

2. Processi geomorfologici e trasporto solido

2.1 Forme e processi attuali

In questo paragrafo vengono descritti i seguenti aspetti relativi a questa fase di caratterizzazione dello stato attuale dell'alveo: (a) rilevamento geomorfologico di campagna, finalizzato alla interpretazione delle forme e dei processi attuali (par.2.1.1); (b) descrizione delle principali forme fluviali presenti nel tratto di studio (par.2.1.2); (c) suddivisione del tronco di studio in tratti relativamente omogenei per caratteristiche geomorfologiche ed idrologiche (par.2.1.3); (d) descrizione della campagna di rilievi dei sedimenti dell'alveo e risultati ottenuti (par.2.1.4).

2.1.1 Rilevamento geomorfologico di campo

Una fase essenziale dello studio geomorfologico è stata costituita dal rilevamento di campagna, al fine di descrivere le caratteristiche dell'alveo nei vari tratti, classificare la morfologia attuale, ricavare evidenze di variazioni avvenute e definire i processi dominanti in atto. A tal fine, partendo dai metodi proposti recentemente in letteratura (con particolare riferimento alle schede di rilevamento geomorfologico proposte da THORNE, 1998) e da esperienze recenti nell'ambito di altri progetti di ricerca, è stata messa a punto una scheda specifica adatta per il presente progetto, funzionale agli obiettivi dello studio ed alle caratteristiche morfologiche dei corsi d'acqua in esame (T.Ombrone e principali affluenti nel tratto considerato). La scheda di rilevamento è composta da tre parti: 1) generalità e descrizione dell'alveo e delle forme fluviali, con incluso uno schema della planimetria del tratto in cui riportare i punti di documentazione fotografica; 2) sponde (tipologia, geometria, composizione e processi di instabilità), vegetazione (viva e detriti legnosi) e stato di instabilità; 3) opere in alveo e gestione, per annotare i punti di controllo artificiale del fondo e delle sponde e lo stato di gestione (artificialità) del fiume, e descrizione della documentazione fotografica. Quest'ultima è stata effettuata tramite camere digitali in modo da facilitare l'archiviazione e l'organizzazione delle immagini. Tutte le schede compilate e la relativa documentazione fotografica sono state archiviate in formato digitale e riportate nel CD-ROM allegato, mentre in Appendice a questo volume si riporta una scheda non compilata.

Durante il periodo 8-11 luglio 2003 è stata effettuata una prima fase intensiva di rilievi geomorfologici di campo. Tale fase è servita per effettuare una ricognizione iniziale del corso d'acqua e per realizzare una prima parte di schede geomorfologiche e campionamenti sedimentologici. Sulla base di questa prima ricognizione, è stata delineata una prima suddivisione in tratti, per ognuno dei quali è stata quindi compilata una scheda ed effettuati i rilievi granulometrici. Il rilievo geomorfologico con la compilazione della relativa scheda sono stati estesi anche ai tre principali affluenti individuati lungo il tratto di studio (T.Vincio di Brandeglio, Fosso

Torbecchia e T.Vincio di Montagnana). Tali rilievi sono stati poi estesi anche al tratto a monte di quello di studio (fino a Piteccio) e completati entro la fine di agosto. Questa prima campagna di rilievi dell'estate 2003 è stata molto utile in quanto il fondo del fiume era in gran parte emerso ed è stato quindi agevole percorrerlo ed osservarne le morfologie presenti.

Una seconda fase di ricognizione geomorfologica è stata effettuata durante il mese di febbraio 2004, cioè in un periodo rappresentativo della condizione invernale del fiume, in modo da: a) dettagliare alcuni aspetti o chiarire dubbi emersi nel frattempo; b) effettuare osservazioni sui processi dominanti nei vari tratti alla fine della stagione autunnale – invernale, quindi poco dopo il verificarsi di una serie di eventi di piena.

2.1.2 Forme fluviali

E' opportuno in questo paragrafo riportare la terminologia ed una breve descrizione delle principali superfici geomorfologiche e morfologie fluviali che caratterizzano un alveo a fondo mobile, restringendo tale rassegna solo alle casistiche riscontrate nel tratto di studio. Va altresì subito detto che il corso d'acqua in esame è fortemente antropizzato, quindi le superfici geomorfologiche e la morfologia complessiva dell'alveo, almeno allo stato attuale, sono quasi sempre in qualche misura rimaneggiate. Per quanto riguarda le superfici geomorfologiche, facendo riferimento alla letteratura recente (si veda ad es. Hupp & Osterkamp, 1996), si possono definire le seguenti forme.

Canale. E' la porzione topograficamente più bassa dell'alveo. Può essere presente un canale singolo (in morfologie sinuoso – meandriformi) o più canali (morfologie a canali intrecciati). In un fiume perenne il canale risulta totalmente o parzialmente ricoperto di acqua per la maggior parte delle portate che interessano il corso d'acqua. Nel caso in esame, l'alveo può trovarsi per alcuni periodi dell'anno completamente privo di portata liquida. Il canale in tal caso è comunque in genere riconoscibile come quella porzione incisa rispetto alle eventuali barre presenti.

Barre attive. Sono incluse nell'alveo attivo e rappresentano le superfici fluviali topograficamente più basse della porzione emersa, leggermente al di sopra del canale. Si possono distinguere vari tipi di barre, alcuni dei quali sono caratteristici di una determinata morfologia. Nel caso in esame le barre più frequenti sono le barre laterali, in genere caratteristiche di alvei rettilinei o a bassa sinuosità, dove si alternano in sponda destra e sinistra. Le barre longitudinali sono invece tipiche di alvei a canali intrecciati. In genere vengono inondate (parzialmente o totalmente) per percentuali rilevanti della curva di durata delle portate.

Barre alte. Sono topograficamente più alte delle barre attive, costruite e rimodellate dalle piene maggiori, ma sono ancora incluse nell'alveo attivo (*bankfull*). Oltre che per la loro posizione topografica, si differenziano dalle barre attive per la presenza di vegetazione (prevalentemente arbustiva o sporadicamente possono essere presenti alberi di giovane età) e per un maggiore assortimento granulometrico. Rappresentano quindi una forma di transizione con la pianura inondabile. In genere vengono sommerse per alcuni giorni l'anno (durante i quali prevalgono i

processi di deposizione per tracimazione piuttosto che di trasporto solido al fondo), mentre vengono rimodellate solo per eventi di piena di una certa intensità.

Pianura inondabile (floodplain). E' una superficie pianeggiante, costruita dal fiume nelle sue attuali condizioni di regime. Si differenzia dall'alveo attivo in base a: (a) topografia (si osserva una piccola scarpata alla sommità della quale comincia la piana inondabile); (b) caratteristiche tessiturali dei sedimenti (passaggio piuttosto netto da ghiaia a sabbia fine – limo); (c) vegetazione (è spesso presente una fascia di vegetazione arborea più continua e matura rispetto a quella che occupa le eventuali barre alte). In genere viene inondata mediamente una volta ogni 1-3 anni. Il livello idrometrico in grado di raggiungere la pianura inondabile è definito livello ad alveo pieno (*bankfull stage*), a cui corrisponde la cosiddetta portata ad alveo pieno (*bankfull discharge*), che è spesso considerata corrispondente alla portata formativa (o dominante) del fiume. In molti casi le aree che soddisfano la definizione di pianura inondabile rappresentano solo una piccola porzione di fondovalle nelle immediate adiacenze dell'alveo.

Terrazzo. Si tratta di una piana inondabile inattiva, cioè non costruita dal fiume nelle sue attuali condizioni di regime, rimasta topograficamente più in alto della attuale piana inondabile a causa di un abbassamento dell'alveo. Può essere ancora inondata nelle condizioni attuali, con tempi di ritorno che dipendono dal grado di incisione dell'alveo ma sicuramente superiori ai 3 anni.

Per quanto riguarda il T.Ombro nel tratto di studio, nelle attuali condizioni si possono in genere riconoscere (Fig.2.1): il canale e le barre attive (le barre alte sono quasi assenti); la piana inondabile, compresa tra i limiti dell'alveo attivo e le mura; il terrazzo, corrispondente al piano di campagna esterno alle mura. Occorre sottolineare che la pianura inondabile è una superficie molto antropizzata: più che essere geneticamente legata, come in genere accade, alle migrazioni laterali del corso d'acqua (ad es. per accrescimento delle barre di meandro nei fiumi meandriformi), essa deriva dall'abbandono di porzioni di alveo attivo precedentemente all'incisione (si veda a tal proposito il par.2.2). Già nelle condizioni precedenti all'inizio dell'incisione (inizi XX secolo), la pianura esterna alle mura non poteva essere intesa a rigore (secondo la precedente terminologia) come piana inondabile attiva, in quanto completamente disconnessa rispetto all'alveo a causa della presenza stessa delle mura. Tuttavia si può ritenere che si trovasse ad un livello altimetrico simile a quello dell'alveo attivo in quel periodo. A causa del successivo abbassamento del fondo, il piano di campagna esterno alle mura ha acquisito un notevole dislivello rispetto all'alveo attuale ed è definibile come terrazzo.



Figura 2.1 - Principali superfici geomorfologiche lungo il T.Ombrone.

Per quanto riguarda la configurazione morfologica del fondo, si fa di seguito riferimento alla classificazione di Montgomery & Buffington (1997) (Fig.2.2). Limitando anche in questo caso le definizioni alle sole configurazioni di interesse per il corso d'acqua in esame, si hanno i seguenti casi.

Rapide. Le rapide sono generalmente presenti in torrenti montani con pendenze accentuate (in genere superiori al 5%), con un alveo confinato e con una certa disorganizzazione trasversale e longitudinale del materiale lapideo (nel caso in esame si sono osservate nel tratto 4 situazioni paragonabili a questa, ma per pendenze del fondo nettamente inferiori e piuttosto dovute alla presenza di affioramenti rocciosi che conferiscono talora un assetto caotico e disorganizzato al fondo).

Step - pool. Sono tipici di molti corsi d'acqua montani, con un gradiente superiore al 2-3 % ed una granulometria in alveo molto assortita (anche in questo caso nel tratto 4 si sono localmente osservate morfologie paragonabili a questa ma per pendenze del fondo inferiori). Gli *step* sono costituiti da un gruppo di massi fortemente incastrati tra loro e posti di traverso rispetto alla corrente. Lo spazio tra uno step ed il successivo è occupato dalle *pool* che sono composte da materiale più fine.

Riffle - pool. Rappresentano una caratteristica comune a pressochè tutti gli alvei ghiaiosi nei quali c'è una certa eterogeneità del materiale presente sul fondo (è la configurazione quasi sempre osservata lungo il caso di studio). Si tratta di una alternanza più o meno regolare di tratti meno profondi (*riffles*) e tratti più profondi (*pools*), i primi caratterizzati da altezza d'acqua minore e velocità della corrente maggiore e viceversa. I *riffles* sono caratterizzati da granulometrie più grossolane mentre la superficie dei *pools* può essere costituita da un più ampio fuso granulometrico, interessando materiale anche molto più fine.

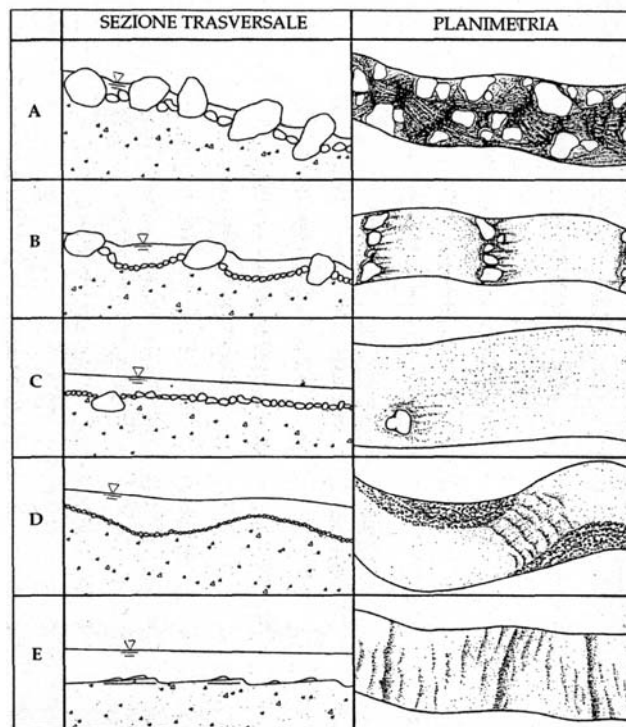


Figura 2.2 - Classificazione delle configurazioni del fondo secondo la classificazione di Montgomery & Buffington (1997): (A) rapida; (B) *step pool*; (C) letto piano; (D) *riffle pool*; (E) *dune ripple*.

Per quanto riguarda le tipologie di alveo (cioè i termini che si usano per descrivere la morfologia complessiva dell'alveo attivo), pur esistendo numerose classificazioni in letteratura internazionale (quali ad es. Schumm, 1963; Kellerhals et al., 1976; Brice, 1975; Church, 1992; Rosgen, 1994), di seguito si fa riferimento agli schemi classificativi di Rinaldi (2003) (riferito ai fiumi della Toscana) e di Surian & Rinaldi (2003), in quanto relativi a contesti geografici di cui il caso di studio fa parte, ed inoltre perché si tratta di schemi che tengono conto delle variazioni morfologiche recenti (ultimi 100 anni circa) a scala regionale ed italiana rispettivamente, alle quali si farà riferimento nel par.2.2.

In particolare, facendo riferimento alle situazioni osservate nel caso di studio (attualmente o nelle condizioni relativamente più naturali precedenti all'incisione), è utile definire le seguenti morfologie (Fig.2.3).

Sinuoso. Si tratta di una morfologia a canale singolo (monocursale), con una bassa sinuosità (indice di sinuosità compreso tra 1.2 ed 1.5, ma nel caso in esame molto prossimo ad 1.2). Può comprendere morfologie quasi rettilinee pressoché prive di barre (1A) oppure morfologie leggermente più sinuose con barre laterali alternate, da sporadiche a frequenti. Per sinuosità superiori si passa alla tipologia meandriforme, non descritta in questa sede in quanto mai osservata lungo il corso d'acqua in esame.

Sinuoso a barre alternate. E' una morfologia caratterizzata da (Rinaldi, 2003): (a) presenza continua di barre laterali regolarmente alternate, che occupano complessivamente un'alta percentuale dell'alveo attivo; (b) significativa differenza di dimensioni e configurazione planimetrica tra il canale di magra e l'alveo di piena, con un canale stretto fortemente sinuoso che scorre all'interno di un alveo in condizioni formative (*bankfull*) molto più largo, quest'ultimo avente complessivamente un tracciato a medio – bassa sinuosità (indice tra 1.1 e 1.45). Si possono sviluppare localmente canali secondari, pertanto, insieme alla tipologia *wandering*, si possono considerare come configurazioni transizionali tra canale singolo e canali multipli.

Wandering. Si tratta di una morfologia caratterizzata da un basso grado di intrecciamento, da un canale di magra principale divagante all'interno dell'alveo di piena, e da situazioni locali di anastomizzazione (presenza di isole vegetate). Rispetto al caso precedente presenta quindi caratteristiche transizionali più marcate, essendo più elevato il grado di intrecciamento.

Canali intrecciati. Si tratta di una morfologia tipicamente a più canali (pluricursale), separati tra loro da barre attive. L'alveo di piena è ampio e relativamente poco profondo (alto rapporto larghezza/profondità) e complessivamente poco sinuoso. E' utile definirlo in quanto rappresenta il caso opposto delle morfologie a canale singolo, ma va precisato che nel caso in esame non si sono osservate situazioni marcatamente a canali intrecciati neppure in condizioni storiche (solo localmente nel 1954 si sono osservate situazioni al limite tra *wandering* e canali intrecciati).

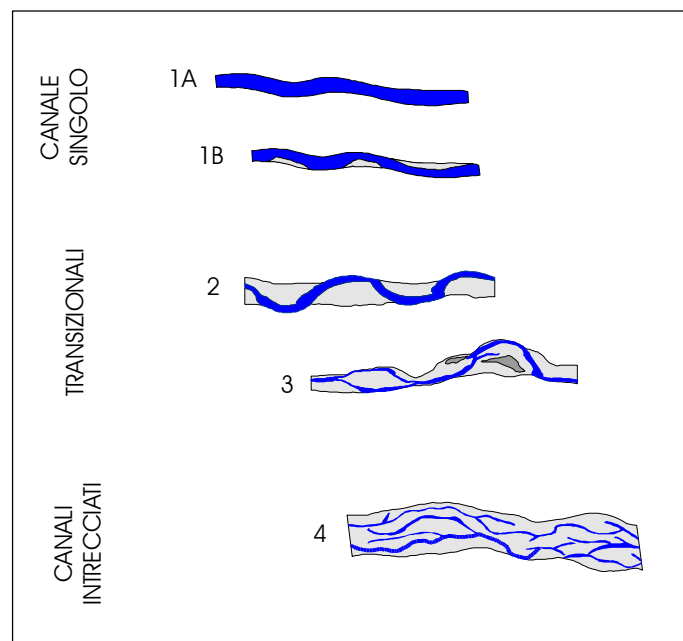


Figura 2.3 - Morfologie fluviali riferibili a quelle osservate (attualmente o in tempi storici) per il T.Ombrone.

