008.

L'analisi dei dati delle sezioni relative al tratto su indicato e riferite a diversi periodi è riportata nel capitolo relativo all'indagine storica.

I dati delle singole sezioni sono riportati nelle tabelle relative ai singoli tratti e in allegato 1.

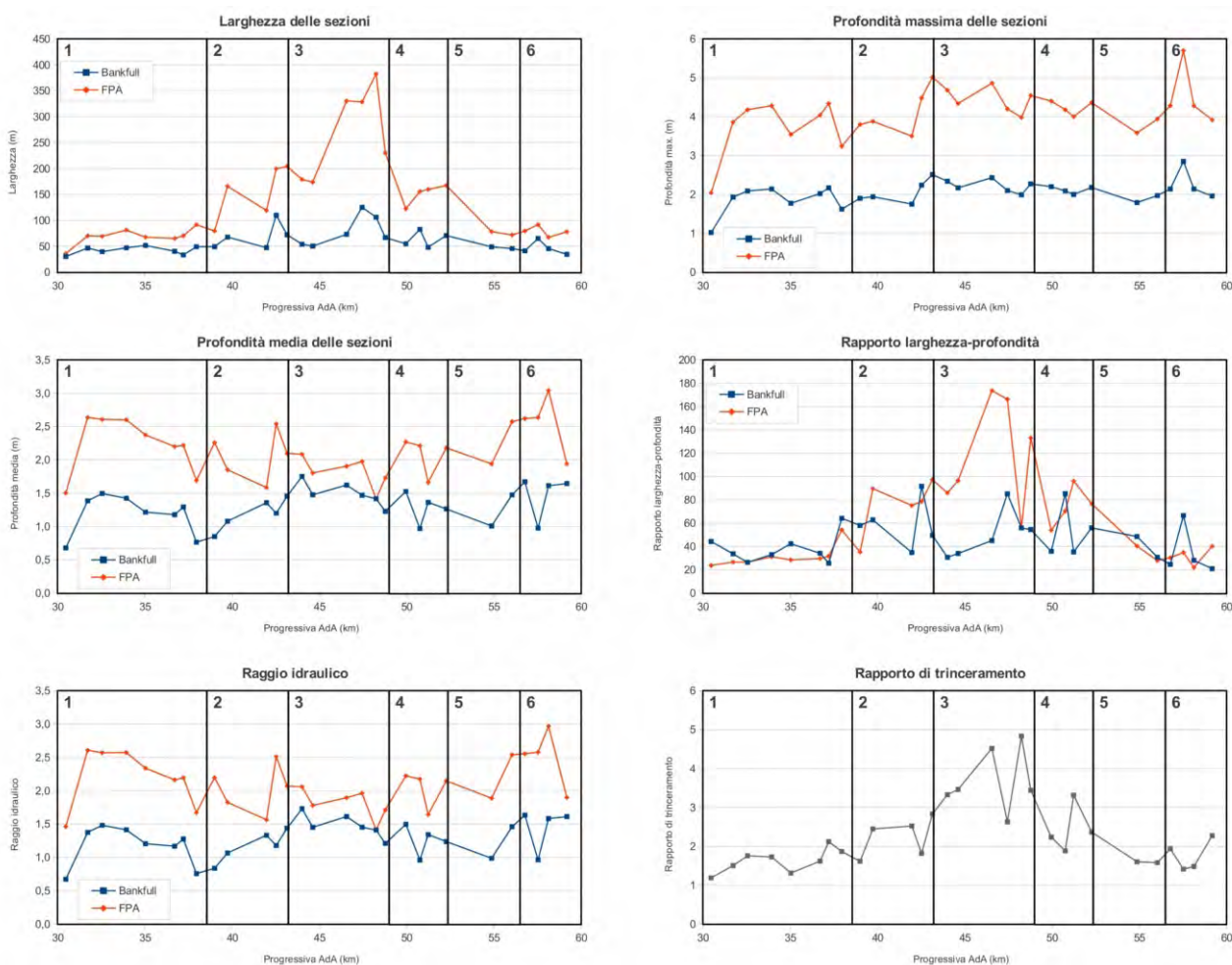
Nella tabella che segue sono indicati i valori medi dei parametri delle sezioni relativi ad ogni tratto caratteristico. Nella stessa tabella sono indicati anche i valori medi di pendenza dell'alveo, della valle, il D₅₀ del canale di magra e il D₅₀ delle barre.

TRATTO		1	2	3	4	5	6	Medie
Larghezza (m)	Bankfull	42,15	69,22	79,19	64,03	47,17	46,47	58,0
	FPA	68,86	153,57	270,63	151,10	75,02	79,16	133,1
Profondità max (m)	Bankfull	1,85	2,07	2,22	2,12	1,88	2,27	2,1
	FPA	3,69	4,14	4,43	4,24	3,76	4,55	4,1
Profondità media (m)	Bankfull	1,18	1,19	1,49	1,28	1,24	1,48	1,3
	FPA	2,23	2,07	1,82	2,08	2,26	2,56	2,2
Rap. Largh-prof med	Bankfull	37,98	59,35	50,89	53,10	39,68	35,07	46,0
	FPA	31,52	75,17	118,53	74,23	34,13	31,89	60,9
Area bagnata (mq)	Bankfull	50,18	83,08	112,72	79,59	58,12	65,44	74,9
	FPA	155,55	321,85	517,11	312,60	168,21	201,52	279,5
Perimetro bagnato (m)	Bankfull	42,55	70,24	79,97	65,08	47,90	47,28	58,8
	FPA	69,79	155,70	272,65	153,36	76,57	81,00	134,8
Raggio idraulico (m)	Bankfull	1,17	1,17	1,48	1,26	1,22	1,45	1,3
	FPA	2,20	2,03	1,80	2,05	2,21	2,50	2,1
Rap. Trinceramento		1,64	2,25	3,70	2,45	1,59	1,77	2,23
Pendenza alveo (% - media tratto)		0,62	0,55	0,35	0,25	0,22	0,37	0,39
Pendenza valle (% - media tratto)		0,79	0,78	0,42	0,36	0,22	0,47	0,51
D50 barre (mm)		112,7	80,3	67,4	43,7	0	74,3	63,1
D50 canale (mm)			135,5	87,8	59,5	79,9	105,4	93,6
Sinuosità		1,18	1,86	1,11	1,11	1,12	1,09	1,25

8.1 Descrizione dei parametri morfologici delle sezioni trasversali attuali in condizioni di *bankfull* (Bankfull) e di *flood-prone area* (FPA)

Come precedentemente indicato, i parametri morfologici delle sezioni sono: la larghezza, le profondità massima e media, il rapporto larghezza/profondità media, il raggio idraulico e il rapporto di trinceramento.

Con riferimento ai dati tabellari inseriti nella descrizione di ogni singolo tratto caratteristico, si riportano di seguito, per ogni singolo parametro, i grafici che rappresentano la loro variabilità da monte a valle nei diversi tratti caratteristici.



A commento dei grafici si formulano alcune considerazioni preliminari:

- 1) I valori numerici della profondità media e del raggio idraulico, come è evidente considerando che le sezioni sono corrispondenti a forme “schiacciate”, sono del tutto simili; pertanto, è indifferente considerare l'uno o l'altro parametro.
- 2) La profondità massima relativa allo stato di *bankfull* è sostanzialmente costante, attorno a 2 metri, con la profondità media, anch'essa poco variabile, attorno a 1,3 metri lungo tutto il Basso Paglia, indipendentemente dal variare degli altri parametri considerati. La bassa varia-

bilità della profondità media è indicativa del fatto che le portate di *bankfull*, nello stato attuale dell'alveo in approfondimento, vengono contenute ovunque dal canale di magra sinuoso, senza mai interessare la parte *braided* dell'alveo.

- 3) La differenza tra le due profondità è in relazione non tanto al tipo di alveo, quanto piuttosto ai caratteri dei corpi sedimentari che determinano forme di fondo con altezze variabili da 1 a 2 metri sopra le quote del canale di magra.

Il **tratto 1** presenta una larghezza di *bankfull* bassa e una piccola differenza tra larghezza di *bankfull* e di *flood-prone area*; le profondità medie di Bankfull e FPA sono molto diverse; il rapporto larghezza/profondità è quasi invariato tra Bankfull e FPA. Tali condizioni corrispondono ad un alveo trincerato, monocanale che si mantiene tale anche per grandi portate.

I **tratti 2, 3 e 4** presentano le maggiori larghezze, con grandi differenze tra la larghezza di Bankfull e la larghezza di FPA; presentano i maggiori rapporti larghezza/profondità media e minore trinceramento. Sono questi i tratti dove l'alveo è più instabile, più mobile e dove più evidente è la sua doppia dinamica: come alveo sinuoso, monocanale, per piene con tempi di ritorno simili all'alveo pieno e come alveo intrecciato per piene di forte intensità. Il suo limitato trinceramento è in aumento, a causa dell'erosione del canale di magra principale, dovuta sia allo stato di deficit sedimentario, sia alla presenza di argilla costituente il bedrock.

Il **tratto 5** è un tratto di raccordo tra la parte a monte, mobile e instabile, e il tratto finale, di valle, che è simile al tratto 1, con un trinceramento e una mobilità bassi.

9 CARATTERI DEL PROFILO LONGITUDINALE

Il profilo longitudinale dell'alveo dell'intero corso del F. Paglia, con l'indicazione del tratto di studio, insieme con i profili longitudinali dei suoi principali affluenti, è riportato in figura 83.

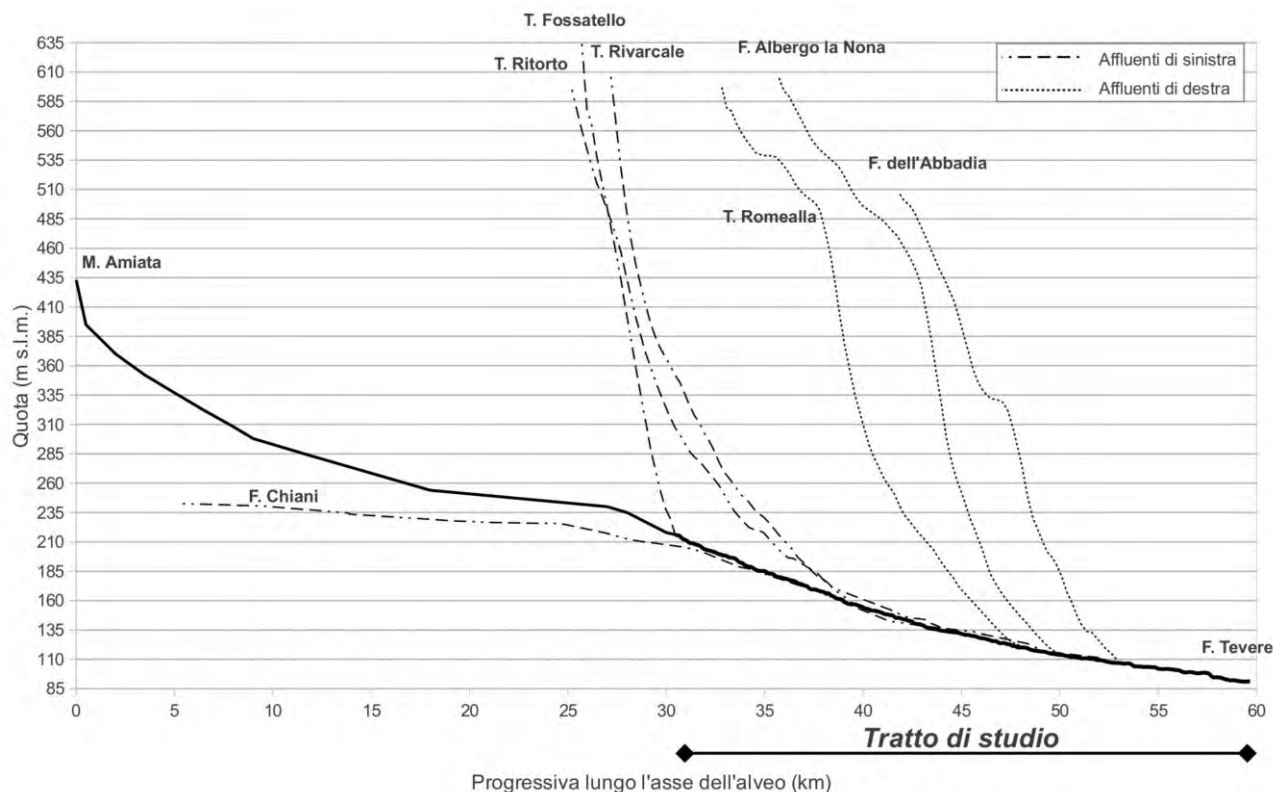


Fig. 83 - Profili longitudinali del F. Paglia e dei suoi principali affluenti. E' indicato anche il tratto di studio.

