



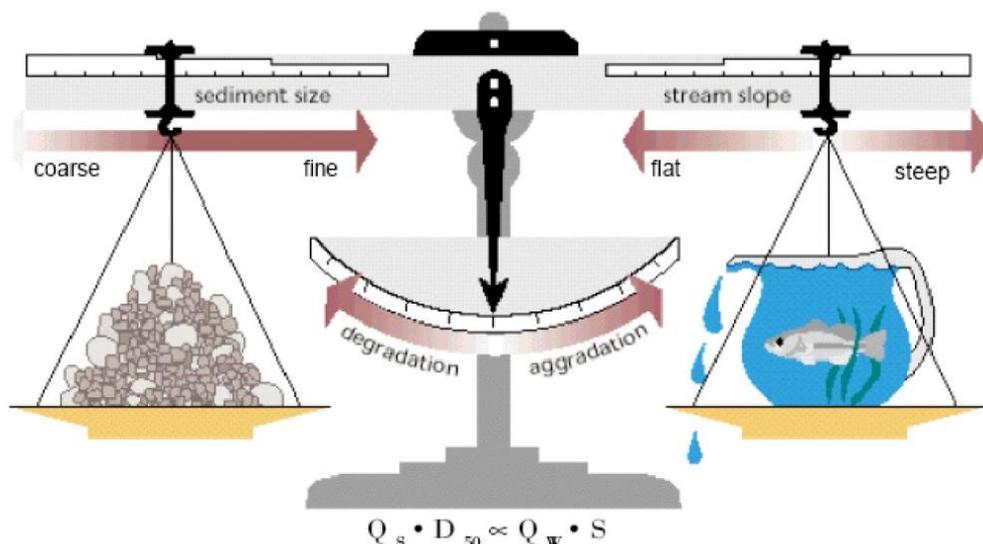
Consulenza specialistica di carattere geologico-geomorfologico sulla dinamica fluviale del Paglia, definizione del master plan per la sistemazione del tratto inferiore del fiume Paglia

(Delibera Commissariale 144 del 18 agosto 2014)

Emissione:

Dicembre 2014

## RELAZIONE



*Factors affecting channel equilibrium. At equilibrium, slope and flow balance the size and quantity of sediment particles the stream moves.*

Prof. Corrado Cencetti  
Dott. Andrea Fredduzzi  
Ing. Pierluigi De Rosa  
**Università di Perugia**



Prof. Paolo Tacconi  
Dott. Giovanni Cazzaroli



Archivio Geoconsul n. 550 - 19/12/14

PARTE PRIMA.....	5
1. PREMESSE .....	5
1.1 Attività pregressa.....	5
1.2 Attività attuale .....	6
1.3 Metodi di studio .....	6
1.4 L'approccio morfologico-sedimentario .....	7
1,4,1 Introduzione .....	7
1.4.2 Sistemi di riferimento.....	8
1.4.3 Riferimento agli studi precedenti .....	8
2. Oggetto del lavoro.....	9
3 Gruppo di lavoro .....	9
4 Trasferimento dei risultati .....	9
PARTE SECONDA.....	10
5 Elementi conoscitivi alle diverse scale spazio-temporali .....	10
5.1 Caratteri generali del sistema fluviale del Fiume Paglia a piccola scala .....	10
6. Caratteri geologici.....	10
6.1 Caratteri geomorfologici .....	11
6.2 Caratteri idrografici.....	12
6.3 Caratteri del profilo longitudinale del Fiume Paglia.....	12
6.4 Antropizzazione, vegetazione e uso del suolo .....	14
6.5 Fenomeni erosivi/produzione di sedimenti .....	14
6.6 Tratti caratteristici a piccola scala- Il Torrente Chiani. ....	15
6.7 Tratti caratteristici a piccola scala - Il Fiume Paglia.....	15
7 Caratteri morfologico-sedimentari a media scala, del sistema alveo-pianura fluviale del F.Paglia. .....	16
7.1 Alto Paglia (a monte dell'area in studio) .....	16
7.2 Medio Paglia (a monte dell'area in studio).....	17
7.2.1 Medio paglia- Settore di monte.....	17
7.2.2 Medio Paglia-Settore di valle.....	17
7.2.3 Basso Paglia (tratto di interesse del presente lavoro) .....	18
8 Analisi dettagliata di media e grande scala del sistema alveo-pianura fluviale del basso Paglia ...	19
8.1 Tratti omogenei caratteristici .....	19
9 Indagine storica sui caratteri del Basso Paglia.....	20
9.1 Analisi storica-Principali risultati.....	20

9.2	Interventi dell'Ufficio del Genio Civile di Terni, realizzati tra il 1915 e il 1960.....	21
9.3	Confronto tra sezioni trasversali del 1951 e del 2008.....	21
10.	Descrizione dei caratteri e dei parametri descrittivi a media-grande scala.....	22
10.1	Definizione dei caratteri e dei parametri morfologico-sedimentari di media scala .....	22
10.1.1	Sinuometria (vedi tavole sinuometria -planimetria Master Plan scala 1:5000).....	23
10.1.2	Caratteri sinuometrici del basso Paglia.(vedi tavola sinuometria citata).....	24
10.2	Definizione dei caratteri e dei parametri morfologico-sedimentari a grande scala .....	25
10.2.1	Caratteri granulometrici .....	26
10.2.2	Caratteri delle sezioni trasversali .....	28
10.2.3	Parametri morfologici delle sezioni trasversali attuali in condizioni di <i>bankfull</i> (Bankfull) e di <i>flood-prone area</i> (FPA).....	29
11	Classificazione dell'alveo .....	31
PARTE TERZA.....		32
12	Variazioni dei caratteri morfologico-sedimentari del F. Paglia, indotte dalle piene del 2010 e del 2012.....	32
12.1	Premessa.....	32
12.2	Descrizione dell'evento alluvionale 11-14 novembre 2012 .....	32
12.2.1	Dati pluviometrici .....	32
12.2.2	Dati idrometrici .....	33
12.3	Confronto tra modelli digitali del terreno ad alta risoluzione (LIDAR) – Periodo 2009-2014 .....	33
12.3.1	Sintesi e commento dei risultati .....	34
12.4	Fotointerpretazione – Descrizione della procedura di lavoro .....	35
12.4.1	Alveo .....	36
	Sponde dell'alveo pieno .....	36
	Corpi sedimentari.....	36
	Canale di magra .....	37
12.4.2	Pianura fluviale .....	37
12.5	Descrizione dettagliata dei risultati della fotointerpretazione.....	38
12.5.1	Tratto da “Barca vecchia” alla confluenza con il T. Ritorto .....	38
	Pianura .....	38
	Alveo.....	38
	Sponde .....	38
	Corpi sedimentari .....	38
	Canale/i di magra.....	38
	Note e commenti .....	38
12.5.2	Tratto dalla confluenza con il T. Ritorto alla confluenza con il Fosso di Orvieto .....	39
	Pianura .....	39
	Alveo.....	40

Sponde .....	40
Corpi sedimentari .....	40
Canale/i di magra.....	41
Note e commenti .....	41
12.5.3Tratto compreso tra la confluenza del Fosso di Orvieto e la confluenza con il Fosso Albergo la Nona .....	41
Pianura .....	41
Alveo.....	41
Sponde .....	41
Corpi sedimentari .....	41
Canale/i di magra.....	41
Note e commenti .....	42
12.5.4Tratto compreso tra la confluenza con il Fosso Albergo la Nona e la briglia a valle di Ponte Adunata .....	42
Pianura .....	42
Alveo.....	42
Sponde .....	42
Corpi sedimentari .....	42
Canale/i di magra.....	42
Note e commenti .....	43
12.5.5 Tratto compreso la briglia a valle di Ponte Adunata e la confluenza nel Tevere .....	43
Pianura .....	43
Alveo.....	43
Sponde .....	43
Corpi sedimentari .....	43
Canale/i di magra.....	44
Note e commenti .....	44
PARTE QUARTA .....	44
13 Modello concettuale specifico del sistema alveo/pianura fluviale del basso Paglia- .....	44
13.1 Caratteri della pianura fluviale.....	44
13.2 Caratteri dell'alveo .....	47
14 Schema sintetico del modello concettuale specifico ai fini della formulazione dell'ipotesi di Master Plan .....	51
15.1 La pianura fluviale .....	52
15.2 L'alveo pieno.....	52
15.3 Caratteri sedimentari .....	53
15.3.1 Le barre e le altre forme di fondo .....	53
15.3.2. Le granulometrie .....	53

15.4 Bilancio sedimentario e tendenze evolutive.....	54
16 PRINCIPI ORDINATORI PER LA FORMULAZIONE DELL'IPOTESI DEL MASTER PLAN. .....	55
17 Master Plan - Linee Guida progettuali.....	57
17.1 Premesse.....	57
17.2 Criteri generali di inquadramento .....	57
18 Ipotesi di Master Plan .....	58
18.1 Obiettivi di progetto.....	58
19 Descrizione della ipotesi proposta per il Master Plan.....	59
19.1 Premessa.....	59
19.2 Struttura dell'alveo .....	59
19.3 Caratteri dell'alveo sinuoso ipotizzato .....	60
19.4 Sinuometria .....	60
19.5 caratteri granulometrici dell 'alveo sinuoso(vedi relazione Provincia).....	62
19.6 Profilo longitudinale .....	62
19.7 caratteri dell'alveo intrecciato .....	63

## PARTE PRIMA

### 1. PREMESSE

#### 1.1 Attività pregressa

- Nel mese di novembre dell'anno 2012 il Bacino del Fiume Paglia è stato interessato da intensi eventi piovosi che furono causa di un grande fenomeno di piena che determinò l'esondazione del fiume, con gravi effetti sulla dinamica dell'alveo ed estesi ed ingenti danni all'agricoltura, alle infrastrutture e alle aree edificate, sia urbane che industriali.

- Prima di tali eventi la Provincia di Terni, con Delibera della Giunta n.96 del 08/05/2012, ha dato allo stesso gruppo di esperti e ricercatori, estensori della presente relazione, l'incarico di effettuare uno **"Studio sulla Dinamica Fluviale per la Gestione Morfo-sedimentaria del Sistema Alveo-Pianura Fluviale del Fiume Paglia"**

- Lo studio citato 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 di particolare instabilità.

- Lo studio citato 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, furono svolti alcuni sopralluoghi e rilievi a campione, lungo il tratto studiato e furono osservate 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 coerenza dei risultati dello studio con il comportamento reale del sistema.

## 1.2 Attività attuale

- Il Consorzio per la Bonifica della Val di Chiana Romana e Val di Paglia, Ente Pubblico Economico, è stato individuato come Ente Attuatore e il Presidente del Consorzio è stato nominato Commissario Straordinario, per gli "Interventi urgenti per la mitigazione del rischio idraulico del Fiume Paglia nel tratto vallivo ricadente nel territorio della Regione Umbria nei Comuni di Allerona, Castel Viscardo e Orvieto - 1° stralcio funzionale: Opere di riduzione del rischio in ambito urbano".
- Il Consorzio per la Bonifica della Val di Chiana Romana e Val di Paglia, con Delibera Commissionaria n 144 del 18 agosto 2014, tenuto conto dei risultati del citato studio della Provincia di Terni e dell'offerta tecnico-economica congiunta fatta dagli stessi esperti e ricercatori, attualmente appartenenti in parte al Dipartimento di Fisica e Geologia dell'Università di Perugia, in parte dell'Associazione Professionale Geoconsul di Firenze, ha affidato, tramite specifiche convenzioni separate e coordinate fra i due Soggetti, la consulenza tecnico scientifica specialistica relativa, in sintesi, agli aspetti di dinamica fluviale di interesse per la corretta progettazione degli interventi urgenti citati.
- E' convinzione comune del Consorzio e del gruppo di studio e di progettazione che tali interventi non possano 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.

## 1.3 Metodi di studio

I fenomeni fluviali sono fenomeni molto complessi che interessano numerosi campi di conoscenza e quindi numerosi esperti: climatologi, idrologici, idraulici, chimici, biologi, naturalisti, architetti, urbanisti, agronomi, forestali, geologi, geomorfologici, sedimentologi, ingegneri; ma anche molti altri come avvocati, giudici, economisti, attuariali, ecc.

I fenomeni fluviali interessano anche ampi campi relativi alla gestione e alla pianificazione del territorio; campi che considerano il **fiume come risorsa**. ad esempio i piani che riguardano le risorse idriche, le attività estrattive, l'energia, i trasporti, il paesaggio, la pesca sportiva o altre attività ludiche come la canoa. La gestione e la pianificazione del territorio comprende anche campi che considerano il **fiume un pericolo**, come i piani sull'assetto idrogeologico o sulla qualità delle acque.

Gli studi e la conoscenza di un fiume possono essere diversi in relazione ai diversi campi e obiettivi degli stessi studi.

In una impostazione scientificamente avanzata vi sono due approcci "base" che, seppure in diversa misura, sono sempre necessari:

- **l'approccio morfologico - sedimentario**

- **l'approccio idrologico - idraulico**

i due approcci non si pongono in alternativa, si pongono in parallelo e si completano a vicenda.

Nell'approccio idrologico - idraulico, classico dell'ingegneria, si utilizzano dati e metodi statistici; si analizzano **serie storiche di dati** (afflussi, deflussi, livelli idrici, ecc.) e si usano le leggi dell'idraulica per definire le relazioni fra alveo (perimetro bagnato, raggio idraulico, pendenza, scabrezza, ecc.) e corrente idrica (portata, velocità, turbolenza, ecc.).

Nell'approccio morfologico - sedimentario, considerata la carenza se non l'assenza di serie storiche di dati come il trasporto solido, si considerano, per così dire, **i suoi effetti "formativi"** che sono rilevabili nel "sistema fiume" osservandolo e definendolo a diverse scale spazio/ temporali:

- **Piccola scala**, nella quale si considerano e si definiscono i caratteri a livello di bacino idrografico, come: il reticolo idrografico o il clima e le loro variazioni in tempi geologici.

- **Media scala**, nella quale si considerano e si definiscono tratti omogenei del sistema alveo pianura fluviale e le loro variazioni in tempi storici.