Per quanto riguarda infine le variazioni morfologiche (argomento trattato in dettaglio nel successivo paragrafo 2.2), è utile far riferimento allo schema classificativo proposto recentemente da Surian & Rinaldi (2003) (Fig.2.4), che può a sua volta essere considerato come un'estensione al

territorio italiano, quindi con una casistica più ampia, dello schema proposto da Rinaldi (2003) per i fiumi della Toscana. Nello schema si considerano tre morfologie iniziali, gli alvei a canale singolo (caso A), includendo in questa categoria sia gli alvei rettilinei che quelli sinuoso-meandriformi, gli alvei a canali intrecciati (C) e gli alvei con morfologie transizionali (B) (sinuosi a barre alternate localmente a canali intrecciati ed alvei *wandering*). Partendo dai fiumi a canali intrecciati (C), essi sono stati soggetti principalmente a restringimento, con abbassamenti del fondo lievi o moderati (casi G e F), ma in alcuni casi anche elevati (caso H). In alcuni casi si è conservata l'originale morfologia a canali intrecciati, anche se con un minor grado d'intrecciamento (caso G), mentre in altri si è verificato un radicale cambiamento nella configurazione dell'alveo, con passaggio da una morfologia a canali intrecciati ad una *wandering* (casi F e H). Per quanto riguarda morfologie iniziali di tipo transizionale (B), essi si sono modificati in genere attraverso un'incisione lieve o moderata associata ad un restringimento da lieve ad elevato. Nel caso di forte restringimento, anche per questa tipologia d'alveo si è osservato in alcuni casi un cambiamento di configurazione, ed in particolare la trasformazione in alveo sinuoso a canale singolo privo di barre alternate (caso D). Negli alvei a canale singolo, l'incisione è stata prevalente rispetto al restringimento, incisione che può essere moderata (fino a 3 m), ma anche elevata e decisamente superiore rispetto a quella che generalmente si ha negli alvei a canali intrecciati (caso I).

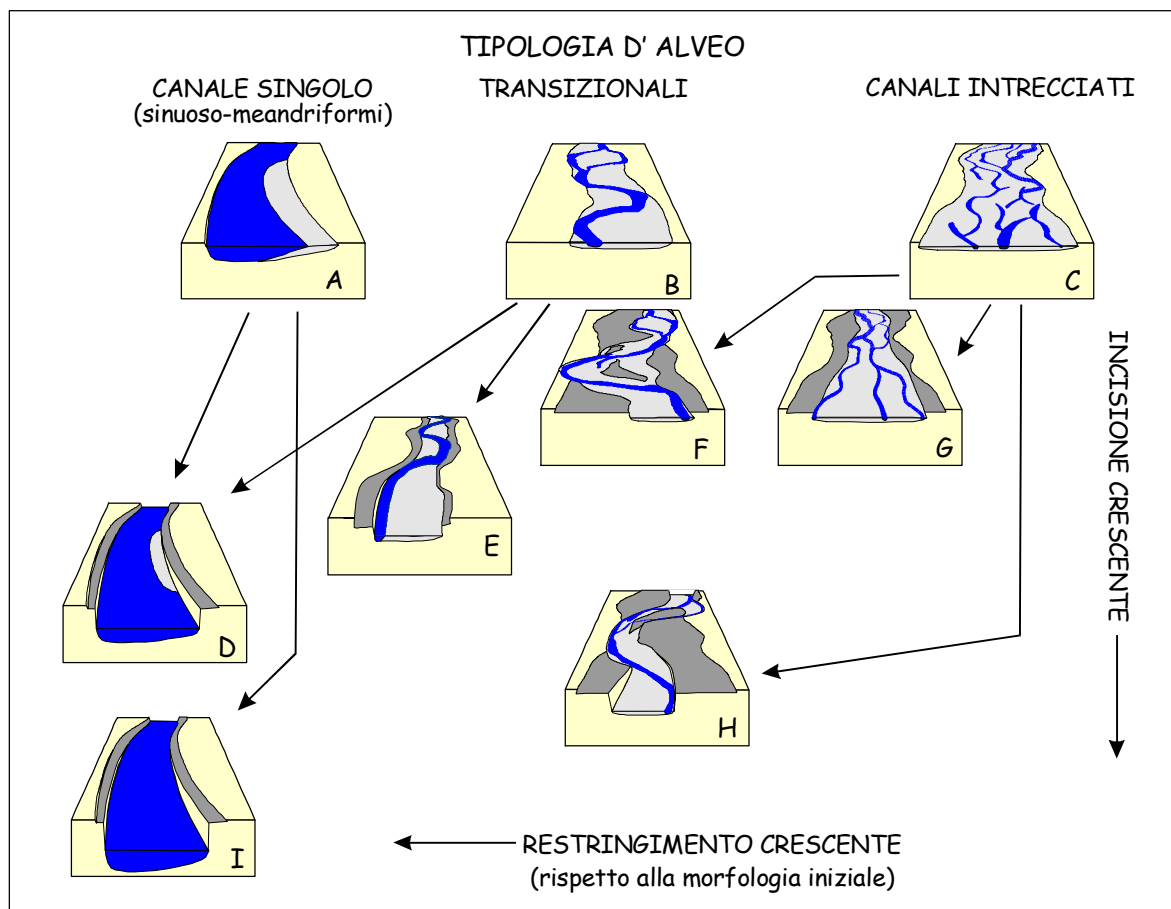


Figura 2.4 - Schema classificativo delle variazioni morfologiche di fiumi italiani negli ultimi 100 anni (da Surian & Rinaldi, 2003).

2.1.3 Suddivisione in tratti

Sulla base dei rilievi di campo è stata effettuata una suddivisione del tronco di studio in tratti relativamente omogenei per caratteristiche geomorfologiche (Fig.2.5). Tale suddivisione non è stata realizzata esclusivamente per scopi descrittivi e classificativi, ma anche ai fini dei successivi calcoli di trasporto solido e di bilanci sedimentologici. A tal proposito, si ricorda infatti che una delle ipotesi di base nell'applicazione dei metodi di stima di trasporto solido è quella di relativa omogeneità del tratto ed uniformità del moto della corrente liquida. La necessità di avere condizioni geometriche omogenee ha indotto ad identificare quei punti di discontinuità che, per cause diverse, possono determinare brusche variazioni di pendenza, larghezza d'alveo, composizione granulometrica o portate liquide. I punti di discontinuità sono quindi identificabili in bruschi allargamenti o restringimenti di sezione, presenza di opere in alveo (ponti o briglie), variazioni di portata e discontinuità sedimentologiche legate all'apporto di affluenti importanti.

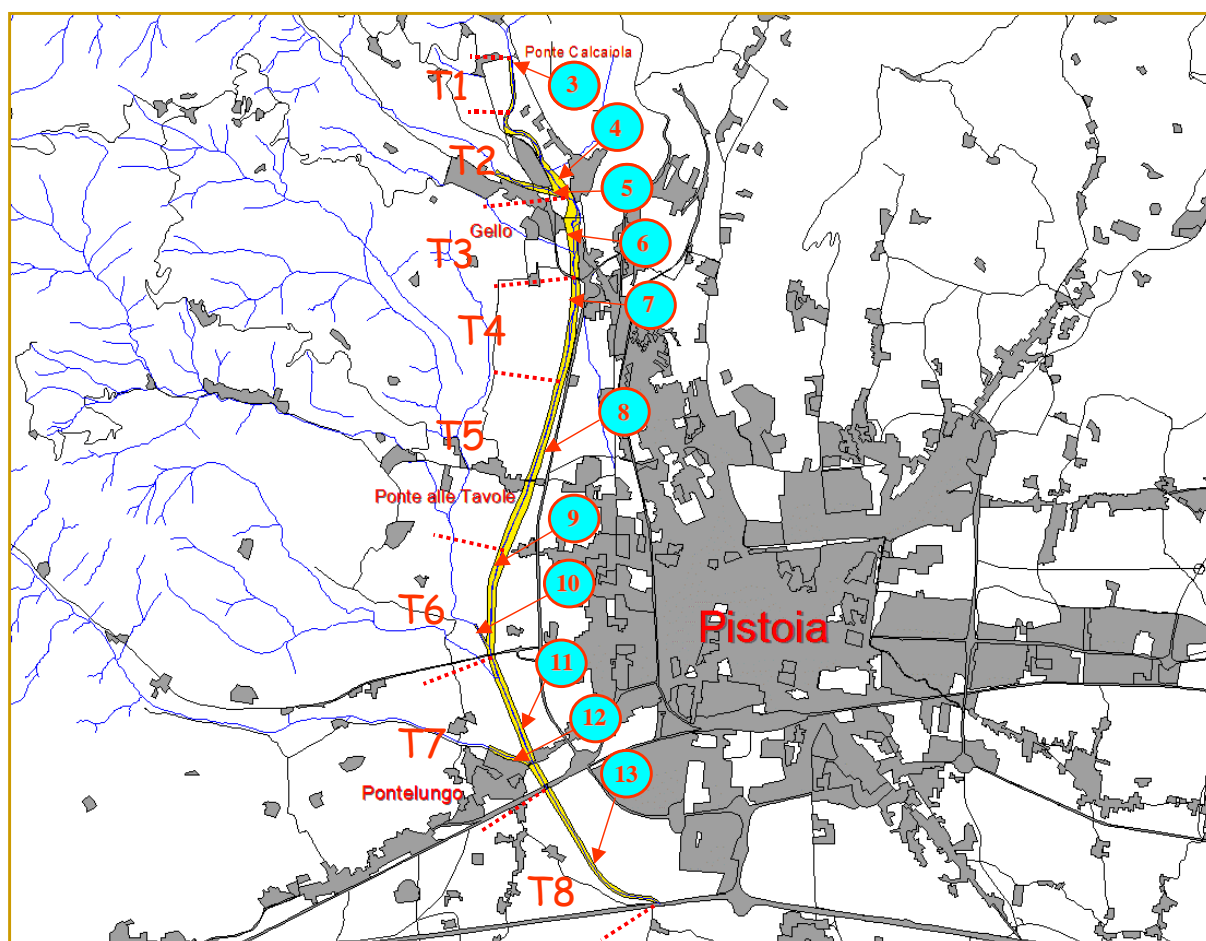


Figura 2.5 – Suddivisione in tratti con caratteristiche morfologiche relativamente omogenee (T1 – T8) ed ubicazione delle schede e dei punti di campionamento (numerazione cerchiata) (i punti di campionamento a monte 1 e 2 non sono inclusi nella figura).

Per identificare variazioni di geometria dell'alveo (larghezza e pendenza) è stata in questa fase utile anche la consultazione dei rilievi topografici disponibili. In particolare l'ultimo rilievo

topografico, eseguito specificamente nell'ambito di questo progetto, è stato mirato alla caratterizzazione geometrica dei tratti precedentemente individuati.

Si riepilogano di seguito gli 8 tratti in cui è stato suddiviso il corso d'acqua con una descrizione delle loro principali caratteristiche morfologiche ed antropiche. Per ogni tratto si riporta un inquadramento cartografico, una documentazione fotografica degli elementi più significativi e la sezione topografica relativa al rilievo commissionato ed eseguito nell'ambito di questo progetto dallo Studio Nicolodi (Firenze) nel marzo 2004. I dati completi e le rappresentazioni cartografiche di tale rilievo topografico sono riportati in Allegato.

Tratto 1

Tratto compreso tra Ponte Calcaiola e presa dell'acquedotto (lunghezza di circa 420 m) (Fig.2.6). L'area del bacino sottesa alla sezione rappresentativa (Fig.2.7), posta a circa 130 metri a valle della briglia, è di 31.39 Km². Il territorio circostante l'alveo presenta un uso del suolo caratterizzato in destra idrografica da colture specialistiche, prettamente vivaie, e da un uso seminativo generico in sinistra idrografica, con rara presenza di urbanizzazioni sparse. La presenza della presa dell'acquedotto in sinistra idrografica riveste un ruolo fondamentale per quanto riguarda il problema dei prelievi di acqua in periodi di siccità, che si aggrava se si aggiungono i prelievi dovuti all'attività vivaistica.

E' presente una briglia circa 150 m a valle del ponte, la quale modifica le condizioni idrauliche ed i valori di pendenza locale (0.62% a monte e 1.02% a valle della briglia) ma non ha sostanziale influenza sulle caratteristiche morfologiche.

Si tratta di un alveo da rettilineo a poco sinuoso, con barre alternate presenti sporadicamente e con morfologia del fondo a *riffle* e *pool*, con le *riffles* caratterizzate da granulometrie anche grossolane (ciottoli e massi). L'alveo di piena è delimitato da mura verticali che ne limitano la mobilità planimetrica all'interno di una fascia relativamente stretta (Fig.2.6). La piana inondabile è piuttosto rimaneggiata soprattutto dal punto di vista della vegetazione, a causa del frequente taglio (cadenza circa biennale) operato dal Consorzio di Bonifica, caratteristica questa comune a gran parte dei tratti.

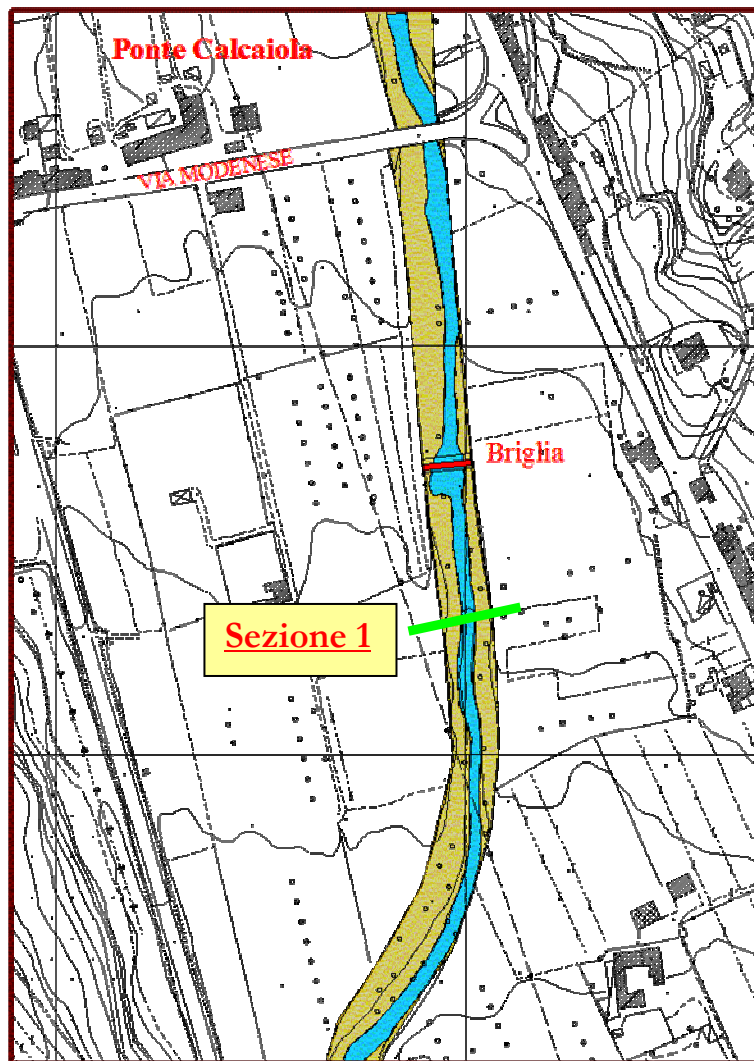


Figura 2.6 – Inquadramento del tratto 1.

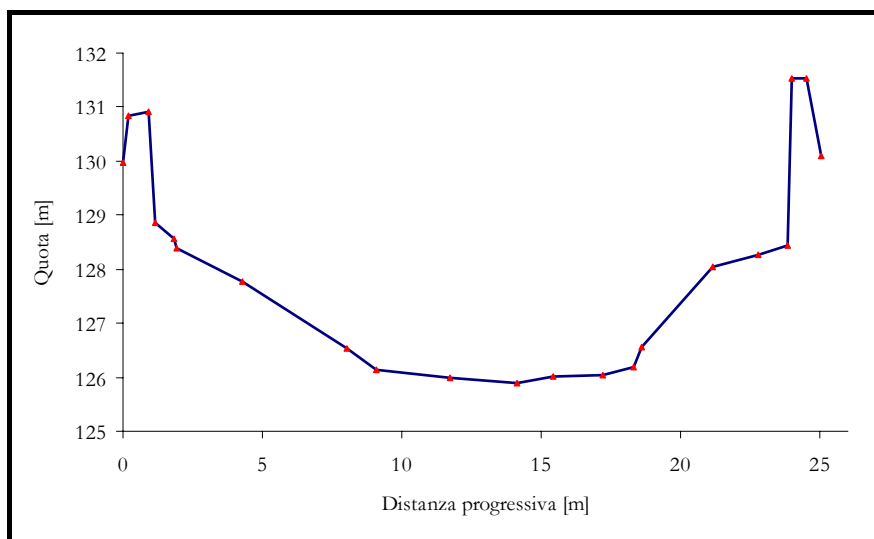


Figura 2.7 – Sezione topografica rappresentativa del tratto 1.



