



Università degli Studi di Firenze
Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale



ACCORDO DI COLLABORAZIONE SCIENTIFICA

TRA COMMISSARIO DELEGATO E DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE DELL'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE PER "ATTIVITÀ DI STUDIO DEL F. MAGRA, DEGLI AFFLUENTI PRINCIPALI E DEI BACINI MINORI A SEGUITO DELL'EVENTO ALLUVIONALE DEL 25/10/2011 E DEFINIZIONE DELLE AZIONI E DEGLI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA"

Studio dei bacini minori del F. Magra a seguito dell'evento alluvionale del 25/10/2011 e definizione delle azioni e degli interventi di messa in sicurezza.

Relazione Tecnica Finale

PARTE PRIMA - Aspetti Metodologici

Redatta ai sensi dell'art. 3 c. 2

Responsabile: Prof. Ing. Enio Paris

Gruppo di Lavoro: Laura Boschi, Pina De Cicco, Lapo Consumi, Simona Francalanci, Lorenzo Minatti, Davide Ramelli, Luca Solari



Firenze, 30 Novembre 2012

INDICE

INTRODUZIONE	3
SINTESI DELLO STUDIO	4
1. IL QUADRO CONOSCITIVO	8
1.1 I dati territoriali	9
1.2 I dati topografici	10
1.3 I dati idro-pluviometrici.....	10
1.4 La documentazione post-evento	13
1.5 Le attività di ricognizione	15
1.6 Dati integrativi	16
1.6.1 Rilievi topografici: tratti ove si ritiene necessario il rilievo completo delle sezioni fluviali	16
1.6.2 Rilievi topografici: tratti ove si ritiene necessario il rilievo della linea di thalweg.....	17
1.6.3 Le nuove sezioni fluviali	26
1.6.4 I rilievi delle tracce di piena	27
1.6.5 I rilievi sedimentologici	28
2. APPROCCIO METODOLOGICO	31
2.1 La valutazione delle portate di piena	31
2.2 Ricostruzione dello stato ante-evento	44
2.3 La modellistica idraulica	45
BIBLIOGRAFIA	48

INTRODUZIONE

L'evento meteorologico che ha colpito la Toscana settentrionale nei giorni 25-26 ottobre 2011 è stato caratterizzato da elevate precipitazioni ed eccezionali portate di piena che hanno causato, oltre alla perdita di vite umane, diffusi dissesti di versante e in alveo, ingenti danni ai centri abitati e alle infrastrutture.

Sin dai primi giorni dell'alluvione, l'Università di Firenze e il CERAFRI- Centro di Ricerca e Alta Formazione per la Prevenzione del Rischio Idrogeologico, hanno prestato collaborazione ai tecnici della Regione Toscana per individuare le criticità più rilevanti e le priorità delle azioni da intraprendere.

A seguito di attività preliminari di ricognizione e di partecipazione alle diverse riunioni organizzate dalla Regione Toscana, in data 11 giugno 2012 il Commissario Delegato per il superamento dello stato di emergenza nei territori colpiti dagli eccezionali eventi meteorologici dell'ottobre 2011, e il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, stipulano un accordo di collaborazione scientifica per la realizzazione di uno "*Studio dei bacini minori del F. Magra a seguito dell'evento alluvionale del 25/10/2011 e definizione delle azioni e degli interventi di messa in sicurezza*".

Con riferimento alle condizioni previste da tale accordo, la presente relazione costituisce la **Relazione Tecnica Finale** di cui all'art. 3, comma 2, lettera c, e descrive le attività previste all'art.1, comma 2, lettera b.

Tali attività sono state svolte dal Gruppo di Lavoro costituito da: Enio Paris (responsabile) e Luca Solari, docenti del Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università di Firenze, Simona Francalanci e Lorenzo Minatti, ricercatori presso il Centro di Ricerca e Alta Formazione per la prevenzione del Rischio Idrogeologico – CERAFRI, Laura Boschi e Pina Di Cicco, laureande del Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria per la Tutela dell'Ambiente e il Territorio dell'Università di Firenze, Lapo Consumi e Davide Ramelli, laureandi del Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente, le Risorse e il Territorio dell'Università di Firenze.

Tutte le attività sono state condotte sotto il coordinamento del Commissario Delegato e in stretta collaborazione con gli altri due gruppi di lavoro coordinati dal Prof. Giovanni Seminara dell'Università di Genova e dal Prof. Massimo Rinaldi dell'Università di Firenze.

Le attività hanno riguardato:

- a. La verifica ed implementazione del quadro conoscitivo
- b. La ricostruzione fenomenologica dell'evento del 25/10/2011 sui bacini minori con individuazione degli interventi per la riduzione del rischio da dinamica d'alveo
- c. La proposta di interventi strutturali sugli affluenti principali finalizzati alla riduzione del rischio da dinamica d'alveo in relazione alle tendenze evolutive emerse dall'analisi geomorfologica
- d. Le attività di supporto tecnico generale nella definizione delle azioni e degli interventi di messa in sicurezza del bacino del F. Magra.

Le attività di cui al punto d) comprendono, come ulteriormente specificate all'art. 4, comma 2, lettera b, la fornitura di eventuali pareri esperti, se richiesti, su eventuali problematiche e consulenze in materia che si potranno verificare nel corso dello studio, ovvero il supporto e la consulenza in merito a specifici interventi in corso di attuazione da parte del Commissario.

Al fine di una chiara esposizione, **le attività di cui ai punti a), b), c)**, sono state riorganizzate in quattro parti: una parte generale (Parte Prima – Approccio Metodologico), e ulteriori tre parti ciascuna distinta per bacino idrografico (Parte Seconda – Bacino del T. Teglia, Parte Terza – Bacino del T. Mangiola, Parte Quarta - Bacino del Torrente Osca).

Le attività di cui al punto d) sono viceversa descritte nel paragrafo successivo, insieme ad descrizione sintetica dei contenuti dello studio.

SINTESI DELLO STUDIO

L'evento meteorologico che ha colpito la Toscana settentrionale nei giorni 25-26 ottobre 2011 ha interessato principalmente i bacini idrografici dei torrenti Teglia, Mangiola e Osca per una estensione territoriale complessiva dell'ordine di 80 km².

Nei suddetti bacini, gli effetti al suolo più rilevanti sono risultati:

- i danni ai centri abitati e alle infrastrutture viarie
- il collasso di due ponti
- gli ingenti quantitativi di materiale solido mobilitato;
- la erosione di numerose parti vegetate dell'alveo;
- le estese instabilità di sponda e di versante;
- i diffusi fenomeni localizzati (depositi, erosioni, ostruzioni).

Al fine di individuare gli interventi di ricostruzione e di mitigazione del rischio idraulico, l'approccio metodologico si è articolato nelle seguenti attività fondamentali:

- individuazione, raccolta, analisi e archiviazione dei dati, dei documenti e delle informazioni utili alla formazione di un quadro conoscitivo;
- individuazione degli strumenti di analisi idonei a analizzare i dati raccolti e a simulare i diversi fenomeni che si sono manifestati durante l'evento;
- ricostruzione della dinamica dell'evento;
- definizione degli interventi .

Per quanto riguarda il quadro conoscitivo, presso gli Uffici della Regione Toscana sono stati acquisiti i **dati territoriali** relativi alla Cartografia Tecnica Regionale, le ortofoto pre-evento (anno 2010) e post-evento (2012), i rilievi Lidar, la cartografia catastale.

Il Centro Funzionale della Regione Toscana ha reso disponibile i **dati pluviometrici e idrometrici** registrati presso le proprie stazioni di monitoraggio presenti in Lunigiana, mentre l'Autorità di Bacino del Fiume Magra ha fornito le **sezioni topografiche** disponibili all'interno del Piano di Assetto

Idrogeologico. E' stato inoltre possibile reperire i dati di portata registrati durante l'evento alla Diga di Rocchetta sul Fiume Teglia. E' stata infine acquisita una consistente documentazione video e fotografica direttamente da privati.

L'analisi del materiale raccolto nella prima fase ha permesso di individuare le successive attività integrative necessarie al completamento del quadro conoscitivo, in particolare:

i dati sedimentologici, necessari alla caratterizzazione del materiale d'alveo, che sono stati raccolti ed elaborati dal CERAFRI;

le ulteriori sezioni fluviali, acquisite tramite nuovi rilievi topografici commissionati direttamente dalla Regione Toscana;

i rilievi delle tracce di piena, acquisite tramite rilievo topografico.

L'analisi del quadro conoscitivo così delineato, insieme alle attività di ricognizione sul territorio hanno messo in evidenza la complessità dei fenomeni che si sono manifestati a seguito dell'evento, caratterizzati da elevate portate di piena, intensi fenomeni di dinamica d'alveo e forti interazioni tra corrente liquida e vegetazione.

E' pertanto emersa sin dall'inizio la necessità di utilizzare approcci tali da permettere la valutazione di correttezza e di affidabilità degli strumenti di analisi utilizzati. Lo studio si è sviluppato secondo il seguente percorso metodologico:

- analisi dell'assetto plano-altimetrico dei corsi d'acqua e ricostruzione ante-evento;
- calcolo degli idrogrammi di piena nelle varie sezioni fluviali di interesse;
- verifica dei valori delle portate al colmo;
- studio della dinamica di propagazione dell'onda di piena;
- verifica dei risultati ottenuti sulla base delle tracce di piena rilevate;
- individuazione degli interventi di mitigazione del rischio idraulico.

L'assetto plano-altimetrico dei corsi d'acqua è stato dedotto dalla documentazione e dalle informazioni raccolte nel quadro conoscitivo. Gli idrogrammi di piena sono stati calcolati utilizzando i modelli idrologici disponibili presso l'Autorità di Bacino del Fiume Magra e il Centro Funzionale della Regione Toscana.

I valori al colmo degli idrogrammi di piena così calcolati sono stati confrontati con valori misurati (Diga di Rocchetta), con i valori dedotti dallo studio dell'Università di Genova, e con i valori desumibili da criteri empirici indipendenti (Grant, 1998, Sordo, 1998).

Da tali confronti si deduce che i modelli idrologici utilizzati dall'Autorità di Bacino sono da ritenersi sufficientemente affidabili. Le portate di piena ottenute mostrano tempi di ritorno assolutamente eccezionali, tutti superiori ai 100 anni.

Le simulazioni idrauliche sono state condotte utilizzando per ogni corso d'acqua il modello ritenuto più idoneo a descrivere il fenomeno di propagazione dell'onda di piena. A tal fine è stata dapprima condotta la verifica dello STATO ATTUALE, utilizzando gli idrogrammi di piena dedotti dalla modellistica idrologica dell'Autorità di Bacino per l'evento del 25 ottobre 2011.

In tale verifica sono stati confrontati i livelli idrici calcolati con le quote delle tracce di piena disponibili, procedendo alla calibrazione del modello attraverso la minimizzazione degli scarti tra valori calcolati e valori osservati.

Sulla base dei risultati ottenuti, sono stati individuati gli interventi di mitigazione del rischio idraulico, successivamente verificati nello STATO DI PROGETTO. A tal fine occorre precisare che le verifiche idrauliche sono state condotte assumendo sempre l'idrogramma di piena dell'evento, ad eccezione dei

casi in cui il tempo di ritorno è risultato inferiore a 200 anni. In tal caso è stato adottato un idrogramma di progetto con tempo di ritorno pari a 200 anni (es.: corso principale del Torrente Osca).

I risultati ottenuti sono descritti di seguito per ogni singolo bacino considerato. Occorre tuttavia premettere una considerazione generale che riguarda gli intensi fenomeni di interazione che si sono verificati tra i deflussi di piena e le parti vegetate dell'alveo, generando i seguenti effetti:

- nelle aree vegetate che non sono collassate durante l'evento, un incremento della scabrezza complessiva dell'alveo e, conseguentemente un incremento dei livelli idrici;
- nelle aree vegetate che hanno subito collasso, un incremento di scabrezza temporaneo prima del collasso e successivamente produzione di detrito flottante nella corrente;
- ostruzioni parziali della corrente all'interno delle stesse aree vegetate ad opera di detriti solidi e flottanti provenienti da monte, favorendo deviazioni della corrente verso le sponde;
- ostruzioni di opere di attraversamento.

D'altra parte, il trattenimento operato dalla vegetazione sui materiali solidi e flottanti provenienti da monte può rappresentare un benefico effetto di riduzione del rischio di ostruzione verso valle, come pure l'aumento di scabrezza che provoca un effetto di laminazione sulle portate liquide.

Ciò indica la necessità di redigere un **piano di manutenzione della vegetazione** valutando su ciascun tratto significativo del corso d'acqua l'insieme dei vantaggi e degli svantaggi che la presenza della vegetazione offre in relazione agli aspetti del rischio idraulico e della tutela ambientale.

Di seguito si descrivono in sintesi i principali risultati e gli interventi di riduzione del rischio idraulico per ciascun bacino oggetto del presente studio.

Bacino del Torrente Teglia

Il tratto del **Canale del Bosco** che attraversa l'abitato del Bosco di Rossano è andato soggetto ad una rilevante asportazione del materasso alluvionale fino al substrato roccioso. L'analisi delle tracce di piena e il confronto con la modellistica idraulica fanno ritenere che durante l'evento di piena si sia formata, e poco dopo demolita, un'ostruzione d'alveo. Allo stato attuale delle analisi condotte non si ritiene opportuno prevedere opere di intercettazione di materiale solido e flottante a monte dell'abitato. E' prevista la realizzazione di muri di contenimento in sponda sinistra a protezione dei fabbricati, e di due briglie su ciascuno dei due fossi in sinistra che intersecano il centro abitato. Nel tratto a valle dell'abitato le aree laterali erose dal torrente dovranno essere mantenute come aree golenali.

L'alveo principale del **Torrente Teglia** è andato soggetto a rilevanti variazioni planimetriche mentre l'evoluzione altimetrica è risultata contenuta. Gli interventi proposti consistono principalmente in opere di protezione di sponda e muri di sostegno.

Bacino del Torrente Mangiola

Mulazzo: i dissesti nel centro abitato sono stati in gran parte causati dalla notevole quantità di tombamenti presenti nella rete idrografica urbana. Il progetto di sistemazione idraulica dei Fossi del

Frantoio e della Madonna, redatto dall'Ufficio Tecnico del Genio Civile Area Vasta di Firenze, Prato, Pistoia e Arezzo, prevede il ripristino dei corsi d'acqua a cielo aperto. Il presente studio ha condotto una verifica in moto vario e a fondo mobile del progetto, evidenziando l'utilità della briglia selettiva prevista sul Fosso della Madonna e la criticità del tratto del Fosso del Frantoio in corrispondenza del ponte sulla SP32. A questo riguardo si ritiene utile approfondire l'analisi progettuale anche in relazione a ipotesi di riconfigurazione urbanistica delle viabilità.

Per quanto riguarda il corso principale del **Torrente Mangiola**, le verifiche idrauliche hanno permesso di stimare in circa 200 anni il tempo di ritorno delle portate al colmo. Gli interventi proposti riguardano per lo più di opere di difesa delle sponde dall'erosione tramite scogliere e muri di protezione localizzati nei pressi di infrastrutture (strade e ponti) o fabbricati particolarmente esposti a rischio. Nella configurazione progettuale è stato assunto che parte delle sezioni d'alveo possa nuovamente essere occupata da vegetazione, considerando comunque il permanere di larghezze d'alveo libere pari a circa 15-20 m nel tratto più a monte (fino all'incirca all'abitato di Mulazzo) e 35-40 m più a valle. Le simulazioni condotte evidenziano come il ponte sulla SP 69 in prossimità di Montereccio presenti la possibilità di un rischio di occlusione in occasione del transito delle portate con tempo di ritorno 200 anni, nonostante tale fenomeno non sia stato registrato durante l'evento del 25 ottobre 2011. Tale rischio potrà essere ridotto alzando le quote dell'impalcato del ponte, oppure prevedendo opere di trattenuta a monte di esso.

Bacino del Torrente Osca

Lo studio condotto sul bacino del Torrente Osca ha permesso di ottenere un modello idraulico che ben riproduce le tracce di piena rilevate e l'evento del 25/10/2012. Una delle aree maggiormente colpite dell'evento è la zona della chiesa in località "Madonna del Canale" in riva al Canale di Borra Grande non perché presenti criticità idrauliche ma a causa dell'instabilità del pendio in sinistra idraulica, già franato durante l'evento, e per la necessità di ripristinare l'accessibilità alla chiesa. Lo studio ha mostrato come, soprattutto nei tratti montani del Torrente Osca, l'elevato grado di densità della vegetazione a fusto in area golenale abbia interagito sensibilmente al deflusso della piena, aumentando notevolmente i livelli di scabrezza e producendo il materiale flottante che ha causato le ostruzioni delle già ridotte luci degli attraversamenti stradali.

Pur non evidenziando elevate criticità, lo studio ha comunque messo in evidenza la necessità di focalizzare l'attenzione su edifici in prossimità del corso d'acqua (tratto di Montale) e su ponti con sezioni idrauliche non adeguate posti nelle località di Montale e Tresana.