- **Grande scala**, nella quale si considerano e si definiscono le diverse componenti dell'alveo e della pianura fluviale e le loro variazioni nei singoli eventi, in tempo reale.

La conoscenza ottenuta alle diverse scale spazio/ temporali consente di valutare e spesso di definire: il comportamento attuale del fiume, la sua variabilità, le sue tendenze evolutive e le reazioni dello stesso fiume di fronte a input naturali come una piena centenaria o di fronte a input esterni come: la costruzione di una diga, il consolidamento di una sponda, la realizzazione di argini, l'estrazione di inerti, ecc.

## 1.4 L'approccio morfologico-sedimentario

### 1,4,1 Introduzione

L'approccio morfologico - sedimentario, schematicamente inizia con una sequenza di osservazioni, descrizioni, misurazioni, analisi, studi, del "sistema naturale fiume" a diverse scale spazio-temporali di dettaglio crescente. Tale approccio, auspicabile in parallelo con l'approccio idrologico-idraulico, definisce gli elementi conoscitivi necessari e sufficienti per una corretta "gestione" del sistema alveo/pianura fluviale, sia nella fase di Pianificazione, sia nella fase di Progettazione, sia nella complessa fase di Manutenzione delle opere e delle azioni che interessano il Fiume, sia nel campo delle risorse, sia nel campo dei rischi.

L'approccio morfologico - sedimentario si esprime, per quanto possibile, con il linguaggio quantitativo proprio dell'Ingegneria, attraverso parametri e modelli; si esprime inoltre con il linguaggio descrittivo "esperto" proprio delle Scienze della Terra definendo il "**modello concettuale**" di riferimento e, per ogni situazione specifica, il "**modello concettuale specifico**" attraverso i quali si individuano quali fossero o siano i caratteri fisici, naturali del fiume e quale sia il suo comportamento in relazione ai fenomeni naturali ed ai condizionamenti indotti.

Nell'approccio morfologico - sedimentario:

-Le osservazioni, le descrizioni, le misurazioni, le analisi, e gli studi, interessano le diverse scale spazio- temporali:

bacino idrografico/ tempi geologici;

alveo e pianura fluviale /tempi storici;

componenti dell'alveo /tempo reale.

-Si descrivono le azioni e le opere che hanno interessato il sistema fluviale, che hanno condizionato e che condizionano il comportamento del fiume (estrazione di inerti, laminazione delle piene, arginature, difese di sponda, traverse, ecc.) nelle condizioni attuali.

-Si individuano i tratti e/ o le situazioni omogenee per caratteri e per comportamento, definendone le caratteristiche.

-Si individuano le situazioni particolari o problematiche.

-Si definiscono le tendenze evolutive dei singoli tratti e delle situazioni particolari.

Nell'approccio morfologico- sedimentario si utilizzano alcune specifiche ed alcuni concetti particolari:

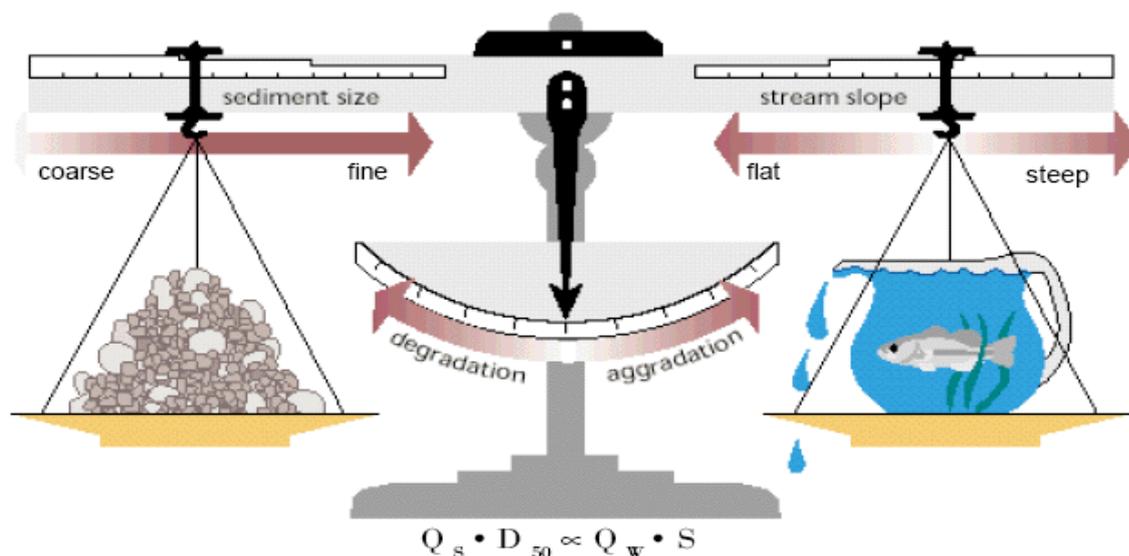
-**per "fiume" si intende sempre il binomio alveo/pianura fluviale**; i due termini sono sempre da considerarsi assieme, anche quando, paradossalmente, uno dei due è assente.

-Un tratto di alveo si considera in uno stato di equilibrio se, nel tempo (media scala) non cambiano: la sua tipologia, le sue dimensioni, la sua pendenza. In questo stato di equilibrio, in un generico settore in esame il bilancio del trasporto solido in entrata da monte ed in uscita verso valle, in tempi storici, è attorno a zero. In questa situazione la sommatoria di tutti i processi che avvengono nell'alveo, in un periodo di media scala, non determinano erosione o aggradazione generalizzata; mentre possono variare la posizione e la forma delle sponde e, all'interno dell'alveo, i corpi sedimentari (barre) possono muoversi e cambiare la loro frequenza le loro dimensioni, la loro

forma, cambiando così la forma delle sezioni trasversali dell'alveo.

**Nell'approccio morfologico- sedimentario** il concetto di " stabilità" o "stato di equilibrio" non è sinonimo di " immobilità": **un alveo può essere allo stesso tempo stabile e mobile.**

**Nel caso specifico l'alveo del Fiume Paglia è instabile e mobile**



*Factors affecting channel equilibrium. At equilibrium, slope and flow balance the size and quantity of sediment particles the stream moves.*

### 1.4.2 Sistemi di riferimento

i normali sistemi di riferimento utilizzati nelle rappresentazioni cartografiche, come le coordinate: longitudine e latitudine e quote o le coordinate XYZ, sono necessari, ma non sono sufficienti per lo sviluppo dell'approccio morfologico - sedimentario. In tale approccio sono necessari due particolari sistemi di riferimento: **l'asse dell'alveo e l'asse della valle**. Per un proficuo utilizzo delle tecnologie informatiche è necessario utilizzare i due tipi di sistemi di riferimento: normali e particolari. I due "assi" sono necessari per molte elaborazioni presenti nell'approccio morfologico- sedimentario. Solo a titolo di esempio la pendenza del pelo libero della corrente fra due sezioni fluviali, deve essere calcolata misurando la distanza tra le sezioni lungo l'asse dell'alveo; per il calcolo della sinuosità di un determinato tratto di alveo è necessario definire sia l'asse dell'alveo che l'asse della valle, essendo la sinuosità il rapporto tra le distanze misurate lungo i due assi.

### 1.4.3 Riferimento agli studi precedenti

L'approccio morfologico-sedimentario, per il caso specifico del Fiume Paglia, è stato descritto nei metodi e nei risultati nel citato **“Studio sulla dinamica fluviale per la gestione morfo-sedimentaria del sistema alveo – pianura fluviale del fiume Paglia”** promosso dalla Provincia di Terni e realizzato dallo stesso gruppo di ricercatori ed esperti.

Pur riportando nei paragrafi che seguono, le parti più direttamente connesse all'impostazione dei lavori di sistemazione del Fiume, **si rimanda a tale studio** per una più esauriente descrizione dei metodi e dei risultati.

## 2. Oggetto del lavoro

La consulenza tecnico-scientifica specialistica riguarda la definizione degli elementi di dinamica fluviale utili alla progettazione che il Consorzio intende attuare ai fini della mitigazione dei rischi idraulici nel tratto vallivo inferiore del Fiume Paglia.

Gli elementi da acquisire, oltre a quelli presenti nello studio della Provincia di Terni, riguardano gli aspetti di seguito sinteticamente specificati:

- 1) Modifiche morfologico-sedimentarie a seguito degli eventi alluvionali verificatisi negli anni 2010 e 2012.
- 2) Tipologia e localizzazione delle opere ritenute necessarie per la sistemazione *dell'alveo pieno* del tratto vallivo inferiore del Fiume Paglia, inquadrato in un Master Plan da assumersi come riferimento per tutti gli interventi attuali e futuri sul sistema fluviale nello stesso tratto.
- 3) Valutazione, in coerenza con il Master Plan, di alcune specifiche situazioni emergenziali sulle quali è possibile ed urgente intervenire.

## 3 Gruppo di lavoro

Il gruppo di lavoro è organizzato in due Unità Operative:

- L'Unità Operativa del Dipartimento di Fisica e Geologia dell'Università degli Studi di Perugia, costituita (in seguito chiamata Dipartimento) da:

Professore, Geologo Corrado Cencetti;

Dottore, Ingegnere Pier Luigi De rosa;

Dottore, Geologo Andrea Fredduzzi.

- L'Unità Operativa dell'Associazione Professionale Geoconsul di Firenze, (in seguito chiamata Geoconsul) costituita da:

Professore, Geologo Paolo Tacconi;

Dottore, Geologo Giovanni Cazzaroli.

Le attività di cui al punto 1) sono svolte dal Dipartimento.

Le attività di cui al punto 2) sono effettuate in collaborazione tra il Dipartimento e Geoconsul.

Le attività di cui al punto 3) sono effettuate in maniera concertata e sinergica dalla Geoconsul e dal Dipartimento.

Tutte le attività saranno effettuate in costante collegamento funzionale con il Consorzio.

## 4 Trasferimento dei risultati

La lettura della presente relazione è un modo per trasferire i risultati dello studio; in realtà i risultati trasferibili tramite lettura sono solo una parte. L'altra parte, la più importante, può essere utile solo nell'ambito di un'attività comune con tutti gli esperti che opereranno nelle fasi successive: impostazione, formulazione, sviluppo, del progetto; realizzazione e gestione delle opere e delle

azioni di progetto.

**Particolare importanza riveste l'interazione con gli esperti Idrologi ed Idraulici che, con lo sviluppo dell'approccio idrologico-idraulico, forniranno gli altri elementi conoscitivi e le determinazioni necessarie ad una corretta progettazione nell'ambito di un rapporto interattivo fra i due approcci: morfologico-sedimentario e idrologico-idraulico.**

## **PARTE SECONDA**

### **5 Elementi conoscitivi alle diverse scale spazio-temporali**

Il Master plan riguarda solo il settore di valle del Fiume Paglia, nell'approccio morfologico-sedimentario è necessario inquadrare i caratteri del tratto in esame nell'ambito dell'intero bacino. Tale inquadramento può essere fatto a scale spazio-temporali e con livelli di approfondimento più limitati. La piccola scala si interessa dei caratteri generali dell'intero bacino e del sistema alveo-pianura fluviale del fiume principale e dei suoi eventuali principali affluenti

#### **5.1 Caratteri generali del sistema fluviale del Fiume Paglia a piccola scala**

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 km<sup>2</sup>, di cui circa il 50% al di fuori del territorio umbro. La chiusura del bacino (confluenza con il F. Tevere) è situata a 91 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 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.

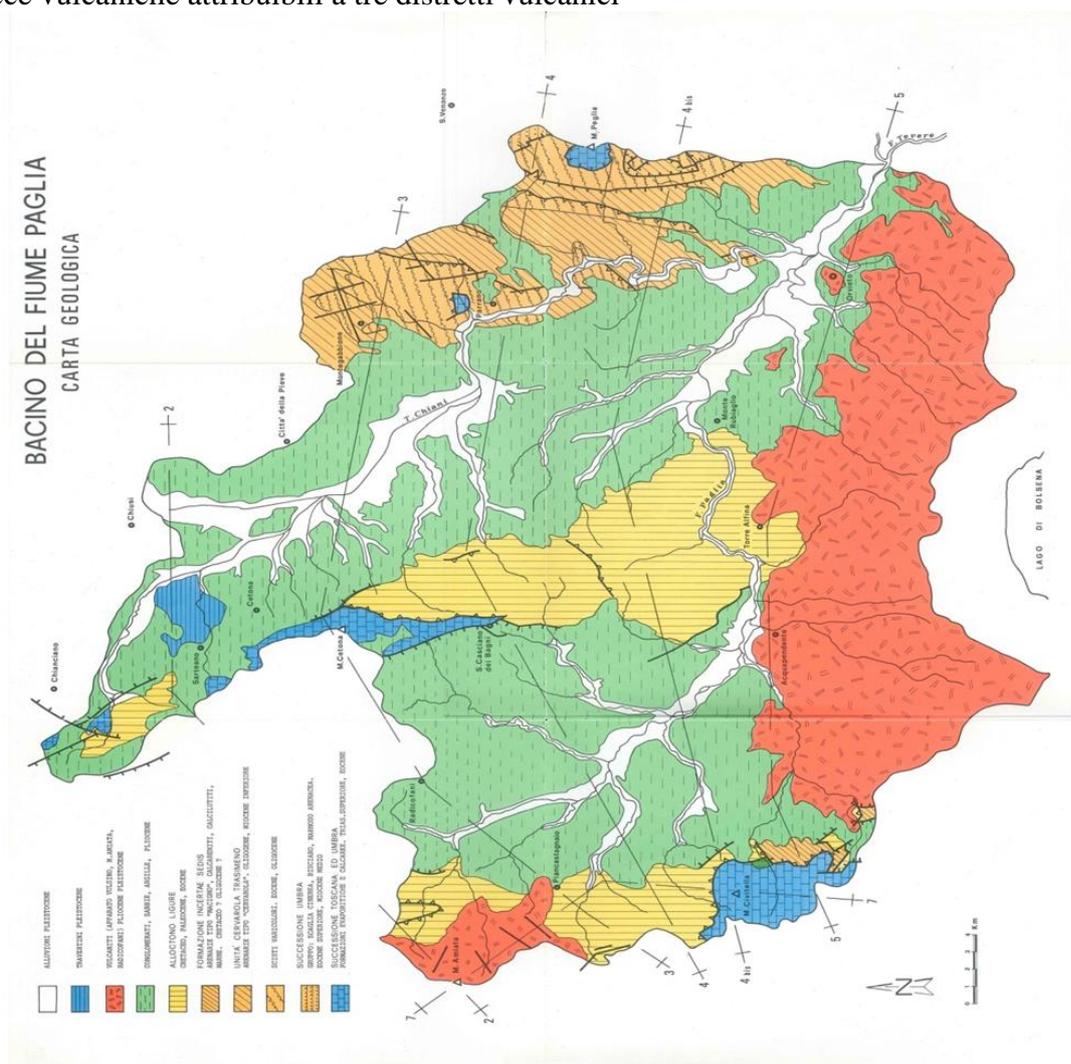
Il suo tributario principale è il T. Chiani (Cencetti et alii, 2002), che presenta un bacino idrografico di circa 422 km<sup>2</sup>. Il Chiani defluisce prevalentemente in direzione N-S per circa 42 Km sino a confluire nel Paglia nei pressi di Orvieto.