Figura 2.8 – Tratto 1 immediatamente a monte di P.te Calcaiola, in condizioni invernali (Marzo 2004).



Figura 2.9 - Tratto 1 immediatamente a valle del Ponte di Calcaiola.

Immediatamente a valle del ponte di Calcaiola (Fig.2.9), il corso d'acqua scorre spostato verso sinistra a diretto contatto con le arginature murarie, mentre sviluppa una piana inondabile relativamente estesa e vegetata dall'altra. La briglia posta più a valle non crea una sostanziale discontinuità morfologica (il corso d'acqua rimane a bassa sinuosità con sporadiche barre), seppure è da rilevare una maggiore incisione a valle della stessa (Fig.2.10). In prossimità della presa dell'acquedotto, che delimita il tratto a valle, si riscontra un significativo scalzamento delle fondazioni delle opere murarie poste a protezione degli argini.



Figura 2.10 - Briglia posta circa a metà del tratto 1.

Molto recentemente (ottobre 2004) il tratto è stato soggetto a drastici interventi di riprofilatura eseguiti dal Consorzio di Bonifica. Uno spazio a parte sarà dedicato ad una discussione critica degli effetti di tali interventi (si veda Parte III), mentre in questo paragrafo ci si limita ad osservare le trasformazioni di tipo morfologico. L'alveo, nonostante le profonde trasformazioni avvenute tra anni '60 ed anni '80 (si veda par.2.2.3), aveva raggiunto un nuovo assetto morfologico con qualche elemento di naturalità (sequenze *riffle-pool*, canale di magra leggermente sinuoso tra barre, seppure sporadiche, ecc.), mentre tali interventi hanno sostanzialmente distrutto tale configurazione, assegnando al corso d'acqua una sezione omogenea artificiale (Fig.2.11).



Figura 2.11 – T.Ombrone nei pressi di Ponte di Calcaiola prima (a sinistra) e dopo (a destra) dei recenti interventi del Consorzio di Bonifica.

Tratto 2

Tratto compreso tra la presa dell'acquedotto ed il Ponte di Gello (lunghezza di circa 1050 m) (Fig.2.12). A causa di una certa variabilità di larghezza e della presenza di opere in alveo (2 briglie e 3 soglie), esso è suddivisibile a sua volta in due sottotratti di cui sono state rilevate due sezioni rappresentative (Fig.2.13 e 2.14), rispettivamente a monte della prima briglia ed a valle della seconda. Il bacino sotteso ha una superficie pari a 31.74 Km² per la prima sezione e a 32.19 Km² per la seconda. Per quanto riguarda l'uso del suolo, il territorio in destra idrografica è contraddistinto da attività vivaistiche e produttive (qui è presente la fabbrica della Permaflex) con rara presenza di seminativi semplici, mentre in sinistra idrografica sono presenti aree urbanizzate (abitato di Gello) e seminativi semplici, con scarse attività vivaistiche.

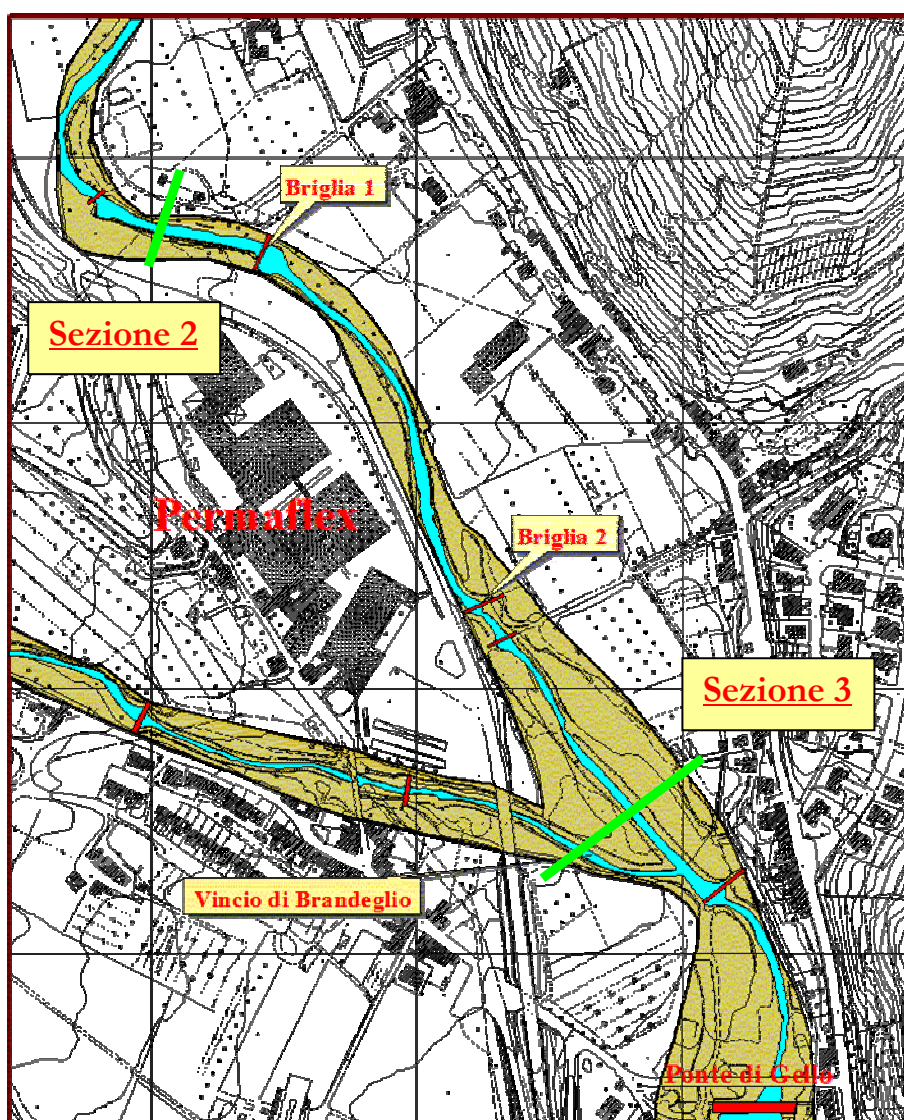


Figura 2.12 - Inquadramento del tratto 2.

Il tracciato presenta una sinuosità più elevata, seppure si tratta sempre di una configurazione planimetrica artificiale condizionata dalla presenza delle mura. La pendenza del fondo è fortemente moderata dalla presenza delle opere di fondo, se non nel tratto tre le due briglie dove

localmente assume un valore di 1.09%, Buona parte del tratto, soprattutto quello finale, è stata soggetta a recenti interventi di riprofilatura (Marzo 2004) ad opera del Consorzio di Bonifica.

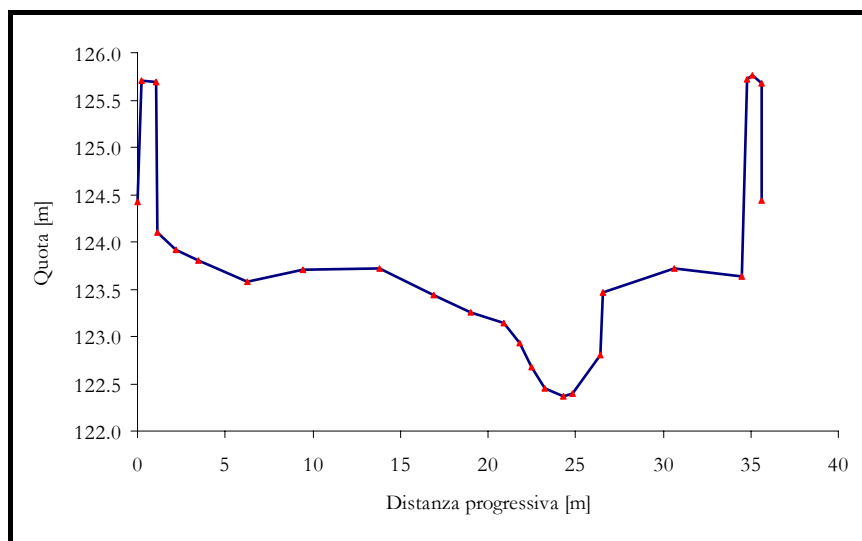


Figura 2.13 - Sezione 2.

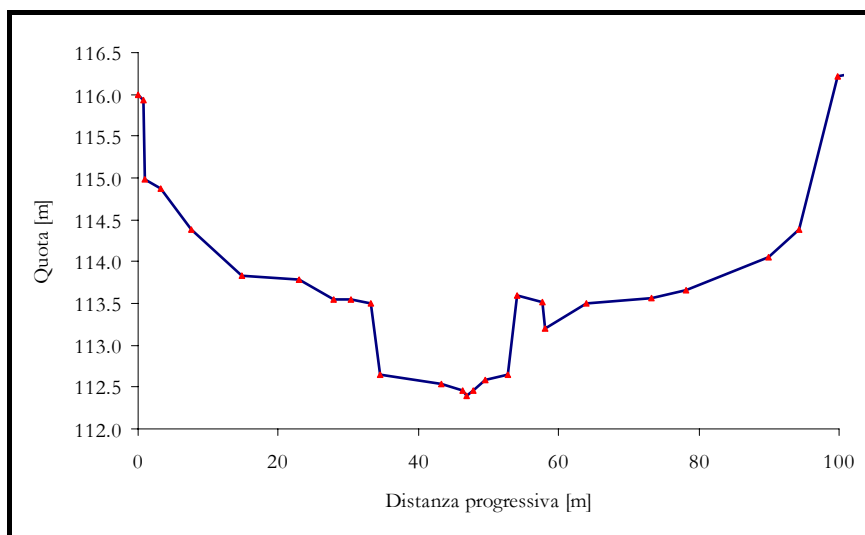


Figura 2.14 - Sezione 3.

L'alveo si presenta sinuoso a barre alternate fino alla prima briglia, per poi cambiare repentinamente diventando più rettilineo e con barre sporadiche fino alla seconda briglia, quest'ultima fortemente danneggiata in seguito all'evento del 2002. La configurazione del fondo è a *riffle - pool*, seppure le opere trasversali creano una forte discontinuità nel flusso di sedimenti e nell'assetto stesso del fondo. In particolare, a valle della presa dell'acquedotto l'alveo si presenta piuttosto sinuoso con un alternanza di barre laterali e talora longitudinali (Fig.2.15). Le evidenze di campo (in particolare il piano campagna risulta quasi allo stesso livello del *bankfull*, situazione non riscontrata in nessun altro tratto) suggeriscono in questo primo sottotratto una tendenza alla sedimentazione, favorita dalla curvatura accentuata. Tale ipotesi trova peraltro conferma nel fatto che durante l'evento dell'Ottobre 2002 si è verificata una significativa esondazione proprio nella

curva davanti alla Permaflex (Fig.2.16). Inoltre le analisi idrauliche (si veda cap.3.1) hanno dimostrato che si tratta del punto con maggior pericolosità di esondazione. Il tratto, in seguito all'evento del 2002, ha subito forti interventi di riprofilatura per ripristinare la sezione idraulica in seguito all'esondazione e anche per questo motivo attualmente la vegetazione è scarsa.



Figura 2.15 - Barra longitudinale a valle della prima soglia.



Figura 2.16 - Punto in cui il fiume ha esondato in seguito all'evento calamitoso del 2002.

A valle della prima briglia, opera di circa 5 metri, si verifica un passaggio brusco ad una morfologia meno sinuosa e con barre sporadiche, mentre il dislivello dell'alveo attuale rispetto al terrazzo denota una marcata incisione del fondo (Fig.2.17). Tale incisione potrebbe essersi recentemente accentuata a causa della rottura della seconda briglia in occasione dell'evento del 2002, a seguito della quale si può essere verificato un locale aumento di pendenza e quindi di capacità di

trasporto. Infine, a valle della seconda briglia il tratto è caratterizzato dalla presenza della confluenza del T.Vincio di Brandeglio. Tale sottotratto è stato soggetto, più degli altri, agli interventi di riprofilatura del Marzo 2004 che ne hanno completamente rimaneggiato la configurazione morfologica naturale (Fig.2.18).



Figura 2.17 - Tratto a valle della prima briglia, alveo rettilineo in situazione di significativa incisione.



Figura 2.18 - Tratto tra la terza soglia ed il Ponte di Gello soggetto a riprofilatura (Marzo 2004).

Tratto 3

Tratto compreso tra Ponte di Gello e ponte raccordo per l'Abetone (lunghezza di circa 750 m) (Fig.2.19). L'area del bacino sottesa alla sezione rappresentativa (Fig.2.20), a circa 150 m dal ponte sul raccordo, è di 47.25 Km². E' il tratto compreso nel cosiddetto "Parco Fluviale" del Comune di

Pistoia. Il territorio circostante è caratterizzato da un uso del suolo piuttosto diversificato, con colture specialistiche, seminativi semplici e fasce urbanizzate in destra idrografica, mentre l'area in sinistra idrografica è caratterizzata da una prevalenza di colture arboree (in genere uliveti), fasce urbanizzate ed attività produttive dimesse adiacenti alle mura (ex fabbrica della Ferriera).

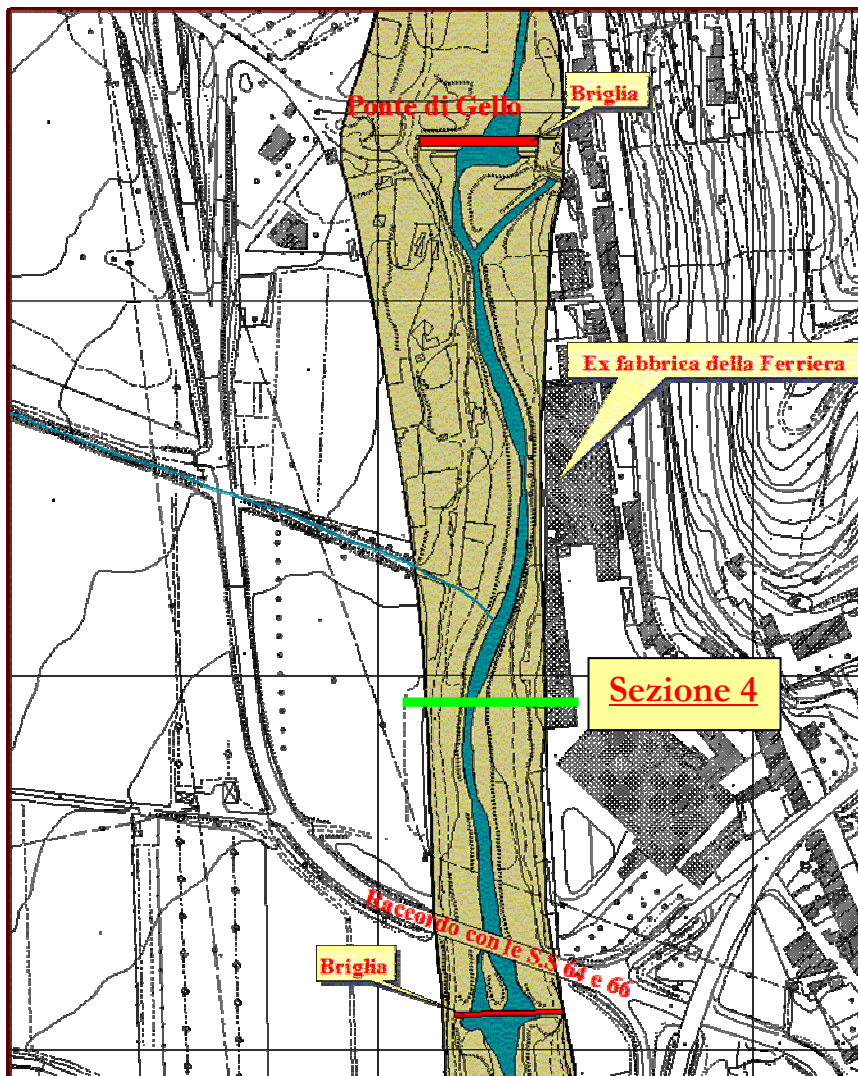


Figura 2.19 - Inquadramento del tratto 3.