Le pendenza medie dell'alveo e della valle di ogni tratto caratteristico sono riportate nella tabella che segue:

Tratto caratteristico	1	2	3	4	5	6
Pendenza % alveo	0,62	0,55	0,35	0,25	0,22	0,37
Pendenza % valle	0,79	0,78	0,42	0,36	0,22	0,47

Gli elementi di interesse sono essenzialmente due:

- 1) la pendenza del tratto studiato, sia dell'alveo sia della valle, diminuisce verso valle, come di norma, ad eccezione dell'ultimo tratto, nel quale aumenta. Tale diversità presumibilmente dipende dall'evoluzione dell'alveo del F. Tevere e da fattori tettonici;
- 2) con riferimento all'intero profilo longitudinale del F. Paglia, si nota che, alla progressiva 30,0 km AdA, punto più a monte del tratto in studio, vi è un aumento di pendenza del tratto

a valle.

La diversa pendenza dovrebbe determinare una diversa e minore capacità di trasporto del tratto a monte rispetto al tratto di valle. Il tratto a valle è interessato da granulometrie molto grossolane (massi) e dalla presenza di barre ben sviluppate, mentre nel tratto a monte sono praticamente assenti sia i sedimenti grossolani che i corpi sedimentari, cosa che apparentemente è in contrasto con quanto appena detto. La presenza di sedimenti grossolani nella parte bassa del tratto si spiega considerando che la “sorgente” di sedimenti grossolani non è il bacino più a monte del F. Paglia (i sedimenti grossolani sono assenti a monte della confluenza con il T. Fossatello), ma è lo stesso T. Fossatello e le frane di versante che interessano direttamente l'alveo del F. Paglia a valle di tale confluenza.

L'assenza di sedimenti grossolani a monte della confluenza con il T. Fossatello non si spiega con un eccesso di capacità di trasporto dell'alveo del F. Paglia nel settore di monte (a valle della confluenza, dove la capacità di trasporto è maggiore, vi sono sedimenti grossolani), ma con l'assenza di sedimenti grossolani prodotti e trasportati dal F. Paglia, nel settore di monte, fino al T. Fossatello.

10 CLASSIFICAZIONE DELL'ALVEO

10.1 Classificazione di Rosgen

Secondo la classificazione analitica di Rosgen (1996), precedentemente descritta (cap. 2.4.1), il Basso Paglia, nel suo insieme e in condizioni di alveo pieno, è classificabile in una categoria intermedia tra C3 e C4.

I suoi tratti caratteristici sono così classificabili:

Tratto 1 = C1 - C2

Tratti 2, 3, 4 = C3

Tratti 5, 6 = B3c - B4c

Gli alvei di **tipo C** sono caratterizzati da:

- pendenza minore del 2%;
- rapporto di trinceramento maggiore di 2,2;
- rapporto larghezza/profondità maggiore di 12;
- sinuosità maggiore di 1,2
- presenza di barre di meandro;
- presenza di riffles and pools;
- canale di magra ben definito;
- pianura ampia, con presenza di terrazzi fluviali

Il sottotipo **C1** è caratterizzato da bedrock affiorante.

Il sottotipo **C2** è caratterizzato dalla presenza di sedimenti di grandi dimensioni, fino ai massi.

Il sottotipo **C3** è caratterizzato dalla presenza di ciottoli.

Gli alvei di **tipo B** sono caratterizzati da:

- trinceramento moderato;
- presenza di riffles con rare pools;
- sponde stabili e minore “mobilità” rispetto al tipo C.

Gli alvei di **tipo C** sono molto sensibili a disturbi e a condizionamenti esterni; hanno moderato trasporto solido di fondo; sponde molto instabili; sono influenzati dall'effetto della vegetazione che può essere anche di tipo arboreo.

Gli alvei di **tipo B** presentano una minore sensibilità a disturbi esterni rispetto al tipo C; presentano gli stessi caratteri di trasporto solido del tipo C; una maggiore stabilità delle sponde e un controllo da parte della vegetazione più moderato rispetto al tipo C.

Lo stesso Basso Paglia, in condizioni di livelli idrometrici corrispondenti alla *flood-prone area*, cambia al **tipo D** che corrisponde ad un alveo con canale intrecciato, con barre longitudinali e trasversali, molto largo, con sponde erodibili.

10.2 Classificazione di Miall (1985), modificata

Con riferimento a quanto indicato nel paragrafo 2.4, l'alveo del Basso Paglia è classificabile in una categoria intermedia tra intrecciato e sinuoso a bassa sinuosità, definibile come “divagante” (*wandering*).

11 CARATTERI SINUOMETRICI

- Il Basso Paglia, nel suo insieme, presenta una sinuosità da bassa a molto bassa. Solo il settore compreso tra le progressive 36,5 km AdA e 44,0 km AdA presenta una sinuosità superiore a 1,2, che raggiunge il valore massimo di 1,8. In questo settore sono presenti grandi curve con semilunghezze d'onda superiori a 1.000 metri, semiampiezze d'onda attorno ai 400 metri, raggi di curvatura equivalenti attorno a 700 metri e angoli di flesso molto aperti, attorno a 53°.
- A monte della progressiva 36,5 km AdA, la sinuosità è limitata dalla forma della valle a “V”, quasi priva di pianura fluviale. La sinuosità è di poco inferiore a 1,2; le semilunghezze d'onda sono attorno ai 700 metri, le semiampiezze d'onda attorno ai 150 metri, raggi di curvatura equivalenti attorno a 500 metri e angoli di flesso piuttosto variabili, inferiori a 45° e comunque notevolmente aperti.
- A valle della progressiva 44,0 km AdA è presente un settore pressoché rettilineo, fino alla progressiva 45,0 km AdA.
- Dalla progressiva 45,0 km AdA alla progressiva 49,0 km AdA, la sinuosità si mantiene sempre al di sotto del valore di 1,2. È presente una serie di piccole curve, con semilunghezza, semiampiezza e raggio di curvatura notevolmente bassi e che diminuiscono verso valle. Gli angoli di flesso sono tutti piuttosto chiusi, salvo quello in corrispondenza del F.so dei Frati (progressiva 45,5 km AdA). Tale angolo è più aperto, perché condizionato da una scogliera di forma circolare, che devia il canale di magra fino a portarlo quasi trasversale all'asse della valle ed al canale di magra più a valle.
- È da notare che in questo settore, in passato (1900-1930) la sinuosità era molto maggiore (attorno a 2,0). Erano presenti grandi meandri, più ampi che lunghi e con angoli di flesso molto aperti (meandri molto sviluppati). Si ipotizza che tali meandri si possano essere così sviluppati in seguito ad un lungo periodo privo di grandi piene e che, comunque, siano stati tagliati durante grandi piene successive a tale periodo.
- Dalla progressiva 49,0 km AdA alla progressiva 56,0 km AdA, la sinuosità continua ad essere molto bassa e comunque inferiore a 1,2; le semilunghezze simili ai tratti di monte, mentre le semiampiezze diminuiscono fino ad un minimo di 34 metri, con valore medio attorno a 90 metri; il raggio di curvatura aumenta verso valle e gli angoli di flesso si mantengono chiusi e comunque inferiori a 45°.
- A valle della progressiva 56,0 AdA fino alla confluenza con il F. Tevere, la sinuosità è quasi assente (1,09); ampie sono le semilunghezze d'onda; limitate le semiampiezze e relativamente alti i raggi di curvatura; molto chiusi, infine, gli angoli di flesso. La situazione è molto vicina a quella di un alveo rettilineo.

12 CARATTERIZZAZIONE GENERALE DEL SISTEMA FLUVIALE DEL F. PAGLIA A PICCOLA SCALA

Il Fiume Paglia ha origine dal M. Amiata (1.738 m s.l.m.).

Ha un'estensione areale di circa 1320 km². La chiusura del bacino (confluenza con il F. Tevere) è situata a 100 m s.l.m.; l'elevazione media del bacino è di 443 m s.l.m.

Il suo tributario principale è il T. Chiani, che presenta un bacino idrografico di circa 422 km², mentre gli altri tributari hanno bacini idrografici che non superano i 25 km² di superficie.

12.1 Tratti caratteristici, a piccola scala, del T. Chiani

Il sistema alveo-pianura fluviale del Torrente Chiani a piccola scala presenta due tratti caratteristici:

- quello medio-alto dove è presente una ampia pianura nella quale l'alveo attualmente è in buona parte rettificato artificialmente, privo di corpi sedimentari, fisso e arginato.
- Il tratto basso che interessa un fondo valle molto più stretto, dove è presente in modo discontinuo una limitata pianura fluviale. L'alveo è pressoché privo di corpi sedimentari e di mobilità; è un alveo monocanale sinuoso. Le dimensioni dell'alveo pieno sono molto limitate in confronto al bacino di monte; ciò si deve presumibilmente alla presenza dell'ampia pianura a monte che, in condizioni naturali (alveo non arginato, palude?) svolgeva una importante funzione di laminazione delle piene e di trappola per il trasporto solido. Essendo adesso l'alveo del Chiani medio-alto e dei suoi principali affluenti, arginato nel tratto di pianura, è venuto meno l'effetto laminante, anche se, durante le piene maggiori, comunque parte della pianura viene allagata svolgendo ancora un effetto laminante residuo.

Nel tratto più a valle, in settori dove la pianura fluviale è più ampia, sono state realizzate due casse di espansione che, in modo diverso, contribuiscono comunque alla laminazione delle piene del Torrente Chiani.

12.2 Tratti caratteristici, a piccola scala, del F. Paglia

Il sistema alveo-pianura fluviale del Fiume Paglia a piccola scala, nel suo insieme, presenta tre tratti caratteristici: l'Alto Paglia, il Medio Paglia e il Basso Paglia.

- L'Alto Paglia scorre in una pianura fluviale piuttosto ampia (da 3 a 10 volte la larghezza dell'alveo pieno) mantenendosi per buona parte del percorso accostato ai versanti di destra idrografica.
L'alveo è di tipo divagante (*wandering*) ovvero intermedio fra intrecciato (*braided*) e sinuoso (*meandering*), senza mai essere francamente l'uno o l'altro.
- Il Medio Paglia occupa il fondo di una valle a V, quasi priva di pianura fluviale; l'alveo è monocanale sostanzialmente fisso.
- Il Basso Paglia è simile all'Alto Paglia: la pianura è più ampia; l'alveo è più simile ad un alveo intrecciato, ma rimane un alveo divagante, e percorre la valle addossato ai versanti presenti in sinistra idrografica.

Il settore terminale dell'alveo, per condizioni dell'alveo e della pianura, è più simile al Medio

Paglia.

Pur non facendo parte del presente studio, limitato al Basso Paglia, si ritiene necessaria la descrizione sintetica, a media scala, dell'intero alveo del F. Paglia, che comprende altri tratti più a monte. Si ripetono, di seguito, per semplificare l'analisi, le considerazioni già espresse in capitoli precedenti.

13. CARATTERIZZAZIONE GENERALE DEL SISTEMA ALVEO-PIANURA FLUVIALE DEL FIUME PAGLIA, A MEDIA SCALA

13.1 Alto Paglia (a monte dell'area in studio)

L'Alto Paglia ha una lunghezza dell'alveo di km 25,5; la sinuosità media del tratto è pari a 1,22, la pendenza media del tratto è pari a 0,66 %.