Altre attività

Le attività di cui al punto d) della convenzione citata comprendono, come ulteriormente specificate all'art. 4, comma 2, lettera b, la fornitura di eventuali pareri esperti, se richiesti, su eventuali problematiche e consulenze in materia che si potranno verificare nel corso dello studio, ovvero il supporto e la consulenza in merito a specifici interventi in corso di attuazione da parte del Commissario. In tal senso, il Gruppo di Lavoro ha provveduto a fornire pareri tecnici su particolari problematiche (es: Villa Pavesi) nonché il supporto tecnico in merito a specifici interventi predisposti dall'Ufficio del Commissario. A questo proposito, come già descritto per **l'Abitato di Mulazzo**, il progetto redatto dalla Regione Toscana è stato verificato nell'ambito del presente studio, confermando la validità di alcune scelte progettuali ed evidenziando al contempo la necessità di sviluppare ulteriori approfondimenti.

1. IL QUADRO CONOSCITIVO

La costruzione del quadro conoscitivo comprende una prima fase di acquisizione e analisi preliminare del materiale disponibile e una successiva fase di raccolta di dati integrativi necessari al suo completamento. L'ambito spaziale di riferimento è quello già richiamato dei bacini montani afferenti ai Torrenti Teglia, Mangiola e Osca, la cui ubicazione è riportata nella corografia generale della Figura 1.

I corsi d'acqua considerati e le loro principali caratteristiche sono elencati nella Tabella 1.

Tabella 1 – Corsi d'acqua considerati nel presente studio

BACINO	CORSO D'ACQUA	BACINO SOTTESO [km ²]	LUNGHEZZA TRATTO [m]
Teglia	Canale del Bosco	2.5	800
Teglia	Torrente teglia	38.7	3500
Mangiola	Canale del Frantoio	1.9	100
Mangiola	Fosso della Madonna	0.6	600
Mangiola	Torrente mangiola	26.4	9400
Osca	Borra Grande	2.3	200
Osca	Torrente Osca	21.4	7000

Di seguito vengono descritti i dati raccolti e le attività integrative effettuate.

1.1 I dati territoriali

La maggior parte della documentazione relativa ai dati territoriali è stata reperita presso gli Uffici della Regione Toscana ed ha riguardato:

- Cartografia tecnica Regionale, scala 1:10.000 in formato digitale;
- Ortofoto pre-evento (anno 2010) e post-evento (2012);
- Ortofoto storiche (dal 1950 al 2012) dell'abitato di Mulazzo;
- Planimetrie catastali del Bosco di Rossano, Comune di Zeri.

Altri dati territoriali, quali ad esempio DTM a varia risoluzione, rilievi LIDAR, uso del suolo, caratteristiche geolitologiche, non sono stati utilizzati ai fini del presente studio.



Figura 1 - Alta Valle del Magra: ubicazione dei bacini idrografici considerati nel presente studio e ubicazione dei pluviometri e idrometri (planimetria tratta da [1])

1.2 I dati topografici

I dati disponibili riguardano le sezioni topografiche rilevate nel 1989 e utilizzate per la predisposizione del Piano di Assetto Idrogeologico – PAI dell’Autorità di Bacino del Fiume Magra. Per i corsi d’acqua considerati risultano disponibili le sezioni come riportato nella Tabella 2.

Tabella 2 – Tratti fluviali e sezioni topografiche (PAI - Autorità di Bacino del Fiume Magra)

CORSO D’ACQUA	TRATTO	LUNGHEZZA	NUMERO SEZIONI
Torrente Teglia	da confluenza Magra a Castagnetoli	3500	33
Torrente Mangiola	da confluenza Magra a Montereccio	9400	76
Torrente Osca	da confluenza Magra a Montale	7000	48

Come risulta dalla Tabella 2, diversi tratti fluviali che fanno parte del presente studio risultano privi di rilievi topografici. Inoltre, poiché le sezioni disponibili risalgono a più di venti anni fa, è stato ritenuto necessario procedere ad una nuova campagna di rilievi topografici sia per acquisire le sezioni trasversali dei tratti fluviali che ne sono attualmente privi, sia per aggiornare i dati esistenti. Le caratteristiche dei nuovi rilievi sono descritte nel paragrafo “Dati integrativi”.

1.3 I dati idro-pluviometrici

Le stazioni pluviometriche ricadenti nel territorio dell’alta Lunigiana sono riportate nella planimetria di Figura 1. Per ciascuna delle suddette stazioni, nella Tabella 3 [1], sono elencate le altezze di pioggia registrate durante l’evento del 25 ottobre 2011 per intervalli di 1, 3, 6, 12 e 24 ore, insieme ai corrispondenti tempi di ritorno stimati sulla base delle elaborazioni statistiche condotte dal Centro Funzionale della Regione Toscana.

Dalla Figura 1 si può osservare che solo la stazione di Parana ricade in posizione più o meno baricentrica rispetto ai bacini idrografici considerati, mentre le stazioni di Pontremoli, Villafranca, Novegigola e Patigno hanno una posizione marginale.

Di queste stazioni, Parana e Pontremoli hanno registrato le precipitazioni più intense.

Per quanto riguarda i dati idrometrici, non sono presenti stazioni di misura sui corsi d’acqua considerati.

L’evento è stato monitorato solo sull’asta principale del Magra in corrispondenza degli idrometri di Piccatello, Santa Giustina e Calamazza. Quest’ultimo ha interrotto il funzionamento alle ore 18.00 del giorno 25 ottobre 2011, in quanto la strumentazione della stazione è stata danneggiata durante il passaggio dell’onda di piena. A tale istante il livello idrometrico registrato è stato di 8.12 metri sullo zero

idrometrico. Stime del Centro Funzionale indicano che l'effettiva quota massima raggiunta è di 9.40 metri.

In corrispondenza della diga di Rocchetta sul T. Teglia, gestita dalla Società Edison, è stato reso disponibile l'idrogramma di piena in ingresso e in uscita dallo sbarramento, come riportato nella Figura 2.

Tabella 3 – Stazioni pluviometriche dell'alta valle del Magra e altezze di pioggia [1]

Codice	Stazione	Pr.	Comune	Bacino	Zona allerta	max 1h	max 3h	max 6h	max 12h	max 24h	Tr 1h	Tr 3h	Tr 6h	Tr 12h	Tr 24h
TOS09001083	S. Giustina	MS	Pontremoli	Magra	A1	72,8	177,2	260,8	323	376,2	66,7	>500	>500	>500	>500
TOS09001088	Rocca Sigillina - GPRS	MS	Massa	Magra	A1	68,8	163,2	239,6	279,2	318,4	43,9	498,2	>500	>500	238,5
TOS11000101	Pontremoli	MS	Pontremoli	Magra	A1	67	164,8	251,4	319,8	366	51,4	438,5	>500	>500	293,2
TOS09001110	Parana - GPRS	MS	Mulazzo	Magra	A1	88	164,8	230,4	265,6	315,2	142,8	>500	>500	447,1	288
TOS09001080	Pontremoli depuratore - GPRS	MS	Pontremoli	Magra	A1	49,6	122,2	209,2	276,4	313,2	8,1	111,6	494,2	>500	230,4
TOS09001061	Patigno - GPRS	MS	Zeri	Magra	A1	40	93,2	184,8	240,2	273,8	3	31,4	325,7	315,2	145,9
TOS09001120	Villafranca - GPRS	MS	Villafranca L.	Magra	A1	53,8	110,6	161,6	177,6	203	8,9	50,8	100,8	42	21,7
TOS09000015	Bagnone a Bagnone - GPRS	MS	Bagnone	Magra	A1	50,6	102,2	144,4	161,8	190,2	7,1	34,3	54,6	24,5	14,3
TOS09001053	Passo della Cisa - GPRS	MS	Pontremoli	Magra	A1	28,2	64	116,4	173,2	209,8	0	3,6	20,7	39,1	23,6
TOS09001130	Iera - GPRS	MS	Bagnone	Magra	A1	44,8	73	106,4	122	148,4	4	5,7	10,3	5,1	3,5
TOS09001160	Passo del cerreto - GPRS	MS	Fivizzano	Magra	A1	23,2	44,2	75,4	122,8	145,4	0	0	3	9,2	5,2
TOS11000100	Villafranca	MS	Villafranca L.	Magra	A1	31,8	48,2	82,6	94	113,2	0	0	2,9	0	0
TOS11000099	Novegigola	MS	Tresana	Magra	A1	40,2	58,4	78,8	96,6	121,2	0	0	2,4	2	0

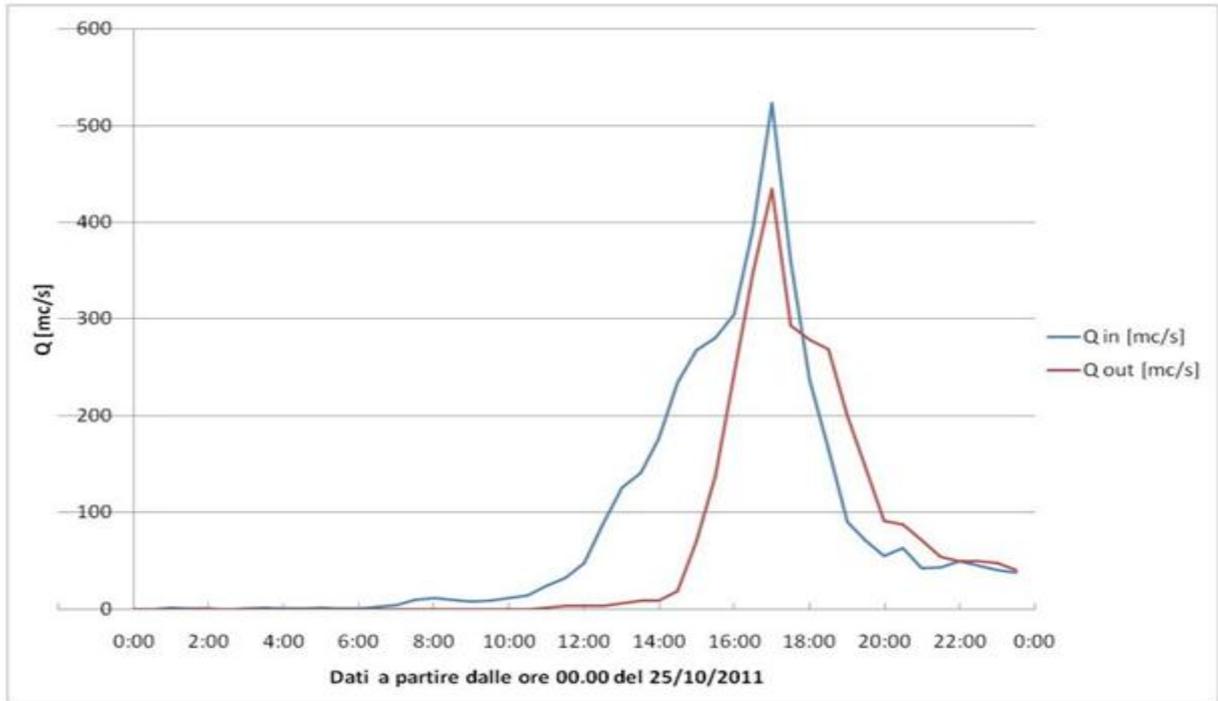


Figura 2 - Diga di Rocchetta: idrogrammi di piena in ingresso e in uscita del giorno 25/10/2011

1.4 La documentazione post-evento

Sono state acquisite le elaborazioni dei dati di pioggia effettuate dal Centro Funzionale della Regione Toscana e dal Servizio Idrologico della Regione Liguria. In particolare quest'ultimo Ufficio ha elaborato la mappa del campo di precipitazione cumulata ad un'ora, come rappresentato nella Figura 3, dalla quale si può osservare una concentrazione di piogge ad elevata intensità disposte lungo la direttrice La Spezia – Pontremoli.

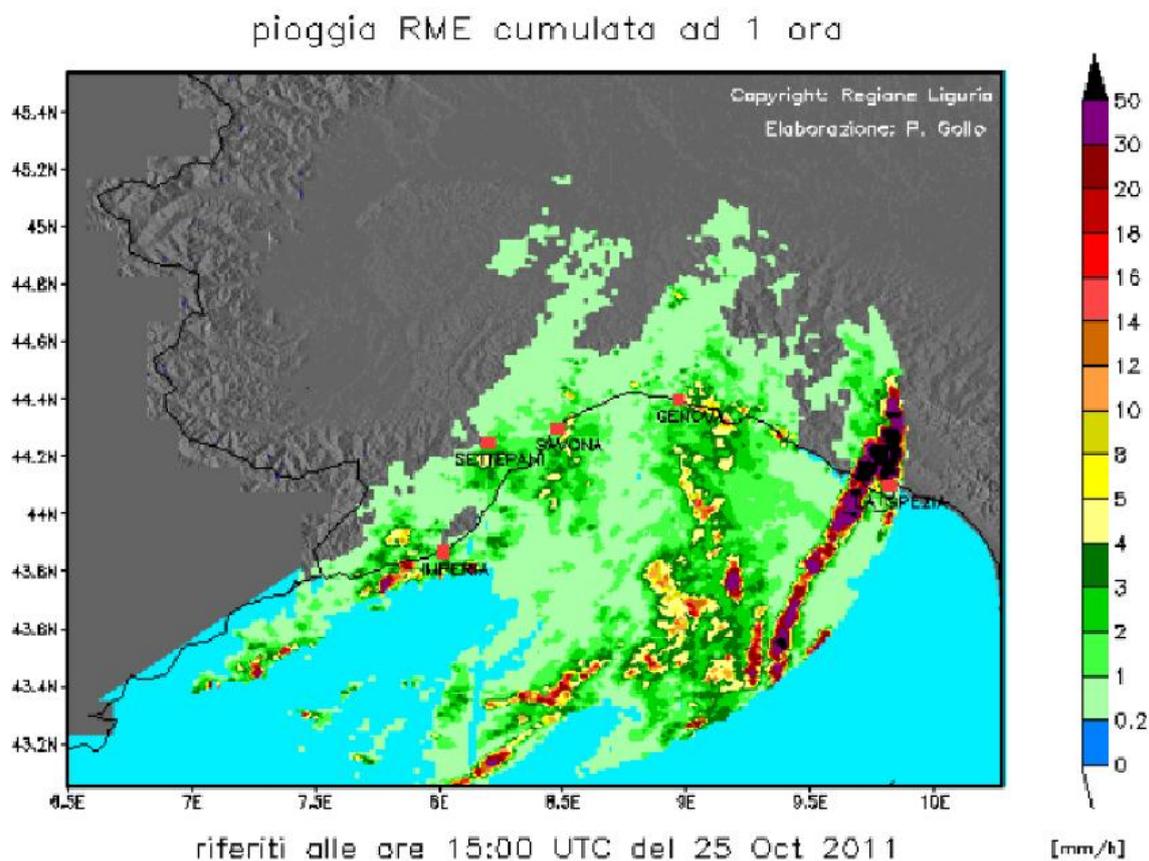


Figura 3 - Mappa delle precipitazioni cumulate sull'ora elaborata dal servizio idrologico della Regione Liguria [2].

E' stata poi acquisita la mappatura dei dissesti predisposta dagli Uffici del Genio Civile della Regione Toscana, come rappresentata nella Figura 4. Ogni dissesto è stato censito mediante una scheda descrittiva e attraverso la georeferenziazione.

Si può osservare come gli effetti delle precipitazioni al suolo siano evidenziati dalla densità dei dissesti che si concentrano principalmente nei bacini del Torrente Teglia, del Torrente Mangiola e, in misura assai minore, del Torrente Osca.

Sulla base delle informazioni desumibili dal campo di precipitazione e dalla mappatura dei dissesti, nella stessa Figura 4 è stata tracciata con linee color magenta una delimitazione indicativa dell'area dell'Alta Valle del Magra che è risultata maggiormente colpita dall'evento alluvionale del 25 ottobre 2011.

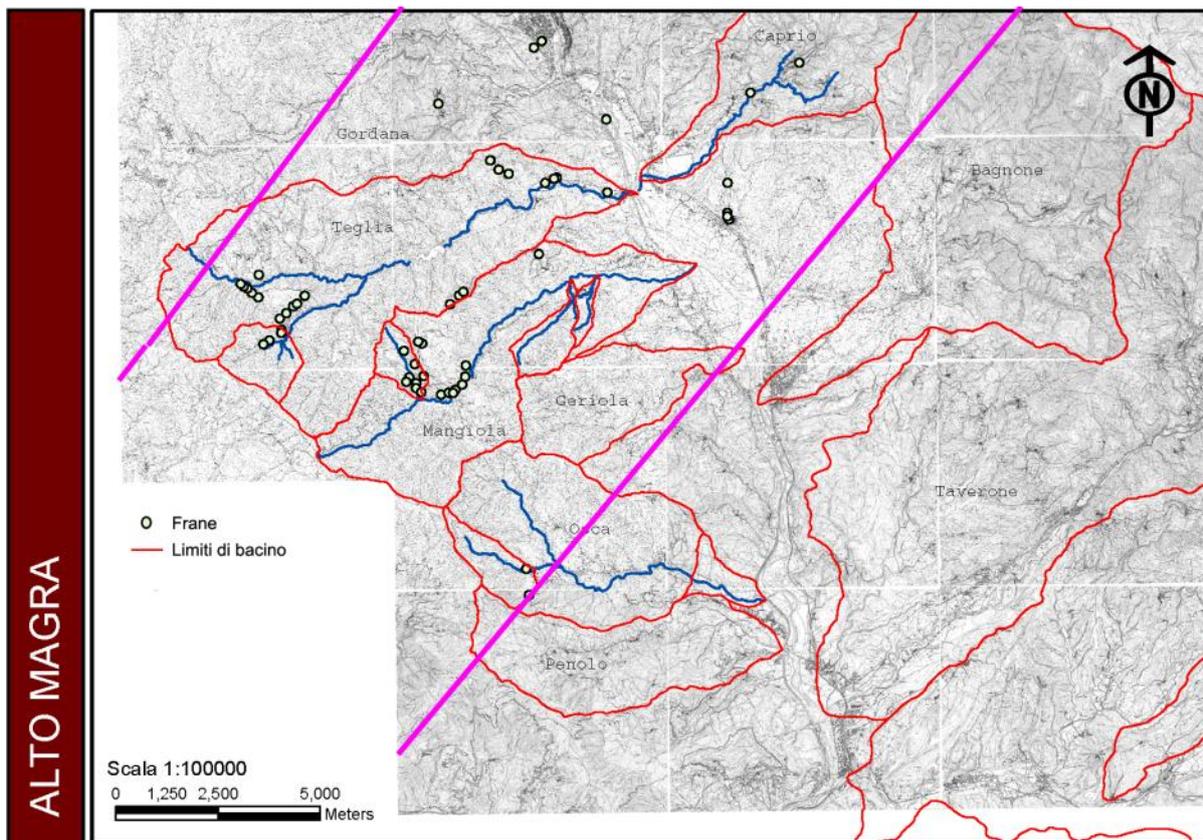


Figura 4 – Mappatura dei dissesti elaborata dagli Uffici del Genio Civile della Regione Toscana (le linee color magenta rappresentano i limiti approssimativi della parte più intensa della perturbazione).