La morfologia dell'alveo rimane simile ai tratti precedenti (rettilineo - sinuoso con barre laterali e sequenze *riffle - pool*). La caratteristica principale, che lo distingue dai tratti di monte, è la presenza di una vegetazione ben più sviluppata, costituita da una fascia arborea (Salici, Ontani, Pioppi) su entrambe le sponde e da una fascia arbustiva rigogliosa sulla piana inondabile (Fig.2.21). Appena superato il tratto con sponde alberate, il corso d'acqua tende ad erodere la sponda sinistra, generando una leggera curvatura e creando una barra longitudinale vegetata posta al centro. Il corso torna poi a procedere in modo rettilineo con una sequenza *riffle - pool* molto marcata fino alla briglia in prossimità del ponte del raccordo, a valle della quale si trova una grossa *pool*. Nel complesso il tratto appare moderatamente inciso, probabilmente con le opere trasversali che hanno in parte mitigato l'abbassamento e stabilizzato il fondo.

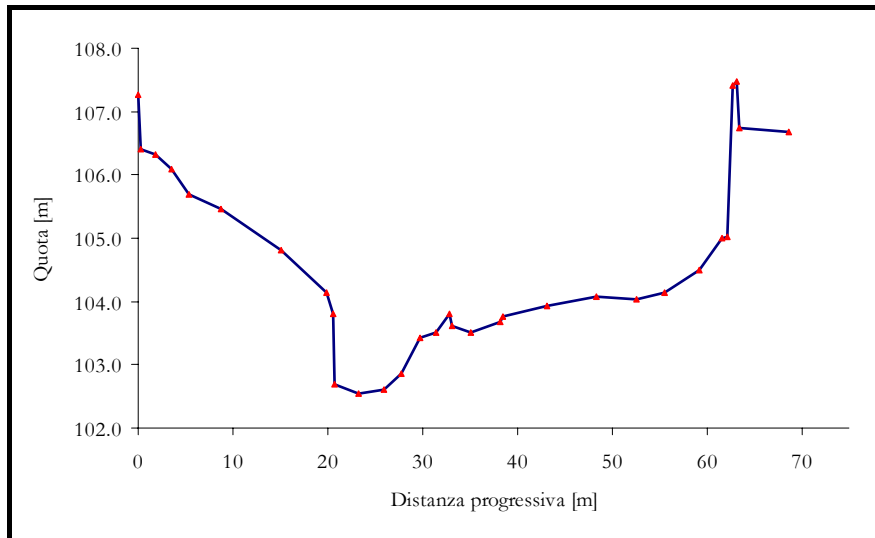


Figura 2.20 - Sezione rappresentativa del tratto 3.



Figura 2.21 - Configurazione dell'alveo caratterizzata dalla presenza di vegetazione sulle sponde.

Tratto 4

Tratto a valle del ponte raccordo per l'Abetone (lunghezza di circa 910 m) (Fig.2.22). L'area del bacino sotteso in corrispondenza della sezione rappresentativa circa 200 m a valle della briglia (Fig.2.23) è di 47.39 Km². Il territorio circostante è interessato quasi esclusivamente da colture specialistiche e vivai, sia in destra che in sinistra idrografica, mentre sporadiche sono le aree urbanizzate.

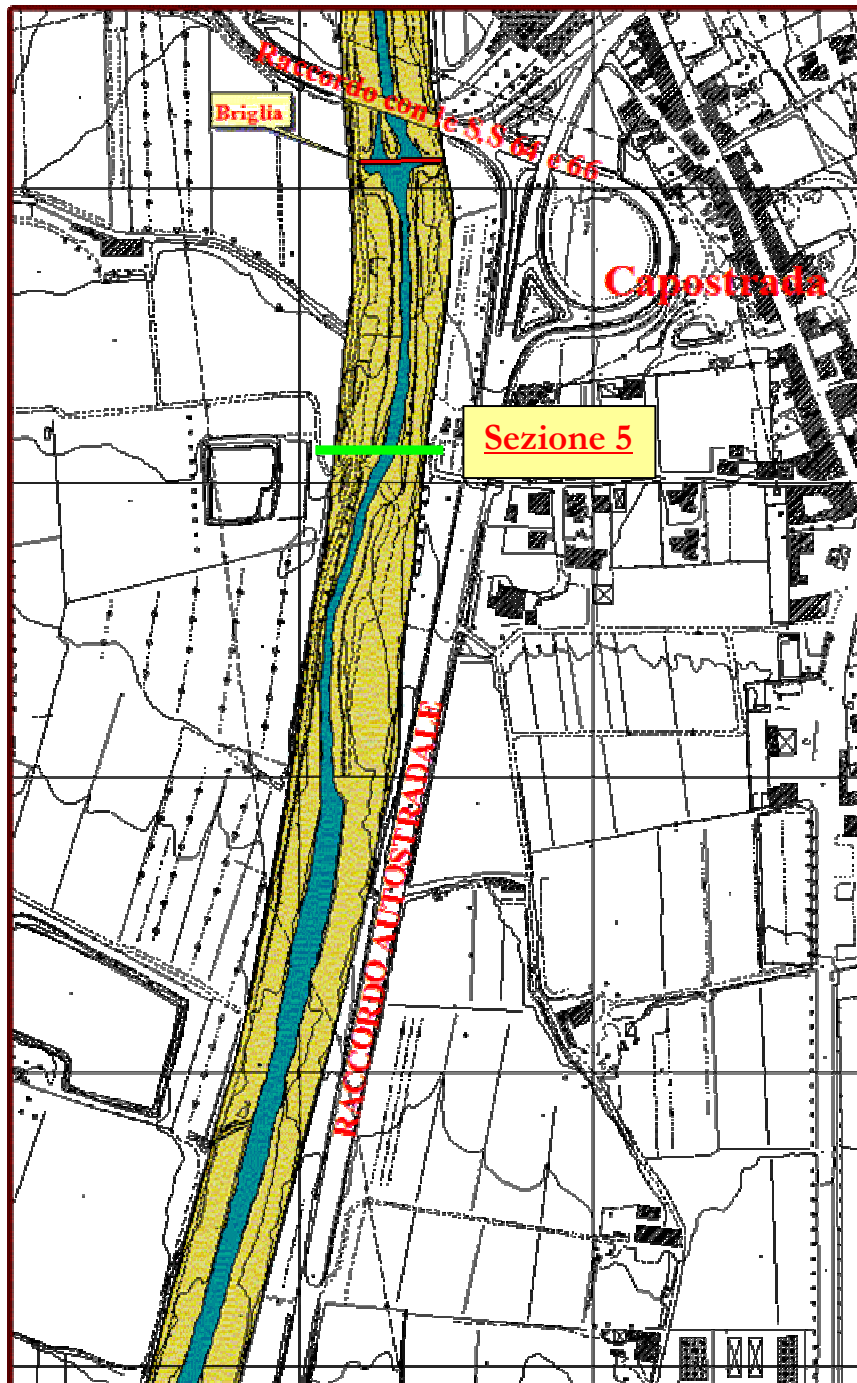


Figura 2.22 - Inquadramento del tratto 4.

L'alveo subisce una marcata variazione delle sue caratteristiche, presentando una configurazione del fondo più simile a quella di un torrente montano, con affioramenti rocciosi, massi, assetto a tratti caotico del fondo (simile ad una configurazione a rapide) alternato ad alcune morfologie a *step pool* e, solo localmente, a *riffle - pool*, e con una larghezza dell'alveo attivo inferiore a quella dei precedenti tratti.

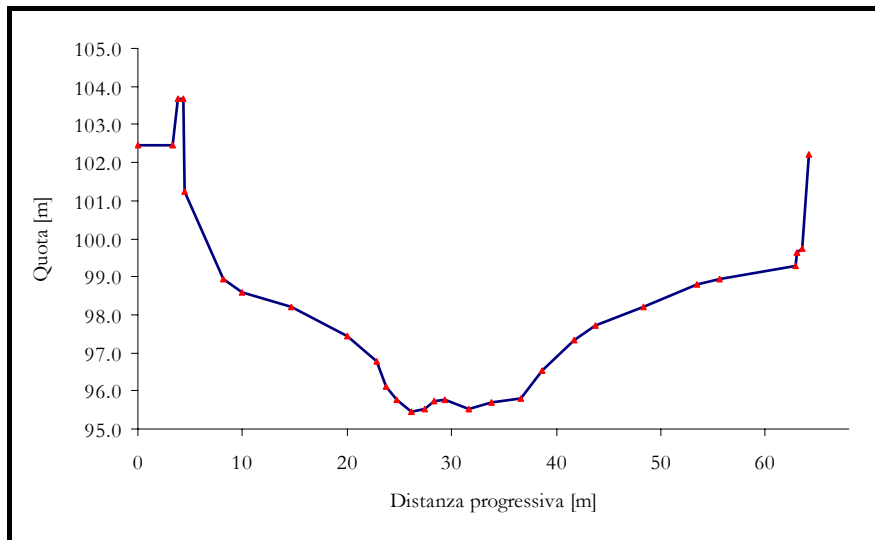


Figura 2.23 - Sezione rappresentativa del tratto 4.

Tratto 5

Tratto fino al guado di S.Biagio in Cascheri (lunghezza di circa 1210 m) (Fig.2.25). Alla sezione rappresentativa del tratto (Fig.2.24), il bacino sotteso ha un'area di 48.3 Km². Il territorio circostante è contraddistinto essenzialmente da vivai e dall'abitato di Ponte alle Tavole in destra idrografica, e da tre laghetti per pesca sportiva. In sinistra idrografica c'è una maggiore tendenza all'uso seminativo semplice nella fascia compresa tra l'alveo ed il raccordo autostradale, mentre all'esterno continuano ad esserci i vivai e la fascia urbanizzata della periferia di Pistoia e dell'abitato di San Biagio in Cascheri.

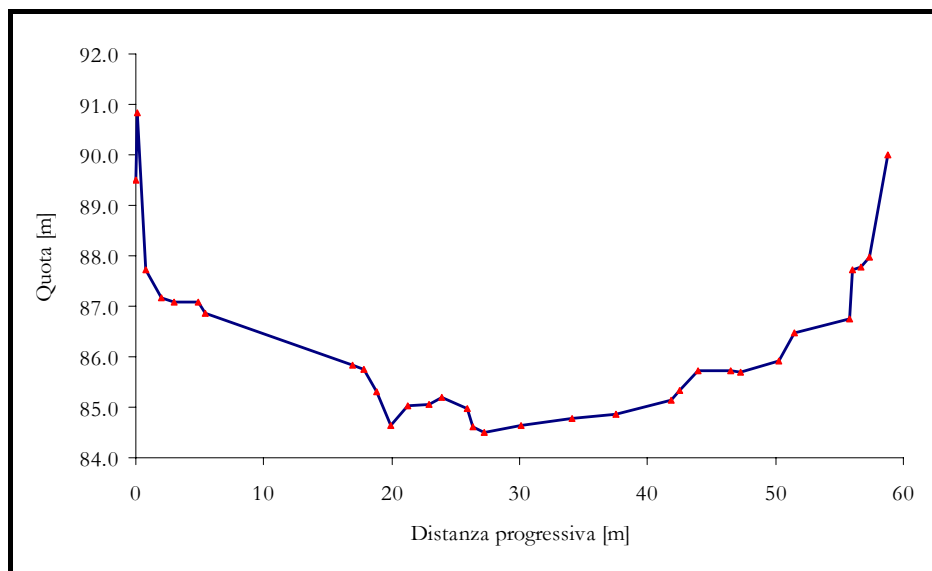


Figura 2.24 - Sezione rappresentativa del tratto 5.

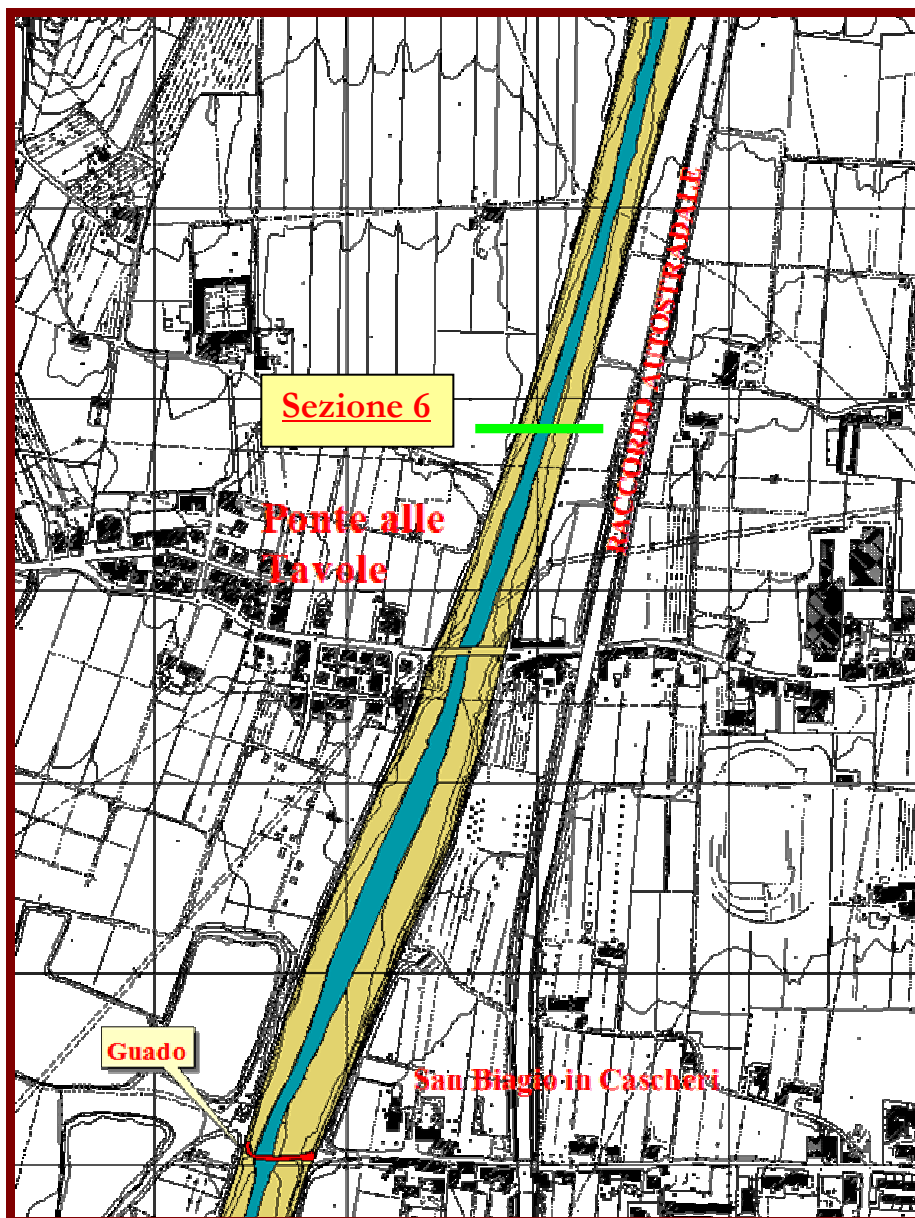


Figura 2.25 - Inquadramento del tratto 5.

A valle del tratto torrentizio precedente si ha una progressiva transizione, probabilmente associata ad una variazione di pendenza del fondo, ad un alveo con caratteristiche simili ai tratti a monte del 4, cioè sinuoso a barre alternate e configurazione del fondo tipicamente a *riffle - pool*, con una mobilità planimetrica relativamente maggiore, testimoniata da frequenti erosioni di sponda.

Tratto 6

Tratto compreso tra il guado di S.Biagio in Cascheri ed il ponte della S.P. 17 (Pistoia - Femminamorta) (lunghezza di circa 785 m) (Fig.2.26). La sezione rappresentava (Fig.2.27) è posta circa 250 metri a valle del guado e sottende un bacino di 49 Km². Il territorio circostante è completamente interessato da attività vivaistiche: in sinistra idrografica i vivai sono delimitati dal

raccordo autostradale, oltre il quale inizia la fascia urbana, mentre in destra oltre i vivai si estendono aree ad uso seminativo.

La pendenza media del tratto risulta essere dello 0.5%, sostanzialmente inferiore ai tratti di monte. L'alveo presenta caratteristiche simili al tratto precedente, con minore sinuosità complessiva e mobilità planimetrica meno marcata.