Il tratto è generalmente caratterizzato da una pianura fluviale non molto ampia, ma per lunghi tratti continua, nella quale l'alveo divaga talora lambendo la base dei versanti prevalentemente in destra idrografica.

L'alveo pieno, in accordo con i suoi caratteri divaganti e di intrecciamento, in condizioni naturali, era pressoché allo stesso livello ed in continuità con la pianura fluviale, che quindi era frequentemente inondabile.

Nel settore prossimo al limite di valle, oltre il ponte Gregoriano, la pianura fluviale si restringe progressivamente fin quasi a scomparire.

L'alveo è ghiaioso, con frequenti corpi sedimentari in parte attivi e in parte maggiore relitti, con vegetazione anche di alto fusto, le porzioni di alveo relitto sono poste a quote molto vicine a quelle della pianura.

L'alveo relitto, presumibilmente attivo nella prima metà del scolo scorso, era un alveo con tendenza all'intrecciamento, pur non arrivando ad essere un alveo francamente intrecciato e presentando pressoché ovunque un canale di magra principale con una limitata sinuosità, ma comunque sinuoso, con frequenti barre di meandro e barre intrecciate. L'alveo nel suo insieme può essere classificato come divagante (*wandering*) che definisce una situazione intermedia fra meandriforme (*meandering*) ed intrecciato (*braided*).

Attualmente l'alveo pieno è costituito prevalentemente dal canale principale di magra, che è più inciso, ha maggiori dimensioni e le sponde sono fittamente vegetate.

Nel suo insieme si tratta di un alveo pressoché in condizioni naturali, senza soglie artificiali e con alcune non frequenti opere di fissazione di sponda.

L'alveo attuale ha una dinamica particolare che cambia in funzione delle portate. La sua dinamica è più propria degli alvei sinuosi, fino a portate con tempi di ritorno pari a 2-3 volte la portata di alveo pieno e più propria degli alvei intrecciati per portate superiori.

L'alveo nei passati decenni è stato interessato da rilevanti asportazioni di sedimenti fini e grossolani per la produzione di inerti e materiali da rilevati e si trova adesso in uno stato di erosione diffusa anche se non molto accentuata.

Il canale principale di magra sembra essere impostato su sedimenti fluviali, quindi l'erosione sembra sia avvenuta senza raggiungere il *bedrock* costituito da sedimenti pliocenici marini.

In ogni caso la recente incisione e l'aumento di sezione del canale principale di magra, ha aumentato l'efficienza idraulica dell'alveo e ha diminuito il volume di invaso diminuendo altresì l'effetto laminante del picco di piena.

13.2 Medio Paglia (parzialmente nell'area in studio)

La lunghezza dell'alveo è di km 13,03; la sinuosità media del tratto è pari a 1,19.

La pendenza media del tratto è pari a 0,58%.

Il tratto è caratterizzato dalla quasi totale assenza di pianura fluviale.

Il fiume scorre in una stretta valle a V con rari lembi di pianura fluviale, ora in destra, ora in sinistra idrografica.

Sui lembi di pianura sono evidenti i segni di recenti esondazioni con sedimentazione di notevoli volumi di detriti grossolani.

Una parte consistente delle sponde coincide con la base dei versanti, con frequenti fenomeni franosi per scalzamento al piede e conseguente invasione dell'alveo da parte del corpo di frana

Le frane sono sempre pressoché coincidenti con la sponda esterna alla curva.

Si tratta di un alveo ghiaioso, monocanale con *bedrock* spesso affiorante.

Il tratto è privo di opere, sia in alveo che nella pianura, ed è in condizioni pressoché naturali senza condizionamenti.

Il tratto si divide in due settori caratteristici: il settore di monte fino alla progressiva 30,4 km AdA (che coincide con il limite di monte del tratto oggetto del presente studio) e il settore di valle fino al termine del tratto, sino alla progressiva 38,5 km AdA.

13.2.1 Settore di monte

In questo settore la pianura, seppur discontinua, è abbastanza sviluppata ed interessata da evidenti segni di esondazione e conseguente sedimentazione sulla stessa pianura.

Nella parte alta di questo settore (a monte dell'area in studio) i corpi sedimentari sono rari e costituiti prevalentemente da barre di meandro; mentre sono pressoché assenti nella parte più a valle dove affiora il *bedrock*, prima della confluenza in sinistra idrografica con il Torrente Fossatello.

La mobilità effettiva dell'alveo in questo settore è molto limitata anche nei tratti dove sono “disponibili” lembi di pianura fluviale.

Le sponde sono fittamente vegetate e generalmente stabili.

L'aspetto generale dell'alveo corrisponde ad un alveo dritto a barre alternate, talora francamente fisso, pressoché privo di corpi sedimentari e con *bedrock* affiorante.

13.2.2 Settore di valle

Nel settore di valle vi sono rari lembi di pianura di natura incerta, potrebbero anche essere lembi di alveo relitto; in ogni caso vi sono certamente lembi di alveo relitto.

Tali lembi quasi sempre sono presenti in corrispondenza della sponda interna alla curva.

I corpi sedimentari sono molto più frequenti, attivi e più ampi, rispetto al settore di monte.

La mobilità potenziale dell'alveo è più accentuata ed evidenziata dalla ricorrente presenza di frane di versante per scalzamento al piede operato dall'alveo in sponda esterna alla curva.

Si evidenzia nuovamente che la differenza rispetto al settore di monte è dovuta all'apporto solido del torrente fossatello e a quello prodotto dalle numerose frane in alveo.

Il confronto fra i due settori, di monte e di valle, evidenzia che il trasporto solido di fondo non è particolarmente elevato; infatti nel tratto di monte l'assenza di corpi sedimentari potrebbe corrispondere ad un eccesso di capacità di trasporto.

In realtà i numerosi corpi sedimentari del settore di valle, a fronte di un trasporto solido di fondo dovuto alle frane sul Torrente Fossatello e alle frane in alveo – sorgenti di trasporto solido di fondo significative, ma certamente non rilevanti – dimostrano che la capacità di trasporto non è elevatissima.

La presenza di clasti di elevata dimensione, nell'alveo del settore di valle del Medio Paglia, è spiegata dalla natura dei corpi franosi che contengono essi stessi clasti di dimensioni notevoli.

In sintesi il Medio Paglia, a differenza dei due tratti superiore ed inferiore, è un “canale di transito” per il trasporto solido di fondo che viene da monte o che deriva dalle frane sul torrente Fossatello e da quelle che interessano direttamente l'alveo.

Si ritiene che il trasporto solido di fondo in uscita dal Medio Paglia è relativamente basso rispetto a quanto si può pensare osservando l'ampio alveo divagante del Basso Paglia.

13.3 Basso Paglia

La lunghezza dell'alveo è di km 21,3; la sinuosità media del tratto è pari a 1,19.

La pendenza media del tratto è pari a 0,34%.

Il limite di valle del tratto corrisponde alla confluenza con il Fiume Tevere.

Il tratto è caratterizzato da un'ampia pianura fluviale dove sono presenti diversi conoidi di deiezione quasi piatti, tracce di terrazzi fluviali e paleoalvei che mettono in evidenza la notevole mobilità dell'alveo.

L'alveo uscito dalla stretta valle del Medio Paglia si mantiene in destra idrografica, lambendo anche la base del versante intorno alla progressiva km 40,0 AdA.

Dalla progressiva 41,5 km AdA fino alla progressiva 43,0 km AdA, l'alveo taglia trasversalmente la pianura fluviale verso valle e si mantiene sempre sul lato sinistro della pianura, talora scalzando la base dei versanti di sinistra idrografica.

L'alveo si trova in uno stato di non equilibrio ed è caratterizzato da un'intensa erosione attiva che ha superato la base del materasso alluvionale ed interessa il *bedrock* costituito da argille plioceniche sovraconsolidate.

Fino alla metà del secolo scorso si trattava di un alveo moderatamente intrecciato con un canale principale sinuoso, era impostato a quote molto prossime a quelle della pianura ed era molto mobile (*wandering*).

Nella parte media ed alta del tratto erano presenti alcuni meandri ben sviluppati.

Per molti aspetti era simile all'Alto Paglia, ricco di barre di meandro affiancate a barre intrecciate, longitudinali e laterali, per buona parte attive.

Nelle condizioni attuali, da un lato il canale principale si è approfondito formando barre sospese e tratti di alveo relitto, dall'altro buona parte della fascia di divagazione libera dell'alveo è stata recuperata per attività agricole o è interessata da rilevati relativi a infrastrutture, o da aree urbanizzate

impostate direttamente sul piano campagna naturale.

Nel settore finale del tratto, a valle della progressiva 56,0 km AdA, la pianura fluviale diminuisce sensibilmente la sua larghezza, l'alveo diventa francamente monocanale, i corpi sedimentari sono quasi assenti, il *bedrock* è pressoché affiorante e la mobilità dell'alveo è limitatissima.

Le opere fluviali, fatti salvi: la traversa presente a valle di Ponte Adunata (km 53,6 AdA), i ponti delle SP 48, della vecchia ferrovia, della ferrovia Direttissima e dell'autostrada A1 e il Ponte Adunata (tutti privi di platea continua di fondazione), sono limitate a difese di sponda presumibilmente realizzate secondo criteri di emergenza e di urgenza, in relazione ai numerosi e reiterati episodi di erosione di sponda che danneggiano aree prevalentemente agricole.

I meandri che erano presenti nella parte alta e media del tratto non sono più presenti.

Solo alcune porzioni della parte media e bassa del tratto sono interessate da argini.

Nel suo complesso l'alveo è in un evidente stato di deficit sedimentario, mantiene un'alta mobilità pur attraversando una evoluzione che rimane nel campo dei wandering da moderatamente *braided* a monocanale a bassa sinuosità.

Il tratto è interessato dalla confluenza con il Torrente Chiani, che pur avendo un bacino di notevole estensione (422 km²) non cambia i caratteri dell'alveo del F. Paglia a valle della confluenza.

14 DESCRIZIONE DETTAGLIATA DEL SISTEMA ALVEO-PIANURA FLUVIALE DEL BASSO PAGLIA

14.1 Caratteri della pianura fluviale

- Dalla progressiva 30,0 km AdA (inizio del tratto in studio) alla progressiva 38,5 km AdA, la valle è a “V” con versanti piuttosto acclivi, il fondovalle è stretto, la pianura alluvionale è limitata a lembi discontinui, isolati e mai presenti da entrambi i lati dell'alveo. Potrebbe anche non essere una pianura fluviale vera e propria, ma essere costituita dai lembi di un alveo relitto, relativo ad un diverso periodo passato.

I lembi di pianura presentano caratteri pressoché naturali poiché non sono interessati da infrastrutture o da coltivazioni.

La pianura, ove presente, ha dimensioni limitate con larghezza media simile a quella dell'alveo.

L'alveo nelle sponde esterne alle curve generalmente scalza il versante alla base e ne provoca il franamento. Il numero delle frane nel tratto è pari a 8, che salgono a 9 se si considera quella sul T. Fossatello.

L'area complessiva delle frane, che interessano l'alveo principale, è pari a circa 15 ettari e interessano circa l'8 % della lunghezza complessiva delle sponde. I versanti su cui insistono sono costituiti da rocce mioceniche molto eterogenee (olistostromi?) contenenti argille, argille siltose e marnose grigiastre, lenti calcaree e calcareo marnose, calcareniti, brecciole e brecce calcaree, e interstrati con masse di pietre verdi. Nella parte superiore si rilevano anche travertini di origine continentale.

Le frane costituiscono una fonte apprezzabile di “produzione” di sedimenti fini e sono la fonte quasi unica dei sedimenti più grossolani presenti in alveo.

Nei lembi di pianura si rilevano orli di scarpata che potrebbero corrispondere a orli di terrazzo o a lembi di alveo relitto (con minore evidenza).