Si può osservare che, mentre i bacini idrografici del Torrente Teglia e del Torrente Mangiola ricadono all'interno della suddetta area, il bacino del Torrente Osca è interessato solo parzialmente.

La stessa delimitazione può pertanto costituire un utile riferimento per una valutazione della distribuzione spaziale della precipitazione.

Tra la documentazione post-evento sono stati inoltre acquisiti i report fotografici elaborati dalla Regione Toscana [3], quelli forniti dall'ing. Testa di Aulla, e dalla Associazione La Racchetta. Sono stati inoltre raccolti i seguenti documenti video:

- video fornito dal Sig. Dino Manoni sull'alluvione dell'abitato di Bosco di Rossano;
- video di Rainer Wartmann reperito su YouTube e relativo al Torrente Mangiola (http://www.youtube.com/watch?v=NN_j64TpDQw);
- testimonianza video sul T. Borra Grande (T. Osca) reperita sul sito www.ilbinocolo.net

Ulteriori informazioni sull'entità dei dissesti e sulle località maggiormente colpite dall'evento sono state acquisite nel corso dei sopralluoghi effettuati dal Gruppo di Lavoro, come descritto nel paragrafo successivo.

1.5 Le attività di ricognizione

Sin dai primi giorni successivi all'evento alluvionale del 25 ottobre 2011, è stata avviata da parte di alcuni componenti del Gruppo di Lavoro una prima attività di ricognizione finalizzata a prendere visione dell'accaduto e ad individuare le prime azioni da intraprendere per un corretto inquadramento e analisi del fenomeno alluvionale.

In particolare, un primo sopralluogo è stato effettuato il 31 ottobre nella città di Aulla dove, insieme da una squadra di tecnici del Genio Civile di Firenze, sono state rilevate le tracce di piena su un tratto di circa 2000 metri (tale attività è stata successivamente ripresa dal gruppo di lavoro del Prof. Rinaldi ed estesa a tutto il corso del Fiume Magra compreso tra la confluenza con il Fiume Vara e Pontremoli).

L'attività è proseguita il 6 dicembre con il sopralluogo effettuato dai ricercatori del CERAFRI in quelle aree dei bacini montani maggiormente colpite dall'evento. In particolare, è stata prodotta una notevole mole di documentazione fotografica relativamente all'abitato del Bosco di Rossano e di Mulazzo.

Successivamente, nel periodo marzo-luglio 2012 le attività di ricognizione hanno riguardato l'individuazione dei principali dissesti e l'accertamento delle cause che li hanno determinati. Tali attività, sintetizzate nella Tabella 4, hanno consentito di definire i dati integrativi necessari al completamento del quadro conoscitivo, così come descritto nel paragrafo successivo.

Tabella 4 – Sintesi delle attività di ricognizione e sopralluogo effettuate dal Gruppo di Lavoro

Sopralluogo	Data	Partecipanti	Finalità
	06/12/2011	Cerafri	Documentazione evento
1	13/03/2012	Dicea\Cerafri	Individuazione dei principali dissesti causati dall'evento del 25/10/2011
2	22-23/05/2012	Dicea\Cerafri	Individuazione dei principali dissesti causati dall'evento del 25/10/2011. Sopralluogo tecnico sui tratti fluviali oggetto dello studio.
3	20-21/06/2012	Dicea\Cerafri	Rilievi sedimentologici
4	05/07/2012	Dicea\Cerafri	Rilievi sedimentologici

Tutte le informazioni territoriali sono state archiviate in ambiente GIS utilizzando come riferimento la cartografia CTR 1:10000. In particolare, per i tratti dei corsi d'acqua e per i bacini oggetto di studio, sono disponibili i seguenti tematismi:

- Tracce delle sezioni topografiche.
- Ubicazione degli idrogrammi di portata.
- Ubicazione delle tracce di piena.
- Foto aeree (in alcuni casi è stato possibile reperire foto aeree relative a periodi diversi).

- Ubicazione dei rilievi fotografici.
- Ubicazione dei rilievi sedimentologici.
- Indicazione delle zone soggette a significativi fenomeni di erosione o deposito a seguito degli eventi del 25/10/2011.
- Mappatura dissesti.
- Censimento opere.

1.6 Dati integrativi

Sulla base delle informazioni raccolte come descritto nei paragrafi precedenti, sono state dedotte le seguenti conclusioni:

L'evento del 25 ottobre 2011 ha generato portate eccezionali nel reticolo idrografico dei bacini del Torrente Teglia, Torrente Mangiola e Torrente Osca.

Non risultano disponibili informazioni idrometriche, mentre quelle pluviometriche sono rappresentate dalla stazione di Parana, unica ricadente all'interno dell'area considerata; Solo le aste terminali dei corsi d'acqua principali dispongono di sezioni fluviali, peraltro risalenti a rilievi effettuati nel 1989.

Ingenti risultano i quantitativi di materiale solido mobilitati durante l'evento. Rilevanti appaiono infine le interazioni tra la vegetazione in alveo e la corrente liquida.

Emerge pertanto la necessità di reperire, per quanto compatibile con i limiti di tempo e di risorse propri del presente studio, i dati integrativi necessari allo svolgimento dello studio.

In particolare, sono stati individuati i seguenti dati:

- rilievi topografici per l'acquisizione di nuove sezioni fluviali o di profili altimetrici del thalweg;
- rilievi topografici delle tracce di piena;
- rilievi sedimentologici.

1.6.1 Rilievi topografici: tratti ove si ritiene necessario il rilievo completo delle sezioni fluviali

È richiesta questa tipologia di rilievo topografico per le aste fluviali di maggiore importanza o nei casi in cui l'asta fluviale attraversi un centro abitato, per cui diventa rilevante la conoscenza della sezione idraulica per la valutazione del livello d'acqua ai fini dell'individuazione delle aree inondate e della verifica della corrispondenza tra livelli di piena riprodotti dai modelli numerici e livelli di piena rilevati sul posto. La metodologia generale di rilievo tiene conto dei criteri di seguito elencati:

- Il rilievo topografico completo della sezione comprende l'alveo attivo nonché tutte le aree golenali eventualmente presenti in sponda destra e sinistra, e comunque fino ad una estensione tale da includere la sezione presumibilmente interessata dagli eventi di piena.
- Nei tratti in cui il corso d'acqua presenta una geometria sostanzialmente uniforme (assenza di brusche variazioni della larghezza della sezione, di brusche variazioni del fondo ed assenza di

opere in alveo) è sufficiente una spaziatura tra le sezioni rilevate pari a circa 5 volte la larghezza dell'alveo

- Nei tratti di alveo in cui sono presenti uno o più elementi di variazione geometrica tra quelli sopra elencati, è richiesto un rilievo aggiuntivo delle sezioni ai fini della quantificazione degli effetti indotti da tali variazioni.
- Ove ancora visibili, è necessario il rilievo delle quote delle tracce di piena degli eventi dell'Ottobre 2011.
- È necessario procedere all'aggiornamento delle sezioni topografiche dei tratti di valle dei torrenti Teglia, Mangiola ed Osca, rilevate in tempi pregressi (sezioni PAI), mediante un nuovo rilievo delle stesse sezioni.

1.6.2 Rilievi topografici: tratti ove si ritiene necessario il rilievo della linea di thalweg

Per questi tratti si richiede il solo rilievo topografico della quota di fondo alveo ed un rilievo aggiuntivo di una sezione "tipo", rappresentativa del tratto in questione.

Questa tipologia di rilievo è finalizzata a caratterizzare i tratti fluviali ove vi sia assenza di abitazioni ed edifici, per i quali si ritiene necessaria soltanto la conoscenza della pendenza dell'asta e delle sue variazioni nonché dell'entità dei salti di fondo eventualmente presenti. In tal caso i criteri metodologici sono i seguenti:

- rilievo delle quote di monte e di valle dei salti di fondo eventualmente presenti.
- rilievo della quota dei punti ove l'alveo presenta cambi di pendenza significativi.
- rilievo di una sezione "tipo" considerata rappresentativa del tratto, con indicazione dell'alveo inciso e delle aree golenali, soprattutto al fine di quantificare l'ingombro planimetrico dell'alveo rispetto al territorio circostante.

Nelle Tabelle 5-7 che seguono vengono elencati i tratti per i quali è richiesto il rilievo assieme ad alcuni utili elementi descrittivi. L'ubicazione dei rilievi topografici per l'acquisizione delle nuove sezioni fluviali è riportata nelle Tavole nel paragrafo 1.6.3. Per quanto riguarda il reticolo idrografico di Mulazzo, sono stati acquisiti i nuovi rilievi effettuati dall'Ufficio Tecnico del Genio Civile, Area Vasta Firenze-Prato-Pistoia-Arezzo.

Tabella 5 - Rilievi topografici richiesti nel bacino del Torrente Teglia.

BACINO: TEGLIA						
CANALE	DESCRIZIONE TRATTO	TIPO DI RILIEVO	LUNGHEZZA TRATTO [m]	DISTANZA TRA LE SEZIONI [m] (*)	N° INDICATIVO SEZIONI DA RILEVARE (**)	PRIORITA'
Canale del Bosco (tratto di monte)	Da: confluenza con il fosso "La Canala" c/o abitato di Bosco di Rossano A: fino a circa 300 m più a monte	thalweg	300	-	1 "TIPO"	ALTA
Canale del Bosco (abitato di Bosco di Rossano)	Da: circa 100 m a valle della fine dell'abitato di Bosco di Rossano A: confluenza con il fosso "La Canala" c/o abitato di Bosco di Rossano	sezione	500	30	15	ALTA
Fosso Madornale (tratto di monte)	Da: circa 80 m a monte della confluenza con il Canale del Bosco A: fino a circa 100 m più a monte	thalweg	100	-	1 "TIPO"	MEDIA

BACINO: TEGLIA (segue)						
Fosso Madornale (tratto di valle)	Da: confluenza con il Canale del Bosco A: fino a circa 80 m più a monte	sezione	80	30	3	MEDIA
Fosso Monte Lama	Da: confluenza con il Canale del Bosco A: fino a circa 100 m più a monte	thalweg	100	-	1 "TIPO"	MEDIA
Fosso La Canala	Da: confluenza con il Canale del Bosco c/o zona di monte dell'abitato di Bosco di Rossano A: fino a circa 50 m più a monte	thalweg	50	-	1 "TIPO"	MEDIA
Torrente Teglia (tratto di valle)	Da: confluenza con il fiume Magra A: fino a circa 150 m più a monte della fine dell'abitato di Castagnetoli	sezione	3700	120	33	ALTA
* Distanza di rilievo ritenuta sufficiente in assenza di significative variazioni di geometria dell'alveo.						
** Numero di sezioni stimato considerando anche la necessità di rilievo di sezioni aggiuntive in relazione a significative variazioni di geometria dell'alveo.						

Tabella 6 - Rilievi topografici richiesti nel bacino del Torrente Mangiola.

BACINO: MANGIOLA						
CANALE	DESCRIZIONE TRATTO	TIPO DI RILIEVO	LUNGHEZZA TRATTO [m]	DISTANZA TRA LE SEZIONI [m] (*)	N° INDICATIVO SEZIONI DA RILEVARE (**)	PRIORITA'
Torrente Mangiola	Da: confluenza con il fiume Magra A: fino a circa 200 m a monte della confluenza con il Canale del Gorgo	sezione	9500	130	77	ALTA
Canale del Gorgo	Da: confluenza con il fiume Mangiola A: fino a circa 200 m a monte dell' intersezione tra il Canale del Gorgo e la viabilità di collegamento tra gli abitati di Montereccio e Piana di Romana	thalweg	900	-	1 "TIPO"	BASSA
Fosso della Madonna (tratto di monte)	Da: circa 60 m a monte dell' intersezione tra il Fosso della Madonna e la viabilità che collega l'attraversamento del torrente Mangiola con l'abitato di	thalweg	300	-	1 "TIPO"	ALTA

BACINO: MANGIOLA						
CANALE	DESCRIZIONE TRATTO	TIPO DI RILIEVO	LUNGHEZZA TRATTO [m]	DISTANZA TRA LE SEZIONI [m] (*)	N° INDICATIVO SEZIONI DA RILEVARE (**)	PRIORITA'
	Mulazzo A: fino a circa 150 m a monte dell' intersezione tra il Fosso della Madonna e la viabilità che attraversa l'abitato di Mulazzo					
Fosso della madonna (tratto di valle)	Da: circa 70 m a valle dell' intersezione tra il Fosso della Madonna e la viabilità che collega l'attraversamento del torrente Mangiola con l'abitato di Mulazzo A: circa 60 m a monte dell' intersezione tra il Fosso della Madonna e la viabilità che collega l'attraversamento del torrente Mangiola con l'abitato di Mulazzo	sezione	130	30	6	ALTA

BACINO: MANGIOLA						
CANALE	DESCRIZIONE TRATTO	TIPO DI RILIEVO	LUNGHEZZA TRATTO [m]	DISTANZA TRA LE SEZIONI [m] (*)	N° INDICATIVO SEZIONI DA RILEVARE (**)	PRIORITA'
Fosso della Madonna (confluenza Mangiola)	Da: confluenza con il fiume Mangiola A: circa 70 m a valle dell' intersezione tra il Fosso della Madonna e la viabilità che collega l'attraversamento del torrente Mangiola con l'abitato di Mulazzo	thalweg	250	-	1 "TIPO"	MEDIA
Affluente Fosso della Madonna (Canale di San Rocco)	Da: confluenza con il fosso della Madonna c/o area di parcheggio interna all'abitato di Mulazzo A: circa 30 m a monte dell' intersezione tra l'affluente stesso e la viabilità che attraversa l'abitato di Mulazzo	thalweg	250	-	1 "TIPO"	MEDIA

BACINO: MANGIOLA

CANALE	DESCRIZIONE TRATTO	TIPO DI RILIEVO	LUNGHEZZA TRATTO [m]	DISTANZA TRA LE SEZIONI [m] (*)	N° INDICATIVO SEZIONI DA RILEVARE (**)	PRIORITA'
Fosso del Frantoio	<p>Da: circa 20 m a valle della piazza col monumento nell'abitato di Mulazzo</p> <p>A: circa 100 m a monte dell'intersezione tra il canale stesso e la viabilità prospiciente la piazza.</p>	thalweg	170	-	1 "TIPO"	ALTA
<p>* Distanza di rilievo ritenuta sufficiente in assenza di significative variazioni di geometria dell'alveo.</p> <p>** Numero di sezioni stimato considerando anche la necessità di rilievo di sezioni aggiuntive in relazione a significative variazioni di geometria dell'alveo.</p>						

Tabella 7 - Rilievi topografici richiesti nel bacino del Torrente Osca.

BACINO: OSCA						
CANALE	DESCRIZIONE TRATTO	TIPO DI RILIEVO	LUNGHEZZA TRATTO [m]	DISTANZA TRA LE SEZIONI [m] (*)	N° INDICATIVO SEZIONI DA RILEVARE (**)	PRIORITA'
Canale di Borra Grande (Madonna del canale)	Da: circa 150 m a valle della chiesa di Madonna del Canale A: circa 250 m a monte della chiesa di Madonna del Canale	thalweg	400	-	1 "TIPO"	ALTA
Torrente Osca (località Montale)	Da: circa 300 m a valle del ponte sulla viabilità di collegamento tra Montale e Camporella A: circa 300 m a monte del ponte sulla vecchia viabilità di collegamento tra Montale e Camporella	sezione	1000	80	14	ALTA
Torrente Osca (località Tresana)	Da: ponte autostradale A: circa 400 m a monte dell'abitato di Tresana	sezione	3600	130	34	ALTA

BACINO: OSCA

CANALE	DESCRIZIONE TRATTO	TIPO DI RILIEVO	LUNGHEZZA TRATTO [m]	DISTANZA TRA LE SEZIONI [m] (*)	N° INDICATIVO SEZIONI DA RILEVARE (**)	PRIORITA'
---------------	-------------------------------	----------------------------	---------------------------------	--	---	------------------

* Distanza di rilievo ritenuta sufficiente in assenza di significative variazioni di geometria dell'alveo.