Il tratto di studio è compreso interamente all'interno del territorio umbro ed interessa tutta la bassa valle del fiume F. Paglia, dalla località "Barca Vecchia" fino alla confluenza con il fiume Tevere.

### **6. Caratteri geologici**

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



## 6.1 Caratteri geomorfologici

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).

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 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.

## 6.2 Caratteri idrografici

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.

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 ).

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.

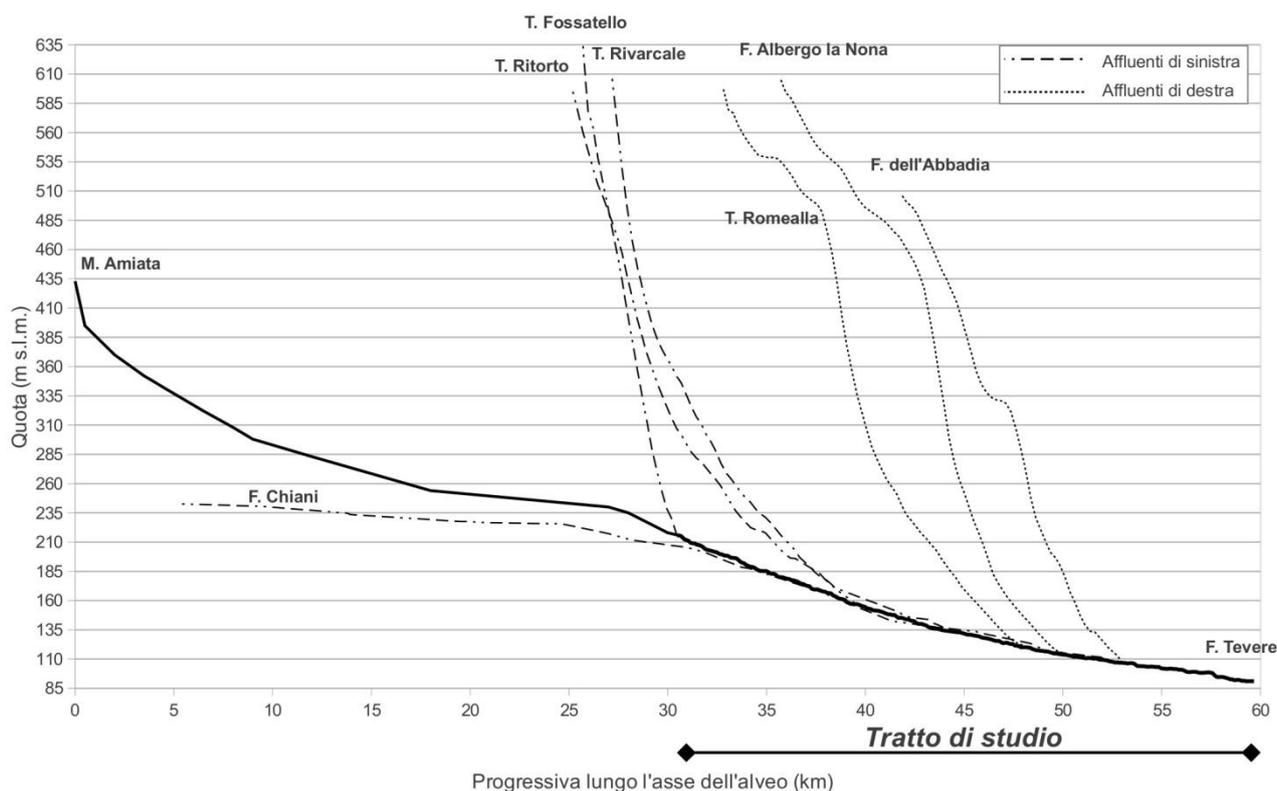
Un indizio di questo assetto passato è dato dalla presenza della pianura fluviale eccessivamente ampia nella parte alta del Torrente Chiani, a confronto del piccolo bacino attualmente presente a monte fino allo spartiacque artificiale presente in prossimità di Chiusi.

Gli altri affluenti minori, limitatamente a quelli presenti nel tratto di interesse (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 km<sup>2</sup>);
- il Fosso Rivarcale in sinistra idrografica (lunghezza 17,1 km; area del bacino 32,3 km<sup>2</sup>);
- il Fosso Ritorto in sinistra idrografica (lunghezza 19 km; area del bacino 34 km<sup>2</sup>);
- il Fosso della Sala in sinistra idrografica (lunghezza 8,6 km; area del bacino 12,5 km<sup>2</sup>);
- il Fosso dei Frati in destra idrografica (lunghezza 4,72 km; area del bacino 4,1 km<sup>2</sup>);
- il Fosso della Corniola in sinistra idrografica (lunghezza 1,8 km; area del bacino 2,8 km<sup>2</sup>);
- il Torrente Romealla in sinistra idrografica (lunghezza 15,6 km; area del bacino 33,7 km<sup>2</sup>);
- il Fosso Albergo la Nona in destra idrografica (lunghezza 15,2 km; area del bacino 49,75 km<sup>2</sup>);
- il Fosso dell'Abbadia in destra idrografica (lunghezza 17,7 km; area del bacino 24,6 km<sup>2</sup>);
- il Fosso di Poggio Grosso (lunghezza 3,1 km; area del bacino 1,9 km<sup>2</sup>);
- il Fosso Froiana (lunghezza 5,4 km; area del bacino 3 km<sup>2</sup>).

## 6.3 Caratteri del profilo longitudinale del Fiume Paglia.

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 seguente.



Le pendenze 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 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 nel tratto di alveo del medio Paglia 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.

In Tavola unica -scale: orizzontale 1:30000, verticale 1:300, allegata), è rappresentato il profilo longitudinale costituito da:

- profilo dell'asse dell'alveo pieno, del 2008;
- profilo dell'alveo relitto (condizione dell'alveo nella prima metà del secolo scorso);
- profilo della pianura fluviale;
- profilo del contatto fra materasso alluvionale e pliocene argilloso (bedrock), ove conosciuto.

La stessa tavola contiene anche una ipotesi di profilo di progetto (PdP)

## 6.4 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 queste infrastrutture assumono 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.

## 6.5 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 Vulcano) che risulta sezionato e frammentato sul suo bordo settentrionale, proprio in corrispondenza della valle in-

feriore 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).

## 6.6 Tratti caratteristici a piccola scala- Il Torrente 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 relativamente più ampia, sono state realizzate due casse di espansione che, in modo diverso, contribuiscono comunque alla laminazione delle piene del Torrente Chiani.

## 6.7 Tratti caratteristici a piccola scala - Il Fiume 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 e 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 prevalentemente addossato al ver-

sante di sinistra idrografica.

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

## **7 Caratteri morfologico-sedimentari a media scala, del sistema alveo-pianura fluviale del F.Paglia.**

### **7.1 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 per 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 in parte 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.

## **7.2 Medio Paglia (a monte dell'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 che svolge così il ruolo di sorgente di sedimenti per il trasporto solido.

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 rilevanti.

Il tratto si divide in due settori caratteristici: il settore di monte fino alla progressiva 30,4 km AdA e il settore di valle fino alla progressiva 38,5 km AdA che è anche il punto di inizio dell'area di interesse verso valle.

### **7.2.1 Medio paglia- 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 i corpi sedimentari sono rari e costituiti prevalentemente da barre laterali alternate o da barre di meandro; mentre sono pressoché assenti nella parte più a valle dove affiora il *bedrock*, prima della confluenza in sinistra idrografica, del 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 si avvicina ad un alveo dritto a barre alternate, talora francamente fisso, pressoché privo di corpi sedimentari e con *bedrock* affiorante.

### **7.2.2 Medio Paglia-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 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, grossolano, 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; talora con diametro medio superiore ai 50 centimetri

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 a valle di tale confluenza

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.

### **7.2.3 Basso Paglia (tratto di interesse del presente lavoro)**

La lunghezza dell'alveo è di km 21,3; la sinuosità media del tratto è pari a 1,18.

La pendenza media del tratto è pari a 0,33%.

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. Tali argille sono facilmente asportabili dalla corrente sia per erosione dei granuli, sia per distacco di aggregati anche di notevoli dimensioni.

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 mantenendo barre sospese e tratti di alveo relitto, dall'altro buona parte della fascia di divagazione naturale 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 con tratti/episodi da moderatamente *braided* a monocali a bassa sinuosità.

Il tratto è interessato dalla confluenza del Torrente Chiani, che pur avendo un bacino di notevole estensione (422 km<sup>2</sup>) non cambia i caratteri dell'alveo del F. Paglia a valle della confluenza

## **8 Analisi dettagliata di media e grande scala del sistema alveo-pianura fluviale del basso Paglia**

### **8.1 Tratti omogenei caratteristici**

L'insieme dei caratteri e dei parametri relativi al sistema alveo-pianura fluviale descritti nelle pagine che precedono e che seguono e analizzati in dettaglio nello studio della Provincia di Terni, ha individuato sei tratti caratteristici omogenei per caratteri, parametri e comportamento. Il primo tratto è situato a monte del basso Paglia e non è parte del presente lavoro.

con riferimento all'Asse dell'Alveo (AdA) i limiti dei sei tratti omogenei, caratteristici sono i seguenti:

Tratto 1: dal Km 30,0 al Km 38,5 con una lunghezza pari a Km 8,5;

Tratto 2: dal Km 38,5 al Km 43,2 con una lunghezza pari a Km 4,7;

Tratto 3: dal Km 43,2 al Km 49,0 con una lunghezza pari a Km 5,8;

Tratto 4: dal Km 49,0 al Km 52,4 con una lunghezza pari a Km 3,4;

Tratto 5: dal Km 52,4 al Km 56,5 con una lunghezza pari a Km 4,1;

Tratto 6: dal Km 56,5 al Km 59,8 con una lunghezza pari a Km 3,3.

La descrizione dettagliata e l'analisi dei caratteri e dei parametri morfologico-sedimentari di media e

grande scala relativi ad ogni singolo tratto sono contenuti nello "**Studio sulla dinamica fluviale per la gestione morfo-sedimentaria del sistema alveo-pianura fluviale del Fiume Paglia**" al quale si rimanda.

## **9 Indagine storica sui caratteri del Basso Paglia.**

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 possono 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 le informazioni sulla storia del fiume sono un elemento conoscitivo essenziale nello studio della dinamica fluviale.

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.

La ricerca ha coperto il periodo dall'inizio del 1800 ad oggi (vedi relazione Provincia).

### **9.1 Analisi storica-Principali risultati**

#### **Larghezza dell'alveo pieno**

Prendendo in considerazione il dato medio, l'alveo ha subito un restringimento già nei primi anni del '900. A partire dagli anni cinquanta il fenomeno è diventato molto più veloce.

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.

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

Il fenomeno del restringimento dell'alveo, 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.

### **Indice di Intrecciamento**

Per le mappe del Catasto Gregoriano, dell'inizio dell'ottocento, non è stato calcolato l'indice di intrecciamento, poiché si tratta di mappe catastali che riportano le sponde dell'alveo 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 notevole tendenza all'intrecciamento.

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

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 ha 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 tendenzialmente intrecciata, che il corso d'acqua ha mantenuto sino al 1954, sono rimasti tali anche durante le trasformazioni descritte. Trasformazioni che hanno portato all'attuale morfologia quasi monocolle dell'alveo in condizioni di alveo pieno.

## **9.2 Interventi dell'Ufficio del Genio Civile di Terni, realizzati 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 o di manutenzione ordinaria o straordinaria delle opere realizzate.

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.

Gli interventi classificati come "riparazione" o "manutenzione" 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.

## **9.3 Confronto tra sezioni trasversali del 1951 e del 2008.**

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).

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

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

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 superiore a 3 metri

.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 m<sup>3</sup>.

## **10. Descrizione dei caratteri e dei parametri descrittivi a media-grande scala**

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.

I principali parametri morfologico-sedimentari utilizzati nell'analisi di media e di grande scala sono elencati di seguito assieme ad una sintetica descrizione. e l'indicazione del paragrafo o del documento che li descrive e li analizza.

### **10.1 Definizione dei caratteri e dei parametri morfologico-sedimentari di media scala**

- **Caratteri della pianura fluviale** - assenza, presenza, discontinua, continua; larghezza; presenza di conoidi di deiezione; terrazzi fluviali; etc.(vedi tavole in scala 1:10000 allegate allo studio della Provincia di Terni)
- **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/i canale/i di magra e dei corpi sedimentari attivi;(vedi analisi storica relazione Provincia)

- **Pendenza dell'alveo** - espressa in percentuale: rapporto tra la differenza di quota del tratto e la lunghezza dello stesso misurata lungo l'AdA o lungo il PdP.(vedi Tavola unica-profilo longitudinale scale 1:30000/1:300 allegata).
- **Pendenza della valle** - espressa in percentuale: rapporto tra la differenza di quota nel tratto e la lunghezza dello stesso misurata lungo l'asse della valle ( AdA) o il Profilo di Progetto ( PdP).(vedi Tavola unica-profilo longitudinale scale 1:30000/1:300
- **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. 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(vedi relazione Provincia).
- **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.