È presente un conoide in riva sinistra nel tratto iniziale di monte, alla confluenza con il Torrente Fossatello: presenta un fronte di circa 600m e una profondità di circa 500m . Nel piccolo bacino del Torrente Fossatello sono presenti da almeno 60 anni delle frane, che sovralluvionano l'alveo del torrente perché il bacino è piccolo e l'alveo non possiede la capacità di trasporto necessaria a smaltire tutto il materiale prodotto dalle frane. Lo stesso materiale prodotto dalle frane crea il conoide suddetto e modifica in modo sostanziale la dinamica dell'alveo del Fiume Paglia. L'alveo infatti, a valle della confluenza, è ricco di corpi sedimentari, mentre a monte questo non si verifica.

L'esame dei documenti storici reperiti a partire dal 1950 (Carta Topografica d'Italia edita dal IGM e riferibile ad un rilievo del 1952 e foto aeree del volo GAI - 1954) non ha messo in evidenza alcuna variazione o evoluzione.

Le caratteristiche del tratto, diverse dal tratto immediatamente a monte, non facente parte di questo studio, sono sempre state presenti a partire dagli anni 50 del secolo scorso. Negli anni 50 le frane già esistevano (sia quelle T. Fossatello sia quelle sul collettore principale).

- Verso valle la pianura si presenta continua in riva sinistra e discontinua in riva destra sino al km 40,8 AdA.

L'alveo per un primo tratto si mantiene aderente alla base del versante in riva destra, sino alla progressiva 41,4 km AdA. Da questa l'alveo attraversa trasversalmente la pianura e va a lambire il versante in sinistra idrografica. Presumibilmente questo comportamento è dovuto all'azione combinata del conoide del Fosso Rivarcale e di cause tettoniche.

Nella prima parte del settore (da 38,5 km AdA a 40,8 km AdA) si rilevano in destra idrografica solo lembi di pianura e i versanti, per una buona parte, presentano una morfologia tipica di un versante scalzato alla base dall'alveo in periodi passati.

Dal km 40,8 AdA al km 41,4 AdA, il corso d'acqua è ancora privo di pianura alluvionale in destra idrografica e scalza alla base in modo molto attivo il versante.

Nella stessa porzione in riva sinistra si estende la pianura alluvionale, che presenta una ampiezza compresa tra i 400 e 1000 m. Sono evidenti tracce di paleoalvei: il più evidente è quello che si localizza attorno alla progressiva 39 km AdA, al quale in sponda sinistra corrisponde uno dei tratti in cui il versante risulta scalzato e che probabilmente corrispondeva alla “sponda esterna alla curva” di un antico meandro.

Sono presenti tre ampi conoidi caratterizzati da una pendenza molto bassa, formati dai torrenti Ripuglie, Rivarcale in sponda sinistra e dal Fosso delle Prese in sponda destra. Quello più esteso dei tre, originato dal Fosso Rivarcale, potrebbe essere il responsabile del “mantenimento” dell'alveo schiacciato lungo la base del versante destro, così come quello del Fosso delle Prese potrebbe aver sospinto l'alveo attraverso la pianura fino alla base del versante sinistro.

Le confluenze più importanti sono quelle con i suddetti Torrente Ripuglie, Fosso Rivarcale e Fosso delle Prese.

Facendo riferimento alla situazione testimoniata dalle foto aeree del volo GAI (1954), si rilevano le stesse condizioni della pianura alluvionale, fatta eccezione per il fatto che le dimensioni dell'alveo erano molto più estese di quelle attuali, a discapito della pianura.

La pianura, dalla progressiva 43,2 km AdA, è più ampia e continua in riva destra, con larghezze minime di 600 metri, mentre in riva sinistra è limitata al tratto da 44,5 km AdA a 48,5 km AdA, con una larghezza attorno a 100 m, ed è assente nei settori di monte e di valle dove l'alveo scalza direttamente la base del versante.

Secondo alcuni autori (Cattuto et alii 1988, 1992, 1994, 1997; Cencetti, 1990; Cencetti et alii, 1996) l'azione di una faglia diretta ha comportato il basculamento della pianura alluvionale del F. Paglia; ciò può spiegare lo sviluppo così fortemente asimmetrico della stessa.

In destra idrografica il limite fra pianura e rilievi è costituito da un ampio conoide piatto del Torrente Romealla, che si collega attraverso ampie fasce colluviali al versante.

La pianura presente in riva sinistra è interessata da una lunga scarpata che si sviluppa parallelamente all'alveo attuale e che storicamente corrispondeva alla sponda sinistra dell'alveo della prima metà del '900.

La pianura, sebbene ampia, è sensibilmente condizionata dall'uso agricolo e dalle infrastrutture che la interessano.

Le colture interessano anche l'ampia fascia che nella prima metà del secolo scorso era parte dell'alveo attivo. Tale alveo era interessato dalle piene maggiori quando il comportamento di alveo intrecciato prevaleva su quello di alveo sinuoso.

La porzione di pianura interessata dall'alveo, in tempi storici era più ampia. Nella parte terminale del tratto sono evidenti le tracce di un paleoalveo ad ampi meandri, in sponda destra, attivo nel

1900 e non presente nel Catasto Gregoriano del 1820 circa.

- Dalla progressiva 49,0 km AdA, è presente, rispetto al tratto più a monte, una pianura alluvionale più limitata, ma comunque piuttosto ampia e continua da entrambi i lati.

Si rilevano diverse tracce di paleoalvei. Il primo è localizzabile, in sponda destra nel settore più a monte (inizia al km 48,2 AdA e termina al km 49,9 AdA dell'asse dell'alveo) e corrisponde ad un ampio meandro antecedente al 1950.

Il secondo (localizzabile in riva destra dalla progressiva 50,4 km AdA al km 51,3 AdA) è noto come “Curva del pantano” ed è costituito da un ampio meandro che è stato abbandonato per il taglio del meandro a seguito di un evento di piena.

Il fenomeno è in accordo con la tendenza dell'alveo a comportarsi come sinuoso al di sotto di portate oltre le quali si comporta come intrecciato.

Facendo riferimento ai documenti del “*Progetto per la sistemazione del Fiume Paglia dalla curva Pantano al Ponte dell'Adunata*”, datato 1951 e reperito presso l'archivio del Genio Civile, il meandro è stato abbandonato in occasione di una grande piena che si è verificata nel 1937.

Sull'altra sponda (in sinistra idrografica) dal km 50,4 AdA al km 51,4 AdA si rileva una traccia di paleoalveo, messa in evidenza da una scarpata, che coincide con la sponda sinistra dell'alveo attivo attorno agli anni 1950.

Altre tracce di paleoalvei, individuabili in riva sinistra in un terreno agricolo appena a monte dalla confluenza con il T. Chiani, (progressiva 52,2 km AdA), testimoniano una tendenza passata del corso d'acqua ad organizzare il suo tracciato, in questo tratto, mediante ampi meandri e quindi con sinuosità più elevata.

Si rileva una ampia conoide a bassa pendenza in riva destra dovuta ai depositi del Fosso Albergo la Nona. Inoltre è presente un terrazzo in corrispondenza dell'abitato di Ciconia connesso anche alla dinamica del F. Chiani.

In condizioni storiche (1954 – volo GAI) l'alveo era caratterizzato da una larghezza maggiore e la fascia a disposizione del corso d'acqua per la sua naturale divagazione era molto più ampia, ma comunque più limitata, rispetto al tratto a monte.

Le condizioni naturali (antiche) corrispondono a una configurazione morfologico-planimetrica caratterizzata da una sinuosità maggiore, ad ampi meandri. La mobilità era maggiore e l'alveo divagava in tutta la pianura alluvionale che aveva a disposizione.

Considerando le tracce di paleoalvei prossime alla progressiva 51 km AdA (curva Pantano e traccia sulla sponda opposta) la fascia di divagazione del fiume, oramai persa, è pari complessivamente a circa 300 m di larghezza.

Fino al km 55,9 AdA la pianura si mantiene ampia e continua su entrambi i lati come nel tratto a monte. Da lì, in corrispondenza del Fosso Froiana, la valle si restringe fortemente sino alla fine del tratto, presumibilmente, per motivi “strutturali”, si passa da una larghezza della pianura di circa 800-1000 m a 300 m.

- Dal km 55,9 AdA verso valle, fino alla fine del tratto, l'alveo si addossa al versante di sinistra caratterizzato dall'affioramento di sedimenti argillosi e sabbiosi pliocenici, e lo scalza al piede.

Nella pianura di sinistra idrografica, dalla progressiva 53,3 km AdA sino al km 54 AdA è presente una scarpata morfologica prossima alla confluenza con il Fosso di Poggio Grosso che ha costruito un piatto conoide più alto della pianura circostante.

Il Fosso di Poggio Grosso, successivamente (progressiva 53,5 km AdA), ha inciso il suo conoide e questa incisione si esaurisce alla scarpata, che corrisponde alla sponda dell'alveo “storico” del Paglia nella prima metà del secolo scorso.

Come il Fosso di Poggio Grosso, tutti gli affluenti di sinistra hanno inciso le loro alluvioni: T. Chiani, F. del Fanello, F. di Poggio Grosso; F. Froiana.

F. del Fanello, F. di Poggio Grosso e F. Froiana hanno costruito dei conoidi a bassa pendenza.

In riva sinistra, in corrispondenza dell'abitato di Ciconia, si rileva un terrazzo connesso, oltre che all'azione del F. Paglia, alla dinamica del T. Chiani.

Anche in questo tratto l'alveo era molto più ampio, a spese della pianura alluvionale, soprattutto in sinistra idrografica dove si individuano tracce di “paleosponde” che sono arrivate ad erodere la base dei versanti e i conoidi presenti sulla pianura.

- Dalla progressiva 56,5 km AdA sino alla confluenza con il F. Tevere la pianura risulta stretta e quasi completamente sviluppata in destra idrografica. In riva sinistra la pianura è quasi completamente assente a parte un piccolo settore di circa 500 m, in cui si rileva un piccolo lembo di pianura.

In prossimità della confluenza con il F. Tevere il corso d'acqua attraversa tutta la pianura e si appoggia all'altro versante, in sinistra idrografica.

Come nel tratto precedente, i tributari principali, in riva sinistra, risultano piuttosto incisi, sono: F. Cavarello, F. Generoso e F. Bisconti.

In prossimità della confluenza è presente un ampio terrazzo “antico”, non connesso all'evoluzione storica recente, dovuto principalmente alla dinamica F. Tevere.

In questo ultimo tratto l'alveo pieno è rimasto molto simile a quello storico, in generale il restringimento è stato molto meno intenso. Quindi, al contrario di quanto si è verificato nei settori più a monte, la pianura non ha visto aumentare la sua superficie nel corso degli ultimi cinquanta anni.

14.2 Caratteri generali dell'alveo

Nel tratto più a monte, oggetto del presente lavoro (progressiva 30,0 km AdA) sino alla progressiva 38,4 km AdA, l'alveo è monocanale.

La larghezza è relativamente poco variabile e la pendenza non evidenzia rotture di pendio particolari, salvo quella corrispondente all'inizio del tratto in studio (km 30,0 km AdA).

Presenta una scarsa mobilità laterale, spesso “contrastata” perché le sponde coincidono con il versante, inoltre anche la mobilità verticale è molto limitata perché, presumibilmente, sotto l'*armour* del canale di magra si trova direttamente il *bedrock*.

Dalla progressiva 38,5 km AdA alla progressiva 43,2 km AdA, l'alveo tende a permanere monocanale, con settori che presentano anche canali secondari pur non assumendo nel suo insieme una morfologia francamente intrecciata. Si presenta come un alveo divagante (*wandering*) che in sé presenta sia i caratteri di un alveo meandriforme, sia quelli di un alveo intrecciato, questi ultimi più attivi in fase di piena.

L'alveo è in uno stato di evidente deficit sedimentario che, per erosione del canale principale di magra, si autoaccresce.

Lo stesso canale di magra, nei settori dove l'alveo lambisce il versante in destra idrografica, sembra essere impostato ad una quota molto prossima al *bedrock* che talora affiora in sponda destra.

La mobilità dei canali secondari risulta limitata dalla presenza di una vegetazione fitta e di alto fusto, che protegge la superficie superiore delle barre. La mobilità dei corpi sedimentari si esplica soprattutto attraverso la loro “erosione di sponda” operata dai canali nelle fasi di piena e di morbida.