** Numero di sezioni stimato considerando anche la necessità di rilievo di sezioni aggiuntive in relazione a significative variazioni di geometria dell'alveo.

1.6.3 Le nuove sezioni fluviali

Le nuove sezioni fluviali, insieme con le indicazioni relative al completamento del quadro conoscitivo, sono indicate nelle diverse tavole di inquadramento relative ai 3 bacini in esame; in particolare, di seguito si riportano le tavole qui di seguito elencate.

Bacino del torrente Teglia:

Tavola TGL 1 - Planimetria del bacino del torrente Teglia

Tavola TGL 1.1 - Planimetria del torrente Teglia

Tavola TGL 1.2 - Planimetria del Canale del Bosco

Bacino del Torrente Mangiola:

Tavola MNG 1 – Quadro di unione delle planimetrie del quadro conoscitivo.

Tavola MNG 1.1 – Quadro conoscitivo. Planimetria

Tavola MNG 1.2 – Quadro conoscitivo. Planimetria

Tavola MNG 1.3 – Quadro conoscitivo. Planimetria

Tavola MNG 1.4 – Quadro conoscitivo. Planimetria

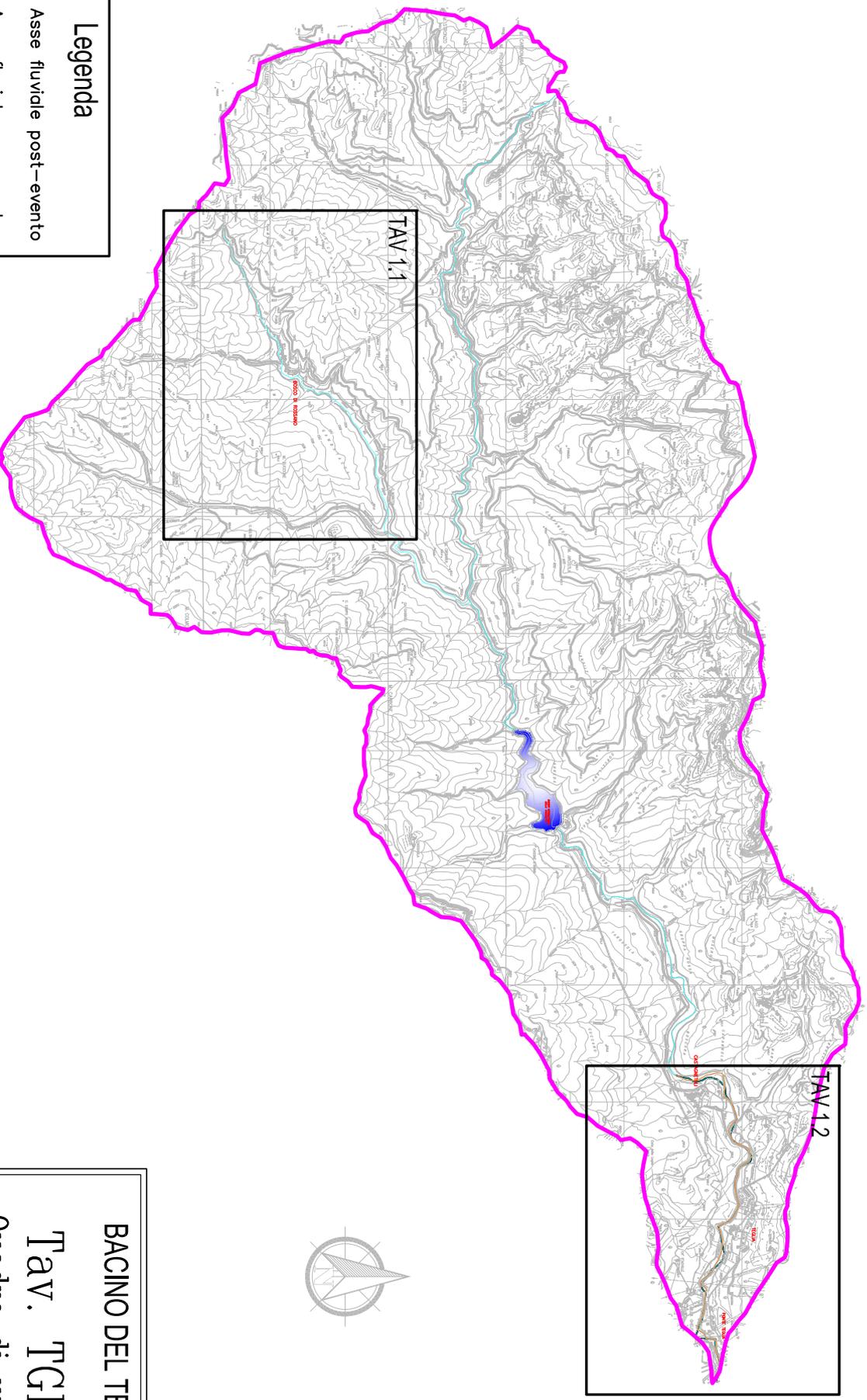
Bacino del Torrente Osca:

Tavola OSC 1 – Quadro di unione delle planimetrie del quadro conoscitivo

Tavola OSC 1.1 - Planimetria generale tratto 1

Tavola OSC 1.2 - Planimetria generale tratto 2

Tavola OSC 1.3 - Planimetria generale tratto 3



Legenda

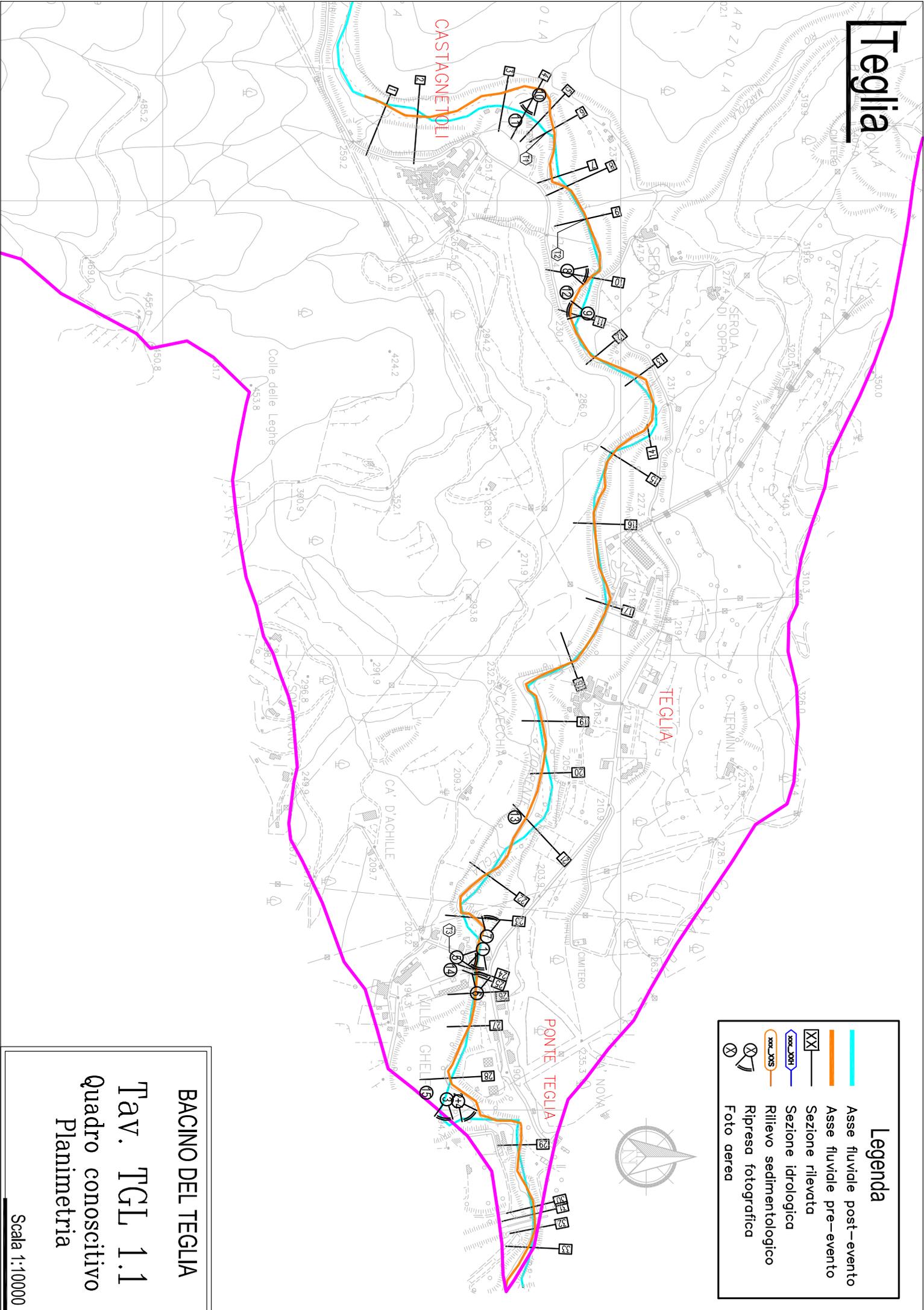
- Asse fluviale post-evento
- Asse fluviale pre-evento
- Pluviometro

BACINO DEL TEGLIA
Tav. TGL 1
Quadro di unione
Scala 1:50000

Teglia

Legenda

- Asse fluviale post-evento
- Asse fluviale pre-evento
- Sezione rilevata
- Sezione idrologica
- Rilievo sedimentologico
- Ripresa fotografica
- Foto aerea

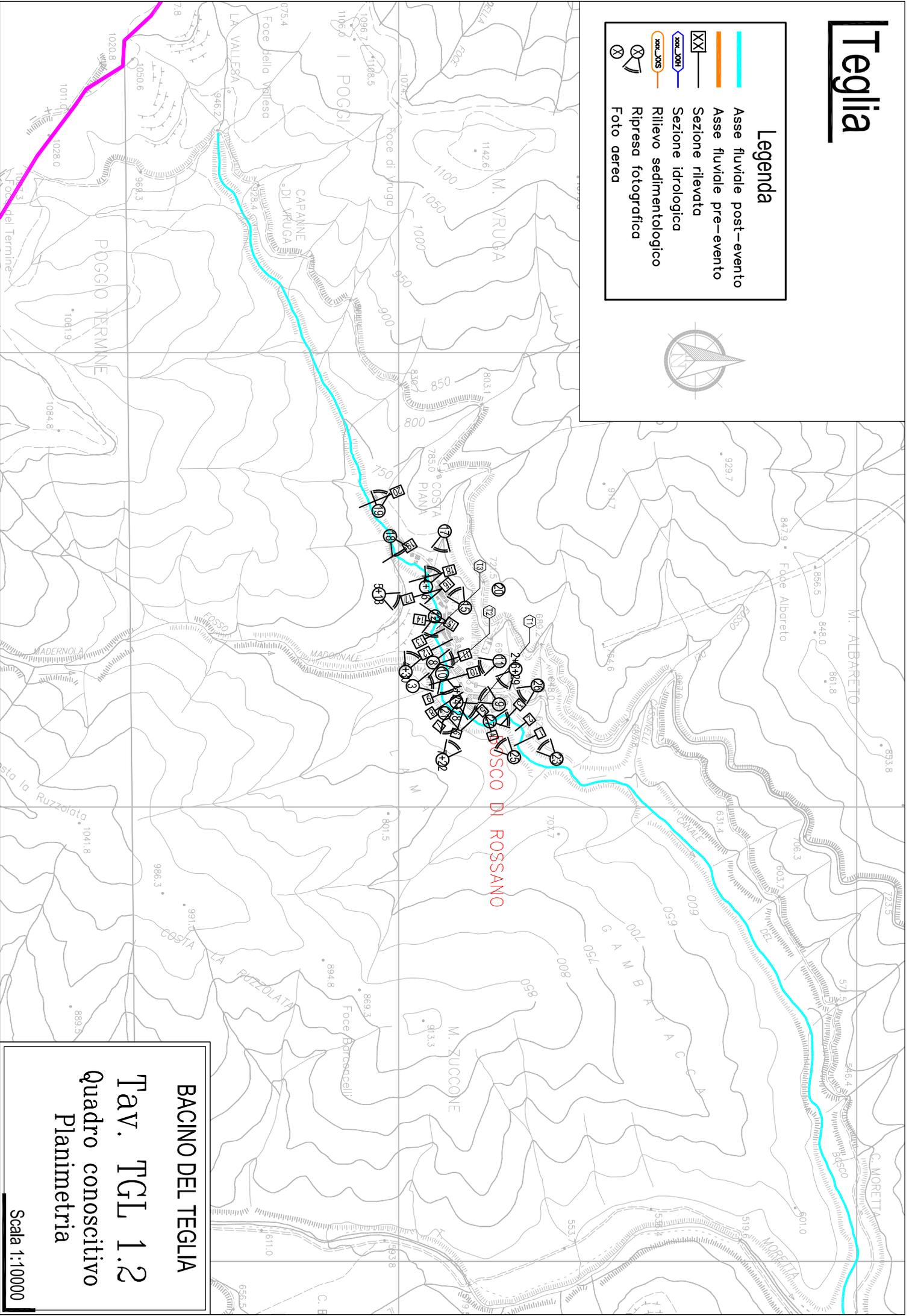
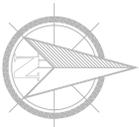


BACINO DEL TEGLIA
Tav. TGL 1.1
Quadro conoscitivo
Planimetria
Scala 1:10000

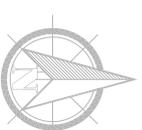
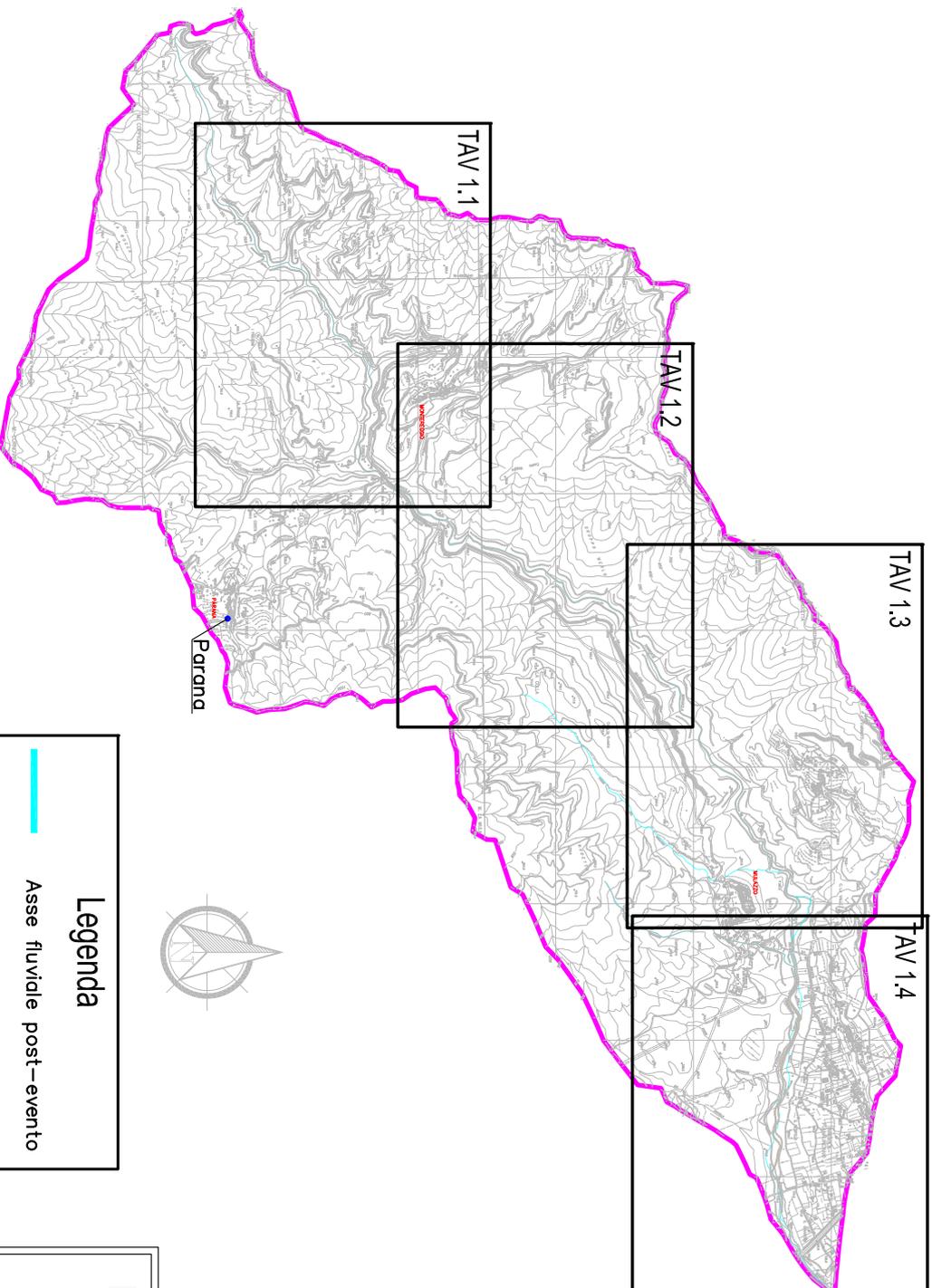
Teglia

Legenda

- Asse fluviale post-evento
- Asse fluviale pre-evento
- Sezione rilevata
- Sezione idrologica
- Rilievo sedimentologico
- Ripresa fotografica
- Foto aerea