### 10.1.1 Sinuometria (vedi tavole sinuometria -planimetria Master Plan scala 1:5000).

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

Tali alvei, prevalentemente a causa del trasporto solido di fondo, di norma, non sono rettilinei, anche quelli non francamente meandriiformi 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 in esame, diminuiscono fortemente, mentre la dinamica dell'alveo tende a variare da sinuoso ad intrecciato, per portate che superano una soglia specifica, non facilmente definibile.

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 (asse della valle)

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

- **lunghezza del semimeandro**: distanza fra due punti di flesso successivi misurata lungo l'asse dell'alveo pieno.
- **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.

### **10.1.2 Caratteri sinuometrici del basso Paglia.(vedi tavola sinuometria citata)**

- 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.

## 10.2 Definizione dei caratteri e dei parametri morfologico-sedimentari a grande scala

I principali caratteri e parametri morfologico-sedimentari dell'alveo, a grande scala, 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),**(vedi paragrafo 12.)
- **i caratteri granulometrici** del canale di magra e dei corpi sedimentari (diametro medio, D50, D10, D90; deviazione standard, skewness, kurtosis)(vedi paragrafo 10.2.1)
- **i caratteri delle sezioni trasversali;**(vedi paragrafo 10.2.2)
- **i caratteri del profilo longitudinale;**(vedi tavola unica allegata)
- **le opere e le azioni** interferenti con la dinamica dell'alveo.(vedi relazione provincia):

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.

Nel caso del F. Paglia, non risultano sezioni munite di capisaldi.

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.

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.

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

### 10.2.1 Caratteri granulometrici

La caratterizzazione granulometrica del Basso Paglia è avvenuta tramite tre campagne di campionamento ed analisi attuate dall'Università di Perugia nei seguenti periodi: agosto-settembre 2003;luglio 2011;settembre 2012.

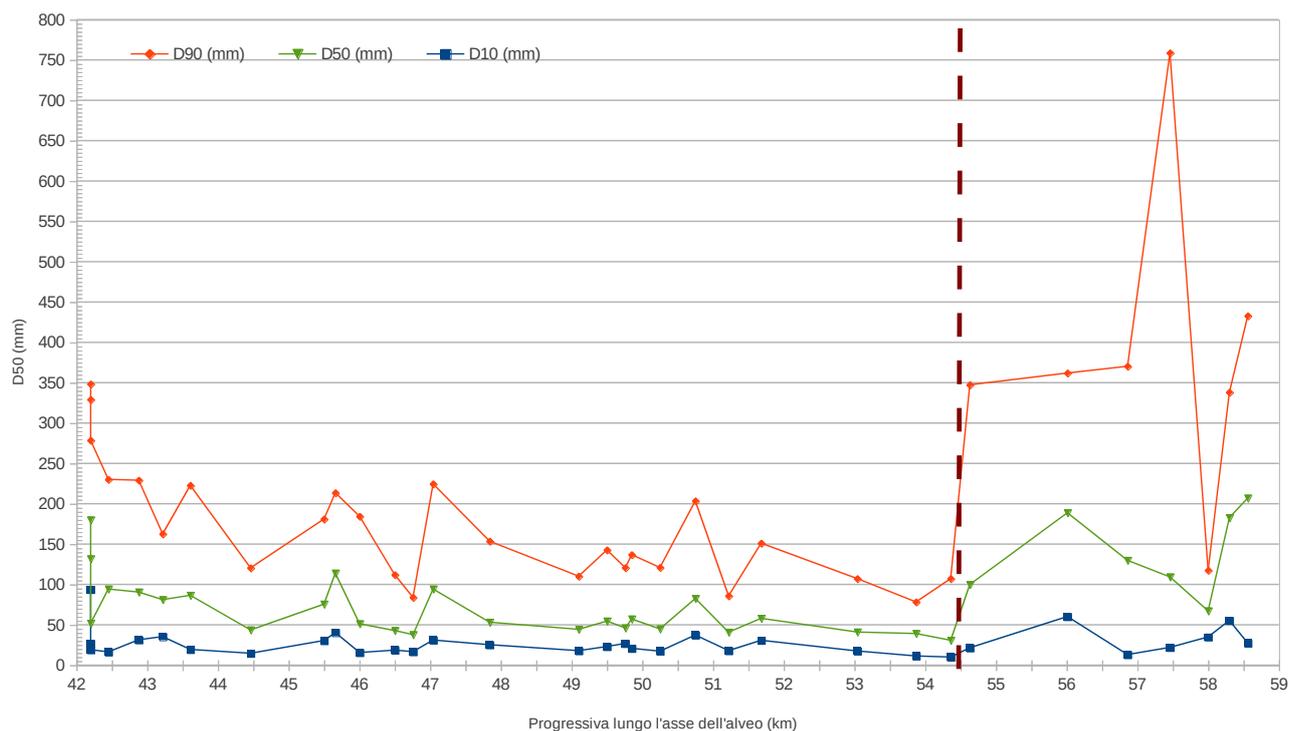
I dati caratteristici,relativi ai 6 tratti omogenei,caratteristici di cui allo studio della Provincia sono di seguito indicati.( i limiti di monte e di valle dei tratti da T1 a T6 sono stati precedentemente indicati al paragrafo 8).

#### Tratti omogenei provincia

	Media	D90	D50	D10	Dev. St	Skewness	Kurtosis
<b>T1</b>	143,18	275,43	112,66	36,27	117,78	2,32	11,52
<b>T2</b>	85,21	170,64	58,57	16,75	95,61	4,22	28,73
<b>T3</b>	81,90	174,44	54,72	18,19	82,03	3,56	25,25
<b>T4</b>	67,82	137,83	52,22	20,43	51,19	1,98	9,19
<b>T5</b>	104,53	244,43	58,53	17,07	124,57	2,86	13,63
<b>T6</b>	176,26	402,00	116,28	23,43	167,14	1,65	5,94

La tabella che precede riporta i valori dei principali parametri statistici dei campioni prelevati nell'estate del 2003, mentre nella figura che segue sono rappresentati i percentili  $D_{10}$ ,  $D_{50}$  e  $D_{90}$  da monte a valle lungo l'asse dell'alveo.

Variazione D10, D50, D90



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, (subito a monte del tratto in studio) dove sono presenti rare barre di meandro “residuali”; ovvero con granulometria di poco inferiore a quella del canale di magra che risulta corazzato.

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, essendo di norma costituita dal versante roccioso, non riesce ad essere erosa in misura sufficiente. In questa situazione l'alveo si comporta come un alveo fisso quasi privo di corpi sedimentari e con capacità di trasporto esuberante.

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 che precede 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 della Provincia (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, 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

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 costituiscono il materiale che effettivamente si mobilita durante le piene e sono, pertanto, rappresentativi del trasporto solido al fondo.

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.

## **10.2.2 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 alla relazione della Provincia)

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, alla relazione della Provincia).

Nella tabella che segue sono indicati i valori medi dei parametri delle sezioni relativi ad ogni tratto

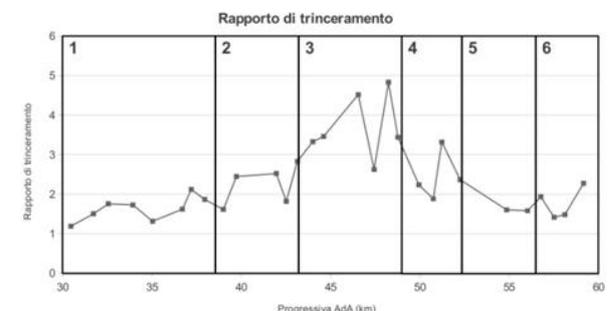
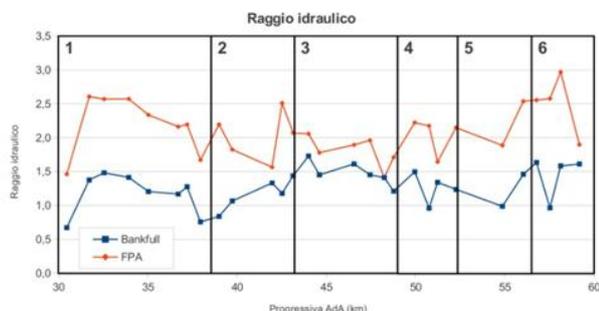
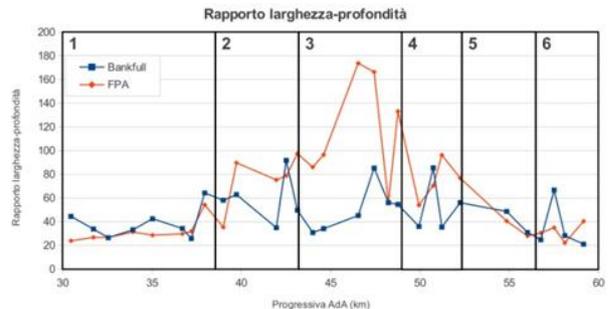
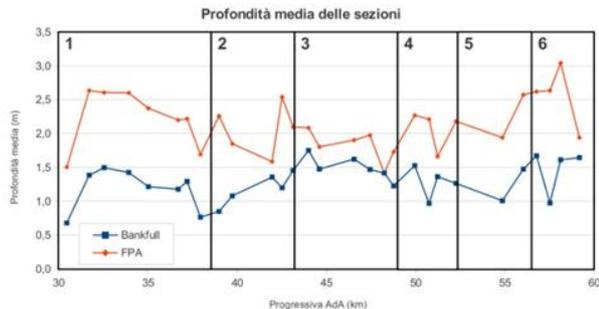
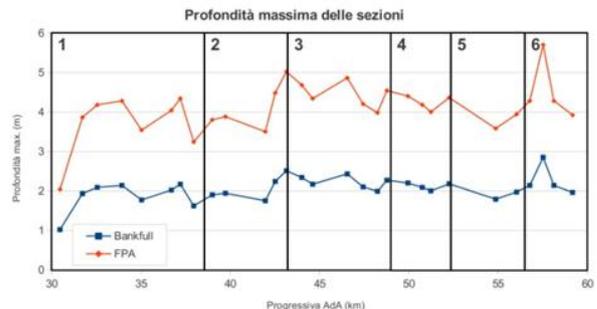
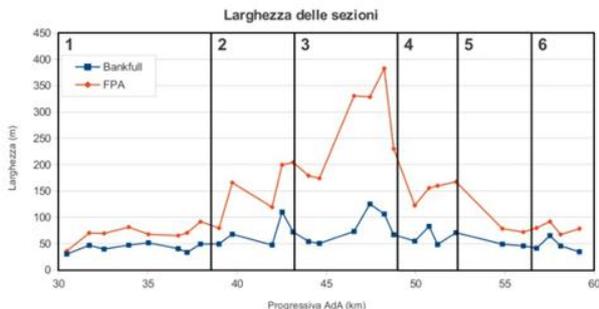
omogeneo caratteristico. Nella stessa tabella sono indicati anche i valori medi di pendenza dell'alveo, della valle, il D<sub>50</sub> del canale di magra e il D<sub>50</sub> delle barre.

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

### 10.2.3 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, vedi relazione provincia ) 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 variabilità 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 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.

## 11 Classificazione dell'alveo

Con riferimento alla classificazione analitica di Rosgen (1996), (vedi cap. 2.4.1 della relazione della Provincia), 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 omogenei, 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 canali intrecciati**, con barre longitudinali e trasversali, **molto largo**, con sponde erodibili.

## **PARTE TERZA**

### **12 Variazioni dei caratteri morfologico-sedimentari del F. Paglia, indotte dalle piene del 2010 e del 2012.**

#### **12.1 Premessa**

I cambiamenti dei caratteri morfologico-sedimentari, indotti dagli eventi di piena che si sono verificati negli anni 2010 e 2012, sono stati indagati tramite due procedure di analisi:

1. confronto fra due modelli digitali del terreno (DTM), ad alta risoluzione, ottenuti con tecniche di telerilevamento laser scanner da aereo (LIDAR - Light Detection and Ranging), riferibili agli anni 2008 e 2014 m;
- fotointerpretazione degli aerofotogrammi (coppie stereoscopiche) del volo effettuato dalla compagnia “Blom CGR S.p.a. (Compagnia Generale Ripereze aeree)” nel mese di dicembre 2012, un mese dopo l'evento alluvionale del novembre 2012.

#### **12.2 Descrizione dell'evento alluvionale 11-14 novembre 2012**

Nei giorni compresi tra l' 11 e il 14 Novembre 2012 l'Umbria è stata colpita da un evento alluvionale di notevole intensità che ha provocato danni ingenti, nonché la dichiarazione dello stato di emergenza da parte della Regione.

La descrizione dell'evento, riportata di seguito, è basata sul “Rapporto di evento” redatto dal Centro Funzionale del Servizio di Protezione Civile – Regione Umbria, datato 28/12/2012.

##### **12.2.1 Dati pluviometrici**

Le intense precipitazioni responsabili dell'evento alluvionale sono state prodotte da una serie di sistemi temporaleschi, alimentati dall'avvezione di aria calda ed umida proveniente dal Mar Tirreno. Il fenomeno meteorologico è iniziato nella giornata del 11 novembre e si è evoluto sino a dar luogo, nella giornata successiva, ad una serie di sistemi convettivi di tipo V-shape, raggruppabili in un contesto di un unico sistema convettivo a mesoscala (MCS) estremamente longevo, che hanno interessato con precipitazione diffuse e una intensa attività elettrica la Toscana, il Lazio settentrionale e l'Umbria.

La rete di monitoraggio idrometeorologico ha registrato, in un intervallo temporale di 72 ore, precipitazioni eccezionali su gran parte del territorio regionale: 307 mm ad Allerona, 230 mm a Compignano (Marscianese), 252 mm a Ponticelli.

A Sorano (provincia di Grosseto), vicino al limite del bacino idrografico del F. Paglia, sono stati registrati oltre 360 mm di pioggia.

In sintesi, in poco più di due giorni, sono precipitati circa un terzo dei quantitativi pluviometrici cumulati medi annui.