Alcuni corpi sedimentari “sospesi” vengono sommersi da piene a maggior tempo di ritorno rispetto al tempo di ritorno di *bankfull* e anche essi evolvono praticamente solo per erosione laterale operata dai canali.

Altre porzioni di alveo, a quote superiori alle barre sospese, corrispondono ad uno stato “precedente”, indicato come “alveo relitto”. Questi lembi di alveo sono rimasti “sospesi” rispetto all'alveo pieno attuale e, in misura ancora maggiore rispetto al canale di magra, a causa dell'intensa erosione in atto. Nel canale di magra tale erosione inizia ad essere evidenziata poco a valle dell'inizio del tratto e aumenta la sua intensità verso valle.

Le misure effettuate sul modello digitale del terreno (DTM), indicano che la differenza di quota tra canale (pelo libero di magra) e piana alluvionale (aree agricole) varia da 5 a 8 m, mentre la differenza altimetrica tra canale e alveo relitto (dove insiste la vegetazione ripariale ad alto fusto) varia da 2 a 4 m.

I rapporti fra alveo e pianura erano diversi già nel 1954: l'alveo era più ampio e più “intrecciato” e aveva una maggiore mobilità laterale. I rapporti con la pianura erano diversi perché i dislivelli erano molto inferiori rispetto a quelli attuali.

L'alveo del 1954 non sembra essere in erosione. Non si può dire se questo corrispondesse ad una maggiore esondabilità dovuta ai minori dislivelli, perché questa esondabilità poteva essere compensata (in tutto o in parte) da una maggiore larghezza, da una maggiore capacità di invaso e da una minore velocità della corrente.

Gli affluenti principali non risultano sospesi. Fa eccezione Torrente Ritorto (progressiva 43,1 km AdA) che evidenzia una situazione che si ripete anche nei tratti più a valle per altre confluenze: il fosso arriva su una barra laterale ghiaiosa, ad una quota più elevata del canale di magra dell'alveo, e poi defluisce sino al canale con una sorta di rapida. In pratica non ha la capacità di incidere il corpo sedimentario con un suo canale.

L'alveo presenta una discreta mobilità laterale ed una possibile mobilità verticale in quanto, almeno sino alla progressiva 41,4 km AdA, non sono presenti livelli locali di base, né di natura geologico-strutturale né artificiale.

L'alveo si trova in una intensa fase attiva di erosione verticale. Per quantificare il fenomeno si può fare riferimento alla spalla di un vecchio ponte, che si trova circa 15 metri a monte di quello della SP 48. Secondo il rilievo topografico eseguito nell'anno 2011 dal Consorzio di Bonifica, la spalla destra si trova a quota 150 m s.l.m, sopraelevata di 5,8 m rispetto al fondo alveo.

Dalla progressiva 43,2 km AdA alla progressiva 49,0 km AdA, l'alveo è caratterizzato da una bassa sinuosità ed è prevalentemente monocanale, seppure con alcune barre longitudinali.

L'alveo in questo tratto è in rapida ed intensa evoluzione, dovuta da un lato ad uno stato evidente di deficit sedimentario, dall'altro dalla eliminazione di ampie porzioni di alveo a vantaggio dell'agricoltura.

Esiste un canale principale di magra che, a tratti, è l'unico attivo ad alveo pieno, mentre gli altri canali, che certamente erano attivi in passato, sono adesso discontinui e appartenenti anche a settori di

alveo relitto, attivo solo nelle piene con tempo di ritorno maggiore dello stato di alveo pieno.

L'erosione del canale principale di magra si è spinta oltre il materasso alluvionale ed interessa direttamente il *bedrock* costituito da sedimenti pliocenici marini.

I corpi sedimentari attivi, molto frequenti e sviluppati, si comportano più frequentemente come barre laterali o barre di meandro.

Durante le piene maggiori gli stessi corpi sedimentari tendono a comportarsi se non come braids, *almeno* come barre longitudinali, mentre **l'alveo tende a variare la sua dinamica da quella di monocanale sinuoso a quella di multicanale intrecciato.**

Durante questi periodi di piena sono attivi anche i frequenti lembi di alveo relitto, presumibilmente anche parte di quelli attualmente recuperati all'agricoltura.

Nelle fasi discendenti dell'idrogramma di piena le lunghe barre longitudinali vengono tagliate trasversalmente dal canale di magra che passa da una sponda alla sponda apposta formando un *riffle* trasversale alla barra, ricostituendo così una situazione pressoché monocanale a barre laterali alternate e/o di meandro.

Si tratta di una condizione instabile di rilevante mobilità sia verticale che laterale.

La mobilità laterale, principale fonte di sedimenti, talora è contrastata da difese di sponda costruite come intervento urgente per la difesa della pianura interessata da uso agricolo, ovvero per mantenere l'alveo fisso nello status quo.

Gli affluenti principali: il Fosso della Sala (progressiva 45,2 km AdA) e il Torrente Romealla (progressiva 48,0 km AdA) non danno luogo a confluenze sospese. Il torrente Romealla, in prossimità della confluenza, presenta il fondo inciso sul substrato argilloso, come l'alveo principale.

Per gli affluenti minori, si ripete quanto osservato sul tratto a monte: il Fosso dei Frati arriva su di una barra laterale sospesa (alveo relitto) e fa una curva molto stretta per raccordarsi al canale.

Il Rio di Orvieto, che ha probabilmente una energia molto meno elevata del precedente, arriva sulla barra e scompare (si infila?). Quando la portata è più elevata, questa defluisce sopra la barra – quindi la confluenza è sopraelevata.

Non si rilevano livelli di base locali costituiti da soglie o altri ostacoli naturali o artificiali ed il canale di magra è in forte erosione verticale.

La mobilità orizzontale è notevole e il corso d'acqua tende ad aumentare la sua sinuosità ed il suo intrecciamento a spese della pianura, che perlopiù in tempi storici era essa stessa alveo attivo.

Dalla progressiva 49,0 km AdA alla progressiva 52,4 km AdA, l'alveo attuale presenta una larghezza inferiore al tratto più a monte, una minore mobilità ed una minore tendenza all'intrecciamento.

Sino alla confluenza con il Fosso Albergo la Nona l'alveo è monocanale e sostanzialmente rettilineo. A valle segue un tratto sinuoso, caratterizzato da meandri piuttosto regolari per quanto riguarda l'alveo attivo, mentre la fascia interessata dall'alveo relitto rimane sostanzialmente quasi rettilinea sino alla fine del settore.

I corpi sedimentari sono progressivamente meno frequenti e più limitati di superficie. Si tratta perlopiù di barre laterali e di meandro, distanziate le une dalle altre.

L'alveo continua ad essere, come nei tratti precedenti, incassato rispetto all'alveo relitto e quindi trincerato.

In questo tratto gli affluenti principali sono: il Fosso Albergo la Nona, il Fosso di Cavaione e il Torrente Chiani; in tutti i casi la confluenza non presenta discontinuità.

La mobilità laterale è in progressiva diminuzione verso valle. In ogni caso le sponde esterne alla curva sono interessate da erosione, ma in misura minore rispetto al tratto a monte.

Anche questo tratto risulta in disequilibrio: è in una fase transizionale, ma con una mobilità inferiore e una tipologia più francamente sinuosa.

L'alveo, dalla progressiva 52,4 km AdA, è francamente monocanale, non è più presente la tendenza all'intrecciamento. È più stretto e meno mobile rispetto a quello a monte.

I corpi sedimentari si fanno ancora meno frequenti rispetto al tratto più a monte, più limitati di superficie e, via via, più lontani l'uno dall'altro.

Si tratta per lo più di barre laterali o di meandro, oltre alla barra di confluenza del Torrente Chiani.

Oltre la traversa presente a valle di Ponte Adunata i corpi sedimentari sembrano praticamente assenti a parte le barre di salto legate alla stessa traversa.

Permane la condizione di trinceramento, forse più accentuata, verso valle.

Gli affluenti confluiscono senza discontinuità con l'alveo principale e si presentano essi stessi trincerati nei tratti a monte delle paleosponde.

Per contrastare la tendenza al trinceramento è stata realizzata una traversa (OT 7) alla progressiva 53,6 km AdA, a monte della quale è stata realizzata una scogliera di protezione sulla sponda destra.

Tale opera è l'unica traversa presente nel tratto di studio.

Dalla progressiva 56,5 km AdA alla confluenza con il fiume Tevere, l'alveo è molto simile al tratto più a monte studiato (dalla progressiva 30 alla progressiva 38,5 km AdA). Come il tratto a monte l'alveo è monocanale e non si riscontra la tendenza all'intrecciamento. È più stretto, quasi privo di corpi sedimentari, con il canale di magra occupato da clasti di grandi dimensioni presumibilmente provenienti dagli affluenti locali.

L'alveo è ancora notevolmente trincerato. La stessa condizione è evidenziata dagli affluenti.

Particolare è la condizione del Fosso Cavarello, la cui confluenza è in parte sopraelevata: arriva sull'alveo relitto e forma una sorta di rapida per raggiungere il canale del collettore.

In questo tratto, in accordo con la quasi assenza di corpi sedimentari, l'alveo manifesta una mobilità molto limitata.

15 MODELLO CONCETTUALE DEL MEDIO-BASSO PAGLIA

I dati più rappresentativi del sistema fluviale del Medio-Basso Paglia ci esplicita il modello concettuale.

A questo modello mancano tre elementi conoscitivi importanti:

- i dati quantitativi del trasporto solido, con particolare riferimento a quello di fondo, o, meglio, a quelle classi granulometriche che costituiscono le componenti dell'alveo e delle quali si conoscono le granulometrie;
- i dati quantitativi, qualitativi e la posizione delle passate attività di estrazione di inerti e della asportazione di sedimenti, finalizzata alla sistemazione dell'alveo;
- i caratteri e la conoscenza approfondita del sistema fluviale dell'Alto Paglia e del T. Chiani.

Si descrive lo stato di fatto delle diverse componenti del sistema fluviale del Basso Paglia, per i sei tratti caratteristici, partendo da monte verso valle.

Uno schema sintetico del modello concettuale è rappresentato in figura.

[illegible]

☐	Condizioni attuali Possono coesistere due condizioni attuali. In tal caso la condizione prevalente viene barrata	☐	Condizione naturale o quasi naturale, possono coesistere due condizioni naturali. In tal caso la condizione prevalente viene barrata
--------------------------	--	--------------------------	--

15.1 La pianura fluviale

Nel primo tratto è praticamente assente, o costituita da lembi di alveo relitto discontinui; non ha subito variazioni significative rispetto al passato.

Nei successivi quattro tratti verso valle, la pianura è ampia, con evidenti tracce di paleoalvei, talora sinuosi, che interessano settori anche molto distanti dall'attuale alveo pieno e che mettono in evidenza le condizioni di rischio (non solo di alluvione, ma anche di erosione/sedimentazione) alle quali è stata ed è esposta un'ampia fascia di pianura fluviale.

Il tratto più a valle presenta una pianura più limitata, presente solo in sponda destra, anch'essa esposta agli stessi rischi.

15.2 Caratteri morfologici dell'alveo pieno

Un carattere molto importante da considerare per caratterizzare l'alveo pieno è la sua larghezza, importante per ciò che rappresenta e per le profonde variazioni che ha subito in tempi storici recenti, variazioni che hanno cambiato e che continuano a cambiare il tipo di alveo e la sua dinamica.

La larghezza è diminuita ovunque, e in particolare nei tratti intermedi dove era fino a cinque volte maggiore dell'attuale.

L'alveo, a parte il primo tratto dove è rimasto sempre monocanale, simile all'attuale, nei tratti più a valle **era un alveo per buona parte multicanale, di tipo divagante e tendente all'intrecciato. Adesso, negli stessi tratti, rimane un alveo divagante, ma tendente ad un monocanale sinuoso.**

Questa variazione di comportamento è dovuta all'intensa erosione del canale di magra principale che, per lunghi tratti, ha raggiunto e superato il substrato pliocenico argilloso e continua ad eroderlo velocemente. È un processo che si autoalimenta ed è praticamente irreversibile allo stato attuale.