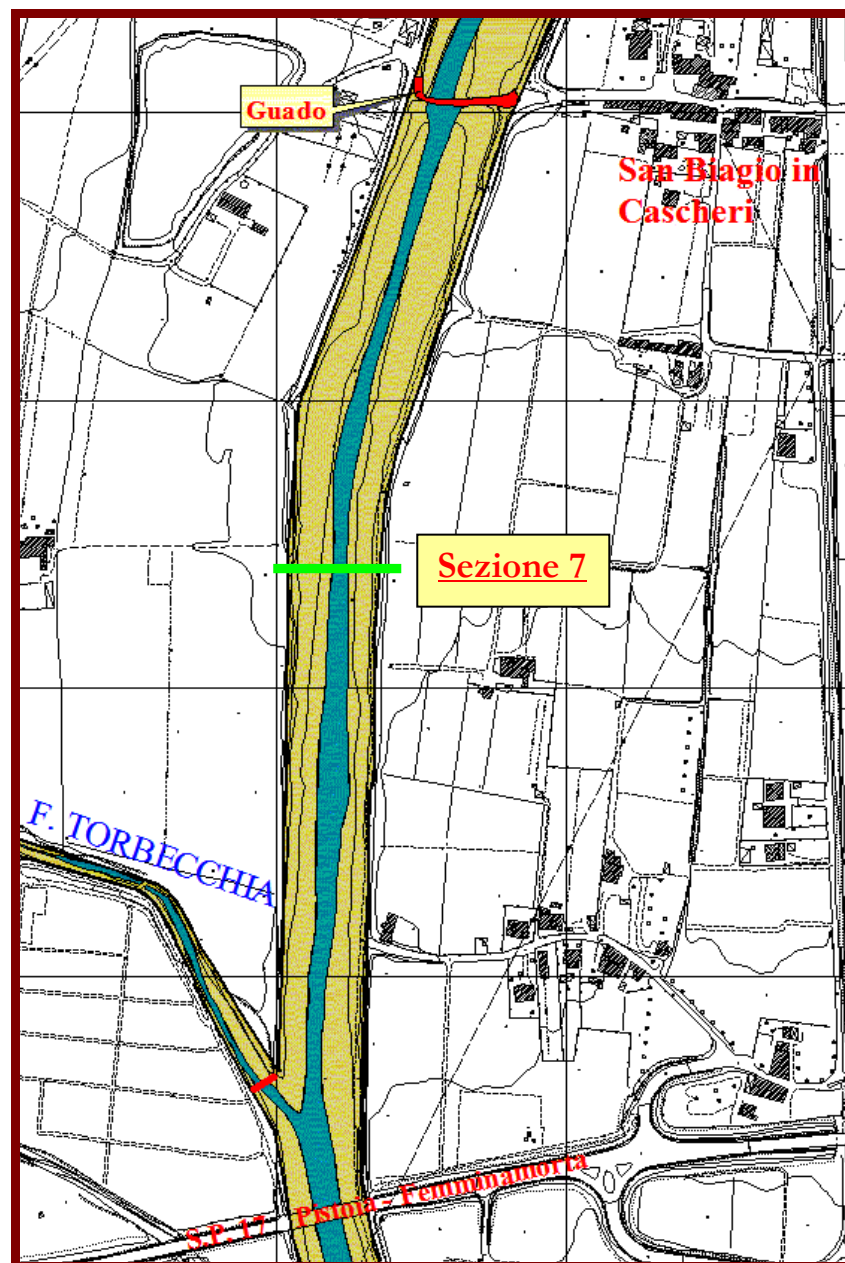


Figura 2.26 - Inquadramento del tratto 6.

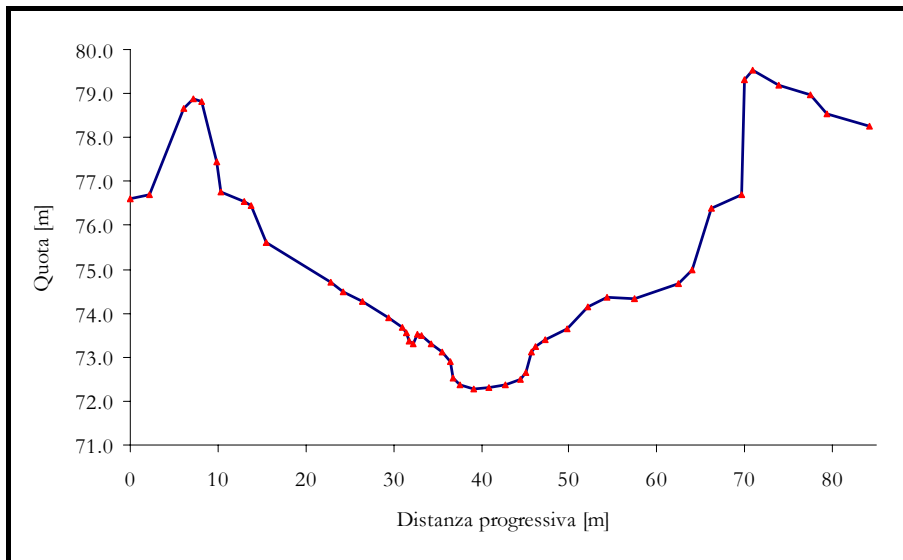


Figura 2.27 - Sezione rappresentativa del tratto 6.

Tratto 7

Tratto compreso tra il ponte della S.P. 17 ed il ponte della ferrovia Lucca – Firenze (lunghezza di circa 1100 m) (Fig.2.29). La sezione rappresentativa, circa a metà del tratto (Fig.2.28), sottende un bacino di 63.12 Km². Il territorio circostante è quasi interamente interessato da uso vivaistico, seppure sono presenti anche zone a seminativo semplice. In sinistra idrografica è il raccordo autostradale a separare i vivai dalla zona urbanizzata di Pistoia, mentre in destra i vivai sono meno presenti per far posto alla campagna, fino all'altezza del Vincio di Montagnana, a valle del quale si estende l'abitato di Pontelungo.

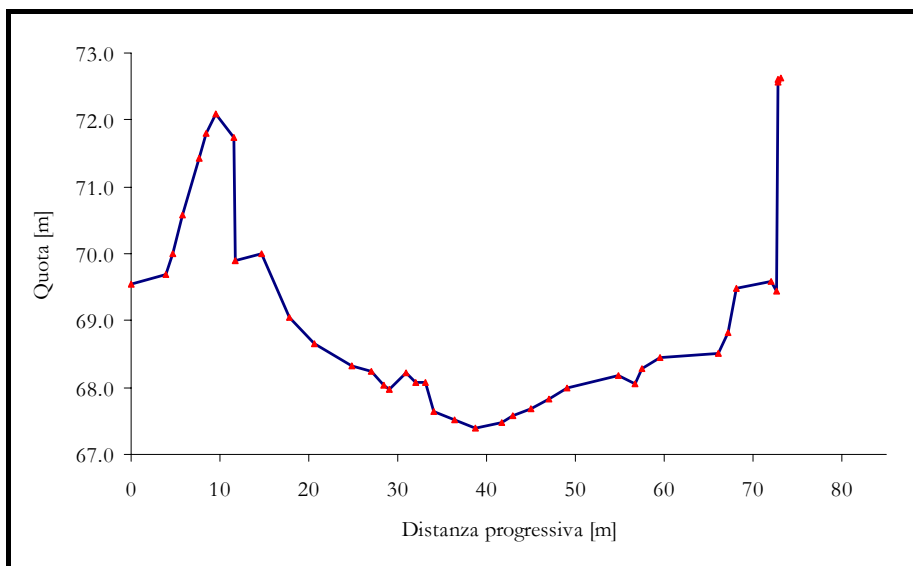


Figura 2.28 - Sezione rappresentativa del tratto 7.

Il corso d'acqua assume progressivamente caratteristiche più tipiche di fiume di pianura e si differenzia dal tratto precedente per una morfologia più sinuosa e con maggiore presenza di barre alternate.

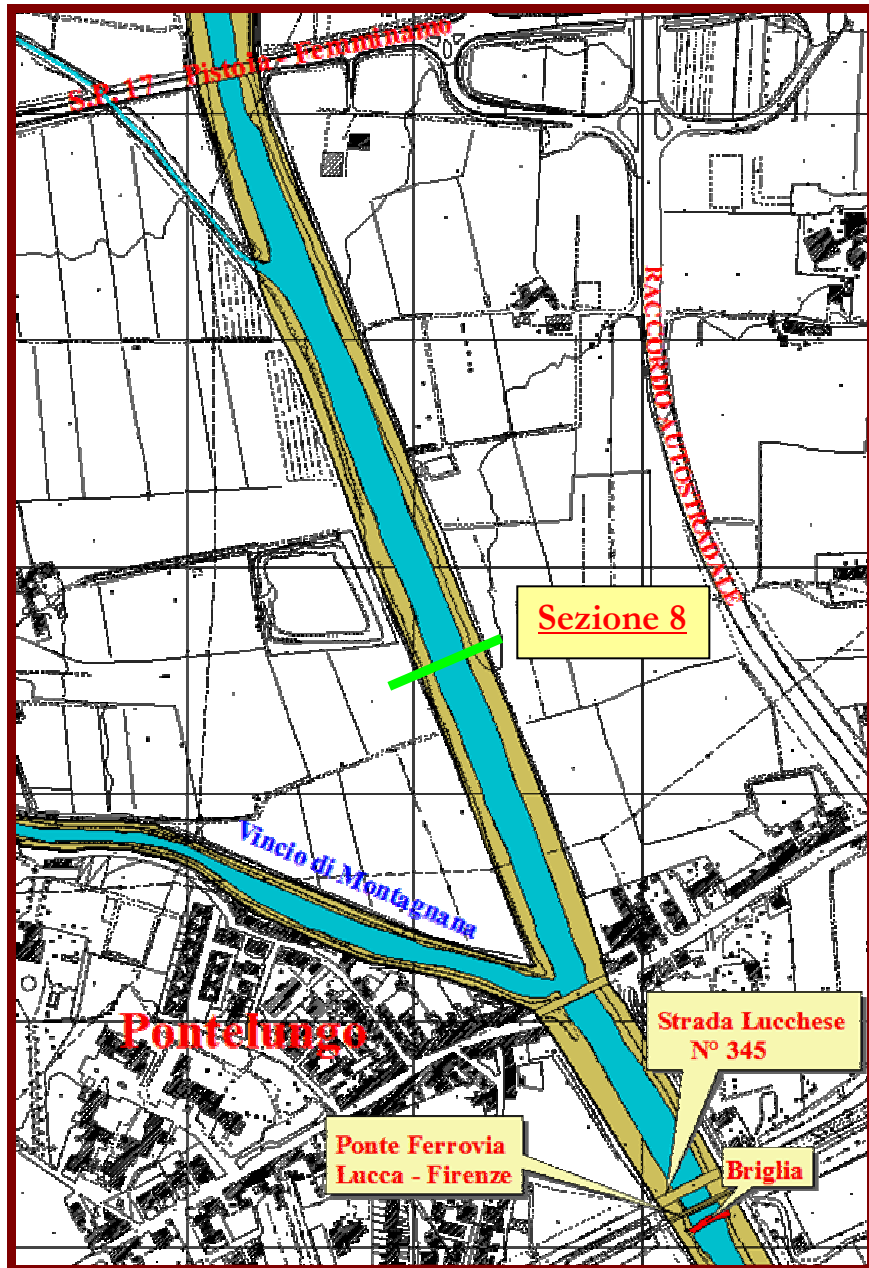


Figura 2.29 - Inquadramento del tratto 7.

Tratto 8

Tratto compreso tra il ponte della ferrovia Lucca – Firenze ed il ponte dell'autostrada A11 (lunghezza di circa 1300 m) (Fig.2.30). L'area del bacino sotteso alla sezione rappresentativa (Fig.2.31) è di circa 85.6 Km². In destra idrografica il territorio circostante è interamente occupato da attività vivaistiche, mentre in sinistra è presente una zona verde prevalentemente a prato e, oltre il raccordo autostradale, un'ampia area con attività produttiva (fabbrica della Breda). Il corso

d'acqua perde in questo tratto ogni parvenza di fiume naturale, essendo pressoché completamente canalizzato tra arginature a stretto ridosso dell'alveo attivo.

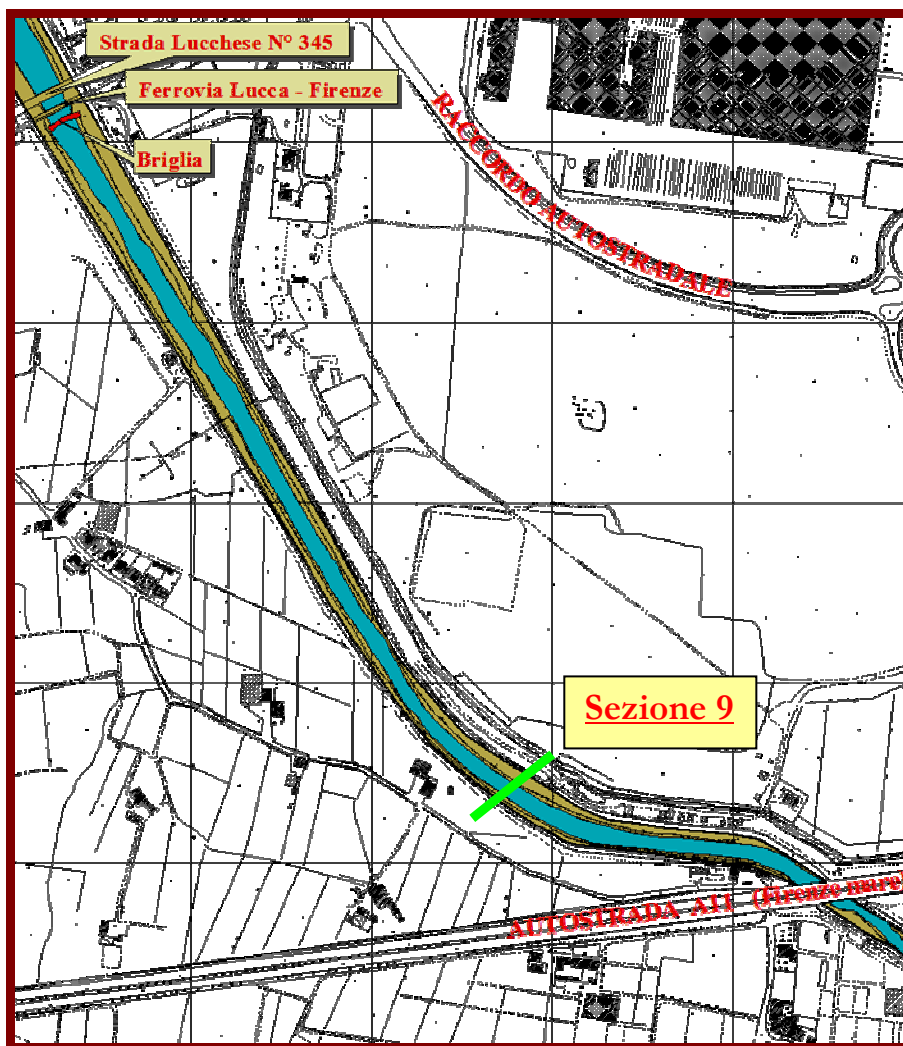


Figura 2.30 - Inquadramento del tratto 8.

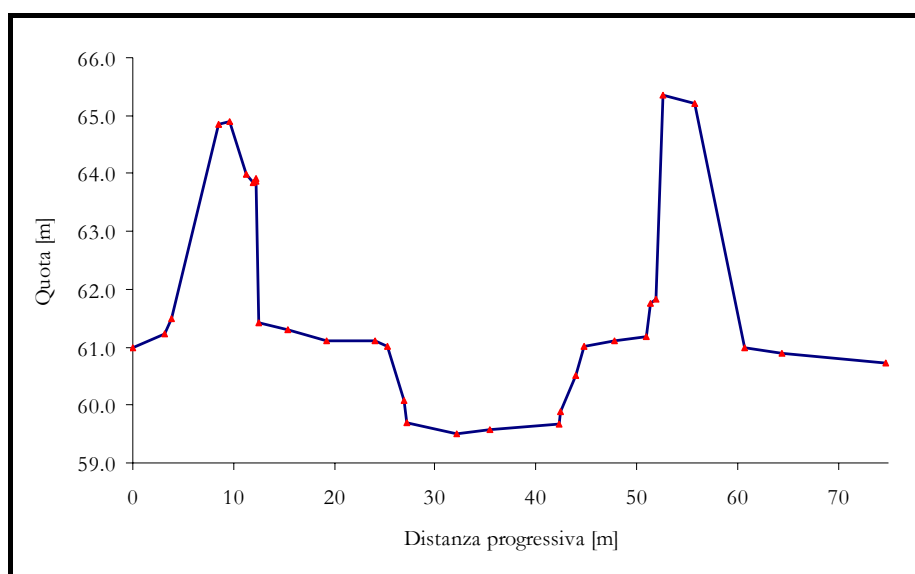


Figura 2.31 - Sezione rappresentativa del tratto 8.

2.1.4 Sedimenti dell'alveo

I campionamenti sono stati eseguiti in due fasi:

- durante la prima fase estiva di rilievi geomorfologici (8-11 luglio e completata a fine agosto 2003), sono stati effettuati i campionamenti superficiali dei sedimenti costituenti l'alveo del T.Ombrone e dei principali affluenti;
- durante il periodo fine ottobre – novembre 2003 sono stati effettuati i campionamenti volumetrici in 3 punti più significativi individuati sulla base della suddivisione morfologica in tratti e dei risultati dei precedenti campionamenti superficiali.