Le prime analisi statistiche, effettuate dal Centro Funzionale in base alle serie storiche disponibili, indicano che i valori massimi dell'evento, per le durate lunghe di 24 – 48 ore, sono assimilabili puntualmente (Allerona), ad un tempo di ritorno di circa 100 anni.

### 12.2.2 Dati idrometrici

L'input meteorico ha causato l'innalzamento dei livelli idrometrici della maggior parte dei corsi d'acqua della regione, che sono esondati in diverse località.

I dati registrati dagli idrometri del Servizio Idrografico mostrano come l'evento sia risultato, per alcune zone, di severità superiore a quella di tutto il periodo di osservazione precedente, ed in particolare per il bacino del F. Nestore (Nestore, Caina e Genna), per il bacino del F. Paglia (Paglia, Chiani e Astrone), e per la sezione idrometrica di Montemolino sul Medio Tevere.

Le stime effettuate dal Centro Funzionale indicano che le precipitazioni sopra descritte hanno prodotto sulla rete idrografica effetti associabili a tempi di ritorno centennali per il F. Tevere e addirittura superiori (compresi tra 100 e 200 anni) per i fiumi Paglia e Nestore.

Come giustamente puntualizzato dai tecnici della Protezione Civile, si tratta di valutazioni che devono essere considerate di massima per due motivi: eventi alluvionali eccezionali di questo tipo comportano, o dovrebbero comportare, una revisione statistica delle serie storiche di misura; inoltre tali eventi determinano sugli alvei dei corsi d'acqua ingenti modificazioni morfologiche che possono rendere poco affidabili le scale di deflusso utilizzate per calcolare i livelli idrometrici.

Un ulteriore elemento da considerare, per valutare correttamente gli “effetti al suolo” dell'evento, è il ruolo svolto dalle due casse d'espansione realizzate dal Consorzio di Bonifica della Val di Chiana Romana e Val di Paglia sul T. Chiani: entrambe le casse si sono riempite completamente e hanno sottratto al corso d'acqua complessivamente oltre 2 milioni di m<sup>3</sup>. Senza dubbio hanno contribuito a mitigare in modo sostanziale gli effetti della piena sull'abitato di Orvieto Scalo – Ciconia che si trova proprio in corrispondenza della confluenza del T. Chiani nel F. Paglia.

### 12.3 Confronto tra modelli digitali del terreno ad alta risoluzione (LIDAR) – Periodo 2009-2014

Per determinare in termini quali-quantitativi le modificazioni plano-altimetriche indotte dagli eventi alluvionali che hanno interessato la bassa valle del F. Paglia è stato effettuato il confronto tra due modelli digitali del terreno ad alta risoluzione (di seguito indicati con la sigla DTM), ottenuti con tecniche di telerilevamento laser scanner da aereo (LIDAR - Light Detection and Ranging).

Il DTM più recente è stato rilevato nei primi mesi del 2014 (data di consegna 3 marzo) dalla compagnia “Blom CGR S.p.a.” nell'ambito di un accordo con l'Ispettorato Generale per l'Emergenza Idrogeologica del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. La procedura di verifica del dato, fornita dal committente, è stata eseguita tramite un rilevamento topografico di precisione sul terreno (stazione totale e GPS): i risultati evidenziano un errore medio di  $\pm 13$  cm in termini altimetrici ed un errore massimo inferiore a 50 cm in termini planimetrici.

Il secondo DTM è stato acquisito, per quanto riguarda l'area di studio, tra il 23 e il 26 marzo 2009 ed è stato rilevato dalla stessa compagnia su committenza del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. La precisione dei dati è stata verificata dalla Blom CGR su alcune aree test: gli scarti altimetrici medi (dz) tra i punti di verifica sul terreno e quelli del rilievo laser scanner sono inferiori a 5,6 cm.

La procedura di lavoro è stata eseguita utilizzando i software (open source) Qgis e GRASS e si basa essenzialmente su di una operazione di “*map algebra*” tramite la quale ai valori di elevazione del DTM 2014 si sottraggono i valori di elevazione del DTM 2008.

Il risultato è una mappa delle differenze tra i due DTM dove ai valori positivi corrisponde un aumento delle quote (sedimentazione), mentre ai valori negativi corrisponde un abbassamento della superficie topografica (erosione).

Al fine di considerare, per quanto possibile, soltanto le modifiche indotte dalla dinamica morfologico-sedimentaria del F. Paglia e di trascurare quelle dovute ad interventi antropici (attività di cava, pratiche edilizie, ecc.) sono state escluse dall'analisi le aree esterne al “corridoio fluviale”.

Inoltre per minimizzare gli errori connessi alla precisione altimetrica dei DTM sono state considerate soltanto le zone caratterizzate da differenze (positive o negative) superiori a 20 cm. Si sottolinea che il limite più importante del metodo di rilevamento laser scanner, che sicuramente costituisce la maggiore fonte di errore in ambito fluviale, consiste nel fatto che non possono essere indagate le aree sommerse.

Il risultato delle elaborazioni è sintetizzato dalla carta delle “Variazioni di quota tra il DTM 2009 e il DTM 2014”, che è compresa nella carta delle “Variazioni dei caratteri morfologico-sedimentari indotte dalle piene del 2010 e del 2012”.

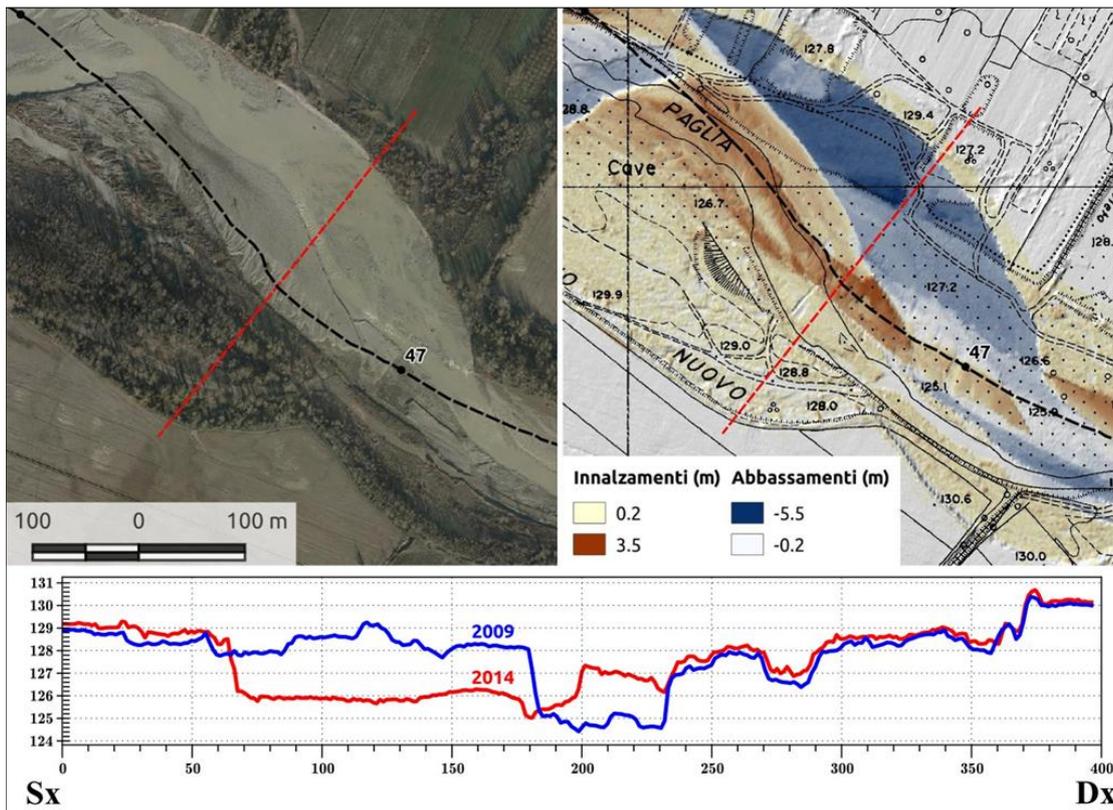
### **12.3.1 Sintesi e commento dei risultati**

Considerando le differenze negative, che possono essere messe in relazione con i processi di erosione, si nota come i valori più elevati si attestino intorno a 5 m, con punte al di sopra dei 6 m, e corrispondano generalmente a tratti in cui le sponde dell'alveo pieno hanno subito fenomeni di arretramento molto consistenti.

Le situazioni più eclatanti si rilevano alle progressive 46,8 km e 55 km dell'asse dell'alveo. Analizzando ad esempio quanto si è verificato in corrispondenza del km 46,8 dell'asse dell'alveo (Figura 2), si vede come gli abbassamenti raggiungono i valori massimi (4 m) in un tratto in cui la sponda esterna della curva è arretrata di oltre 100 m. I suddetti valori di abbassamento non vanno interpretati come una misura dall'approfondimento dell'alveo, poiché si rilevano in tratti dove, in corrispondenza dell'attuale canale di magra (DTM 2014), nel 2009 era localizzabile la pianura alluvionale. Le variazioni di quota del fondo dell'alveo possono essere valutate confrontando i profili trasversali estratti dai due DTM: considerando le quote del talweg nei due profili si vede come il canale di magra non si sia inciso, ma, al contrario, si registra una leggera aggradazione di almeno mezzo metro.

Per quanto concerne le differenze positive, connesse a processi di sedimentazione, si nota che i valori più elevati si attestano intorno ai 2,5 m con punte al di sopra dei 3 m. In questo caso i valori massimi sono associabili ad aree dove l'energia e la capacità di trasporto del corso d'acqua, durante l'ultimo evento di piena, sono state tali da comportare la rimozione della vegetazione ad alto fusto presente sulle barre sospese (alveo relitto) e la progradazione di sedimenti grossolani al di sopra delle barre stesse e, in qualche caso, della pianura alluvionale.

Lungo il tratto di studio si rilevano numerosi esempi dei fenomeni sopra citati, alcuni dei quali sono descritti al paragrafo “Descrizione dettagliata dei risultati della fotointerpretazione”.



Dx Figura 2:

Confronto fra i DTM 2009 e 2014. L'immagine in alto a sinistra riporta un estratto dell'ortofoto datata dicembre 2012.

Il software GRASS GIS dispone di strumenti utili a calcolare i volumi associati alle variazioni di quota tra i due DTM.

A causa dei già citati limiti delle tecniche di rilevamento laser scanner, sono state escluse dall'elaborazione le "aree sommerse" in entrambi i rilievi, poiché le quote attribuibili a queste aree sono sempre frutto di interpolazione e mai misurati.

I dati, ottenuti calcolando separatamente i volumi delle aree in sedimentazione e delle aree in erosione, indicano che in un lasso di tempo di circa 5 anni, in cui sono state registrate almeno 2 piene importanti, sono stati mobilizzati circa 1.600.000 mc di sedimenti.

**Visti gli errori connessi al fatto che non si hanno informazioni sulle aree sommerse, si tratta di una stima che deve essere considerata di massima.**

La differenza tra volumi sedimentati e volumi erosi è pari a circa +12.600 mc, che corrispondono allo 0,77 %. Si evidenzia un bilancio sedimentario in sostanziale pareggio: i materiali sedimentati provengono, per la gran parte, dai processi di erosione di sponda che, in occasione di eventi alluvionali estremi, si dimostrano estremamente severi.

Riferendoci al trasporto solido di fondo, nel tratto e per il periodo analizzato, gli input sedimentari provenienti da monte sono stati compensati dai sedimenti in uscita, tributati al F. Tevere.

Dato che tra l'acquisizione dei due DTM intercorre un intervallo temporale di circa 5 anni, i risultati delle elaborazioni sono frutto anche di piene minori verificatesi tra il 2009 e il 2014.

## 12.4 Fotointerpretazione - Descrizione della procedura di lavoro

Per la definizione e l'analisi degli effetti che le piene del 2010 e, soprattutto, l'ultimo evento del novembre 2012 hanno avuto sulla dinamica fluviale del F. Paglia, si sono dimostrati molto utili i fotogrammi del volo effettuato in data 12/12/2012.

Le foto, acquisite con tecniche aerofotogrammetriche, sono state sottoposte ad un processo di ortorettifica. L'ortofoto ottenuta è stata utilizzata come base per la vettorializzazione degli elementi

morfologico-sedimentari, individuati sui fotogrammi tramite un esame stereoscopico. Come termine di riferimento per la determinazione delle modificazioni subite dal corso d'acqua è stata utilizzata l'ortofoto edita dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare riferibile, per l'area di studio, al 10/05/2008.

Di seguito vengono descritti sinteticamente gli elementi morfologico-sedimentari rilevati, che sono riportati sulla carta delle "Variazioni dei caratteri morfologico-sedimentari indotte dalle piene del 2010 e del 2012".

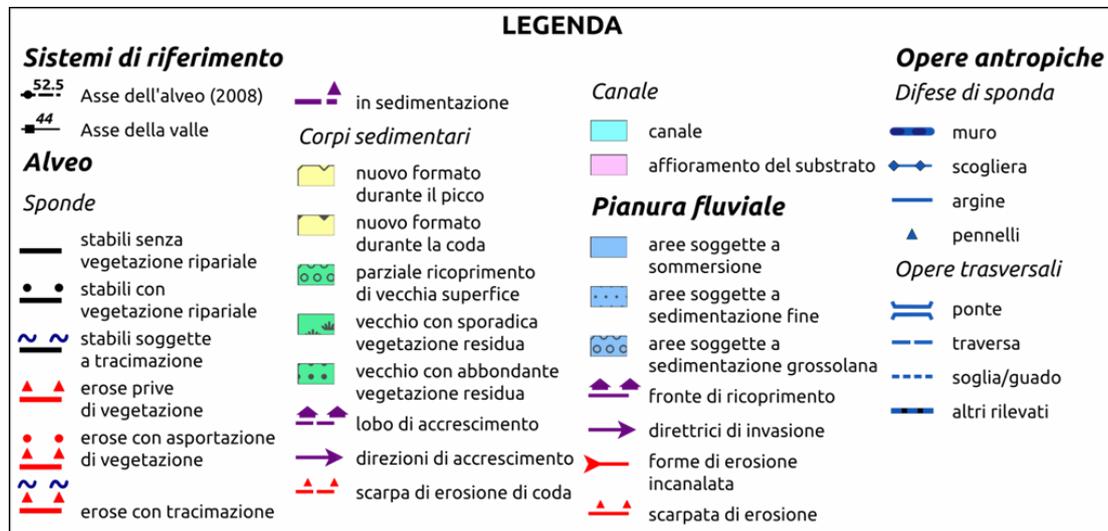


Figura 3:

Legenda della carta delle "Variazioni dei caratteri morfologico-sedimentari indotte dalle piene del 2010 e del 2012".