Lo sviluppo della sinuosità dipendeva e dipende ancora dalla sequenza delle piene nel recente e nel medio passato. Se, per un lungo periodo, non si verificano eventi di piena molto intensi, nei tratti dove esiste un canale di magra principale assieme ad altri canali secondari, le leggere sinuosità dello stesso canale di magra possono svilupparsi (come stanno facendo) aumentando la sinuosità dell'alveo, fino a divenire un vero e proprio alveo meandriforme.

È il caso di ciò che è accaduto in località come “La Barca Vecchia” o la “Curva del Pantano”.

In occasione di piene molto intense, il sistema fluviale vira verso un comportamento di tipo intrecciato. In quel caso, l'alveo sinuoso può continuare come tale o può subire tagli di meandro; in ogni caso, al comportamento di alveo sinuoso si sovrappone il comportamento di alveo intrecciato.

Tale comportamento impegna ampie fasce di alveo non attive da decine o centinaia di anni, che sono in genere caratterizzate da boschi o da attività diverse (agricoltura, infrastrutture, aree urbanizzate).

Tali fasce sono tutte quelle indicate nella Carta dei caratteri morfologico-sedimentari allegata, come “alveo relitto” e ampie porzioni di pianura attualmente utilizzate in vario modo.

L'alveo rappresentato dalle riprese aeree degli anni '50 mette in evidenza le differenze delle ampie aree, una volta alveo ed ora utilizzate come terreno agricolo, o con altra utilizzazione.

In quell'epoca, situazione più naturale rispetto all'attuale, i caratteri di sinuosità e intrecciamento non erano molto diversi dall'attuale.

15.3 Caratteri sedimentari

I caratteri sedimentari più importanti sono le barre e le granulometrie delle stesse e del canale di magra.

15.3.1 Le barre e le altre forme di fondo

Nel primo tratto sono presenti rare barre laterali alternate. Tali barre, assenti a monte del T. Fossatello, sono connesse con i sedimenti prodotti dalle frane presenti sia nel T. Fossatello, sia nello stesso alveo del F. Paglia.

Tale situazione non è variata dagli anni '50, quando già erano presenti le frane.

Nei tratti più a valle, fino al tratto 5, la frequenza e le dimensioni delle barre aumentano, ed in passato queste erano molto più numerose. La tipologia prevalente delle barre del vecchio alveo era di barre longitudinali, inserendo in questa categoria anche le barre trasversali con piccolo angolo del proprio asse rispetto all'asse dell'alveo pieno che si presentava leggermente sinuoso. Tali barre, spesso, si formano o si muovono durante le piene e, successivamente, durante le morbide, vengono tagliate dal canale di magra che le attraversa formando un riffle e le rende simili a barre laterali alternate. Le altre barre più frequentemente presenti sono le barre di meandro e rare barre intrecciate.

In passato le barre erano più numerose, con barre intrecciate relativamente più frequenti.

In generale, in passato, le barre “mobili” come le longitudinali e le intrecciate, erano relativamente più frequenti rispetto alle barre fisse, come quelle di meandro.

Nel tratto più a valle i corpi sedimentari sono pressoché assenti. Presumibilmente l'effetto combinato di una maggiore pendenza ivi presente (0,37%), assieme alle maggiori portate dovute alla confluenza del T. Chiani, forniscono all'alveo una capacità di trasporto esuberante.

15.3.2. Le granulometrie

L'alveo del Basso Paglia è un alveo ghiaioso, con dimensioni dei clasti molto grossolane, fino ai massi. La dimensione dei clasti diminuisce da monte a valle, ad eccezione del tratto finale, dove sono attive fonti locali di sedimenti grossolani.

Come esposto nella trattazione dei singoli tratti, il D90 varia da 268 mm nel tratto più a monte, fino a 200 mm nel tratto 5, mentre nel tratto più a valle (6) il D90 risale fino a 403 mm.

15.4 Bilancio sedimentario e tendenze evolutive

Considerati i diversi caratteri e parametri fin qui esposti, pur non conoscendo i dati sul trasporto solido di fondo del fiume, **il bilancio sedimentario attuale risulta chiaramente e fortemente negativo**, mentre nella prima metà del secolo scorso tale bilancio era presumibilmente pressoché in tutti tratti, in equilibrio.

La negatività del bilancio (carenza di sedimenti) persiste e si accresce da almeno 50 anni adesso ha superato il punto di non ritorno, punto oltre il quale il sistema alveo – pianura fluviale non può ritrovare in tempi compatibili con la realtà attuale, in modo autonomo e naturale, un nuovo diverso equi-

librio. Tale nuovo equilibrio potrebbe essere raggiunto, in modo naturale, se al sistema venisse consentito di impegnare l'intera pianura e avesse a disposizione tempi geologici (migliaia di anni e oltre). Il perdurare del bilancio negativo ha avuto, come prima conseguenza, l'erosione e quindi l'abbassamento, del canale principale di magra, che ha raggiunto il bedrock, malauguratamente argilloso e quindi erodibile esso stesso, e lo ha superato, incidendolo in alcuni tratti oltre i 2 metri di profondità.

Tale condizione ha determinato, per il canale di magra, la capacità di far transitare, al suo interno, portate maggiori che hanno innescato l'auto accrescimento del canale di magra, consentendo al suo interno il transito di portate superiori alle vecchie portate di alveo pieno (tempo di ritorno = 1,5-3 anni) e determinando così una variazione importante nella dinamica dell'alveo, che prima era di un alveo pluricanale, divagante, con tendenza all'intrecciato e ora è ancora divagante e intrecciato per le piene maggiori, ma tendente al monocanale sinuoso per tutte le altre condizioni.

Le tendenze evolutive attuali, a parte il settore 1, che non mostra segni di evoluzione, sono di una ulteriore erosione (e quindi accrescimento) del canale di magra, che sta funzionando come un alveo monocanale per portate inferiori ad una soglia non attualmente definibile.

Il tasso di erosione verticale andrà progressivamente diminuendo ed aumenterà il tasso di erosione laterale delle sponde esterne alle curve, determinando sia un nuovo limitato allargamento dell'alveo pieno (monocanale sinuoso a bassa sinuosità), sia l'evoluzione delle curve con aumenti localizzati di sinuosità e mobilità dell'alveo. Questo tenderà a interessare, via via, tutto il vecchio alveo intrecciato, attualmente apparentemente facente parte della pianura fluviale – vecchio alveo intrecciato che, comunque, tornerà attivo, come tale, durante le piene maggiori.

La “mobilità” laterale dell'alveo non è cambiata molto nel tempo: il tratto 1 è stato ed è pressoché immobile; il tratto 2 presenta un'alta mobilità, limitata a tratti solo dalla presenza, in riva destra, del versante che la contrasta. I due tratti 3 e 4 sono a mobilità molto alta, in accordo con lo stato di erosione delle sponde esterne alle curve, e in accordo con la maggiore frequenza e dimensioni delle barre.

La mobilità diminuisce nel tratto 5, che presenta un alveo più stabile, con sponde fisse e ben vegetate.

La reattività, ovvero la capacità di reagire ad un input, come: la variazione della frequenza delle piene di una certa intensità, l'immissione o l'estrazione di una notevole quantità di sedimenti granulo metricamente simili a quelli dell'alveo, rispecchia sostanzialmente i caratteri di mobilità.

L'evoluzione passata e le tendenze evolutive attuali hanno favorito e favoriscono, nei tratti più a valle, l'innalzarsi dei livelli idrometrici relativi a portate della stessa intensità che avvenivano fino alla prima metà del secolo scorso con livelli idrometrici relativamente più contenuti.

La maggiore dimensione dell'alveo pieno ed i suoi caratteri di migliore efficienza idraulica, da un lato hanno aumentato la velocità della corrente, diminuendo i tempi di corrivazione; dall'altro hanno diminuito la capacità di invaso che aveva il vecchio, largo e “inefficiente” (idraulicamente “inefficiente”) alveo intrecciato. Queste sono due condizioni che contribuiscono ad aumentare il picco di piena nella parte a valle (Ciconia).

16 PRINCIPI ORDINATORI PER IL CONSEGUIMENTO DEGLI OBIETTIVI SPECIFICI

- Fatti salvi il tratto 1 e il tratto 6, l'alveo è mobile, ghiaioso e divagante, l'alveo è in fase di

transizione dalla sua antica condizione di alveo divagante (wandering) tendente al multicanale intrecciato (braided) ad alveo ancora divagante (pluricanale) ma tendente al monocanale sinuoso (meandering).

- Attualmente l'alveo si comporta come un alveo sinuoso a bassa sinuosità fino a portate moderatamente superiori alle portate di alveo pieno (2-5 anni?). Vira il suo comportamento prevalente verso quello di un alveo intrecciato per portate molto superiori, pur mantenendo contemporaneamente quello di alveo sinuoso.
- Questa doppia condizione rende l'alveo, da un lato, molto instabile, mobile e reattivo; dall'altro fisicamente molto diverso nelle due condizioni di portata. Fino ad una certa portata l'alveo è sinuoso con una larghezza molto limitata (40-80 m); oltre tale portata tende a tagliare le curve e ad invadere quell'ampia fascia di “attuale” pianura che, in realtà, è l'alveo intrecciato, ancora attivabile nelle piene maggiori. Tale alveo intrecciato ha una larghezza di alcune centinaia di metri (300-400 m).
- In condizioni naturali il F. Paglia, in uscita dalla stretta valle presente da Acquapendente ad Allerona, entrava nell'ampia pianura con il suo trasporto solido grossolano che sedimentava, invadendo l'alveo attivo e costringendo la corrente a cambiare sede, così da interessare, via via, buona parte della pianura. Tale interessamento avveniva, talora, con il canale o con i canali di magra, caratteristici di un alveo intrecciato, talora con un unico canale principale, leggermente sinuoso e, a tratti, francamente sinuoso. Nel tratto a valle di Ciconia, la parte principale di sedimenti grossolani era stata sedimentata a monte, cosicché l'alveo, come adesso, quasi privo di corpi sedimentari, ritornava più stabile, monocanale e di dimensioni limitate, favorito in questo dall'effetto autolaminante dell'alveo intrecciato presente a monte. Lo stesso affluente principale (T. Chiani) era interessato da piene laminate dall'ampia pianura palustre presente nel tratto a monte del suo bacino.
- Non vi sono dati precisi sul trasporto solido grossolano. Da osservazioni comparative tra i due settori (superiore e inferiore) del Medio Paglia, si stima che non vi sia un consistente trasporto solido grossolano: la ricchezza di sedimenti grossolani presente in buona parte della pianura e dell'alveo a valle di Allerona, non corrisponde a un grande trasporto solido grossolano. La stessa ampia pianura ha avuto il ruolo (e avrebbe il ruolo, se fosse in condizioni naturali) che ha un conoide di deiezione allo sbocco di una stretta e pendente valle laterale in un'ampia pianura. Anche il conoide di deiezione è ricco di sedimenti grossolani, ma si è formato in lunghi tempi geologici. In tali tempi, anche la produzione di un metro cubo ogni anno di sedimenti grossolani può determinare accumuli di milioni di metri cubi. In un sistema con questi caratteri (che, per esempio, ha un accumulo di 10 milioni di metri cubi) se è necessario, come è necessario, mantenere il sistema in equilibrio dinamico e se tolgo un milione di metri cubi dal sistema in uno o due anni (eventualità non priva di significato nel Basso Paglia) in “astratto” si ritorna all'equilibrio dopo un milione di anni.
- Se i dati sul trasporto solido sono ipotetici e aleatori, sul bilancio sedimentario del Basso Paglia possiamo essere certi e categorici: **il Basso Paglia è in uno stato di grave e irreversibile deficit sedimentario**. Tale deficit è la causa quasi unica dei cambiamenti nella sua dinamica e dello stato di non equilibrio attuali.
- Il deficit sedimentario è tale da aver determinato, per lunghi tratti, l'erosione di tutto il materasso alluvionale ed avere inciso il bedrock argilloso pliocenico come mai avvenuto.
- **In questa condizione, ogni asportazione di sedimenti dall'alveo fluviale corrisponde ad un aggravamento** sia esso: immediato, diretto, localizzato, esteso, indiretto, ritardato o al-

tro, ma sempre e comunque un aggravamento di deficit sedimentario.