Si descrivono di seguito i metodi di campionamento utilizzati.

Campionamenti superficiali

Nell'ambito della categoria dei campionamenti superficiali, si possono a sua volta distinguere tre principali metodi, a seconda soprattutto dell'estensione della superficie che si desidera campionare:

- a) campionamento statistico (*pebble counts*): si raccoglie un numero predefinito di particelle superficiali secondo un passo costante (definito tenendo conto delle dimensioni dei clasti maggiori) lungo determinati stendimenti paralleli (o transetti), in modo da ricoprire superfici relativamente ampie (dell'ordine dei 100 m²);
- b) metodo della griglia (*grid counts*): si raccolgono tutti i ciottoli in corrispondenza dei nodi di una griglia, anche in questo caso con passo costante sui due lati della griglia stessa, in modo da ricoprire superfici relativamente piccole (dell'ordine di 1-10 m²);
- c) campionamento areale (*areal samples*): si raccolgono tutti i clasti superficiali che rientrano in una determinata area di piccole dimensioni (dell'ordine di 0.1-1 m²).

Per una descrizione dettagliata delle procedure dei tre metodi e delle relative differenze si rimanda a Bunte & Abt (2001). Il primo metodo (*pebble counts*) viene considerato il più adatto per ricavare la distribuzione granulometrica delle barre (Kellerhals & Bray, 1971; Church et al., 1987), sia per la sua riproducibilità e precisione che per essere in grado di ricoprire superfici relativamente ampie ed evitare di campionare in situazioni locali scarsamente rappresentative.

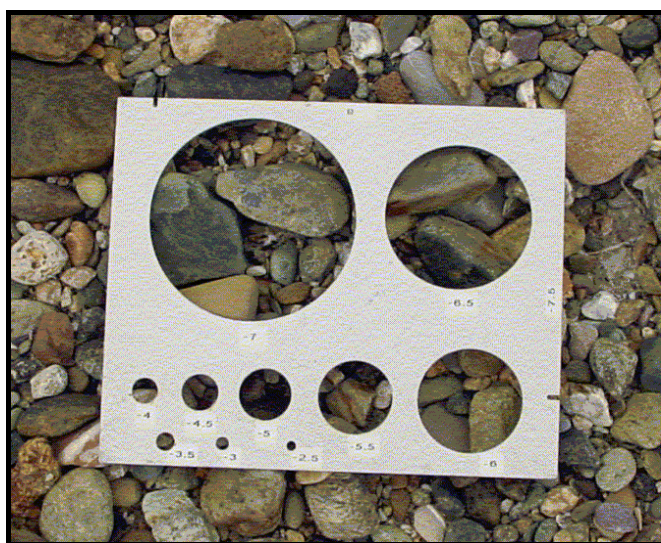
Sono proposte due tecniche per il prelievo dei granuli durante un campionamento statistico. La tecnica originariamente proposta da Wolman (1954) consiste nel prelievo casuale di granuli secondo determinati allineamenti fino a raggiungere un numero totale predefinito (dell'ordine del centinaio). Il metodo di Wolman è generalmente interpretato come un prelievo dei granuli che vanno a cadere alla punta del piede, utilizzando sempre uno stesso numero di passi (*heel-to-toe walks*) (Leopold, 1970). Un secondo metodo più sistematico è quello di stendere una fettuccia metrica in corrispondenza di un certo numero di stendimenti e prelevare i ciottoli che vanno a corrispondere all'intersezione delle linee di spaziatura predefinita.

Quest'ultimo è il metodo che è stato impiegato nella presente campagna di misure granulometriche. In particolare, si è proceduto come segue:

- ricognizione preliminare della barra da campionare;
- definizione di tre stendimenti, in corrispondenza di testa, corpo (generalmente coincidente con l'apice centrale della barra) e coda;
- definizione della spaziatura da utilizzare (generalmente dell'ordine di 0.5 m), in funzione della lunghezza complessiva dei tre stendimenti, in maniera tale da prelevare un numero totale intorno a 300-400 granuli ed avendo cura di verificare che il passo così definito risultasse maggiore del diametro massimo presente. Nei casi di barre relativamente strette ed allungate, per le quali il passo così definito sulla base di tre stendimenti risultasse troppo piccolo, si è aumentato il numero di stendimenti.

Una volta effettuato lo stendimento delle fettucce metriche, si procedeva al prelievo dei clasti identificando visivamente il granulo che andava a cadere all'intersezione del passo predefinito sulla fettuccia metrica. Per la misura delle dimensioni dei singoli granuli si è utilizzata una piastra di alluminio (*template*) sagomata con fori circolari di diametri predefiniti con passo $\frac{1}{2} \phi$, per diametri compresi tra -7ϕ (128 mm) e -2.5ϕ (5.66 mm). Per ciottoli di dimensioni superiori ai -7ϕ si è proceduto alla misura diretta dell'asse b, mentre per particelle fini di dimensioni inferiori a -2ϕ si è utilizzato un comparatore visivo, anch'esso con diametri predefiniti con passo $\frac{1}{2} \phi$ (compresi tra -3.5ϕ e 4ϕ). Veniva quindi definita, per ogni singolo ciottolo, la classe granulometrica corrispondente al "trattenuto" (cioè il diametro massimo che trattiene il granulo o, equivalentemente, la classe immediatamente inferiore al diametro minimo attraverso cui passa il granulo) e tale dato veniva riportato su una apposita scheda di rilievo granulometrico.

A



B



Durante la campagna estiva, le condizioni per effettuare campionamenti superficiali erano ideali, essendo il corso d'acqua per molti tratti completamente asciutto. In tali casi, gli stendimenti hanno ricoperto non solo la superficie di barre ma anche del fondo del canale di magra, rendendo possibile quindi una caratterizzazione completa del materiale del fondo. In particolare, sono stati effettuati un totale di 13 campionamenti superficiali, dei quali 8 campioni lungo il T.Ombrone nel tratto tra Ponte Calcaiola e Ponte Autostrada (quindi con scansione media di 1 km); 3 campioni lungo i principali affluenti del tratto (T.Vincio di Brandeglio, Fosso Torbecchia, T.Vincio di Montagnana); 2 campioni a monte del tratto di studio (S.Felice e Piteccio).

Di seguito si descrivono in maggiore dettaglio i punti di campionamento.

- *Punto di campionamento 1:* ubicato sul T.Ombrone subito a valle dell'abitato di Piteccio.
- *Punto di campionamento 2:* ubicato sul T.Ombrone a valle dell'abitato di San Felice, effettuato sulla barra longitudinale subito dopo il ponte che conduce al campo sportivo.
- *Punto di campionamento 3:* ubicato sul T.Ombrone in località Ponte Calcaiola; effettuato sulle due barre presenti, una immediatamente a monte e l'altra a valle del rilevato (Fig.2.33 A).
- *Punto di campionamento 4:* ubicato sul T.Ombrone in località Gello, circa 200 m a valle della briglia situata all'altezza dello stabilimento della Permaflex; effettuato su tutto l'alveo perché completamente asciutto nel periodo del rilievo (Fig.2.33 B).

A



B



Figura 2.33 – Punti di campionamento 3 (A) e 4 (B).

- *Punto di campionamento 5:* ubicato sul T.Vincio di Brandeglio, a circa 50 m dalla confluenza con l'Ombrone, in località Gello; effettuato su tutto l'alveo attivo.
- *Punto di campionamento 6:* ubicato sul T.Ombrone in località Capostrada, circa 100 m a monte del ponte sul raccordo autostradale con le S.S. 64 e 66; effettuato sulla barra longitudinale (Fig.2.34).



Figura 2.34 – Punto di campionamento 6.

A



B



Figura 2.35 – Punti di campionamento 9 (A) e 11 (B).

- *Punto di campionamento 7:* ubicato sul T.Ombrone in località Il Pino, circa 250 metri a valle della briglia sul ponte del raccordo autostradale; effettuato su tutto l'alveo per l'assenza di barre.
- *Punto di campionamento 8:* ubicato sul T.Ombrone in località Ponte alle Tavole, circa 200 metri a monte del rilevato; effettuato su tutto l'alveo attivo perché completamente asciutto.
- *Punto di campionamento 9:* ubicato sul T.Ombrone in località San Biagio in Cascheri, circa 200 m a valle del guado; effettuato su tutto l'alveo attivo (Fig.2.35 A).
- *Punto di campionamento 10:* ubicato sul Fosso Torbecchia, a circa 100 metri dalla confluenza con il torrente Ombrone. Campionamento effettuato su tutto l'alveo attivo.

- *Punto di campionamento 11:* ubicato sul T.Ombrone in località Pontelungo, a circa 400 m dal primo ponte, quello dell'abitato; effettuato su tutto l'alveo attivo (Fig.2.35 B).
- *Punto di campionamento 12:* ubicato sul T.Vincio di Montagnana, a circa 100 m dalla confluenza con il torrente Ombrone; effettuato su tutto l'alveo attivo.
- *Punto di campionamento 13:* ubicato sul T.Ombrone circa 200 m a monte del ponte sull'autostrada A11 (Firenze - Mare); effettuato su tutto l'alveo attivo.

In Tab.2.1 si riporta un riepilogo dei punti di campionamento, mentre per l'ubicazione si rimanda alla Fig.2.5.

N	Tipo	Data	Tratto	Località
1	a	29/8/03	Monte tratto 0	Piteccio
2	a	29/8/03	0	S.Felice
3	a	8/7/03	1	Ponte Calcaiola
	s	8/11/03		
4	a	8/7/03	2	Gello
	s	28/10/03		
5	a	9/11/03	Vincio di Brandeglio	confluenza
6	a	9/11/03	3	Bellosguardo
7	a	29/8/03	4	Il Pino
8	a	9/11/03	5	Ponte alle Tavole
9	a	10/7/03	6	S.Biagio in Cascheri
	s	12/11/03		
10	a	9/11/03	Torbecchia	confluenza
11	a	10/7/03	7	Pontelungo
12	a	10/7/03	Vincio di Montagnana	confluenza
13	a	11/7/03	8	presso Ponte Autostrada

Tabella 2.1 – Riepilogo dei rilievi granulometrici effettuati. a: *armour* (strato superficiale); s: *subarmour* (sottostrato).

Campionamenti volumetrici

Adottati per la misura della distribuzione granulometrica del sottostrato, consistono nel prelevare un volume prefissato di sedimenti. Il peso totale del volume da prelevare (m) viene definito in funzione del diametro del ciottolo di dimensioni maggiori presente sull'unità da campionare (D_{max}), secondo la relazione (Church et al., 1987):

$$m = (2.87 D_{max} - 44.8)$$

dove m è il peso del campione (in kg) e D_{max} è espresso in mm.

Considerato quindi il peso ragguardevole necessario per ogni campionamento volumetrico, tale metodo è stato adottato solo in corrispondenza di 3 punti considerati più rappresentativi. Essi sono i seguenti: 1. Ponte di Calcaiola, in corrispondenza del punto di campionamento superficiale 3 (tratto 1) (peso totale del campione 895 kg); 2. Gello, in corrispondenza del punto di campionamento superficiale 4 (tratto 2) (peso totale del campione 937 kg); 3. S.Biagio in Cascheri,

in corrispondenza del punto di campionamento superficiale 9 (tratto 6) (peso totale del campione 470 kg).

Ogni campionamento è consistito essenzialmente di due fasi:

- a) Scelto il sito rappresentativo ed eliminato lo strato corazzato superficiale, è stato determinato il peso del campione da prelevare in base al diametro massimo presente applicando la formula di Church et al. Quindi è stata operata la prima quartatura del sedimento: il materiale di dimensioni superiori o uguali a -5ϕ è stato misurato in maniera analoga ai campionamenti superficiali (piastra sagomata) e quindi pesato per classi granulometriche, mentre il restante materiale è stato pesato indistintamente e quindi scelto un campione (23 Kg) per l'ulteriore fase di sottoquartatura.
- b) La seconda fase è stata invece l'analisi granulometrica in laboratorio tramite setacci del campione prelevato in sito caratterizzato da granuli di dimensioni inferiori a -5ϕ . E' stata quindi eseguita una vagliatura meccanica mediante l'impiego di setacci a maglie quadrate con dimensioni fissate dalla scala di Udden-Wentworth. La setacciatura è stata eseguita a "secco", cioè asciugando preventivamente tutto il materiale mediante apposite lampade termiche. La presenza di sostanze organiche è stata eliminata manualmente e mediante l'uso di appositi solventi. I dati derivanti dalla setacciatura sono stati quindi raccolti e proporzionalmente uniti ai risultati derivanti dalla fase di campo per ottenere la distribuzione granulometrica totale del campione granulometrico.

Elaborazione dei dati, sintesi e discussione dei risultati

Per l'elaborazione dei dati, è stato utilizzato un foglio di calcolo in ambiente Microsoft® EXCEL appositamente realizzato per l'elaborazione di dati granulometrici, il quale permette di rappresentare l'istogramma di frequenza e la curva di frequenza cumulata, di determinare tutti i principali parametri statistici di interesse della distribuzione granulometrica (media, deviazione standard, skewness, kurtosis) ed i principali percentili caratteristici utili per i calcoli del trasporto solido. In Tab.2.2 si riporta un riepilogo dei parametri statistici e dei percentili di interesse, mentre tutte le curve granulometriche sono riportate in Appendice nonché nel CD-ROM allegato in formato digitale.

In Fig.2.36 si riporta l'andamento spaziale del diametro mediano delle distribuzioni granulometriche relative al T.Ombrone. Non si nota una riduzione sistematica verso valle del diametro dei sedimenti, essendo il tratto di studio molto breve ed influenzato dagli apporti di tre affluenti, di dimensioni significative rispetto a quelle dell'alveo principale, e da numerosi fattori antropici locali (ad es. briglie).

N	Tipo	D ₁₆ [mm]	D ₃₅ [mm]	D ₄₀ [mm]	D ₅₀ [mm]	D ₇₅ [mm]	D ₈₄ [mm]	D ₉₀ [mm]	D _{medio} [φ]	σ [mm]	sk	ku
1	A	19.6	46.7	53.3	70.9	144.2	182.2	232.9	-5.92	1.85	1.14	5.72
2	A	20.7	29.1	31.5	38.1	72.8	113.4	172.0	-5.50	1.24	0.73	3.12
3	A	13.3	25.0	28.7	38.4	111.5	167.5	218.7	-5.21	1.75	0.25	3.92
	S	0.6	6.6	12.5	23.7	61.5	80.0	97.3	-3.36	3.14	0.68	2.12
4	A	23.2	48.6	54.5	68.6	116.8	146.1	175.0	-5.63	2.15	2.44	9.71
	S	4.7	40.8	50.6	70.3	136.0	162.7	185.7	-5.10	2.84	1.45	4.25
5	A	12.8	23.3	25.3	29.8	48.2	60.0	73.6	-4.59	1.95	2.24	9.31
6	A	17.5	31.6	36.4	48.1	99.7	139.8	173.5	-5.51	1.62	1.33	7.80
7	A	16.6	30.7	36.7	54.7	127.4	172.9	215.0	-5.40	2.40	1.72	6.46
8	A	16.0	43.9	52.2	76.1	143.2	175.2	207.6	-5.86	1.72	1.11	4.86
9	A	17.5	37.0	43.5	53.7	83.3	99.0	113.4	-5.42	1.35	1.51	7.14
	S	0.6	2.8	4.9	10.4	34.8	47.8	59.7	-2.65	2.79	0.44	2.00
10	A	18.6	37.9	44.1	56.0	96.7	114.6	128.8	-5.58	1.40	1.60	9.77
11	A	21.9	38.3	43.9	53.8	81.8	96.6	114.2	-5.44	1.51	2.52	12.40
12	A	9.6	22.4	27.4	38.2	79.6	99.5	114.7	-4.83	1.98	1.25	4.30
13	A	19.7	34.1	37.8	46.3	75.3	89.5	104.4	-5.36	1.26	2.02	11.22

Tabella 2.2 - Parametri caratteristici delle distribuzioni granulometriche. N: numero del punto di campionamento; A: *armour* (strato superficiale), S: *subarmour* (sottostrato); D₁₆, ..., D₉₀: percentili caratteristici; D_{medio}: diametro medio; σ: deviazione standard; sk: skewness; ku: kurtosis.