### 12.4.1 Alveo

#### Sponde dell'alveo pieno

Le sponde dell'alveo pieno sono state distinte in:

- Stabili senza vegetazione ripariale – sponde che hanno mantenuto la stessa configurazione del 2008 e non hanno subito processi di erosione e arretramento, in tratti dove non era presente una fascia di vegetazione ripariale.
- Stabili con vegetazione ripariale – sponde che hanno mantenuto la stessa configurazione del 2008, in tratti dove era presente una fascia di vegetazione ripariale.
- Stabili soggette a tracimazione – sponde che hanno mantenuto la stessa configurazione del 2008 (non hanno subito processi di erosione e arretramento) e sono state sormontate durante l'evento alluvionale del 2012.
- Erose prive di vegetazione – sponde che hanno subito processi di erosione e arretramento rispetto al 2008, in tratti dove non era presente una fascia di vegetazione ripariale.
- Erose con asportazione di vegetazione – sponde che hanno subito processi di erosione e arretramento rispetto al 2008, in tratti dove era presente una fascia di vegetazione ripariale.
- Erose con tracimazione – sponde che hanno subito processi di erosione e arretramento rispetto al 2008 e sono state sormontate durante l'evento alluvionale del 2012.
- Sponde in sedimentazione – sponde che hanno subito processi di sedimentazione. Questo si è verificato in tratti in cui i processi di sedimentazione di materiali anche grossolani (ghiaia e ciottoli) hanno interessato i corpi sedimentari sospesi e/o relitti.

#### Corpi sedimentari

I corpi sedimentari sono stati distinti in:

- Nuovo formato durante il picco – corpi sedimentari che presentano localizzazione e dimensioni completamente diverse rispetto alla configurazione del 2008, pertanto possono essere considerati di “neoformazione”. La genesi della barra è attribuibile alle fasi di picco dell'ultimo evento alluvionale.
- Nuovo formato durante la coda – corpi sedimentari che presentano localizzazione e dimensioni completamente diverse rispetto alla configurazione del 2008, pertanto possono essere considerati di “neoformazione”. La genesi della barra è attribuibile alle fasi terminali (coda) dell'ultimo evento alluvionale.
- Parziale ricoprimento di vecchia superficie – porzione di corpi sedimentari che hanno mantenuto una configurazione morfologica simile a quella del 2008 e sono stati ricoperti da sedimenti anche grossolani, depositatesi durante l'ultimo evento alluvionale.
- Vecchio con sporadica vegetazione residua – corpo sedimentario (sospeso) o porzione dello stesso che ha mantenuto una configurazione morfologica analoga a quella del 2008 e ha subito la rimozione quasi totale della vegetazione (anche ad alto fusto).
- Vecchio con abbondante vegetazione residua – corpo sedimentario (sospeso) o porzione dello stesso che ha mantenuto configurazione morfologica e stato vegetazionale simile a quelli del 2008.

Inoltre sono stati individuati:

- Lobi di accrescimento del materiale solido progradato sopra la superficie di corpi sedimentari preesistenti.
- Direzioni di accrescimento del materiale solido progradato sopra la superficie di corpi sedimentari preesistenti.
- Scarpe di erosione di coda che limitano i corpi sedimentari (o localizzabili all'interno degli stessi) attribuibili alla fasi terminali dell'ultimo evento alluvionale.

### **Canale di magra**

All'interno del canale sono state individuate ed evidenziate le aree caratterizzate dall'affioramento del substrato argilloso

#### **12.4.2 Pianura fluviale**

Sono state individuate le zone della pianura fluviale “alluvionate” durante l'evento del 2012. Le stesse sono state differenziate tra: aree soggette soltanto a sommersione, aree soggette anche a deposizione di sedimenti fini (sabbie, limi e argille) e aree soggette anche a deposizione di sedimenti grossolani (ciottoli, ghiaie e sabbie).

Inoltre sulla pianura fluviale sono stati individuati:

- Diretrici di invasione del flusso idrico sulla pianura alluvionale.
- Fronti di ricoprimento dei sedimenti grossolani, progradati al di sopra della pianura alluvionale.
- Forme di erosione incanalata per correnti veloci in transito sulla pianura. In certi casi si nota una “reimmissione” in alveo.
- Scarpe di erosione formate da correnti veloci in transito sulla pianura.

## 12.5 Descrizione dettagliata dei risultati della fotointerpretazione

### 12.5.1 Tratto da “Barca vecchia” alla confluenza con il T. Ritorto

#### Pianura

Sulla pianura alluvionale non si evidenziano fenomeni spinti di corrente trattiva, si tratta di aree sostanzialmente soggette soltanto a sommersione. Verso la fine del tratto si rilevano alcune zone, di estensione limitata, caratterizzate da sedimentazione fine.

#### Alveo

#### Sponde

Le sponde sono alte, frequentemente in erosione e arretramento rispetto al 2008. L'erosione ha interessato sia le sponde dell'alveo attivo sia quelle dei corpi sedimentari sospesi e vegetati. In qualche caso le sponde dell'alveo attivo sono rimaste invariate, ma è stata erosa, anche per porzioni significative, la barra sospesa antistante che ha svolto una funzione di protezione della sponda.

La vegetazione ripariale è stata frequentemente asportata così come quella dei corpi sedimentari sospesi.

#### Corpi sedimentari

Quasi tutti i corpi sedimentari si presentano completamente nudi o con scarsissima vegetazione e spesso in posizioni e dimensioni diverse rispetto al 2008. Si tratta di barre “nuove” formatesi nelle fasi di picco o di coda degli eventi di piena. Le barre “arborate sospese” presenti nel 2008 sono state fortemente ridimensionate tramite l'asportazione della vegetazione ad alto fusto e la conseguente erosione.

In qualche caso si rileva la progradazione di materiale solido sopra le vecchie barre sospese.

L'alveo si presenta molto meno “vegetato” rispetto alla configurazione del 2008. Porzioni consistenti della vegetazione ad alto fusto sono state rimosse e il corpo sedimentario sottostante è stato eroso significativamente.

#### Canale/i di magra

Si rileva un generale allargamento del canale di magra, a spese sia delle sponde esterne dell'alveo sia di quelle dei corpi sedimentari.

#### Note e commenti

Può risultare di interesse la situazione nella zona di “Barca vecchia” (Figura 4). Nel 2008 due canali piuttosto stretti delimitavano una barra longitudinale sospesa, caratterizzata da una fitta vegetazione ad alto fusto.

A seguito degli eventi alluvionali il canale in sinistra idrografica, che è quello principale, si è arcuato e ha eroso la pianura per una distanza considerevole (sino a 100 m).

Di fronte alla sponda in arretramento si è formato un corpo sedimentario nuovo e completamente nudo, in parte dovuto alla riattivazione e asportazione della vegetazione sulla vecchia barra longitudinale e in parte formato per accrescimento di una barra di meandro.

La porzione di monte del corpo sedimentario, in corrispondenza della biforcazione dei due canali, è stata ricoperta da notevoli quantità di materiale solido grossolano. Ampie porzioni della copertura vegetale sono state asportate.

Anche il canale in destra, che non è quello principale ma che funziona per portate più elevate, si è allargato rispetto al 2008.



Figura 4: Vista dell'alveo in località "Barca Vecchia" (Fonte Corpo Forestale dello Stato).

In generale in questo tratto si registra una elevata intensità dei processi di erosione di sponda, che hanno prodotto notevoli quantità di trasporto solido grossolano. I sedimenti sono stati ridistribuiti tramite la formazione di nuovi corpi sedimentari o tramite la progradazione sulle vecchie barre sospese.

Durante le fasi di picco degli eventi di piena, l'energia del flusso idrico ha raggiunto valori tali da determinare la rimozione della vegetazione su ampie zone della fascia ripariale.

## 12.5.2 Tratto dalla confluenza con il T. Ritorto alla confluenza con il Fosso di Orvieto

### Pianura

Sulla pianura si registrano aree caratterizzate dalla sedimentazione materiale fine, più frequenti all'inizio del tratto.

Nella parte mediana e terminale del tratto si rilevano degli episodi di tracimazione del trasporto solido grossolano sulla pianura fluviale.

Il primo è localizzabile a partire dalla progressiva 44,5 km dell'asse dell'alveo. Nella zona dove il flusso idrico è rientrato in alveo (circa 450 m a valle) si rilevano forme di erosione incanalata e la deposizione di sedimenti grossolani.

Il secondo episodio, più importante del precedente per estensione e per i volumi di materiale coinvolti, si è verificato sulla curva esterna (in sinistra idrografica) appena a valle della confluenza con il Fosso della Sala (Figura 5): si rileva un lobo di accrescimento molto esteso sulla pianura alluvionale, che è progradato sino ad invadere l'attigua barra sospesa, nonché una forma erosiva canalizzata in corrispondenza del punto in cui parte del flusso è un rientrato in alveo.



Figura 5: Vista dell'alveo appena a valle della confluenza con il Fosso della Sala (Fonte Corpo Forestale dello Stato).

## Alveo

### Sponde

Le sponde sono generalmente alte, spesso in erosione. In particolare si evidenzia uno schema ricorrente: si individuano forme di erosione ad arco che indicano una tendenza alla formazione di meandri (arco e contro arco).

Dove le sponde dell'alveo attivo sono rimaste invariate, è stata stata erosa la barra sospesa antistante e sono arretrate le sponde del corpo sedimentario sospeso.

La scogliera indicata con la sigla Ol 4, che è stata fissata con calcestruzzo e che nel rilevamento del 2012 si presentava scalzata al piede, ha retto e ha fermato l'erosione di sponda. Mentre la scogliera presente sulla sponda opposta (Ol 3), localizzabile in corrispondenza dell'episodio di tracimazione citato in precedenza (Figura 5), è stata sormontata, erosa a tergo e in parte smantellata.

Nel 2008 la fascia di vegetazione ripariale lungo le sponde era ampia e continua. L'arretramento delle sponde ha comportato l'asportazione della vegetazione anche per porzioni significative.

### Corpi sedimentari

Si rilevano estesi corpi sedimentari nudi, neo-formati durante le piene. I corpi sedimentari sospesi sono stati ampiamente "ridimensionati" dai processi erosivi.

Nella parte terminale del tratto sono più frequenti gli episodi di progradazione di sedimenti grossolani al di sopra delle barre sospese.

La vegetazione delle barre sospese è stata completamente asportata, con la conseguente erosione della barra, oppure è stata rimossa parzialmente e/o affogata in materiali grossolani.

### Canale/i di magra

Il canale di magra si è allargato rispetto al 2008. Si rilevano inoltre aree piuttosto estese del canale di magra in cui affiora il substrato argilloso.

### Note e commenti

Si rileva una intensificazione dei fenomeni descritti nel tratto precedente.

I processi di arretramento delle sponde sono molto estesi e presentano uno schema ricorrente: si individuano forme di erosione ad arco che indicano una tendenza alla formazione di meandri (arco e contro arco).

Il trasporto solido grossolano ha ricoperto non solo i corpi sedimentari sospesi, ma anche estese aree della pianura fluviale.

In ampi tratti del canale di magra, l'elevata capacità erosiva e di trasporto della corrente ha determinato la completa rimozione del materiale alluvionale e l'affioramento del substrato argilloso. La copertura vegetale della fascia ripariale e dei corpi sedimentari sospesi è stata frequentemente rimossa.

## **12.5.3 Tratto compreso tra la confluenza del Fosso di Orvieto e la confluenza con il Fosso Albergo la Nona**

### Pianura

Per gran parte del tratto l'esondazione della pianura alluvionale non ha comportato sedimentazione e progradazione di materiale grossolano, né processi di erosione per corrente trattiva.

L'unico episodio di tracimazione è localizzabile alla fine del tratto, sulla sponda opposta alla confluenza del Fosso Albergo la Nona.

### Alveo

#### Sponde

I processi di erosione e arretramento delle sponde sono molto meno frequenti ed estesi del tratto precedente. Questo è vero in particolar modo per le sponde esterne dell'alveo attivo che sono rimaste sostanzialmente invariate, ma anche per le sponde dei corpi sedimentari sospesi dove i processi erosivi sono piuttosto localizzati.

La vegetazione presente sulla fascia ripariale esterna alle sponde dell'alveo attivo è rimasta sostanzialmente stabile; non si sono verificati fenomeni di rimozione.

#### Corpi sedimentari

I corpi sedimentari nudi ed attivi sono localizzabili spesso sulle stesse posizioni del 2008. Sono generalmente più estesi (si sono accresciuti). Ciò è avvenuto quasi sempre a causa della progradazione di materiale grossolano sulla contigua barra sospesa.

Fatta eccezione per situazioni abbastanza localizzate, non si registrano episodi di rimozione completa della vegetazione sui corpi sedimentari sospesi, associati all'erosione della barra. Più frequentemente la vegetazione dell'alveo relitto è stata parzialmente asportata e/o ricoperta da sedimenti grossolani.

### Canale/i di magra

Rispetto al 2008 si registra un allargamento del canale di magra. Si rileva l'affioramento del substrato argilloso su di un'area piuttosto limitata localizzabile all'inizio del tratto.

### Note e commenti

Si segnalano due situazioni interessanti.

Al chilometro 49,5 dell'asse dell'alveo è presente un corpo sedimentario nudo e attivo, classificabile come una barra di flesso "tagliata" dal canale di magra, che dà luogo ad un riffle. Tale corpo sedimentario, pur essendo stato in parte rielaborato (si è formato un altro canale che ne interrompe la continuità), ha mantenuto sostanzialmente la stessa configurazione del 2008: la barra, probabilmente estremamente corazzata, non è stata mobilitata nemmeno parzialmente durante gli eventi di piena.