- Alveo in uno stato di deficit sedimentario non significa che non vi sono situazioni di sovralluvionamento, per le quali può essere opportuno rimuovere o ricollocare sedimenti; ad esempio, nel caso di un alveo in curva (sinuoso) in fase di approfondimento per erosione verticale, con la sponda esterna alla curva essa pure in erosione (laterale), se l'altezza della sponda era di 1 metro e per la sopravvenuta erosione del fondo diventa di 2 metri, prima dell'approfondimento ogni metro di erosione laterale produceva un metro cubo di materiale; dopo l'approfondimento, ogni metro di erosione laterale, ne produce 2. Tale aumento di produzione, in ipotesi, può determinare delle situazioni localizzate di sovralluvionamento a valle. In tale situazione, se la cura è semplicemente quella di togliere il materiale di troppo, l'effetto (immediato, diretto, localizzato, esteso, indiretto, ritardato o altro) sarà un ulteriore deficit che continuerà ad abbassare l'alveo, ovvero ad aumentare l'altezza della sponda e quindi la produzione di sedimenti che, ancor più, invaderanno l'alveo, secondo il sistema della “serpe che si morde la coda”.
- Asportare i sedimenti dal fiume è sempre un'operazione delicata, che deve essere decisa con un sufficiente livello conoscitivo; per operare correttamente sul fiume occorrono una conoscenza specialistica sull'argomento e una lunga esperienza sul fiume.

Si espongono solo alcuni esempi:

1) in corrispondenza del ponte sulla S.P. n. 48, attorno alla progressiva 41-41,5 km AdA, in periodi diversi, è stato posto il problema di consolidare la sponda esterna alla curva, sponda che corrisponde ad un versante in frana perché scalzato alla base dal fiume. Negli anni '90 il NOS di Terni eseguì “lavori di ordinaria manutenzione della sezione idraulica”. Tali lavori consistevano nella asportazione della barra di meandro, presente sul lato sinistro dell'alveo, che corrisponde alla sponda interna alla curva. I lavori furono eseguiti, ma la barra di meandro, poco dopo (e tuttora) si è riformata ed è sempre presente. La sua assenza è stata effimera e l'effetto dei lavori sulla stabilità della sponda esterna insignificante. Si può continuare a togliere la barra di meandro n volte e n volte la barra di meandro si riformerà (vedi allegato 3). La soluzione non consiste nel togliere la barra di meandro, che porterà solo ad un aumento del deficit sedimentario o ad un aumento di produzione localizzata di sedimenti a valle; la soluzione può essere quella di consolidare la sponda esterna alla curva, operazione che il Consorzio per la Bonifica della Valdichiana Romana e la Val di Paglia sta realizzando adesso. Una volta consolidata la sponda esterna ed eventualmente resa “mobile” la barra di meandro, vi sarà un autodimensionamento dell'alveo e della stessa barra di meandro che rimarrà presente, attiva e nella sua posizione, come deve essere (le barre di meandro sono “barre di posizione”).

2) A monte del Ponte dell'Adunata (progressiva 52,0-53,0 km AdA), durante piene molto intense, l'alveo può esondare, ad esempio in sponda destra, per l'effetto di rigurgito dovuto all'ingombro del Ponte dell'Adunata, aggravato dal contributo di portata del T. Chiani. In questo caso, la corrente principale, più veloce e turbolenta, può cambiare direzione e, anziché seguire l'asse dell'alveo, dove la velocità è relativamente più lenta a causa del rigurgito, può dirigersi verso la pianura limitrofa alla sponda e creare sulla stessa pianura fenomeni di erosione e di sedimentazione. In questa situazione, se la sponda resiste e non viene incisa, può formarsi una barra, anche molto alta, che tende a raccordare il canale di magra con il bordo della sponda. Quella barra sarà certamente non in equilibrio con la normale dinamica dell'alveo e, se non distrutta dalla corrente, potrà creare problemi localizzati. In quel caso la rimozione di parte della barra deve essere considerata tra le azioni opportune da valutare.

3) in località “la Barca Vecchia” (progressive 38,5-39,5 km AdA) un grande ammasso roccioso si è collocato all'interno dell'alveo e ha determinato l'abbandono del canale di taglio di un antico meandro, riattivando l'erosione in sponda esterna che, se non contrastata, svilupperà il meandro, distruggendo i vigneti e la costruzione ivi realizzata. Anche in questo caso, può crearsi una situazione particolare, per la quale può essere considerata l'opportunità di spostare sedimenti. In ogni caso, è estremamente opportuno eliminare lo sperone roccioso in questione.

- L'alveo del Medio Paglia è privo di opere e si trova in condizioni quasi naturali.
- Nel Basso Paglia l'unica opera che determina un livello di base locale è la soglia di massi presente a valle del Ponte Adunata, vicino all'progressiva 53,5 km AdA. Vi sono sette ponti, tutti privi di platea continua; per il resto, che non è molto, vi sono opere di consolidamento di sponda, per lo più costruite con scogliere o realizzate da pennelli e gabbioni. Nella parte più a valle alcuni argini sono presenti a parziale protezione di Ciconia e altri insediamenti.
- La mobilità dell'alveo è praticamente nulla nei tratti 1 e 6, massima nei tratti 2,3 e 4 e limitata nel tratto 5.
- Tutto il Basso Paglia è in forte erosione verticale e laterale, attiva prevalentemente nel canale principale di magra.
- Schematicamente e sinteticamente, il Medio Paglia (tratto 1) può essere descritto come alveo monocanale, quasi fisso.
- Il Basso Paglia, nei tratti 2, 3, 4 e 5 può essere, nelle condizioni attuali di transizione, un alveo monocanale a bassa sinuosità, con larghezza di alcune decine di metri, posto all'interno di un alveo divagante, intrecciato, largo alcune centinaia di metri.
- Il tratto 6 è un alveo dritto, per altro simile al tratto 1

17 LINEE GUIDA PROGETTUALI

17.1 Premesse

Per il tipo di alveo che interessa il Basso Paglia - di per sé molto problematico e instabile e per il suo stato di transizione non reversibile dovuto al lungo periodo di deficit sedimentario - si ritiene che le azioni e le opere finalizzate:

- alla sicurezza della pianura fluviale
- alla stabilità dell'alveo
- all'utilizzazione delle sue risorse (acqua, energia, sedimenti, habitat)

debbano essere **considerate come componenti all'interno di un progetto generale unitario di sistemazione.**

Opere e azioni considerate come episodi a sé stanti, connessi a problemi o condizioni locali e dettate dall'urgenza, se non dall'emergenza, **possono risultare inutili e/o dannose**, se non inquadrate in un progetto generale di gestione del sistema alveo – pianura fluviale. Se tale progetto non comprendesse anche **l'Alto Paglia e il T. Chiani, rimarrebbe un problema aperto che potrebbe influire sulle soluzioni progettuali relativa al Basso Paglia.**

Come è stato evidenziato, il bilancio sedimentario del Basso Paglia è fortemente negativo. È questo un dato generale del Basso Paglia e, pertanto, non vi sono tratti con prevalenti meccanismi di deposito che consentano di allontanare dal sistema fluviale ingenti quantità di sedimenti. L'eventualità di asportare dall'alveo fluviale sedimenti, deve essere verificata a valle del progetto generale di sistemazione, per il quale comunque potrebbe essere presumibilmente necessario movimentare ingenti quantità di sedimenti.

Se i sedimenti da togliere vengono eliminati dall'area fluviale del Basso Paglia, i sedimenti da utilizzare in altre situazioni per la realizzazione del progetto, dovrebbero essere immessi nel sistema fluviale, con evidenti costi e impatti negativi.

Ciò non significa che non si può toccare un ciottolo, senza far danno.

Esistono certamente alcune (rare) situazioni in cui ciò è possibile e talora necessario ma, considerato lo stato dell'alveo, ognuna di tali operazioni deve essere oggetto di un'attenta e compiuta progettazione, che consideri anche i risultati di un inquadramento e di un approfondimento morfologico-sedimentario e idraulico specifici e coerenti con il progetto generale. Ad esempio, se la soluzione è quella di togliere una barra di meandro per garantire l'officiosità idraulica di una sezione, la risposta non può che essere negativa.

Se la proposta è di rimodellare una barra trasversale creatasi in seguito ad un evento di piena molto intenso, durante il superamento della sponda da parte della corrente, la proposta deve essere considerata con la dovuta attenzione e cautela.

17.2 Criteri generali di inquadramento

Considerando i 6 tratti precedentemente definiti:

- Nel tratto 1 non vi sono problemi da risolvere. Il tratto è stabile (a parte le sponde, che non

creano problemi) e svolge il ruolo di canale di transito dall'Alto Paglia al Basso Paglia.

- Nel tratto 2 l'alveo è notevolmente mobile e instabile. È interessato dalla duplice condizione di alveo sinuoso e di alveo intrecciato. La pianura, molto ampia, è interessata e “tagliata” da diverse infrastrutture. Sono presenti diversi insediamenti isolati che, nel suo insieme, in prima ipotesi, non consentono di considerarla come disponibile per un ruolo specifico. Tale area, per quanto necessario, dovrebbe essere protetta. Gli unici due settori che potrebbero essere considerati per svolgere un ruolo di laminazione corrispondono al vecchio meandro della Barca Vecchia, in sponda sinistra (38,5 – 39,5 km AdA) e ad una limitata fascia in sponda destra a valle del ponte della SP 48 (41,5 – 42,5 km AdA).
- I due tratti 3 e 4 sono i più mobili, i più instabili e con un'ampia parte di pianura, sia in destra, sia in sinistra idrografica. Vi sono rari insediamenti isolati e ampie superfici agricole.
- Il tratto 5 ha una pianura più limitata, un alveo meno mobile e più stabile. Nel tratto è più consistente la necessità di protezione dei centri abitati di pianura come Ciconia e Orvieto Scalo.
- Il tratto 6 non è di grande interesse, perché pochi sono i beni esposti e l'alveo è quasi fisso.

17.3 Schema ipotetico di progetto

Sulla base delle osservazioni e delle determinazioni fatte, uno schema generale di progetto può essere il seguente:

- per i tratti 2, 3 e 4 si deve definire un alveo sinuoso a bassa sinuosità (attorno a 1,2) e con parametri sinuometrici vicini a quelli rilevati, senza tratti rettilinei (semilunghezza delle curve, semiampiezza delle curve, angoli di flesso), realizzato con difese di sponda nei tratti esterni alle curve fino ai punti di flesso. L'alveo sinuoso dovrà avere una dimensione pari a quella necessaria a far transitare senza esondazione portate con tempi di ritorno non superiore a 3-5 anni. Le **opere di consolidamento** (scogliere o altre idonee) **dovranno essere sormontabili** - senza essere distrutte o anche solo gravemente danneggiate - da piene con tempi di ritorno superiori. Nell'alveo così strutturato dovrebbero formarsi, al suo interno, corpi sedimentari (es. barre di meandro) nude e attive.
- **saranno necessarie**, per fermare l'erosione verticale, **alcune traverse**. Quante e dove è una scelta che dipende da alcuni elementi essenziali di pianificazione e di progetto, quali la possibilità di produrre energia elettrica con impianti ad acqua fluente; condizioni di rischio di esondazione, etc.
- l'**alveo sinuoso** sopra descritto deve essere **all'interno del vecchio, ma ancora “attuale” alveo intrecciato** che occuperà tutti i lembi di alveo relitto e quella parte della pianura che, in realtà, è ancora sede dell'alveo intrecciato.
- deve essere definita, tramite modelli adeguati, la portata transitabile nel sistema alveo sinuoso – alveo intrecciato.
- devono essere definiti gli effetti dell'esondazione nel tratto 5, dovuta al transito di portate superiori a quelle contenibili nel sistema stesso, una volta sistemato.
- la **parte di portata eccedente** la capacità dell'alveo in tal modo ristrutturato (sistema alveo sinuoso – alveo intrecciato) può essere ulteriormente **laminata attraverso la realizzazione di casse e/o aree di espansione** nei tratti 3 e 4, rese compatibili con usi agricoli, per quanto

possibile.