BACINO DEL TEGLIA
Tav. TGL 1.2
Quadro conoscitivo
Planimetria
Scala 1:10000



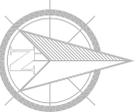
BACINO DEL MANGIOLA
Tav. MNG 1
Quadro di unione

Scala 1:50000

Mangiola

Legenda

-  Asse fluviale post-evento
-  Asse fluviale pre-evento
-  Sezione rilevata
-  Sezione idrologica
-  Rilievo sedimentologico
-  Ripresa fotografica
-  Foto aerea



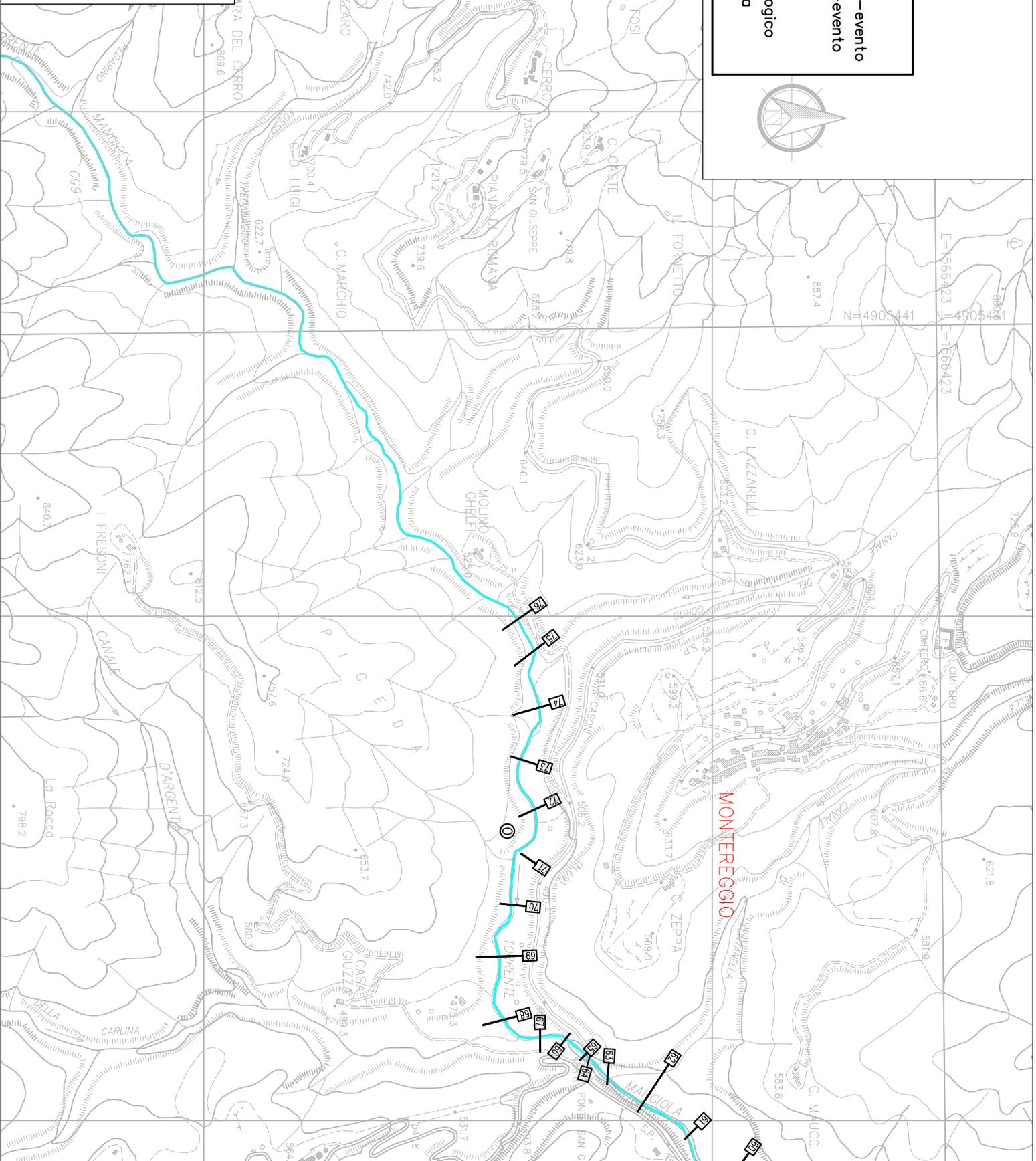
BACINO DEL MANGIOLA

Tav. MNG 1.1

Quadro conoscitivo

Planimetria

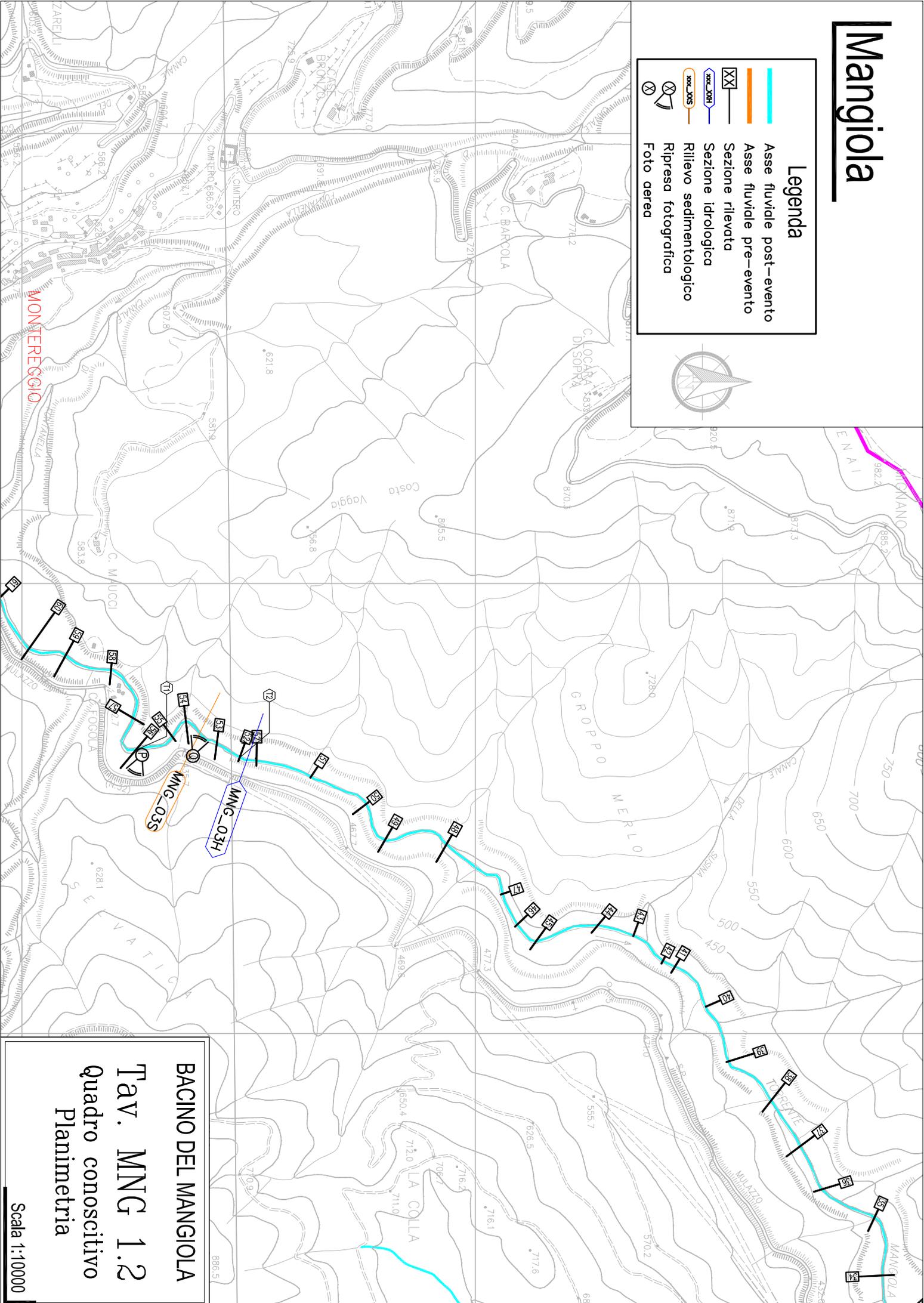
Scala 1:10000



Mangiola

Legenda

- Asse fluviale post-evento
- Asse fluviale pre-evento
- Sezione rilevata
- Sezione idrologica
- Rilievo sedimentologico
- Ripresa fotografica
- Foto aerea



BACINO DEL MANGIOLA

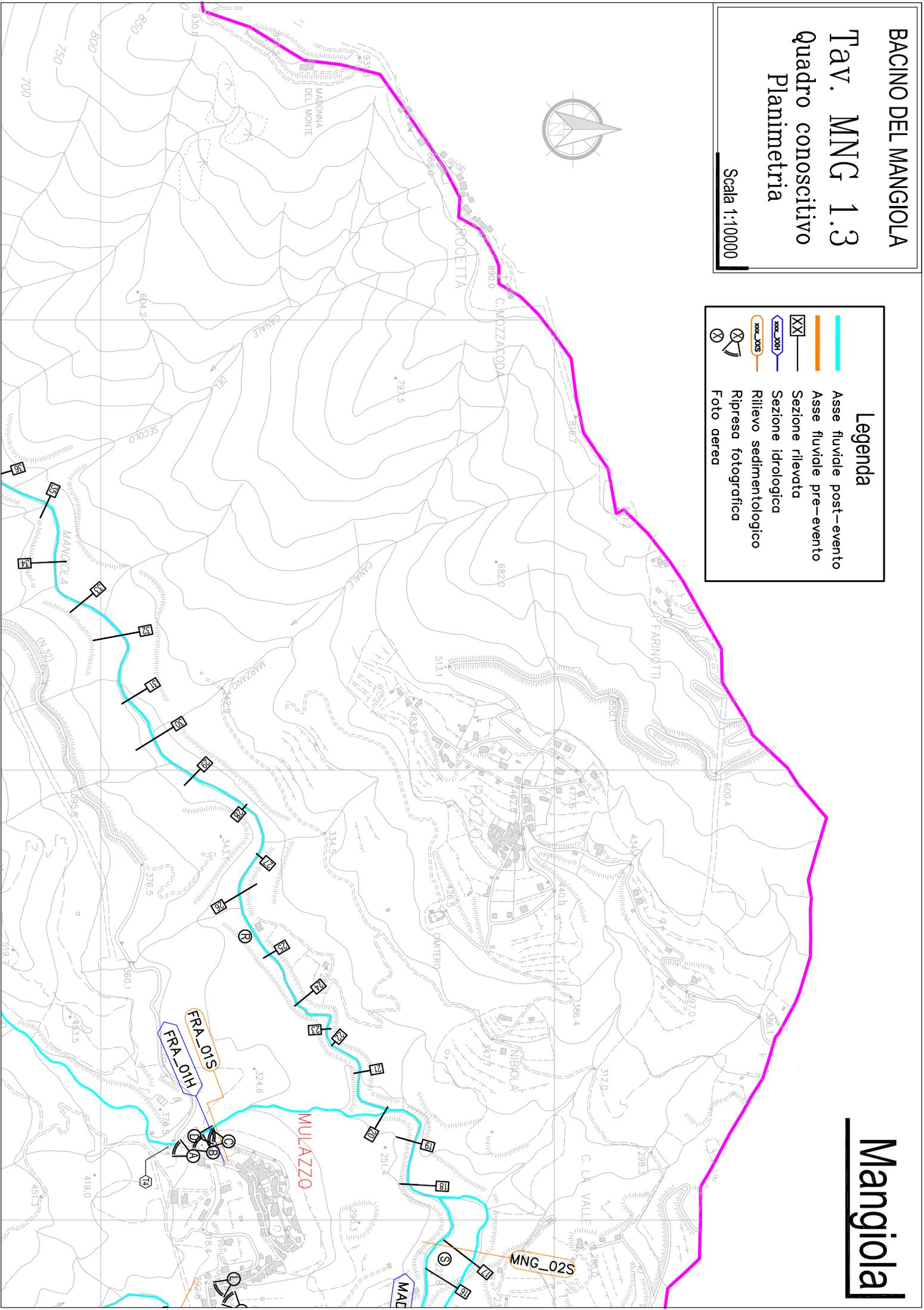
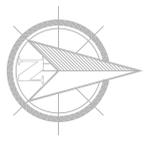
Tav. MNG 1.2

Quadro conoscitivo
Planimetria

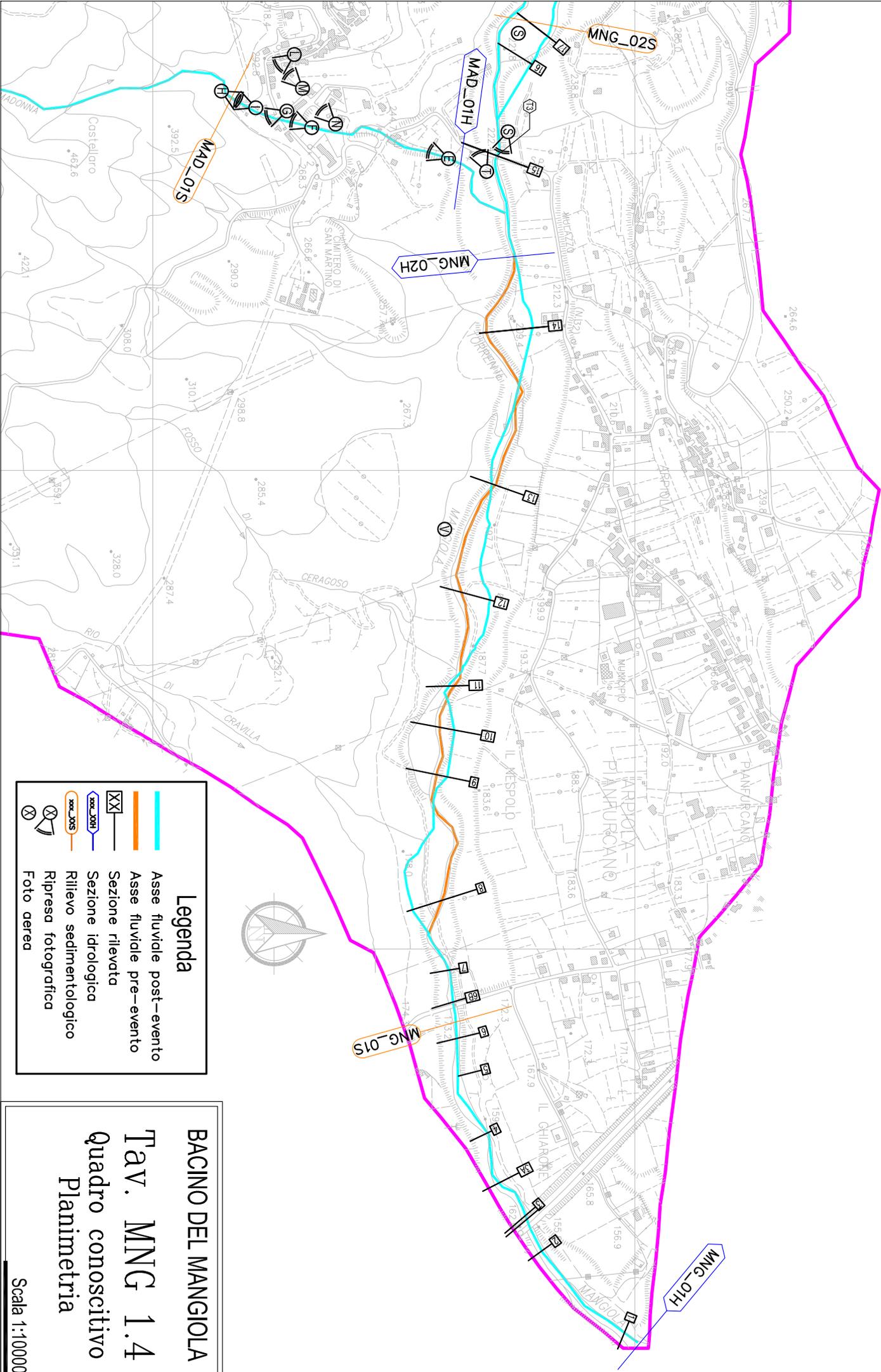
Scala 1:10000

Legenda

- Asse fluviiale post-evento
- Asse fluviiale pre-evento
- Sezione rilevata
- Sezione idrologica
- Rilievo sedimentologico
- Ripresa fotografica
- Foto aerea



Mangiola



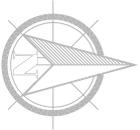
Legenda

- Asse fluviale post-evento
- Asse fluviale pre-evento
- Sezione rilevata
- Sezione idrologica
- Rilievo sedimentologico
- Ripresa fotografica
- Foto aerea