Si possono comunque effettuare le seguenti considerazioni:

- il D₅₀ varia in un range compreso tra 38 mm (tratto 0) e 76.1 mm (tratto 5);
- dopo il primo tratto (monte tratto 0) con dimensioni relativamente elevate, i tratti 0 ed 1 (S.Felice – Ponte Calcaiola) presentano le dimensioni granulometriche inferiori a causa di una brusca e locale riduzione della pendenza del fondo;
- si verifica poi un brusco aumento nel tratto 2 (fino a Gello), immediatamente a valle del quale l'apporto relativamente meno grossolano del Vincio di Brandeglio contribuisce ad una brusca riduzione delle dimensioni del corso principale;

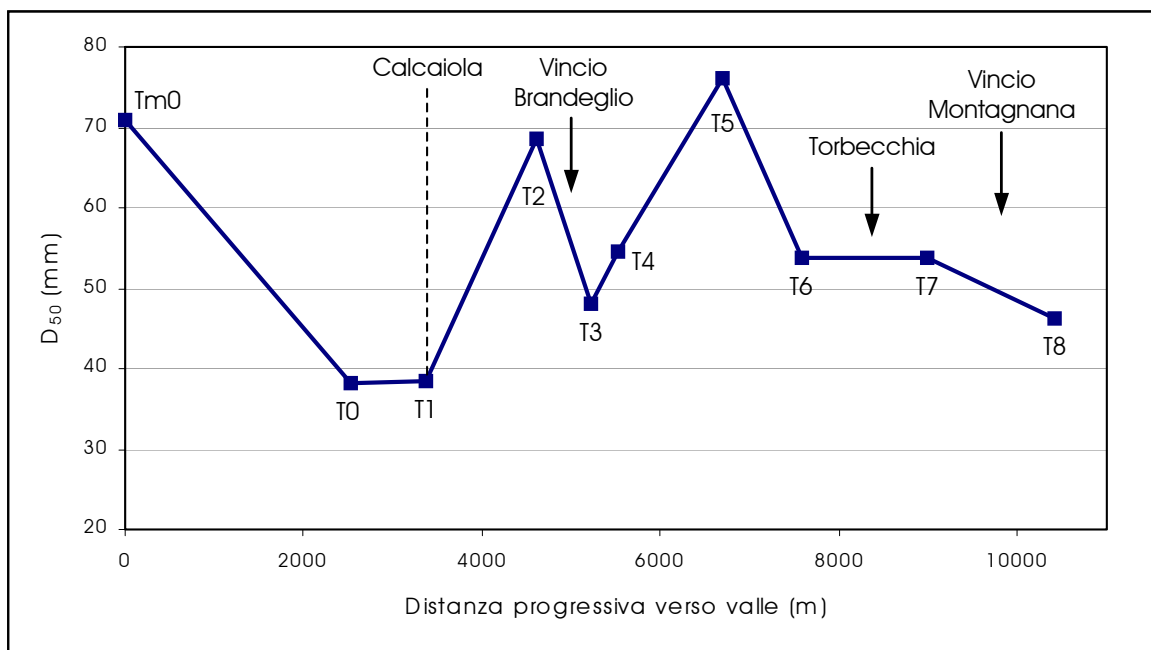


Figura 2.36 – Andamento spaziale del diametro medio dei sedimenti. Tm0 – T8: tratti morfologici in cui è stato suddiviso il corso d’acqua (come descritto nel paragrafo 1.2).

- nel tratto 4, nonostante precedentemente descritto con presenza di massi ed affioramenti rocciosi, i sedimenti che costituiscono le barre hanno dimensioni ancora relativamente poco grossolane, mentre nel tratto immediatamente a valle si registra il D50 massimo;
- la porzione finale (tratti 6, 7 ed 8), dove il corso d’acqua presenta caratteristiche più prossime a quelle di un fiume di pianura ed è sempre più fissato planimetricamente, le dimensioni sono relativamente omogenee e tendono a decrescere, anche in virtù del contributo relativamente poco grossolano del T.Vincio di Montagnana.

Relativamente ai campioni volumetrici del sottostrato (si veda in Tab.1.2), si osserva che in due casi (tratto 1 e tratto 6) il sottostrato presenta dimensioni significativamente inferiori a quelle dello strato superficiale, denotando la presenza di corazzamento, mentre nel terzo caso (tratto 2) le dimensioni sono fra loro all’incirca uguali (addirittura il sottostrato risulta più grossolano del superficiale), indicando invece assenza di corazzamento. Questo ultimo risultato è spiegabile con il fatto che il tratto 2 è stato recentemente risistemato, determinando un rimaneggiamento dello strato superficiale.

2.1.5 Detriti legnosi

Oltre ai sedimenti presenti all'interno dell'alveo, un'altra componente essenziale del trasporto solido di un corso d'acqua è costituita dai detriti legnosi; pertanto è fondamentale una loro caratterizzazione (frequenza, dimensioni, posizione, ecc.) per poterne valutare gli effetti sulla dinamica fluviale ai fini di una loro gestione.

Durante gli ultimi anni, un numero crescente di ricerche ha messo in evidenza l'importante ruolo dei detriti legnosi (*woody debris*: tronchi e rami di alberi provenienti da versanti, sponde o dallo stesso alveo), oltre che in termini ecologici, anche nei confronti dei processi geomorfologici, idraulici e della stabilità dell'alveo (si veda ad es. Abbe & Montgomery, 1996; Gurnell & Sweet, 1998; Gurnell et al., 2002). Comincia ad essere ampiamente documentato ed accettato il fatto che la presenza di accumuli legnosi accresce la stabilità dell'alveo, dal momento che essi tendono a distribuirsi con una caratteristica periodicità e spaziatrice, favoriscono la creazione di una varietà di forme (*riffle-pool*, barre, isole, piccoli sbarramenti naturali o *log-step*) contribuendo alla stabilità sia planimetrica che altimetrica del corso d'acqua.

Da un punto di vista più strettamente idraulico, è noto come la vegetazione viva, in generale, comporta un aumento di scabrezza, quindi aumenta il livello idrico associato ad una determinata portata. Se tale effetto è da considerare sfavorevole in un tratto urbanizzato con forti condizioni di rischio idraulico, viceversa, quando tali condizioni non sussistono, può essere considerato favorevole e benefico per i tratti di valle per l'effetto di riduzione della velocità della corrente e quindi per l'attenuazione e ritardo del picco di piena. Analogamente, la quantità, posizione ed orientamento dei detriti legnosi hanno diversi impatti sulla resistenza della corrente e sul profilo del pelo libero ma il loro effetto complessivo, soprattutto in fiumi più piccoli, è quello di aumentare la complessità del flusso e la ritenzione di volumi d'acqua, attenuando i picchi di piena e ritardando la propagazione del picco verso valle (Gregory et al., 1985). In altre parole i detriti legnosi, insieme alla vegetazione viva, possono esplicitare un effetto di laminazione naturale di una piena e di parziale intercettazione di ulteriori detriti e sedimenti provenienti da monte, con effetti benefici per i tratti di valle dove gli stessi detriti possono ostruire ponti e creare condizioni di rischio. Tali elementi vegetazionali, affinché esplicino le loro funzioni positive senza viceversa interferire negativamente, necessitano di un'appropriata gestione. In particolare, un aspetto fondamentale dal quale dipendono le interazioni tra detriti legnosi, processi geomorfologici ed idraulici, e che necessita di essere analizzato ai fini di una successiva definizione di criteri di gestione, è rappresentato dal rapporto tra dimensioni prevalenti dei detriti vegetazionali e dimensioni (larghezza) dell'alveo.

Metodologia di rilevamento dei detriti legnosi

Durante la prima fase intensiva (8-11 Luglio) di rilevamento geomorfologico di campo si è effettuata una ricognizione preliminare relativamente ai detriti legnosi presenti, in particolare attraverso l'annotazione e la documentazione fotografica di alcune caratteristiche vegetazionali. Successivamente è stata messa a punto una apposita scheda di censimento dei detriti legnosi,

nell'ambito di una tesi di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio svolta da A.Tringali ed in stretta collaborazione con H.Piegay (CNRS di Lione, Francia), ricercatore con grande esperienza in questo settore. Tale scheda è stata poi utilizzata per caratterizzare sistematicamente tutti i detriti (con diametro superiore a 12 cm) osservati lungo il tratto di studio, durante una fase intensiva svolta nei giorni 14-15 ottobre 2003. Si descrivono in dettaglio di seguito le caratteristiche rilevate per ogni detrito legnoso.

- 1) *Posizione GPS*. Ogni detrito legnoso individuato è contrassegnato e numerato per mezzo di un'etichetta metallica, infissa saldamente nel legno, e se ne determina la posizione utilizzando un GPS di tipo palmare (Garmin modello E-Trex).
- 2) *Lunghezza*. Viene misurata la lunghezza di ogni detrito legnoso (con diametro superiore a 12 cm) tramite rotella metrica.
- 3) *Diametro*. Viene misurato il diametro del detrito, a circa un terzo della lunghezza totale (a partire dalla base).
- 4) *Ricrescita*. Vengono individuati eventuali rami avventizi e se ne determina l'età.
- 5) *Radici*. Si verifica se il detrito ha radici, in quanto ciò fornisce indicazioni sulla provenienza (la presenza di radici in genere è indicativa di una provenienza da parte di movimenti di massa sulle sponde).
- 6) *Ceppaia*. Si verifica l'esistenza di ceppaie alla base della pianta.
- 7) *Rami*. Si verifica la presenza o meno di rami, i quali forniscono indicazioni sulla distanza percorsa (la presenza di rami è indicativa in genere di brevi distanze percorse dal detrito). Si distinguono 4 casi: 0. totale assenza di rami; 1. presenza solo dei nodi dai quali sono generati i rami; 2. alcuni rami, spezzati ed incompleti; 3. tutti i rami, senza apprezzabili rotture.
- 8) *Specie*. Si individua la specie arborea del detrito legnoso. Essa viene identificata in base ad una attenta analisi delle foglie, della corteccia e della geometria dei rami, talora queste parti della pianta siano ancora presenti, altrimenti si procede ad un prelievo di un campione, tagliato perpendicolarmente al fusto. In questo caso la determinazione della specie viene fatta attraverso l'osservazione di varie caratteristiche, quali forma degli anelli, porosità, colore, ecc. Nel caso in esame si distinguono le seguenti specie: 0. pioppo; 1. salice; 2. frassino; 3. quercia; 4. robinia; 5. betulla; 6. tamerice; 7. pino; 8. ontano; 9. fico; 10. olivo.
- 9) *Tronco*. Lo stato di conservazione del tronco fornisce informazioni sul tempo trascorso in alveo. Si distinguono i seguenti casi: I. intatto; ISC: intatto senza corteccia; S: poco consistente; PZ: a pezzi (rappresenta l'ultimo stadio di marcescenza della pianta).
- 10) *Corteccia*. Si effettua una stima della percentuale di corteccia presente (anch'essa fornisce informazioni, come i rami, sulla distanza percorsa).

11) *Posizione*. Si intende la posizione del detrito rispetto alla configurazione plano-altimetrica dell'alveo. Si distinguono i seguenti casi: 1. pile di ponte; 2. tra la vegetazione erbacea o arbustiva nelle porzioni più elevate dell'alveo; 3. sulla sommità della sponda; 4. ancorato (cioè ancora legato alle radici) alla sommità della sponda; 5. ancorato alla base della sponda; 6. ai piedi della sponda; 7. all'interno dell'alveo attivo; 8. su una barra; 9. tra vegetazione pioniera (ovvero vegetazione con età tra 2 e 5 anni che sta colonizzando una superficie all'interno o nelle adiacenze dell'alveo attivo); 10. tra vegetazione post-pioniera (ovvero vegetazione con più di 5 anni che ha colonizzato una superficie all'interno o nelle adiacenze dell'alveo attivo).

Risultati

I detriti censiti lungo tutto il tratto di studio durante il rilevamento effettuato i giorni 14-15 ottobre 2003 sono risultati 52. Tutte le informazioni relative ai vari aspetti prima descritti sono riportate in un'apposita scheda di censimento (Tab.1.3). I detriti sono stati rilevati solo per un tratto di circa 3.5 km, a partire da S.Felice fino circa 1 km a valle del Ponte di Gello, localizzati prevalentemente nei tratti 3 e 4, mentre nei rimanenti tratti a valle non sono stati osservati detriti per l'evidente effetto degli interventi di manutenzione periodici durante i quali essi vengono rimossi. I detriti censiti sono riportati in Fig.2.37 e 2.38, dalle quali è possibile visualizzare alcune delle caratteristiche rilevate, in particolare la posizione, l'orientamento rispetto alla direzione della corrente, la lunghezza (i simboli hanno lunghezza proporzionale a quella reale del detrito), la presenza o meno di rami.

In Fig.2.39 si riporta la frequenza delle lunghezze e dei diametri dei detriti rilevati, dati che forniscono delle prime indicazioni utili sulle caratteristiche dei detriti stessi. Come si può osservare (Fig.2.39 a), la classe modale delle lunghezze è quella compresa tra 1 e 2 m, così come relativamente frequenti sono i detriti con lunghezze fino a 5 m. I detriti di lunghezze maggiori sono più limitati come numero, eccetto che per le due classi comprese tra 11 e 13 m (la classe 11-12 m costituisce una moda secondaria). I diametri sono tutti contenuti entro i 40 cm, con la moda costituita dalla classe 20-21 cm (Fig.2.39 b). Da questa prima analisi delle dimensioni, si può constatare che la maggior parte dei detriti legnosi presenti sono di dimensioni non tanto rilevanti se confrontate con la larghezza dell'alveo attivo ed anche rispetto alle luci dei ponti. Esiste tuttavia una percentuale significativa di detriti con dimensioni maggiori che può essere soggetta ad intercettazione, sia da parte delle strutture presenti (ponti) che da parte della vegetazione viva adiacente all'alveo.

Per quanto riguarda il tipo e la posizione dei detriti nella sezione, essi possono fornire interessanti informazioni sulla provenienza dei detriti. Nel caso in esame, il 62% dei detriti risulta derivante da instabilità delle sponde (categorie di detriti ancorati sulla sommità, sulla sponda o al piede), mentre il rimanente 38% è da attribuirsi ad altri fattori (Fig.2.40 a). Ciò trova riscontro anche nel fatto che la maggioranza delle specie di detriti legnosi è rappresentata da pioppo, salice e robinia (Fig.2.40 b), specie ben presenti lungo le sponde.

punto GPS n°	lunghezza m	diametro cm	ricrescita* Y/N - età	radici Y/N	ceppaia Y/N	rami# da 0 a 3	foglie Y/N	specie@ vari	Tronco\$ I/ISC/S/PZ	corteccia 0%-100%	posizione 1_10
1	0.3	30	y1	y	n	0	n	0	i	100	6
2	2.5	18	n	n	n	2	n	9	i	100	8
3	1.6	16	y1	y	y	0	y	9	i	100	3
4	1.2	18	n	y	n	0	n	0	i	90	7
5	4.0	22	n	y	n	3	y	1	s	0	6
6	1.0	16	n	y	n	0	n	0	i	30	8
7	2.0	29	n	n	n	0	n	0	isc	0	7
8	2.6	14	n	n	n	0	n	4	isc	0	5
9	1.0	26	n	n	n	0	n	1	i	30	7
10	11.7	30	y1	y	y	3	y	1	i	90	5
11	4.8	12	n	y	n	2	n	1	s	20	5
12	11.5	13	y1	y	n	2	y	1	i	100	5
13	3.3	20	n	y	n	0	n	1	s	0	1
14	1.8	25	n	n	n	0	n	1	s	0	4
15	14.0	30	n	n	n	3	y	1	i	100	4
16	1.9	26	n	n	n	0	n	1	pz	0	10
17	1.3	30	n	n	n	0	n	10	pz	0	7
18	3	18	n	n	n	0	n	1	pz	0	6
19	1	14	n	n	n	0	n	1	s	0	7
20	0.9	20	n	n	n	0	n	1	s	0	7
21	1.6	24	n	n	n	0	n	1	pz	0	5
22	1.9	20	n	n	n	0	n	0	pz	0	10
23	4.2	12	y1	y	y	2	y	0	i	95	7
24	1.2	16	n	n	n	0	n	0	s	0	6
25	2.1	15	n	n	n	0	n	1	pz	10	4
26	3.1	20	n	n	n	0	n	0	pz	0	5
27	9	13	y1	y	n	2	y	0	i	100	5
28	12	13	y1	y	n	2	y	1	i	100	6
29	11.6	18	y1	y	n	2	y	1	i	100	4
30	1	17	n	n	n	0	n	8	s	0	3
31	0.6	22	n	n	n	0	n	1	s	0	7
32	7.4	14	n	y	y	2	n	8	i	95	6
33	0.6	22	n	n	n	0	n	1	s	0	7
34	12	14	y2	y	y	2	y	1	i	100	4
35	6.6	16	n	y	n	1	n	1	i	100	4
36	4.1	14	n	y	n	0	n	8	i	95	4
37	5.7	14	n	y	n	1	n	8	i	100	3
38	3.4	12	n	y	n	0	n	1	i	95	3
39	7.8	19	n	y	n	2	n	1	i	100	4
40	8.7	20	y2	y	y	2	y	1	i	100	4
41	8.4	20	y2	y	n	3	y	1	i	100	4
42	11	22	y2	y	y	3	y	1	i	100	4
43	11.5	20	y2	y	y	2	y	1	i	100	4
44	10	23	y1	y	y	3	y	1	i	100	4
45	10	23	y1	y	y	3	y	1	i	100	4
46	12	28	y1	n	n	3	y	1	i	100	4
47	12	28	y1	y	n	3	y	1	i	100	4
48	6	26	y2	n	n	0	y	1	i	100	4
49	9.3	20	n	n	n	2	n	1	i	80	4
50	9.3	20	n	n	n	2	n	1	i	80	4
51	2	24	n	n	n	0	n	1	i	20	10
52	1.6	16	n	n	n	1	n	8	s	0	10

Tabella 2.3 – Esempio di scheda di censimento delle caratteristiche dei detriti legnosi (rilievo del 14 - 15 ottobre 2003).