- **per quanto non laminabile** ulteriormente, dovrà essere realizzato un **sistema di argini** adeguato, nel tratto 5, in corrispondenza dei centri abitati di Ciconia e Orvieto Scalo che li protegga da piene con i tempi di ritorno di progetto.
- Riassumendo, la laminazione può essere ottenuta, per quanto possibile, dalla seconda tipologia di alveo (quello intrecciato); per le quote in eccedenza da eventuali **aree e/o casse espansione** nei tratti 3 e 4, realizzate nelle fasce di pianura disponibili ed utilizzate prevalentemente per usi agricoli, **rendendole compatibili con gli stessi usi**. Le casse di espansione dovrebbero essere utilizzate solo per il “taglio” dei picchi di piena e quindi solo per piene oltre una soglia molto alta. Il rischio residuo (portate ancora maggiori) per le aree maggiormente urbanizzate (tratto 5) potrà essere gestito anche tramite la realizzazione di idonee arginature a protezione delle aree stesse, preso atto dei ruoli e dei problemi che possono essere connessi ai rilevati relativi alle infrastrutture viarie e ferroviarie presenti.

18 CONSIDERAZIONI FINALI

18.1 Obiettivi e finalizzazioni dello studio

Lo studio è stato concepito per un ampio ventaglio di utilizzazioni ed ha, come obiettivo principale, la gestione della dinamica morfo-sedimentaria del sistema alveo – pianura fluviale del Basso Paglia.

Lo studio contiene i principali elementi tecnico-conoscitivi, precedentemente esposti.

Tali elementi sono necessari alla corretta progettazione di opere e azioni che consentano la minimizzazione del rischio idraulico da dinamica d'alveo.

Gli stessi elementi tecnico-conoscitivi potranno consentire, nelle successive fasi di progettazione, di minimizzare le indagini di progetto, definendo correttamente e compiutamente i suoi caratteri tecnico-costruttivi, compatibili con la dinamica dell'alveo.

Lo studio è finalizzato anche alla valutazione della possibilità di procedere ad eventuali rimozioni di depositi alluvionali (barre) presenti nei vari tratti di alveo, individuando tratti a prevalente stato di erosione e tratti a prevalente stato di sedimentazione e indicando con quale modalità procedere nella rimozione per scongiurare possibili dissesti.

Lo studio deve essere comunque lo strumento sulla base del quale pianificare ed eseguire interventi di manutenzione funzionali alla ridefinizione e al mantenimento delle sezioni di deflusso con l'opportuna officiosità idraulica.

In questo progetto un'attenzione particolare dovrà essere rivolta alla gestione della vegetazione: la vegetazione nel Basso Paglia è, da un lato, un elemento essenziale per la stabilità dell'alveo; dall'altro è una fonte di pericolo quando, durante le piene, viene asportata e flottata verso le opere presenti a valle. La vegetazione deve essere considerata una componente dell'alveo e gestita, come tale, senza limitazioni e regole esterne derivanti da Autorità diverse, come il Corpo Forestale o Beni Paesaggistici. Altrimenti, sarebbe come far gestire il tappeto erboso di un campo di calcio dal Ministero dell'Agricoltura per ottimizzare la produzione di fieno.

Ciò non significa che non sia importante un approfondimento appropriato da parte di esperti forestali e del paesaggio; significa che la formulazione del progetto e dei piani di gestione, nonché la loro attuazione, sono argomenti complessi di carattere interdisciplinare che devono essere trattati responsabilmente da diversi esperti, ognuno limitatamente al proprio settore, in modo unitario e sinergico e non in modo settoriale, senza considerare i “possibili” effetti collaterali che talora possono essere disastrosi.

18.2 Trasferimento dei risultati

La lettura della presente relazione è il modo per trasferire i risultati dello studio; in realtà i risultati trasferibili tramite lettura sono solo una parte. L'altra parte, forse la più importante, può essere utile solo nell'ambito di un'attività comune tra tutti gli esperti che opereranno nelle fasi successive: impostazione, formulazione, sviluppo del progetto; realizzazione e gestione delle opere e delle azioni di progetto.

18.3 L'evento di piena del 11-14 novembre 2012

Lo studio e, in particolare, i rilevamenti a terra (agosto-settembre 2012) sono antecedenti alla piena dell' 11-14 novembre 2012.

Tale piena, dalle prime valutazioni della Protezione Civile, riportate nel Rapporto di Evento del 28/12/2012, corrisponde ad un tempo di ritorno compreso tra i 100 e i 200 anni.

Il sistema alveo – pianura fluviale, a causa dell'evento, ha subito notevoli danni e modificazioni - come è inevitabile per fenomeni di tale intensità - e si trova adesso in uno stato molto particolare.

Il presente studio si basa, come deve basarsi, sui caratteri “normali” del fiume ed ha considerato anche quale può essere il “comportamento” del fiume di fronte a fenomeni intensi.

Dopo l'evento di piena citato, sono stati svolti sopralluoghi e rilievi lungo tutto il tratto studiato e sono state rilevate le particolari condizioni del sistema alveo – pianura fluviale.

Nella sua tragicità, l'evento di piena ha rappresentato un sistema di verifica insostituibile che ha sostanzialmente confermato la corrispondenza dei risultati dello studio con il comportamento reale del sistema.

19. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Ambrosetti P., Carboni M.G., Conti M.A., Costantini A., Esu D., Gandin A., Girotti O., Lazzarotto A., Mazzanti R., Nicosia U., Parisi G. & Sandrelli F. (1978) – *Evoluzione paleogeografica e tettonica nei bacini tosco-umbro-laziali nel Pliocene e nel Pleistocene inferiore*. Mem. Soc. Geol. It., 19, 573-580.
- Ambrosetti P., Carboni M.G., Conti M.A., Esu D., Girotti O., La Monica G.B., Landini B. & Parisi G. (1987). *Il Pliocene ed il Pleistocene inferiore del bacino del Fiume Tevere nell'Umbria meridionale*. Geogr. Fis. Din. Quat., 10, 10-33.
- Boila P., Lavecchia G. Piali G., Giaquinto S. (1982) - *Caratteri geologico-strutturali del bacino del Fiume Paglia (Umbria-Toscana)*. Progetto Finalizzato Energetica, CNR - Sottoprogetto Energia Geotermica (CNR). Relazione finale 16, 7-32, allegato A (Cartografia).
- Cattuto C., Cencetti C. & Gregori L. (1988) - *Il bacino di Pornello-Frattaguida e l'evoluzione idrografica plio-pleistocenica tra il Fiume Paglia e il Fiume Tevere*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 11 (Suppl.), 161-170, 6 ff., 1 tav. f.t. ISSN: 0391-9838.
- Cattuto C., Cencetti C. & Gregori L. (1992) - *Il Plio-Pleistocene nell'area medio-alta del bacino del F. Tevere: possibile modello morfotettonico*. Studi Geol. Camerti, vol. spec. (1992/1), 103-108, 3 ff., 1 tav. f.t. ISSN: 1124-1322.
- Cattuto C., Cencetti C. & Gregori L. (1994) - *Gli itinerari. Itinerario n. 7 (da Orvieto a Spoleto). Prima parte: da Orvieto a Todi (Sosta 7.1 – Panorama sulla Rupe di Orvieto)*. In: "Guide Geologiche Regionali (a cura della Società Geologica Italiana) - Appennino umbro-marchigiano", 7, 170-171, 3 ff. ISBN: 88-7143-134-0/88-7143-173-1. BE-MA Editrice, Milano.
- Cattuto C., Cencetti C. & Gregori L. (1997) - *Un vistoso esempio di controllo strutturale e di morfogenesi fluviale tra Todi e Baschi (Fg. 130 Carta d'Italia)*. Il Quaternario, 10, 2, 181-190. ISSN: 0394-3356.
- Cencetti C. (1990) - *Morfogenesi fluviale, tettonica ed evoluzione del paesaggio appenninico nel Plio-Pleistocene*. Tesi di dottorato, Biblioteche Nazionali di Roma (Collocazione: DISS. 1991/298) e Firenze (Collocazione: TDR 1991 00293; Inventario: CF989100293), 148 pp., 8 tavv. f.t.
- Cencetti C., Conversini P., Ribaldi C. & Tacconi P. (1996) - *Fenomeni di sbarramento naturale d'alveo nei corsi d'acqua dell'Appennino centrale*. Atti del Convegno Internazionale "La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica" (Alba, 5-7 novembre 1996), 1, 397-407.
- Cencetti C., Fredduzzi A. & Marchesini I. (2002) - *Evoluzione e dinamica dell'alveo del torrente Chiani (Umbria): problemi di rischio geologico-idraulico e di conservazione dell'ambiente fisico*. Atti del Convegno Nazionale "Conservazione dell'ambiente e rischio idrogeologico" (Assisi, 11-12 dicembre 2002). CNR-GNDICI, Pubbl. n. 2830, 108-120.

- Cencetti C., Fredduzzi A. & Marchesini I.** (2004) - *Processi di erosione negli alvei ghiaiosi dell'Italia centrale. Il fiume Paglia (bacino del Tevere)*. Atti della 8^a Conferenza ASITA "GEOMATICA - Standardizzazione, interoperabilità e nuove tecnologie " (Fiera di Roma, 14-17 dicembre 2004), Vol. I, 731-736. ISBN: 88-900943-6-2.
- Ciccacci S., D'Alessandro L., Fredi P. & Lupia Palmieri E.** (1988) - *Contributo dell'analisi geomorfica quantitativa allo studio dei processi di denudazione nel bacino idrografico del Torrente Paglia (Toscana meridionale-Lazio settentrionale)*. Geogr. Fis e Dinam. Quat., Suppl. I, 171-188, 9 fig., 2 tab., 1 carta f.t., Torino.
- Damiani A.V.** (1991) - *Osservazioni stratigrafico-strutturali sull'area fra le Valli dei fiumi Paglia e Tevere, a Sud del Lago Trasimeno*. Studi Geologici Camerti, 1, Vol. spec., 243-250.
- Damiani A.V. & Mencarelli I.** (1990) - *Controlli strutturali subiti dalla sedimentazione "etrusca" affiorante nella finestra tettonica del M. Peglia (Umbria di SW)*. Rend. Soc. Geol. It., 13, 147-150.
- FISRWG** (1998) - *Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices*. By the Federal Interagency Stream Restoration Working Group (FISRWG)(15 Federal agencies of the US gov't). GPO Item No. 0120-A; SuDocs No. A 57.6/2:EN 3/PT.653. ISBN-0-934213-59-3.
- Fredduzzi A.** (2005) - *Metodologia di studio della dinamica evolutiva, del trasporto solido e delle variazioni morfologiche di un alveo mobile - il Fiume Paglia (bacino del F.Tevere)*". Tesi di dottorato di ricerca in "Geologia applicata, Geomorfologia e Idrogeologia" - XVII ciclo, Università degli Studi di Perugia.
- Giaquinto S., Marchetti G. & Mattioli B.** (1982) - *Caratteri idrogeologici del bacino del fiume Paglia (Umbria-Toscana)*. Progetto Finalizzato Energetica - Sottoprogetto Energia Geotermica (CNR). Relazione finale 16, 33-45.
- Inglis C.C.** (1949) - *The behaviour and control of river and canals*. Central Water Power Irrig. Navig. Res. Station, Poona (India), Res. Publ., 13 pags.
- Leopold L.B., Wolman M.G., & Miller J.P.** (1964) - *Fluvial Processes in Geomorphology*. W.H. Freeman and Company, San Francisco, California.
- Rosgen D.** (1996) - *Applied river morphology*. Wildlife Hydrology, Pagosa Springs, CO.
- Tacconi P.** (1990) - *La dinamica fluviale*. Atti del VII Congresso Nazionale dell'Ordine dei Geologi (Roma, 25-27 ottobre 1990), 29-42, 1 app.