BACINO DEL MANGIOLA

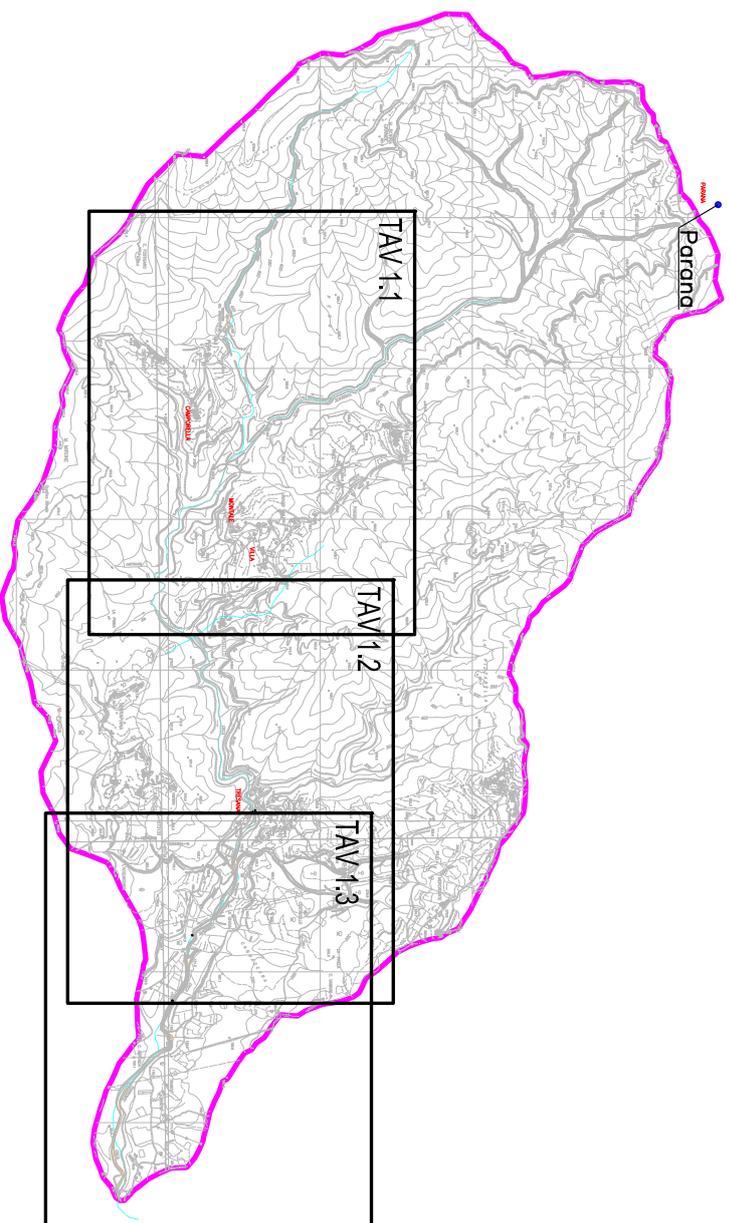
Tav. MNG 1.4
Quadro conoscitivo
Planimetria

Scala 1:10000



Legenda

-  Asse fluviale post-evento
-  Asse fluviale pre-evento
-  Pluviometro

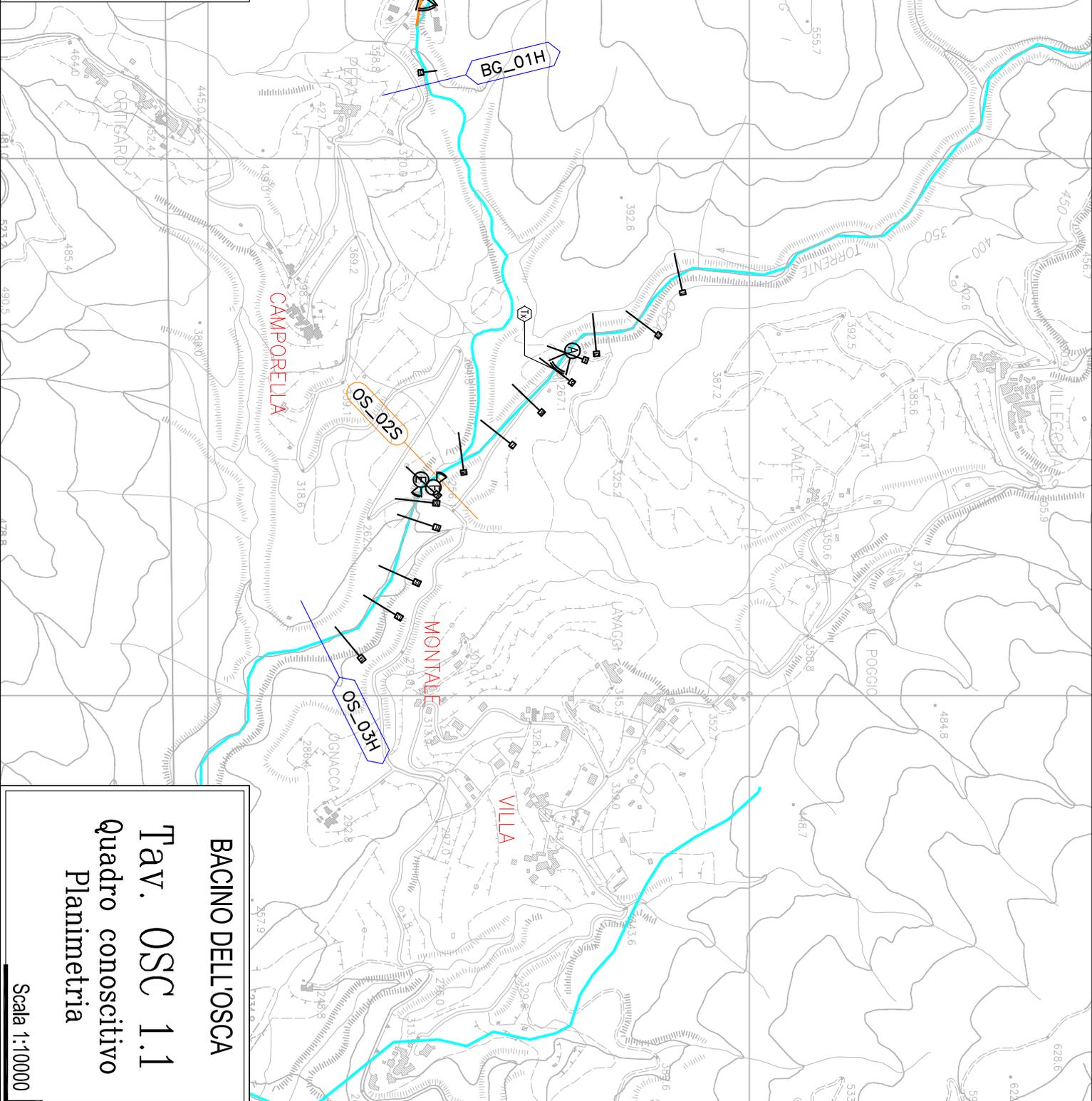


BACINO DELL'OSCA
Tav. OSC 1
Quadro di unione

Scala 1:50000

Legenda

-  Asse fluviale post-evento
-  Asse fluviale pre-evento
-  Sezione rilevata
-  Sezione idrologica
-  Rilievo sedimentologico
-  Ripresa fotografica
-  Foto aerea



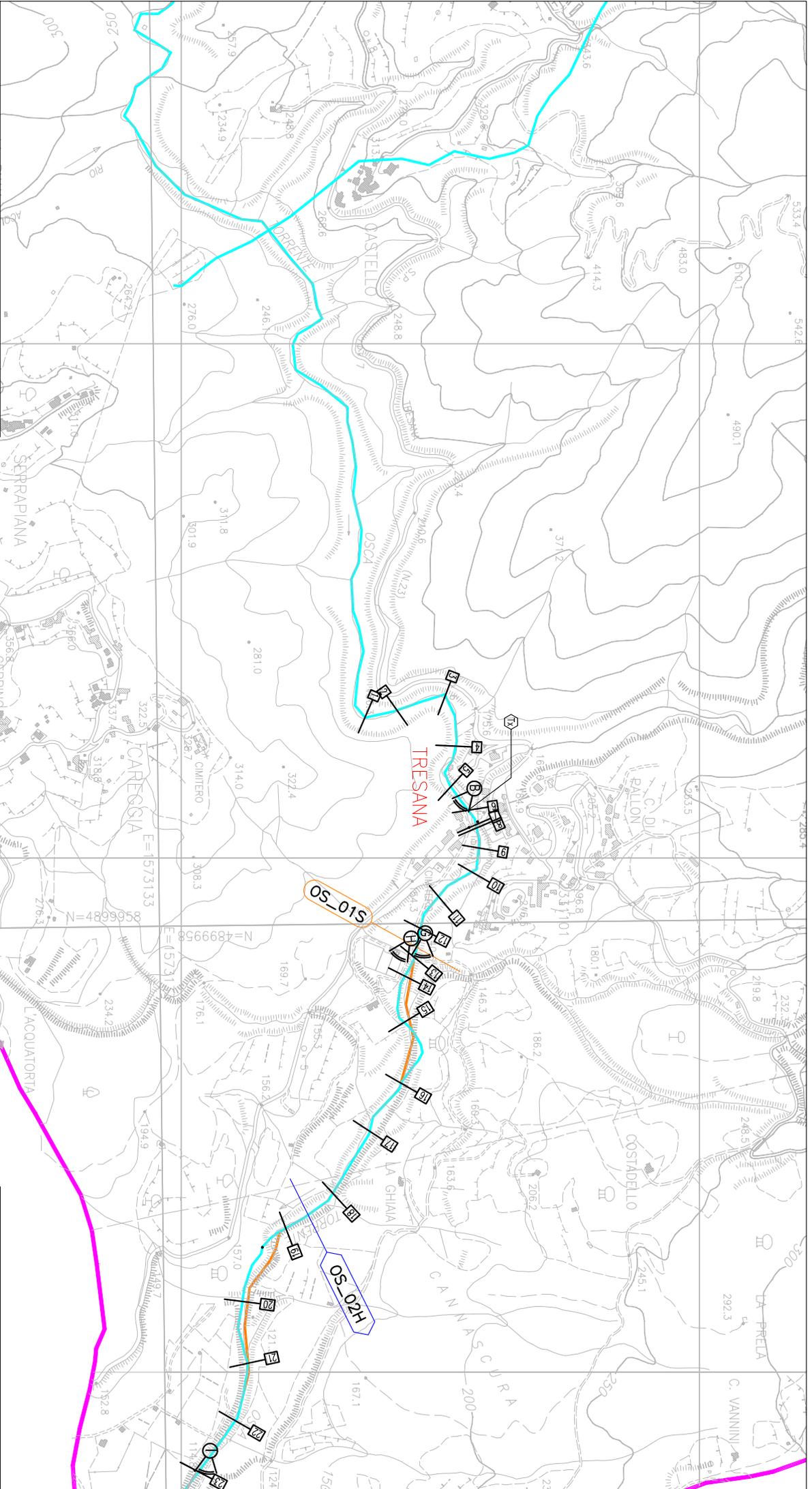
BACINO DELL'OSCA

Tav. OSC 1.1

Quadro conoscitivo

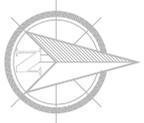
Planimetria

Scala 1:10000



Legenda

- Asse fluviale post-evento
- Asse fluviale pre-evento
- Sezione rilevata
- Sezione idrologica
- Rilievo sedimentologico
- Ripresa fotografica
- Foto aerea



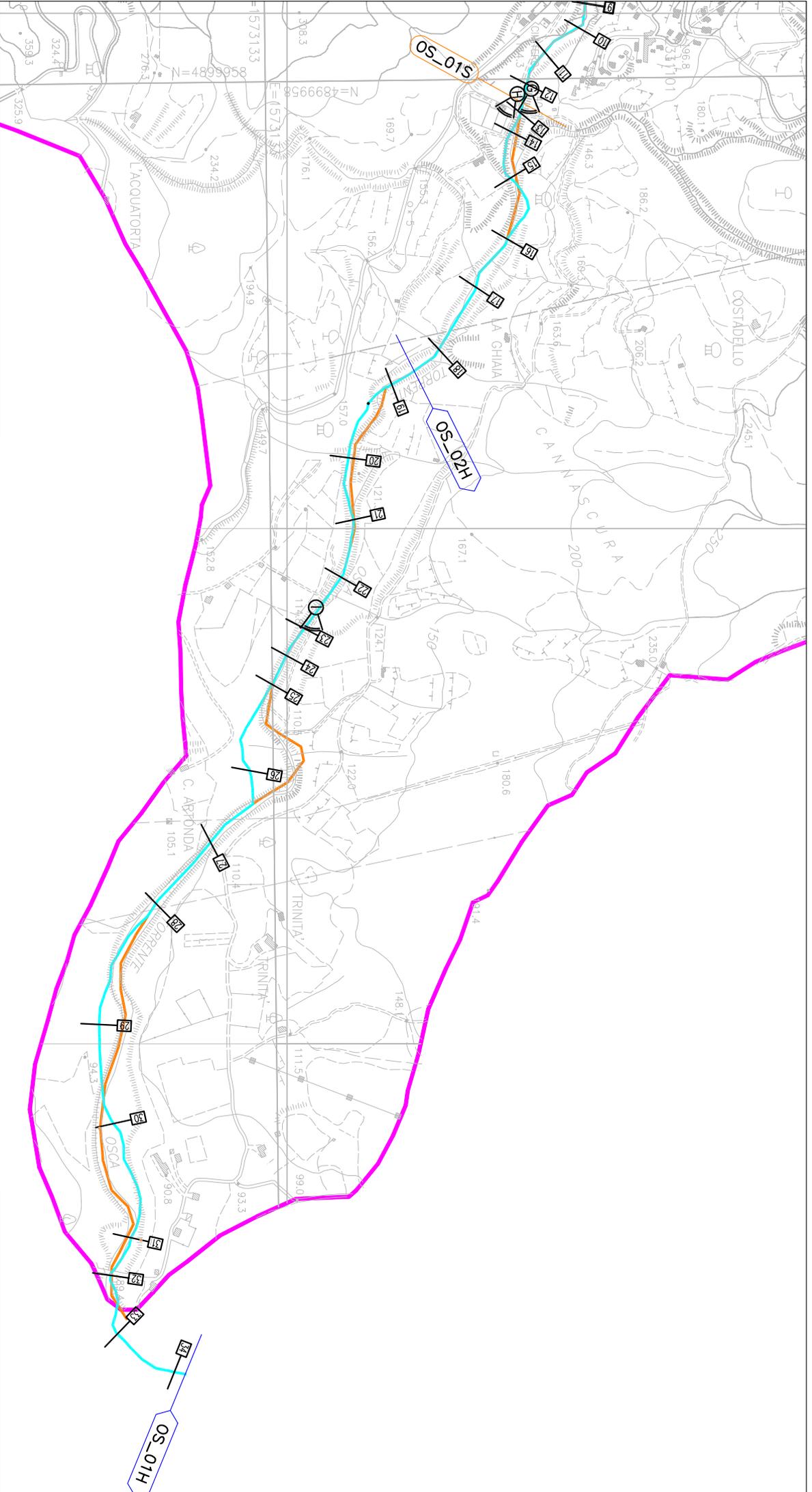
BACINO DELL'OSCA

Tav. OSC 1.2

Quadro conoscitivo

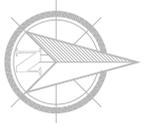
Planimetria

Scala 1:10000



Legenda

- Asse fluviale post-evento
- Asse fluviale pre-evento
- Sezione rilevata
- Sezione idrologica
- Rilievo sedimentologico
- Ripresa fotografica
- Foto aerea



BACINO DELL'OSCA
Tav. OSC 1.3
 Quadro conoscitivo
 Planimetria
 Scala 1:10000

1.6.4 I rilievi delle tracce di piena

Considerata la totale assenza di misure e dati idrometrici, il rilievo delle tracce di piena costituisce un utile riferimento per rendere maggiormente affidabile la stima delle portate al colmo e la validità della modellistica adottata. A tal fine, durante le attività di ricognizione sono stati individuati e documentati i siti ove le tracce dei livelli idrici di piena apparivano sufficientemente riconoscibili. Ciò è stato abbastanza agevole in corrispondenza di edifici e manufatti (v. foto di Figura 5a), mentre è risultato molto più incerto in presenza della sola vegetazione (v. foto di Figura 5b).



Figura 5 - Individuazione delle tracce di piena

1.6.5 I rilievi sedimentologici

Al fine di caratterizzare il materiale sedimentologico costituente gli alvei, sono stati effettuati tredici campionamenti sedimentologici, la cui ubicazione è riportata nelle Tavole esposte nel paragrafo 1.6.3. I rilievi sono stati effettuati con il metodo di campionamento statistico *pebble counts*.

L'acquisizione di informazioni relative alle dimensioni caratteristiche dei sedimenti fluviali è di fondamentale importanza ai fini del presente studio, sia per la determinazione delle scabrezze in alveo, sia per la progettazione di eventuali interventi per la regimazione fluviale e per la riduzione del rischio da dinamica d'alveo.

Nella Tabella 8 sono elencati i rilievi sedimentologici effettuati nei tre bacini oggetto del presente studio.

Tabella 8 - Rilievi sedimentologici

Codice campione	Bacino	Asta Fluviale	Note
TGL_01S	Teglia	Teglia	Il rilievo è stato effettuato in località Ponte Teglia, dove sono stati campionati in parte i sedimenti superficiali di un deposito ghiaioso in sinistra idraulica, a monte della piccola briglia in prossimità del ponte, e in parte i sedimenti di un deposito ghiaioso in destra idraulica.
TGL_02S	Teglia	Teglia	Il rilievo è stato effettuato su una barra ghiaiosa a monte del ponte crollato, in località Castagnetoli.
BSC_01S	Teglia	Canale del Bosco	Il rilievo è stato effettuato sul Canale del Bosco, a valle della confluenza con il Madornale e il Monte Lama, in prossimità dell'abitato di Bosco di Rossano.
BSC_02S	Teglia	Canale del Bosco	Il rilievo è stato effettuato in parte sul Canale del Bosco e in parte sull'affluente in sinistra idraulica del Canale del Bosco, in prossimità della prima casa del paese, a monte dell'abitato di Bosco di Rossano.
MNG_01S	Mangiola	Mangiola	Il rilievo è stato effettuato sul Torrente Mangiola, in località Arpiola, a valle del ponte stradale. È stato campionato un deposito di sedimenti ghiaiosi.