Alla fine del tratto (chilometro 50,2 della progressiva dell'asse dell'alveo) si rileva il fenomeno di tracimazione e progradazione del trasporto solido al di sopra della pianura alluvionale citato in precedenza: il lobo di accrescimento del materiale grossolano ha ricoperto in parte anche la barra sospesa adiacente ed è rientrato nel canale. È interessante notare come anche in questo caso non si riscontrino fenomeni di arretramento delle sponde, che sono rimaste invariate rispetto al 2008.

Quanto descritto in precedenza indica che in questo tratto i processi di erosione sono subordinati a quelli di trasporto e sedimentazione, hanno perso i caratteri di intensità e sistematicità che avevano nel tratto precedente e sono maggiormente localizzati.

### **12.5.4 Tratto compreso tra la confluenza con il Fosso Albergo la Nona e la briglia a valle di Ponte Adunata**

#### Pianura

Sulla pianura alluvionale si individuano due episodi di tracimazione e di progradazione del trasporto solido.

Sulla sponda in sinistra idrografica, appena a monte della confluenza con il torrente Chiani, si individuano due lobi di accrescimento, non molto estesi, uno sulla pianura alluvionale e l'altro sulla adiacente barra sospesa. In questo caso una parte della sponda è arretrata di circa 40 metri.

Il secondo episodio è localizzabile appena a valle di Ponte Adunata, sempre in sponda sinistra, ed è di dimensioni molto limitate.

#### Alveo

#### Sponde

Complessivamente le sponde sono rimaste invariate rispetto al 2008, ad eccezione alcuni tratti, non molto estesi, uno dei quali sono state erose e sono arretrate.

La vegetazione, sia quella della fascia ripariale esterna all'alveo attivo sia quella dei corpi sedimentari sospesi, è stata asportata in modo evidente.

#### Corpi sedimentari

I corpi sedimentari nudi e attivi presentano frequenza e dimensioni abbastanza simili al 2008. Si nota forse una leggera diminuzione della frequenza, associata ad un leggero aumento delle dimensioni per la progradazione di materiali grossolani sui corpi sedimentari sospesi.

Sono limitati i processi di erosione smantellamento dei corpi sedimentari sospesi, che hanno subito più frequentemente la rimozione della vegetazione e il ricoprimento da parte di sedimenti grossolani.

La vegetazione è stata asportata in modo evidente.

#### Canale/i di magra

Il canale di magra si è allargato rispetto al 2008, ma non si registra l'affioramento del substrato.

### Note e commenti

Gli elementi rilevati indicano leggero un aumento dei processi di erosione rispetto al tratto precedente, probabilmente a causa degli apporti di qualche affluente (Fosso di Romealla, Fosso Albergo la Nona). Tuttavia i fenomeni erosivi mantengono un carattere abbastanza localizzato. L'asportazione della vegetazione è aumentata nettamente rispetto al tratto precedente.

## **12.5.5 Tratto compreso la briglia a valle di Ponte Adunata e la confluenza nel Tevere**

### Pianura

Sulla pianura si rilevano due aree in cui si è verificata la tracimazione che ha comportato anche la deposizione di sedimenti e/o fenomeni erosivi.

A valle del Fosso Froiana è stata interessata un' ampia porzione della pianura alluvionale, su entrambi i lati. In destra idrografica il fenomeno ha comportato l'arretramento della sponda esterna alla curva per circa 70 m e la deposizione, sulla pianura, di sedimenti grossolani e di sedimenti fini. In sinistra idrografica il materiale solido grossolano è progradato al di sopra dell'alveo relitto e, in minima parte, sulla pianura alluvionale, dove si rileva essenzialmente la sedimentazione di materiale fine.

La seconda zona è localizzabile al chilometro 57,5 dell'asse dell'alveo. Nel 2008 era presente un corpo sedimentario parzialmente vegetato che riduceva in maniera consistente le dimensioni del canale e che ha causato, molto probabilmente, la tracimazione. Questa è avvenuta in destra idrografica (sponda interna) dove si è formato un canale sopraelevato, ampio circa 40 metri, che corre parallelo alla sponda dell'alveo per più di un chilometro.

Nel canale si rilevano sedimenti sia grossolani sia fini con una preponderanza dei primi, al di fuori si sono depositati esclusivamente sedimenti fini.

### Alveo

#### Sponde

Le sponde sono frequentemente soggette ad erosione ed arretramento, sia quelle esterne dell'alveo sia quelle dei corpi sedimentari sospesi. In generale il tasso di arretramento non è elevato, ciò è in accordo con l'analisi storica che indica come questo tratto finale, al contrario di quelli di monte, non sia molto mobile: il valore massimo di arretramento (circa 70 m) è localizzabile in corrispondenza del primo episodio di tracimazione.

La vegetazione ripariale ad alto fusto è stata frequentemente rimossa e trasportata a valle a seguito dell'erosione delle sponde.

#### Corpi sedimentari

Questo tratto è storicamente poco mobile e nel 2008 non presentava praticamente corpi sedimentari nudi e attivi.

Si rilevano 4 corpi sedimentari nuovi, che si sono formati a seguito dell'asportazione, spesso parziale, della vegetazione delle barre sospese e alla progradazione sulle stesse di sedimenti grossolani.

Fa eccezione il corpo sedimentario localizzato in corrispondenza del primo episodio di tracimazione, che può essere classificato come una barra di flesso. Si è formata per la deposizione di materiale grossolano all'interno dell'alveo nella fase di picco. In fase di coda la barra è stata erosa e si sono formati due canali di magra che ne interrompono la continuità.

I corpi sedimentari sospesi sono stati erosi e smantellati, a seguito dell'asportazione della vegetazione, in aree non molto estese. Più frequentemente hanno subito l'asportazione della vegetazione e il ricoprimento da parte di sedimenti grossolani.

### Canale/i di magra

Il canale di magra si è allargato rispetto al 2008. Il substrato affiora su una porzione molto limitata del canale appena a valle della briglia iniziale.

### Note e commenti

Complessivamente si registra un ulteriore incremento dei processi di erosione che comunque, considerata anche la non elevata mobilità del tratto, evidenziata dall'analisi storica, non raggiungono i valori di intensità dei due tratti iniziali a monte. Probabilmente si risentono gli effetti connessi agli apporti, sicuramente importanti, del T:Chiani.

## **PARTE QUARTA**

### **13 Modello concettuale specifico del sistema alveo/pianura fluviale del basso Paglia-**

#### **13.1 Caratteri della pianura fluviale**

Dalla progressiva 30,0 km AdA alla progressiva 38,5 km AdA, (a monte del tratto in studio) 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 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 "sistema di produzione" apprezzabile 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 alla confluenza con il Torrente Fossatello in riva sinistra, nel tratto intermedio. Tale conoide presenta un fronte di circa 600m e interessa il T.Fossatello per una lunghezza di circa 500m dove, senza soluzione di continuità, si identifica con le frane ivi presenti. Nel piccolo

bacino del Torrente Fossatello sono presenti da almeno 60 anni delle frane, che sovralluviano 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 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, sono sempre state presenti a partire dagli anni 50 del secolo scorso.

- Verso valle, oltre 38,5 Km di AdA, 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 e 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 confinato 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 residue, attuali, a discapito della pianura.

La pianura, dalla progressiva 43,2 km AdA, in riva destra è più ampia e continua, 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. Tali condizioni interessano anche parte dell'alveo attivo che apparentemente sembra parte della pianura.

Le colture interessano anche l'ampia fascia che nella prima metà del secolo scorso era parte dell'alveo attivo. Tale alveo è interessato dalle piene maggiori quando il comportamento di alveo intrecciato prevale su quello di alveo sinuoso.

Nella pianura, nella parte terminale del tratto, sono evidenti 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 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 ca-

ratterizzato 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.

## 13.2 Caratteri dell'alveo

Nel tratto più a monte, che non è oggetto del presente lavoro (progressiva 30,0 km AdA) sino alla progressiva 38,5 km AdA, l'alveo è monocanale.

La larghezza è relativamente poco variabile e la pendenza non evidenzia rotture di pendio particolari, salvo quella corrispondente alla confluenza del Torrente Fossatello (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* litoide.

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, prevalentemente costituito da argille, 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* argilloso 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 3 m a 7 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.

Le confluenze degli affluenti principali non risultano sospese. 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, e poi defluisce sino al canale con una sorta di rapida. In pratica la corrente del Torrente Ritorto non ha la capacità di incidere il corpo sedimentario formando 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. Attualmente la sponda destra - esterna alla curva - che coincide con la base del versante è stata consolidata assieme al versante sulla cui sommità è presente una abitazione.

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 utilizzazione 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 ca-

nali, 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, argillosi.

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, che spesso sono definibili più propriamente barre trasversali a basso angolo fra asse della barra e asse dell'alveo, vengono tagliate trasversalmente dal canale di magra che passa da una sponda alla sponda apposta formando un *riffle* trasversale alla barra, ricostituendo apparentemente 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 infiltra?). Quando la portata è più elevata, questa defluisce sopra la barra – quindi la confluenza è sospesa.

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 e continua ad essere, 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 rettilineo sino alla fine del settore.

I corpi sedimentari sono progressivamente meno frequenti verso valle 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 Tor-

rente 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/soglia (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 opera trasversale presente nel tratto di studio compreso fra questa e la SP 48.

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 sospesa, 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.



## 15.1 La pianura fluviale

Nel tratto omogeneo n1, subito a monte dell'area di interesse la pianura è praticamente assente, o è costituita da lembi di alveo relitto discontinui; non ha subito variazioni significative rispetto al passato.

Nei successivi quattro tratti omogenei 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.

**Un parte importane di tale fascia, considerata dalle norme vigenti esposta a diversi livelli di rischio idraulico, deve essere considerata più propriamente a "funzione" idraulica. In altri termini si tratta di alveo attivo o attivabile in futuro durante gli eventi di piena più intensi, dopo che il comportamento dell'alveo ha virato da quello caratteristico di alveo sinuoso a bassa sinuosità a quello di alveo intrecciato caratterizzato da una dinamica con variazioni di percorso repentine e difficilmente prevedibili. (non si tratta solo di prevedere aree sommergibili ma anche quali saranno i caratteri della corrente nell'alveo e sulla "pianura" ed i suoi effetti di erosione/sedimentazione che varieranno la morfologia del sistema alveo-pianura fluviale) Tale funzione si attiva solo durante episodi con durata di poche ore fra lunghi tempi di ritorno, ma in quelle ore, quella fascia svolge il suo naturale ruolo (la sua "funzione") di alveo attivo.**

Il tratto più a valle presenta una pianura più limitata, presente solo in sponda destra, anch'essa esposta agli stessi rischi ed alle stesse funzioni.

## 15.2 L'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 tratto a monte dell'area di interesse, dove è rimasto sempre monocabale e 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 monocabale 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 localmente un vero e proprio alveo meandriforme che potenzialmente può interessare tutta la pianura. Episodi simili sono accaduti nel recente passato in località come "La Barca Vecchia" o la "Curva del Pantano".

In occasione di piene molto intense, come è stato indicato, il comportamento del sistema fluviale vi-  
ra da sinuoso a bassa sinuosità, verso un comportamento di tipo intrecciato; in ogni caso, al comportamento di alveo intrecciato si sovrappone il comportamento di alveo sinuoso che permane lungo il

tracciato dell'alveo pieno.

Tale comportamento impegna quelle 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 quelle indicate nella Carta dei caratteri morfologico-sedimentari allegata alla relazione della Provincia, come “alveo relitto” e ampie porzioni di pianura attualmente utilizzate in vario modo indicate nella planimetria dell'ipotesi di master plan (scala 1:5000):

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.

### **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 omogeneo, subito a monte dell'area di studio, 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 intermedi più a valle, fino al tratto omogeneo 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 terminale più a valle, i corpi sedimentari sono pressoché assenti. Presumibilmente l'effetto combinato di una maggiore pendenza ivi presente (0,23%), 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.

Il D90 varia da 268 mm nel tratto più a monte, fino a 200 mm, nei tratti intermedi, mentre nel tratto più a valle 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 si valuta che fosse 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 equilibrio. 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 a monte dell'area di studio, 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, il vecchio alveo intrecciato, attualmente apparentemente facente parte della pianura che, comunque, tornerà attivo, come tale, durante le piene maggiori. fluviale – vecchio alveo intrecciato

La “mobilità” laterale dell'alveo non è cambiata molto nel tempo: il tratto a monte dell'area di studio è stato ed è pressoché immobile; **il tratto iniziale di monte presenta un'alta mobilità**, limitata a tratti solo dalla presenza, in riva destra, del versante che la contrasta. **I tratti intermedi di valle 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 verso valle dove è presente un alveo più stabile, con sponde fisse e ben vegetate.**

**La reattività dell'alveo**, 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 granulometricamente 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 LA FORMULAZIONE DELL'IPOTESI DEL MASTER PLAN.**

– Fatti salvi il tratto omogeneo 1 e il tratto omogeneo 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, 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 (30-60 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 (200-500 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, essendo stata sedimentata a monte la parte principale di sedimenti grossolani, 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 sul trasporto solido grossolano. Da osservazioni comparative tra i due settori (superiore e inferiore) del Medio Paglia, a monte dell'area di studio, 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 alcuni metri cubi di sedimenti grossolani ogni anno, 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 dieci anni (eventualità non priva di significato nel Basso Paglia) in “astratto” si ritorna all'equilibrio dopo centinaia di migliaia 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 principale dello stato di non equilibrio attuale.**

- Il deficit sedimentario è tale da aver determinato, per lunghi tratti, l'erosione di tutto il materasso alluvionale fino ad incidere il bedrock argilloso pliocenico, come mai era avvenuto durante le ultime centinaia di migliaia di anni.
- In questa condizione, l'asportazione di sedimenti verso l'esterno del sistema alveo-pianura fluviale, corrisponde ad un aggravamento sia esso: immediato, diretto, localizzato, esteso, indiretto, ritardato o altro, ma sempre e comunque un aggravamento del 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". Tutto ciò vale se i sedimenti asportati sono sedimenti grossolani, ovvero con granulometria simile ai sedimenti dell'alveo, se la loro granulometria è quella delle argille plioceniche certo non ci saranno neppure sovralluvionamenti localizzati.
- .
- L'alveo del Medio Paglia è privo di opere e si trova in condizioni quasi naturali.
- Nel Basso Paglia le uniche opere che determinano un livello di base locale sono: la soglia di massi presente a valle del Ponte Adunata, vicino all'progressiva 53,5 km AdA e la nuova soglia subito a valle del ponte della provinciale n.48. 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 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 si comporta, nelle condizioni attuali di transizione, come un alveo monocanale a bassa sinuosità, con larghezza di alcune decine di metri, posto all'interno di una alveo divagante, intrecciato, largo alcune centinaia di metri.
- Il tratto 6 è un alveo dritto, per altro simile al tratto 1

## 17 Master Plan - 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.**(Master Plan)

**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 inquadrare in un progetto generale di gestione del sistema alveo – pianura fluviale. Tale progetto necessariamente non può attualmente comprendere anche **l'Alto Paglia e il T. Chiani, rimane così un problema aperto che potrebbe influire sulle soluzioni progettuali relative 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 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 di sistemazione, 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 omogenei precedentemente definiti:

- Nel tratto 1 che è a monte dell'area di interesse 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 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 che in parte è ancora alveo attivo recuperato all'agricoltura, 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.