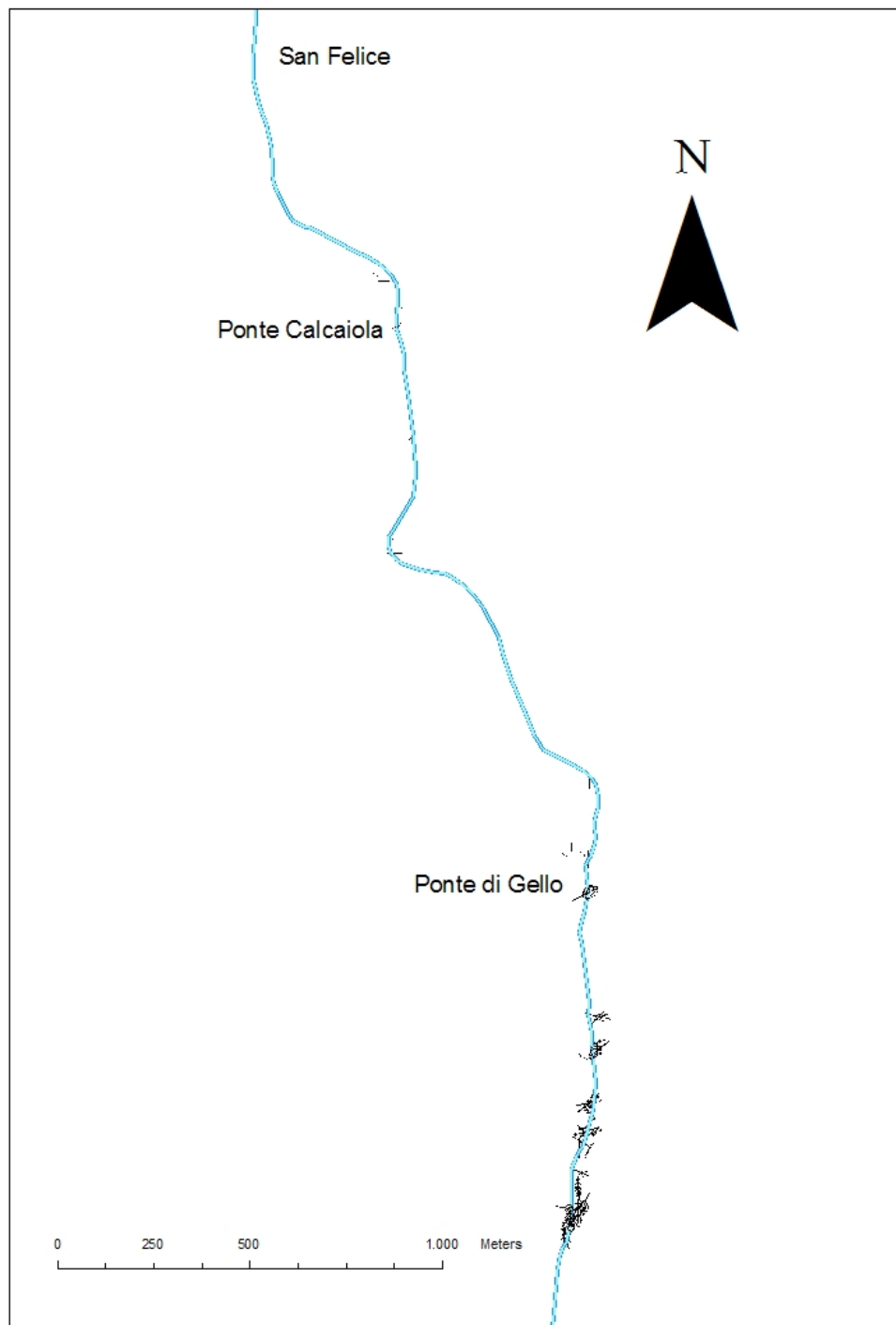


Figura 2.37 - Ubicazione dei detriti legnosi censiti tra S.Felice e circa 1 km a valle del Ponte di Gello (scala 1:18.500 circa).

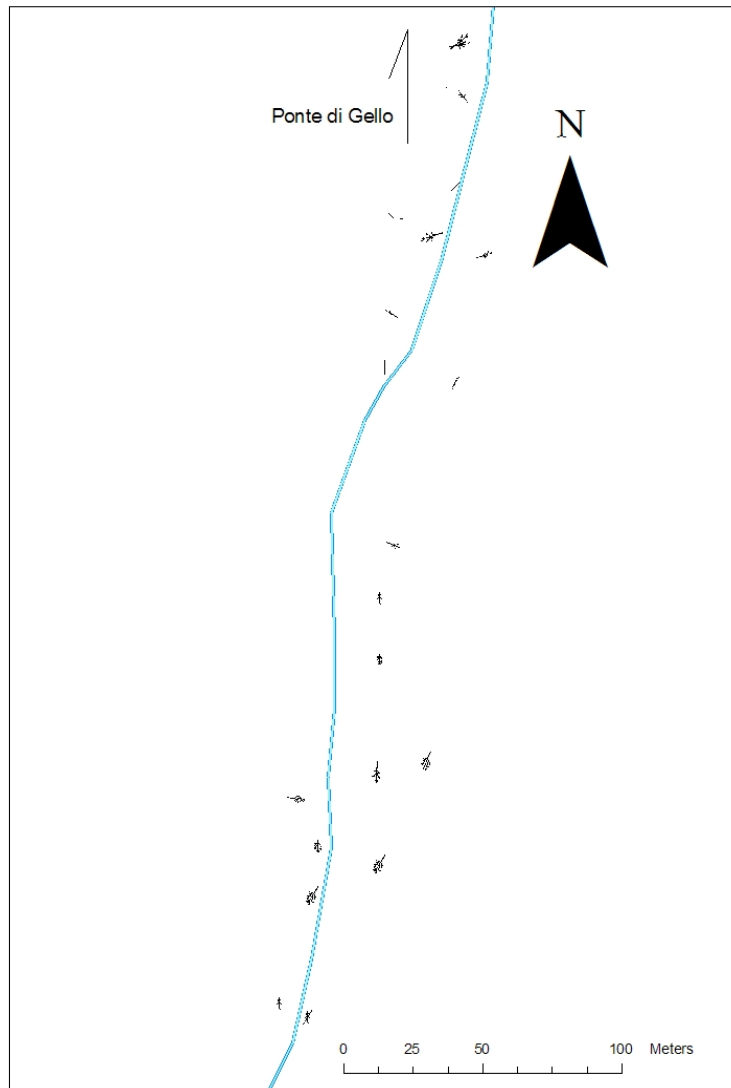
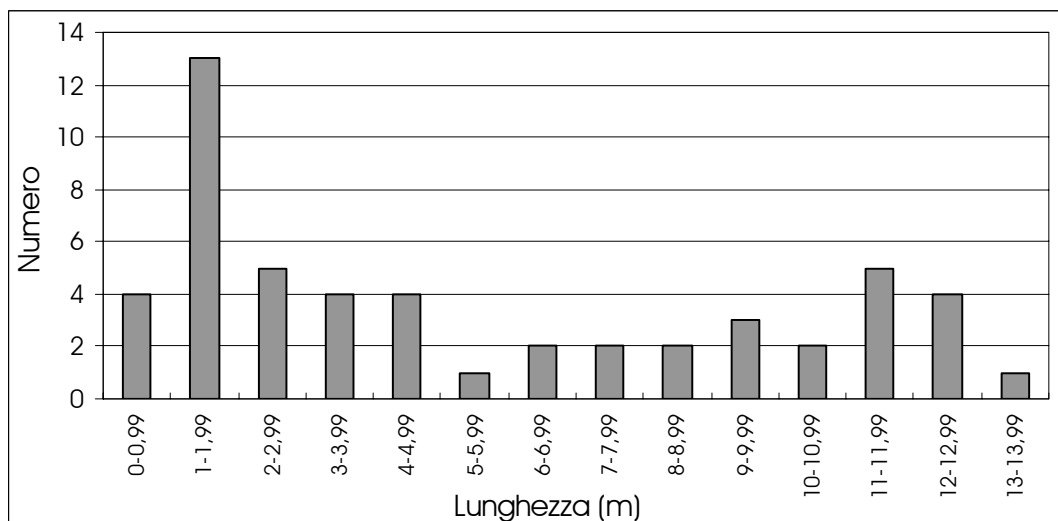


Figura 2.38 - Ubicazione dei detriti legnosi censiti: particolare del tratto a valle del Ponte di Gello (scala 1:2.800 circa).

Infine, è stata effettuata una valutazione di massima delle possibili distanze percorse dai detriti legnosi. Il primo censimento (ottobre 2003) è stato infatti ripetuto durante una seconda fase, a seguito dei principali eventi di piena autunnali (gennaio 2004), ed in tale occasione sono stati nuovamente identificati i detriti e rilevata la nuova posizione, permettendo di verificare se ci sono stati spostamenti del detrito e di stimare le distanze percorse. Ovviamente, affinché tali stime siano più rigorose, occorrerebbe prevedere l'utilizzo di strumenti di elevata precisione per il rilievo della posizione e bisognerebbe tenere inoltre conto del tracciato planimetrico dell'alveo per calcolare le distanze reali percorse. In questa fase, servita per una valutazione di massima e per definire una possibile strategia futura di monitoraggio, a titolo puramente indicativo è stato utilizzato il GPS di tipo palmare (Garmin modello E-Trex), che tuttavia presenta margini di errore ancora elevati (dell'ordine dei 10 m, fino ad una massima potenziale accuratezza di 15-20 m, seppure l'errore

massimo segnalato dallo strumento durante i rilievi eseguiti è stato di 5 m). In questa fase di monitoraggio preliminare, i dati raccolti hanno comunque permesso di avere interessanti informazioni circa la mobilità dei detriti in occasione degli eventi di piena. E' stato osservato che il 50% dei detriti censiti nel primo rilievo sono stati ritrovati (26 su 52). Dei 26 detriti ritrovati, 9 hanno sicuramente subito spostamenti significativi (al di sopra dei margini di errore strumentale), con una massima distanza tra posizione finale ed iniziale rilevata di circa 870 m.

a



b

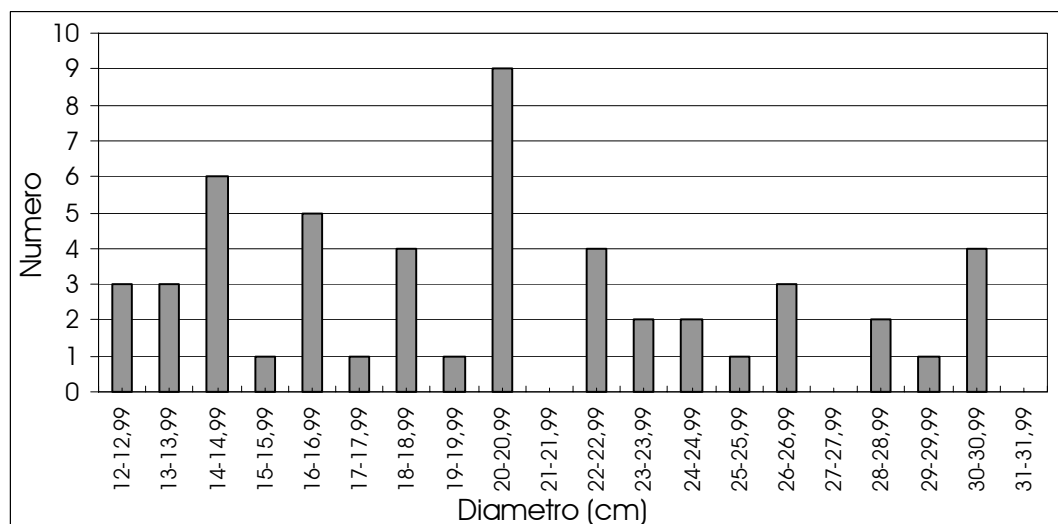
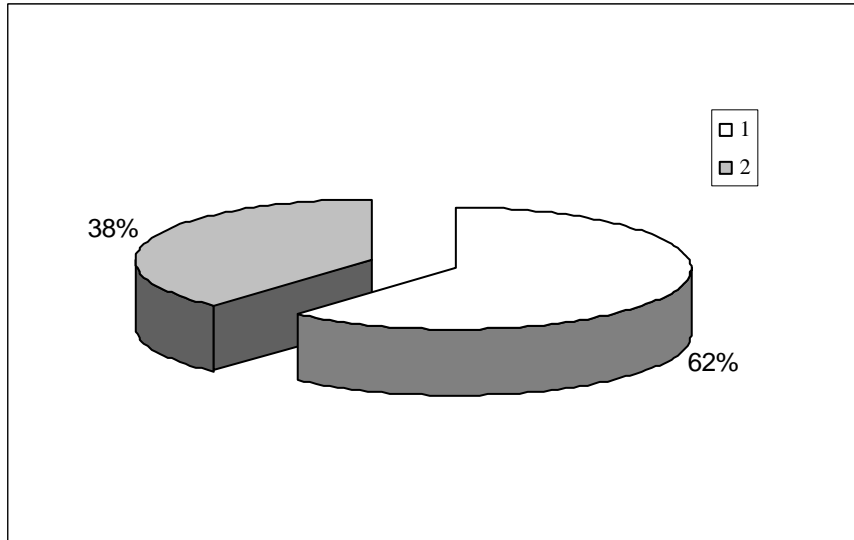


Figura 2.39 – Occorrenza dei detriti legnosi in funzione della lunghezza (a) e del diametro (b).

Dalle considerazioni precedenti, si possono sintetizzare i punti più significativi come segue: (a) sono presenti pochi detriti legnosi, concentrati nella sola zona dove esiste una fascia di vegetazione riparia relativamente indisturbata, mentre essi sono assenti negli altri tratti a causa della continua rimozione e manutenzione; (b) i pochi detriti presenti hanno per lo più dimensioni ridotte, tali da consentirne facilmente il transito nel tratto di studio, eccetto che pochi detriti di dimensioni

maggiori; (c) i detriti legnosi provengono in gran parte dalle erosioni di sponda in tratti in cui è presente vegetazione riparia.

a



b

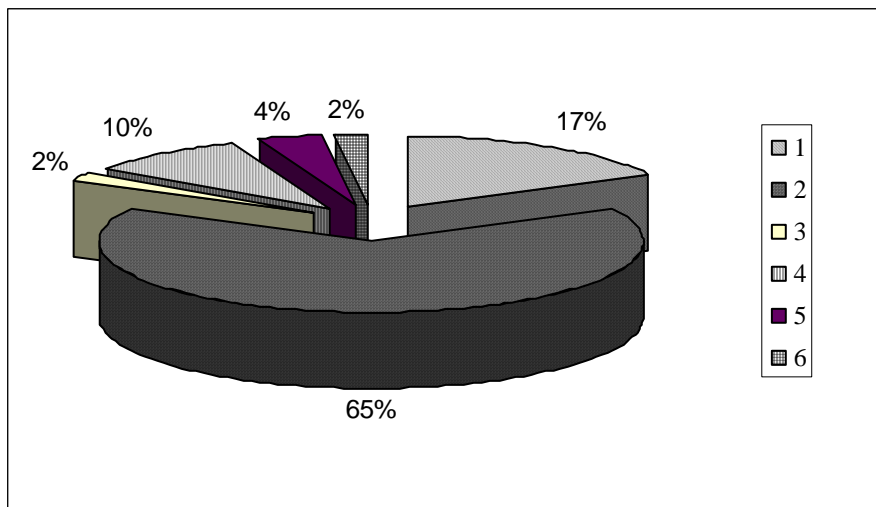


Figura 2.40 - (a) Tipologia di provenienza dei detriti legnosi. 1: dalle sponde (ancorati sulla sommità, sulla sponda o al piede); 2: altro. (b) Specie arboree dei detriti legnosi censiti. 1: pioppo; 2: salice; 3: robinia; 4: pino; 5: fico; 6: olivo.