(segue Tabella 8)

Tabella 8 - Rilievi sedimentologici (segue)

MNG_02S	Mangiola	Mangiola	Il rilievo è stato effettuato sul Torrente Mangiola, in località Mulazzo, a monte del ponte crollato, e a monte del guado che è stato recentemente costruito. Sono stati campionati sedimenti principalmente ghiaiosi di depositi emersi.
MNG_03S	Mangiola	Mangiola	Il rilievo è stato effettuato nel tratto di monte del Mangiola, in località Montereccio, in prossimità del tratto in cui è franata la strada in curva in destra idraulica, sia sui depositi a monte che sui depositi a valle dell'opera di presa ENEL\EDISON.
MAD_01S	Mangiola	Fosso della Madonna	Il rilievo è stato effettuato sul Fosso della Madonna, in località Mulazzo, nel tratto a monte del paese e a monte della zona in cui è stata costruita una protezione di sponda in massi.
FRA_01S	Mangiola	Fosso del Frantoio	Il rilievo è stato effettuato sul Fosso del Frantoio, in località Mulazzo: una parte del campionamento è stata effettuata monte del vecchio ponte ad arco, ora sostituito da un guado, e in parte nel tratto a valle, immediatamente sotto la piazza che costituiva un parcheggio.
GRG_01S	Mangiola	Canale del Gorgo	Il rilievo è stato effettuato sul Canale del Gorgo, sul deposito di materiali grossolani formatosi a ridosso della strada.
OS_01S	Osca	Osca	Il rilievo è stato effettuato sul Torrente Osca, in località Tresana, in prossimità di un impianto di allevamento di trote, danneggiato pesantemente dall'alluvione. Sono stati campionati i sedimenti di una barra ghiaiosa immediatamente a monte dell'impianto di allevamento.
OS_02S	Osca	Osca	Il rilievo è stato effettuato sul Torrente Osca, in località Montale, in prossimità della confluenza con il Canale della Madonna o Canale di Bora Grande. Sono stati campionati i sedimenti ghiaiosi alla confluenza, in parte dell'Osca e in parte del Canale della Madonna.
BG_01S	Osca	Canale di Borra Grande	Il rilievo è stato effettuato sul Canale di Borra Grande, in località Madonna del Canale, nella zona subito a monte della Chiesa, in prossimità del tratto che presenta una erosione di versante in sinistra idraulica.

Una sintesi delle caratteristiche granulometriche desunte dai rilievi effettuati è riportata nella Tabella 9.

Tabella 9 - Principali caratteristiche granulometriche dei campioni prelevati

Codice Campione	Tratto	D16 [mm]	D50 [mm]	D84 [mm]	% ghiaia	% sabbia	Dev. Standard [ϕ]
TGL_01S	F.Teglia	1.5	68.9	223.0	83.1	16.9	3.33
TGL_02S	F.Teglia	11.3	46.5	100.9	95.7	4.3	1.92
BSC_01S	Canale del Bosco	15.6	112.8	478.1	98.6	1.4	2.26
BSC_02S	Canale del Bosco	18.5	85.4	514.4	95.8	4.2	2.36
MNG_01S	F.Mangiola	8.5	40.9	97.3	87.8	12.2	2.58
MNG_02S	F.Mangiola	9.7	95.2	269.0	88.9	11.1	2.91
MAD_01S	Fosso della Madonna	12.2	117.4	514.2	96.0	4.0	2.63
FRA_01S	Fosso del Frantoio	20.0	66.5	330.8	97.7	2.3	2.08
MNG_03S	F.Mangiola	21.3	68.2	212.9	94.3	5.7	2.37
GRG_01S	Fosso del Gorgo	10.1	77.2	395.5	94.7	5.3	2.61
OS_01S	F.Osca	0.3	44.0	189.6	78.7	21.3	3.56
OS_02S	F.Osca	11.7	64.7	308.2	96.4	3.6	2.37
BG_01S	Canale di Borra Grande	12.1	84.1	563.2	91.3	8.8	3.22

L'ubicazione dei punti individuati per lo svolgimento dei rilievi sedimentologici è stata effettuata in funzione della necessità di stimare i coefficienti di scabrezza dei tratti oggetti di studio idraulico e la dimensione del materiale trasportato, per un adeguato dimensionamento degli interventi proposti.

Per quanto riguarda l'unità fisiografica da campionare, nel caso di tratti vallivi con granulometria ghiaiosa e presenza di barre emerse le zone d'alveo oggetto del rilievo saranno principalmente i depositi emersi, nel caso di tratti montani con elevata presenza di massi e materiale grossolano la zona oggetto del rilievo sarà principalmente l'alveo inciso e gli eventuali depositi ivi presenti.

Per quanto riguarda il metodo di campionamento, verranno effettuati rilievi con metodo di **campionamento superficiale**, mediante il quale si campiona un numero prefissato di particelle sulla superficie di un'area predefinita: le particelle sono raccolte secondo un passo spaziale costante (definito tenendo conto delle dimensioni dei clasti maggiori), lungo determinati stendimenti paralleli (detti anche "transetti"), in modo da ricoprire superficie abbastanza ampie. Tale metodo di campionamento statistico è anche detto "pebble counts" (Wolman, 1954 [5]).

In generale, per ogni singolo campionamento si procederà nel modo seguente:

- Ricognizione preliminare del tratto da campionare, con individuazione dell'area oggetto di rilievo;
- Definizione degli stendimenti e posizionamento delle rotelle metriche;
- Definizione della spaziatura da utilizzare (0.5 m in generale, 1 m per gli alvei con materiale molto grossolano), in modo tale da prelevare un numero minimo totale di 100 granuli;

Il prelievo dei clasti sarà effettuato identificando visivamente il granulo che cade all'intersezione del passo predefinito sulla rotella metrica. Per la misura delle dimensioni dei singoli granuli si è utilizzata una piastra di alluminio 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 2.5 si è utilizzato un comparatore visivo (Billi, 1992 [6]). Con queste procedure verrà definita per ogni singolo ciottolo la classe granulometrica corrispondente al "trattenuto" (cioè il diametro massimo che trattiene il granulo) e tale dato verrà annotato su una apposita scheda di rilievo granulometrico.

2. APPROCCIO METODOLOGICO

L'approccio metodologico si è articolato nelle seguenti attività fondamentali:

- individuazione, raccolta, analisi e archiviazione dei dati, dei documenti e delle informazioni utili alla formazione di un quadro conoscitivo sufficientemente completo;
- individuazione degli strumenti di analisi idonei a analizzare i dati raccolti e a simulare i diversi fenomeni che si sono manifestati durante l'evento;
- ricostruzione della dinamica dell'evento;
- definizione degli interventi .

Le attività connesse alla costruzione del quadro conoscitivo sono già state descritte nel Capitolo 1.

Nel presente capitolo vengono descritti i criteri di analisi dei dati e di individuazione dei modelli idonei a descrivere i fenomeni che hanno caratterizzato l'evento.

L'analisi del quadro conoscitivo e le attività di ricognizione sul territorio hanno messo in evidenza la complessità di tali fenomeni , caratterizzati da elevate portate di piena, intensi fenomeni di dinamica d'alveo e forti interazioni tra corrente liquida e vegetazione.

E' pertanto necessario disporre di modelli interpretativi adeguati e di criteri in grado di valutarne l'affidabilità. A tale scopo è stata dapprima effettuata la ricostruzione degli scenari ante-evento, vale a dire delle condizioni idrauliche, morfologiche e sedimentologiche che gli alvei possedevano prima dell'evento. Si è proceduto quindi al calcolo degli idrogrammi di piena nelle varie sezioni di interesse, e infine alla simulazione dell'evento mediante modelli idraulici a fondo mobile e a fondo fisso. Il confronto tra i risultati delle simulazioni idrauliche e le tracce di piena rilevate ha permesso di calibrare i parametri dei modelli e valutarne l'affidabilità.

Lo scenario ante-evento è stato costruito per il solo corso d'acqua Bosco di Rossano in quanto l'assetto di tale alveo dopo l'evento è risultato profondamente mutato rispetto alla situazione ante-evento.

Nei paragrafi successivi si descrivono i criteri generale adottati per la stima degli idrogrammi di piena, per le simulazioni idrauliche e per la valutazione del trasporto solido. Si rimanda alla PARTE SECONDA (Teglia), PARTE TERZA (Mangiola) e PARTE QUARTA (Osca) per le descrizioni di dettaglio specifiche per ciascun bacino idrografico e i relativi interventi.

2.1 La valutazione delle portate di piena

E' stato già richiamato il fatto che non esistono dati idrometrici per i bacini considerati. La valutazione delle portate di piena dovrà pertanto essere ricavata dai dati disponibili cercando di utilizzare approcci diversi per avere elementi di confronto e poter fare valutazioni di attendibilità.

I dati disponibili sono rappresentati dai dati pluviometrici, dalle registrazioni disponibili presso la diga di Rocchetta, dalle altezze d'acqua desumibili dalle tracce di piena, dai risultati forniti dalla modellistica idrologica e idraulica.

Sono stati dapprima acquisiti i risultati ottenuti con le simulazioni idrologiche effettuate dal Centro Funzionale della Regione Toscana mediante il modello Mobidic - SISTEMA MODELLISTICO DISTRIBUITO PER I BILANCI IDRICI, IL MONITORAGGIO DEL SUOLO E LE PREVISIONI DI PIENA, il quale è in grado di fornire l'idrogramma di piena in una data sezione del reticolo idrografico tenendo conto delle effettive piogge cadute sul bacino. Tale modello ha fornito nelle sezioni di interesse elencate nella Tabella 10, gli idrogrammi di piena riportati nella Figura 6. Questi dovrebbero rappresentare la ricostruzione idrologica delle portate per l'evento del 25/10/2011.

Tabella 10 - Sezioni di interesse per il calcolo delle portate di piena

BACINO	CORSO D'ACQUA	BACINO SOTTESO [km ²]	LUNGHEZZA TRATTO [m]	Codice sezione
Teglia	Canale del Bosco	2.5	800	BSC_01H
Teglia	Torrente Teglia	38.7	3500	TGL_01H
Mangiola	Canale del Frantoio	1.9	100	FRA-01H
Mangiola	Fosso della Madonna	0.6	600	MAD-01H
Mangiola	Torrente Mangiola	26.4	9400	MNG_01H
Osca	Borra Grande	2.3	200	BG_01H
Osca	Torrente Osca	21.4	7000	OS_01H

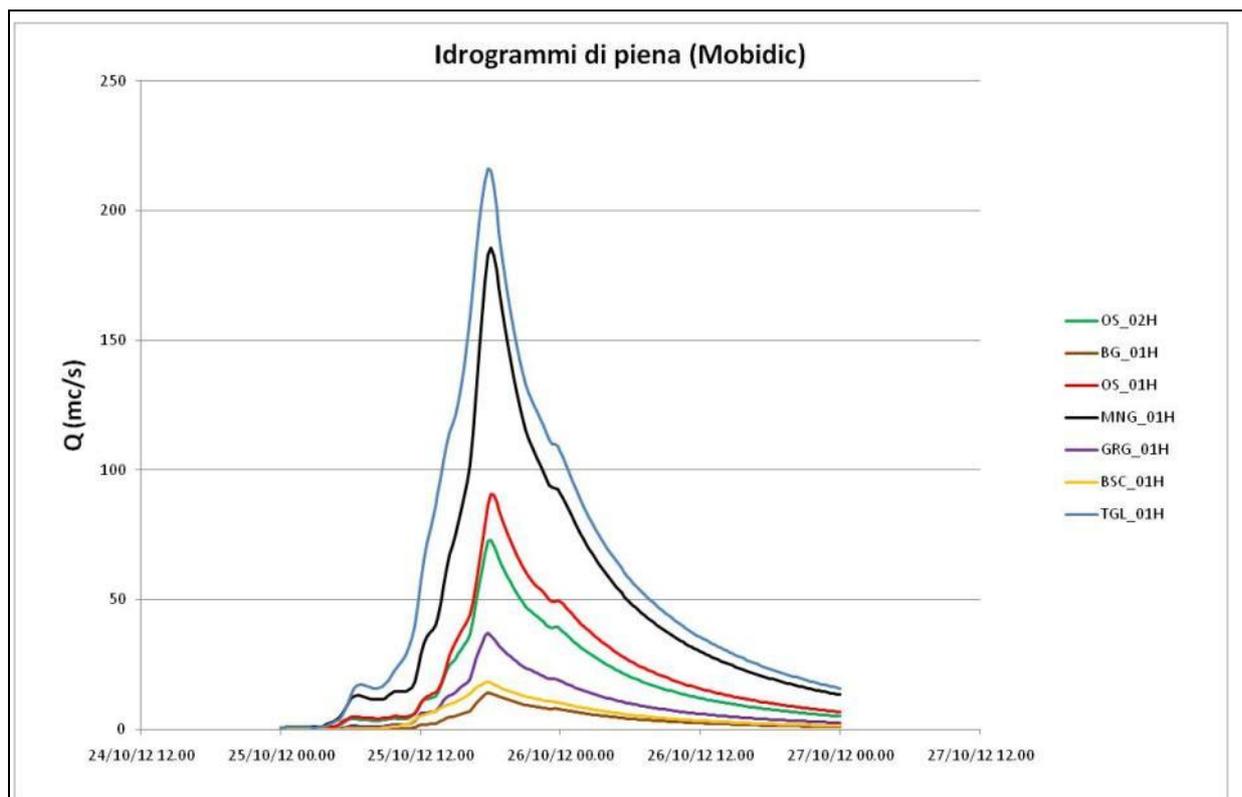


Figura 6 - Evento del 25/10/2011. Idrogrammi di piena per i corsi d'acqua considerati elaborati mediante Mobidic

Tuttavia, a causa della elevata variabilità spatio-temporale delle precipitazioni verificatesi durante tale evento, la densità delle rete tele-pluviometrica disponibile nell'alto bacino del Fiume Magra può non essere stata sufficiente a monitorare adeguatamente la sollecitazione idrologica soprattutto per bacini di modeste dimensioni (area inferiore a 50 km²), come quelli considerati nel presente studio. Si osserva infatti dal Report di Evento del Centro Funzionale [1] che per i bacini del Teglia, Mangiola e Osca considerati nel presente studio, solo la stazione di Parana ricade all'interno di uno di essi (Mangiola).

Le stazioni limitrofe, oltre ad essere esterne ai bacini menzionati, non hanno registrato piogge eccezionali ad eccezione della stazione di Pontremoli.

Per quanto sopra è stato deciso di considerare anche altre stime delle portate di piena in modo da pervenire a valori il più possibile realistici.

A tal fine sono stati considerati le formule fornite dall'Autorità di Bacino del Fiume Magra che esprimono le portate al colmo in funzione del tempo di ritorno e dell'area del bacino [4]. Tali formule, elaborate dapprima dal CIMA - Centro di Ricerca in Monitoraggio Ambientale dell'Università degli Studi di Genova nell'ambito della stima delle portate di piena per la perimetrazione delle aree inondabili, sono state successivamente approfondite e rielaborate nell'ambito degli studi condotti dal PIN - Prato Ingegneria per la stima delle portate di piena di riferimento per la verifica e la progettazione degli interventi di messa in sicurezza. Le formule, riportate nella Tabella 11, sono raggruppate in diverse tipologie in funzione dei criteri di regionalizzazione adottati.

Tabella 11 - Valori delle portate al colmo dedotte da [4].

Tempi di ritorno	Affluenti fiume Magra a valle della confluenza	Alto Vara ed Affluenti	Alto Magra ed affluenti a monte della confluenza
30 anni	$Q = 12 \cdot A^{0.9}$	$Q = 16 \cdot A^{0.85}$ ($A < 15 \text{ km}^2$)	$Q = 15 \cdot A^{0.85}$ ($A < 39 \text{ km}^2$)
		$Q = 24 \cdot A^{0.7}$ ($A > 15 \text{ km}^2$)	$Q = 26 \cdot A^{0.7}$ ($A > 39 \text{ km}^2$)
100 anni	$Q = 16 \cdot A^{0.9}$	$Q = 21 \cdot A^{0.85}$ ($A < 36 \text{ km}^2$)	$Q = 20 \cdot A^{0.85}$ ($A < 50 \text{ km}^2$)
		$Q = 33 \cdot A^{0.7}$ ($A > 36 \text{ km}^2$)	$Q = 36 \cdot A^{0.7}$ ($A > 50 \text{ km}^2$)
200 anni	$Q = 18 \cdot A^{0.9}$	$Q = 25 \cdot A^{0.85}$ ($A < 23 \text{ km}^2$)	$Q = 23 \cdot A^{0.85}$ ($A < 65 \text{ km}^2$)
		$Q = 40 \cdot A^{0.7}$ ($A > 23 \text{ km}^2$)	$Q = 43 \cdot A^{0.7}$ ($A > 65 \text{ km}^2$)
500 anni	$Q = 21 \cdot A^{0.9}$	$Q = 29 \cdot A^{0.85}$ ($A < 43 \text{ km}^2$)	$Q = 28 \cdot A^{0.85}$ ($A < 80 \text{ km}^2$)
		$Q = 51 \cdot A^{0.7}$ ($A > 43 \text{ km}^2$)	$Q = 54 \cdot A^{0.7}$ ($A > 80 \text{ km}^2$)

Un primo confronto è stato effettuato tra i valori forniti da Mobidic e le formule dell'Autorità di Bacino. Nella Figura 7 sono riportati i valori al colmo in funzione delle aree dei bacini, in particolare, a tratto continuo, l'andamento delle relazioni adottate dall'Autorità di Bacino e con cerchi pieni i valori delle portate al colmo stimati dal Centro Funzionale per l'evento del 25/10/2011.