## 18 Ipotesi di Master Plan

### 18.1 Obiettivi 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 a poco oltre i 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 non escluse soluzioni proprie dell'ingegneria naturalistica) **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, o può diventarlo nel prossimo futuro a causa della condizione divagante dell'alveo sinuoso.
- deve essere definita, tramite modelli idraulici adeguati, la portata transitabile nell'alveo sinuoso, con tempo di ritorno non significativamente superiore alla portata ad alveo pieno (1,5- 3 anni) e quella transitabile nell'alveo intrecciato definendone anche i tempi di ritorno.
- devono essere definiti gli effetti dell'esondazione nel tratto 5, dovuta al transito di portate superiori a quelle contenibili nel sistema alveo sinuoso-alveo intrecciato, 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 selezionati, per quanto possibile. **Si ritiene che le possibilità di realizzare casse di espansione con volumi adeguati, sia molto limitata.**

– **per quanto non laminabile** ulteriormente nell'ambito del basso Paglia, vi sono almeno due opzioni tecnicamente possibili ed efficaci e non necessariamente alternative:

adeguare il **sistema di argini**, nel tratto 5, almeno in corrispondenza dei centri abitati di Ciconia e Orvieto Scalo che li protegga da piene con i tempi di ritorno ritenuti accettabili.

realizzare opere con effetto laminante nell'alto e/o medio Paglia, come traverse a bocca tarata o/e dighe di ritenuta. Questa ultima soluzione che in astratto potrebbe essere risolutiva, è ritenuta difficilmente attuabile e comunque avrebbe verosimilmente tempi di realizzazione incompatibili con la situazione di rischio; la prima soluzione indicata considerati i parametri tecnici propri di una traversa, non è ritenuta sufficiente. Tale soluzione può essere comunque interessante come contributo rilevante alla soluzione del problema della laminazione delle piene nel basso Paglia.

**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 entrare in funzione 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 l'adeguamento delle 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.

## 19 Descrizione della ipotesi proposta per il Master Plan

### 19.1 Premessa

Sulla base degli studi e dei rilevamenti pregressi ed attuali, con particolare interesse per l'analisi delle variazioni dei caratteri morfologico-sedimentari indotte dalle piene del 2010 e del 2014 al sistema alveo-pianura fluviale del Basso Paglia (vedi tavole scala 1:5000 allegate), viene proposta l'ipotesi di Master Plan descritta di seguito (vedi tavole relative alla planimetria e al profilo longitudinale di Master Plan, allegate).

**Tale proposta partendo dagli elementi conoscitivi descritti, sviluppa una soluzione tecnica che vuole costituire un quadro di riferimento con valenza preprogettuale. Lo sviluppo progettuale dell'ipotesi necessita di verifiche, di rilievi e di calcoli idrologici, idraulici, geomorfologici e sedimentari, da sviluppare di concerto ed in sinergia fra i diversi esperti nei settori dell'Ingegneria e delle Scienze della Terra, o comunque da esperti in problemi di dinamica fluviale.**

### 19.2 Struttura dell'alveo

L'alveo è costituito da due componenti sovrapposte:

- **un canale sinuoso** a bassa sinuosità per il contenimento di portate poco superiori a quelle di "alveo pieno" (con tempi di ritorno da 1'5 a 3 anni).

-**un alveo intrecciato** che al suo interno contenga l'alveo sinuoso e che corrisponda alla fascia ampia di naturale, storica divagazione del Fiume.

### 19.3 Caratteri dell'alveo sinuoso ipotizzato

I caratteri del sistema alveo sinuoso-alveo intrecciato devono essere per quanto possibile simili a quelli naturali, con una differenza sostanziale: l'alveo sinuoso in **condizioni naturali è un alveo mobile** che nel tempo cambia il suo percorso, nella proposta di **Master Plan deve essere fisso e stabile**, ovvero non deve cambiare il suo tracciato e deve essere in equilibrio dinamico con il "giusto" trasporto solido al fondo e quindi non erodersi o aggradarsi

**La fissazione** del tracciato si può ottenere **utilizzando la sinuosità**, infatti un alveo sinuoso in condizioni naturali tende a "muoversi" erodendo la sponda esterna alla curva e accrescendo la barra di meandro nella sponda interna alla curva; se la sponda esterna alla curva viene resa non erodibile e rimane stabile, una volta che si è formata la barra di meandro, tale barra non può più accrescersi perché i caratteri idraulici locali della corrente in corrispondenza della barra diventano tali da innescare anche sopra la barra il trasporto solido di fondo realizzando un meccanismo di autodimensionamento ed automantenimento dell'alveo nel quale il trasporto solido da monte equivale al trasporto solido verso valle.

**La stabilità** dell'alveo si ottiene realizzando un alveo **con parametri morfologici e sedimentari** tali da mantenere l'alveo **in equilibrio** senza erosione o sedimentazione. Ciò dipende oltre che dalle dimensioni e dalle forme del canale, le quali devono essere definite nel progetto, (alveo Pieno) anche dalla pendenza e dalle granulometrie del trasporto solido e dell'alveo stesso.

sulle granulometrie non si può operare perché sono quello che sono e ne dobbiamo prendere atto. Sulla pendenza possiamo intervenire attraverso la realizzazione di salti come traverse o variando la sinuosità. (nell'ipotesi di Master Plan sono previste 6 soglie/traverse di cui definire la quota in funzione delle pendenze che verranno determinate)

### 19.4 Sinuometria

Con riferimento alle tavole scala 1:5000, Planimetria di Master Plan, è stato definito un possibile tracciato dell'alveo sinuoso con i seguenti caratteri planimetrici:

-utilizza archi di cerchio in sequenza uniti in punti di flesso con angoli di flesso notevolmente "aperti" (media 32°) e raggi di curvatura che variano da circa 300 a circa 600 metri

-Mantiene valori di sinuosità molto vicini a quelli attuali.

-Interessa solo la fascia tuttora considerata alveo e non utilizzata per altri scopi

-passa sotto i ponti attualmente presenti

-posiziona le principali confluenze in corrispondenza delle sponde esterne alla curva

-individua la posizione di 6 livelli di base locali (soglie, traverse) ponendoli al centro di brevi tratti rettilinei

i principali dati dei 47 tratti dei quali 40 archi di cerchio e 7 brevi tratti rettilinei in corrispondenza delle soglie/traverse, sono riportati nella seguente tabella

SEMICURVA	RAGGIO DI CURVATURA	LUNGHEZZA DELL'ARCO (L)	SEMI LUNGHEZZA D'ONDA (LV)	SEMI AMPIEZZA D'ONDA (LA)	LV/LA	ANGOLO DI FLESSO DI MONTE E DI VALLE
n.	(m)	(m)	(m)	(m)		(°)
0	270	131,90	130,6	8	16,3	14
1	270	554,51	462,06	130,27	3,5	58,83
2	280	248,26	240,22	27,07	8,9	25,4
3	385	596,76	538,78	109,95	4,9	44,4
4	280	240,34	232,99	25,43	9,2	24,2
5	315	470,89	428,26	83,94	5,1	42,83
6	380	593,85	535,23	110,22	4,9	44,77
7						
8	380	383,08	367,18	47,16	7,8	28,9
9	380	340,90	329,6	37,6	8,8	25,7
10	380	316,62	307,51	32,49	9,5	23,87
11	500	751,36	682,62	134,61	5,1	43,05
12						
13	500	306,57	301,78	23,33	12,9	17,56
14	400	500,07	468,15	75,63	6,2	35,81
15	450	518,05	489,93	72,52	6,8	32,98
16						
17	500	308,92	304,02	23,67	12,8	17,7
18	400	754,26	647,36	164,99	3,9	54,02
19	500	521,85	498,5	66,55	7,5	29,9
20	400	297,89	291,05	27,41	10,6	21,34
21						
22	500	608,86	571,93	89,85	6,4	34,98
23	500	969,18	824,44	217,03	3,8	55,53
24	400	769,69	656,32	171,29	3,8	55,13
25	450	344,32	335,97	32,53	10,3	21,92
26	450	159,51	158,86	7,02	22,6	10,15
27						
28	600	366,62	360,97	27,78	13,0	17,51
29	500	422,28	409,81	43,91	9,3	24,19
30	500	486,25	467,31	57,95	8,1	27,86
31	410	387,13	372,91	44,85	8,3	27,05
32	500	537,47	512,38	70,5	7,3	30,8
33	500	370,62	362,18	33,58	10,8	21,12

34	550	582,68	555,78	75,37	7,4	30,35
35						
36	335	370,87	352,21	50,02	7,0	31,71
37	315	196,99	193,8	15,28	12,7	17,92
38	300	417,36	384,5	69,7	5,5	38,7
39	450	745,81	663,31	145,95	4,5	47,48
40	450	779,98	685,94	158,67	4,3	49,65
41	450	703,64	634,1	130,66	4,9	44,79
42	500	274,89	271,45	18,77	14,5	15,75
43	500	459,55	443,57	51,88	8,5	26,33
44	500	454,13	438,72	50,69	8,7	26,02
45	400	323,37	314,63	32,23	9,8	23,16
46	400	540,07	499,97	87,74	5,7	38,68
47	550	725,42	673,18	115,79	5,8	37,87
<b>Media</b>	<b>428</b>	<b>472</b>	<b>438</b>	<b>71</b>	<b>8</b>	<b>31,90</b>

### 19.5 caratteri granulometrici dell 'alveo sinuoso(vedi relazione Provincia)

I caratteri granulometrici da adottare per lo sviluppo dell'ipotesi di Master Plan sono sinteticamente indicati nella tabella che segue.Tale tabella riporta i dati caratteristici relativi ad ogni tratto compreso fra due traverse successive.

#### Tratti tra le briglie

	Media	D90	D50	D10	Dev. St	Skewness	Kurtosis
<b>T1M</b>	136,32	294,45	99,27	22,77	127,16	2,07	9,49
<b>T2M</b>	85,21	170,64	58,57	16,75	95,61	4,22	28,73
<b>T3M</b>	82,21	177,53	53,93	17,70	81,02	3,18	21,35
<b>T4M</b>	69,81	137,94	52,51	21,19	54,50	2,15	10,04
<b>T5M</b>	64,12	131,59	49,33	19,71	47,06	1,65	6,07
<b>T6M</b>	149,34	349,54	88,70	19,07	155,97	1,96	7,49

### 19.6 Profilo longitudinale

Il profilo longitudinale dell'alveo sinuoso ipotizzato per il Master Plan è indicato nella tavola unica allegata,nella stessa tavola sono indicati anche il profilo dell'asse dell'alveo pieno attuale,dell'alveo relitto,della pianura fluviale e del tetto del bedrock pliocenico argilloso,

Ne profilo si riportano anche le pendenze attuali e di Master Plan che sono molto simili alle attuali. Nelle successive fasi di progettazione,dovranno essere definite e verificate le pendenze che,preso atto degli altri parametri in gioco come la dimensione e la forma delle sezioni trasversali,le granulometrie,la vegetazione,ecc. determinano i caratteri di stabilità e la fissazione dell'alveo.

### **19.7 caratteri dell'alveo intrecciato**

L'alveo intrecciato naturale è presente solo in piccola parte ,la quasi totalità delle aree che ne facevano parte sono state utilizzate,nel migliore dei casi come zone agricole,ma anche come aree urbane o con insediamenti industriali.

La funzione di tali aree come alveo risulta evidente solo per eventi di piena con tempi di ritorno di alcune decine di anni. In questi casi la loro funzione naturale, che è quella di alveo, prevale sulle altre come è recentemente accaduto nel 2012.

Non vi sono particolari opere che riguardano il vecchio alveo intrecciato,permane la necessità di mantenerlo con la minore quantità di beni esposti possibile, intervenendo sulla loro vulnerabilità tramite idonee arginature,come a Cigonia e favorendo altrove la loro naturale funzione o il loro utilizzo come aree o casse di espansione,utilizzabili per tipi di coltivazioni compatibili.

Nella planimetria di Master Plan -tavole 1:5000 - è indicata la fascia di naturale divagazione.In parte tale fascia coincide con le aree ad alto rischio idraulico,in parte è più ampia per le valutazioni relative a far si che l'alveo possa essere fissato ad una quota maggiore dell'attuale,dove attualmente è inciso nel bedrock argilloso.

La fascia tiene conto anche che,in assenza delle opere di fissazione dell'alveo sinuoso,a causa della sua mobilità,tale alveo,per erosione laterale può estendere l'area a rischio o meglio a funzione idraulica.

La fascia indicata nelle tavole deve essere considerata come schema di riferimento e non come dato progettuale o come limite di aree da vincolare.Per svolgere tali ruoli è necessario un approfondimento di indagini sia di carattere idrologico-idraulico,sia di carattere morfologico-sedimentario.