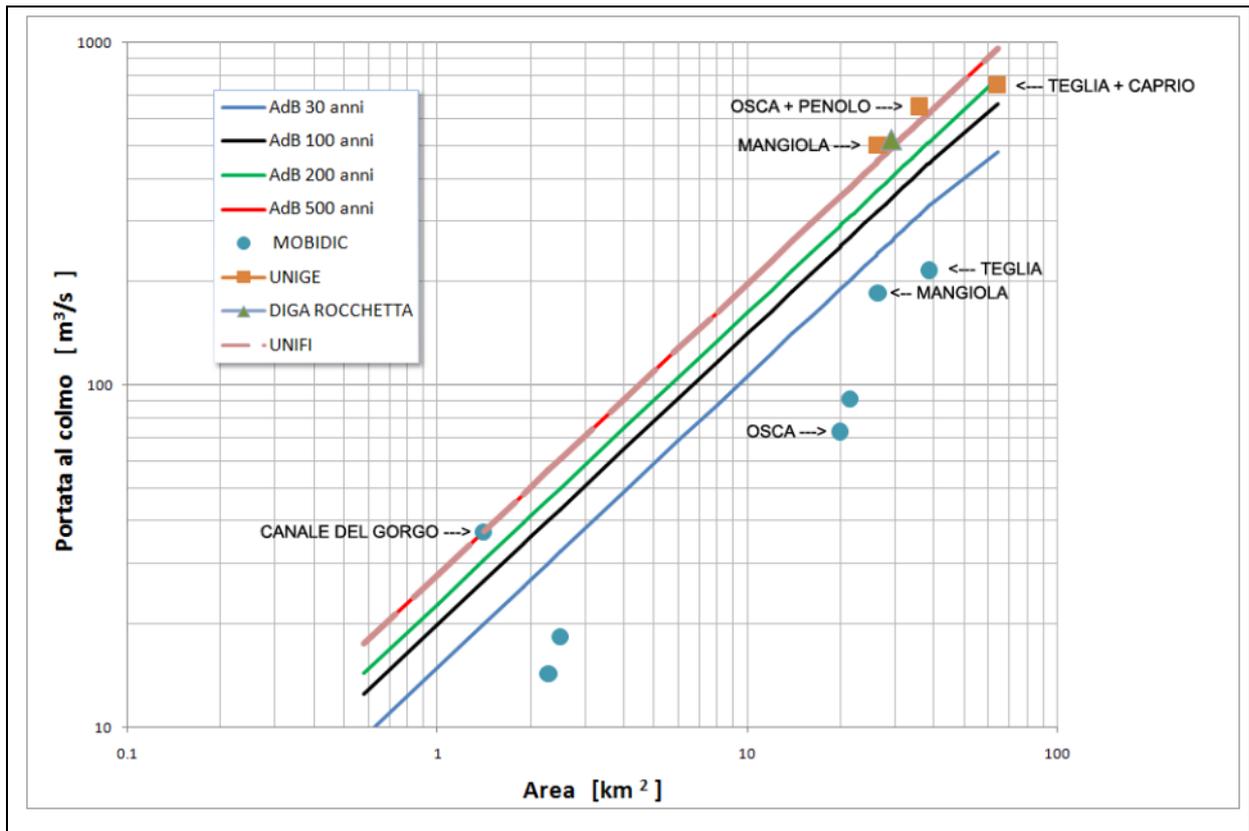


Figura 7 - Portate di piena per i corsi d'acqua minori del bacino del Fiume Magra

Si può osservare che, se si esclude la stima effettuata per il Canale del Frantoio (o del Gorgo, area bacino = 1.41 Km², Q = 37.12 m³/s), tutti i valori delle portate al colmo calcolate con Mobidic, risultano ampiamente inferiori ai valori di portata trentennale ricavati in base alle formule dell'Autorità di Bacino.

Tuttavia, sia l'entità delle precipitazioni registrate e i relativi tempi di ritorno [1], sia gli effetti al suolo che sono stati generati dall'evento, fanno presumere che le portate verificatesi il 25/10/2011 debbano avere valori sensibilmente superiori.

Un altro confronto è stato effettuato utilizzando i dati di portata al colmo elaborati dal Gruppo di Lavoro dell'Università di Genova, di seguito indicato come UNIGE. Tali valori, ricavati attraverso modellazione idraulica del corso principale del Fiume Magra tarata mediante le tracce di piena, sono riportati sia nella Tabella 12 che in Figura 7.

Infine, sono stati acquisiti gli idrogrammi di piena in ingresso e in uscita relativi alla Diga della Rocchetta, costruita sul Torrente Teglia nel 1937. Lo sbarramento, realizzato per fini idroelettrici, ha un invaso di circa 5 Mm³ e sottende un bacino imbrifero di circa 29 km². Con riferimento alla Figura 8 si osserva che il colmo di piena in ingresso alla diga ha raggiunto il valore di 523 m³/s mentre quello in uscita di 432 m³/s.

Tabella 12 - Valori di portata al colmo elaborati da UNIGE per alcuni bacini.

Bacino	Area [km ²]	Q colmo [m ³ /s]	Tr [anni]
Teglia + Caprio	64.0	750	100
Mangiola	26.4	500	500
Oscia +Penolo	36.0	650	200

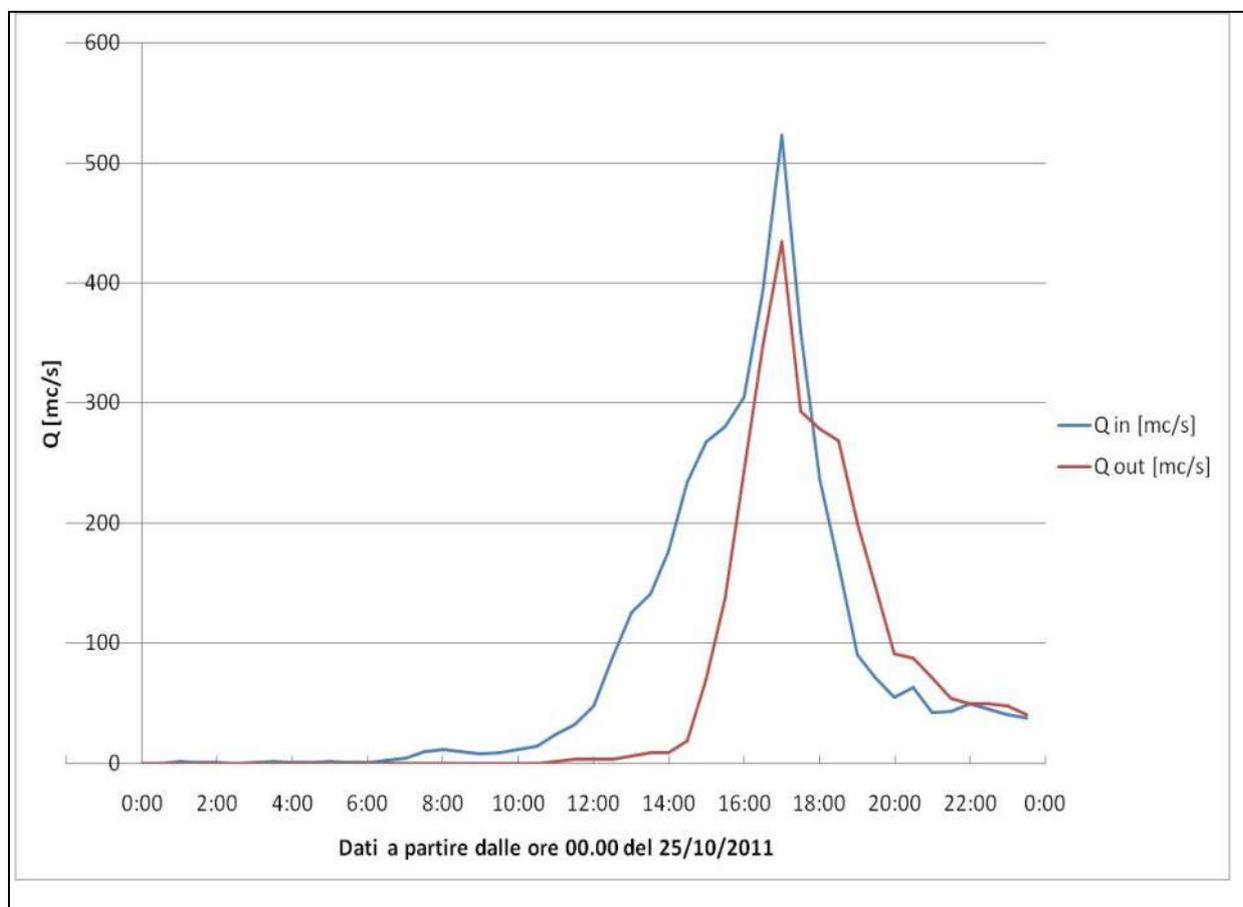


Figura 8 - Diga di Rocchetta. Idrogrammi in ingresso e in uscita per l'evento del 25/10/2011

In Figura 9 si riporta il confronto tra l'idrogramma fornito dal Centro Funzionale per il Torrente Teglia (Mobidic) alla confluenza con il Fiume Magra (Bacino sotteso = 38.7 km²) e l'idrogramma in ingresso alla Diga della Rocchetta (Bacino sotteso = 29 km²). Pur prescindendo dalla differenza tra le aree dei bacini, si osserva come la notevole sottostima della portata al colmo dell'idrogramma simulato con Mobidic rispetto al valore al colmo dell'idrogramma in ingresso alla Diga, sia essenzialmente dovuto ad una diversa allocazione dei volumi di deflusso che, nel caso della modellazione Mobidic, tendono a distribuirsi su tempi molto più lunghi rispetto a quelli che caratterizzano l'idrogramma rilevato alla diga della Rocchetta.

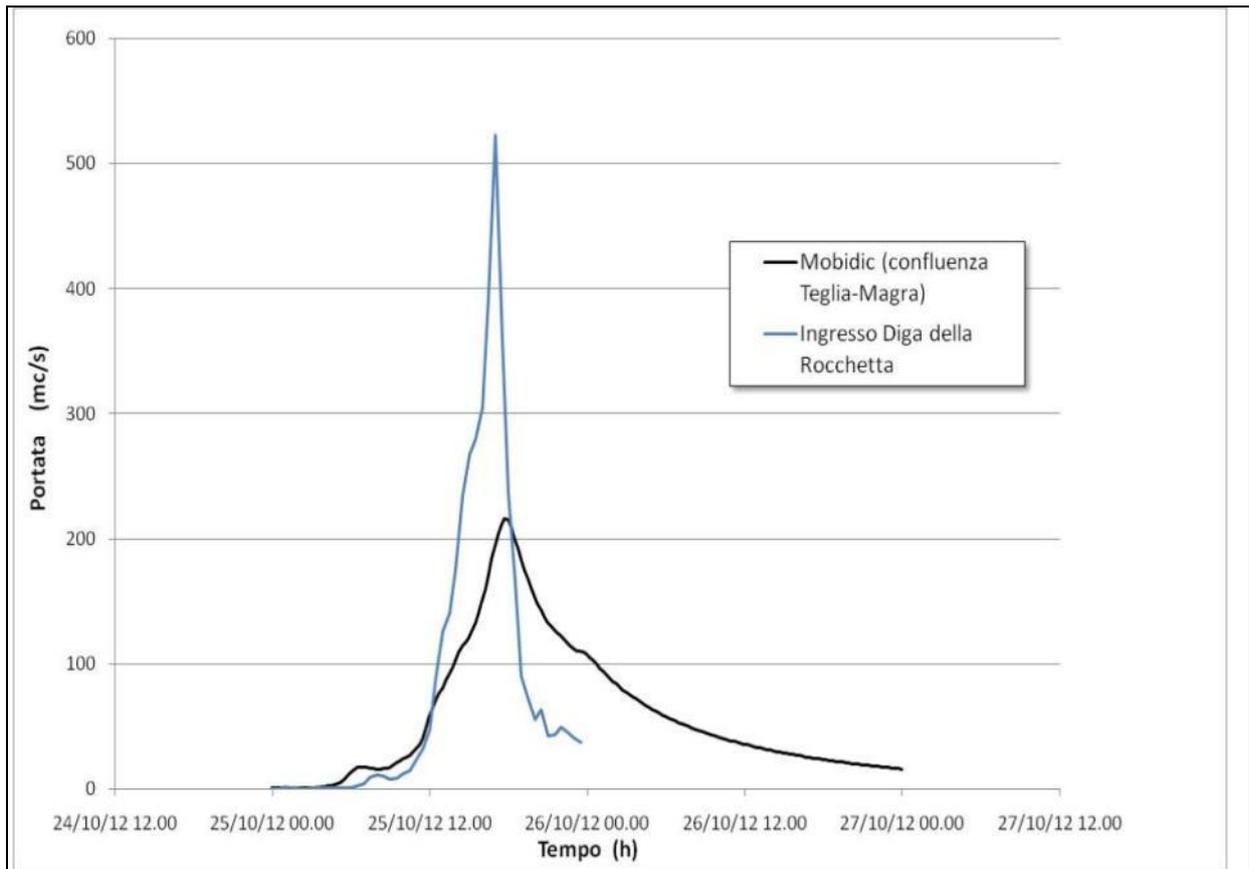


Figura 9 - Evento di piena del 25/10/201: confronto tra l'idrogramma simulato con Mobidic (CF) e l'idrogramma in ingresso alla Diga della Rocchetta.

La Tabella 13 riassume i valori delle portate al colmo per i bacini minori dell'alta valle del Magra che si possono desumere dai dati disponibili.

ALTRE STIME BASATE SU METODI EMPIRICI DI RICOSTRUZIONE

Altre stime, soprattutto per i bacini con area inferiore ai 5-10 km², possono essere effettuate utilizzando i rilievi delle tracce di piena e delle sezioni fluviali. In particolare, il criterio proposto da Grant [7], in base al quale il numero di Froude, Fr, della corrente per alvei a fondo mobile tende al valore di 1 al crescere della pendenza dell'alveo stesso, può tornare utile per la stima della portata.

Di seguito si illustra la metodologia di applicazione per la stima della portata al colmo verificatasi nel Fosso del Frantoio, in corrispondenza della piazza dell'abitato di Mulazzo.

Tabella 13 - Valori delle portate al colmo per i bacini minori dell'Alta Valle del Fiume Magra

Bacino	Area [Km ²]	AdB 30 [m ³ /s]	AdB100 [m ³ /s]	AdB200 [m ³ /s]	AdB500 [m ³ /s]	Evento C.F. [m ³ /s]	Evento UNIGE [m ³ /s]	Evento Diga [m ³ /s]
F. della Madonna (Mangiola)	0.58	9.40	12.53	14.41	17.55			
C. del Gorgo (Mangiola)	1.41	20.08	26.77	30.78	37.47	37.12		
C. del Frantoio (Mangiola)	1.89	25.75	34.33	39.48	48.06			
C. Borra Grande (Osca)	2.28	30.22	40.30	46.34	56.42	14.27		
C. del Bosco (Teglia)	2.50	32.66	43.55	50.08	60.97	18.39		
T. Osca (medio)	19.90	190.62	254.16	292.29	355.83	72.98		
T. Osca (confluenza)	21.42	202.86	270.48	311.06	378.68	90.81		
T. Mangiola (confluenza)	26.38	242.18	322.90	371.34	452.06	185.57	500.00	
T. Teglia (Diga Rocchetta)	29.00	262.50	350.00	402.50	490.00			523.00
T.Osca + T.Penolo	35.97	315.24	420.32	483.37	588.45		650.00	
T. Teglia (confluenza)	38.66	335.20	446.93	513.97	625.70	216.11		
T. Teglia + T. Caprio	64.03	478.02	661.87	789.14	960.69		750.00	

L'utilizzo del criterio di Grant è abbastanza agevole, una volta determinata almeno una sezione d'alveo ove sia possibile supporre che la corrente non subisca particolari condizionamenti al contorno (es. tombamenti, attraversamenti, rigurgiti da valle). Individuata tale sezione, è sufficiente conoscerne la geometria ed una stima del livello idrico in corrispondenza della portata Q che si vuole stimare. Quest'ultima viene quindi stimata utilizzando la formula:

$$Q = Fr \cdot \Omega \cdot \sqrt{\frac{g \cdot \Omega}{W}}$$

ove W rappresenta l'area della sezione bagnata Ω , W la larghezza del pelo libero della corrente, g l'accelerazione di gravità..

Si riporta in Figura 14 una planimetria dell'area ubicata a monte della piazza XXV settembre di Mulazzo ove sono state rilevate le sezioni d'alveo (post-evento) da parte dell'Ufficio Tecnico del Genio Civile, Area Vasta Firenze, Prato, Pistoia ed Arezzo.

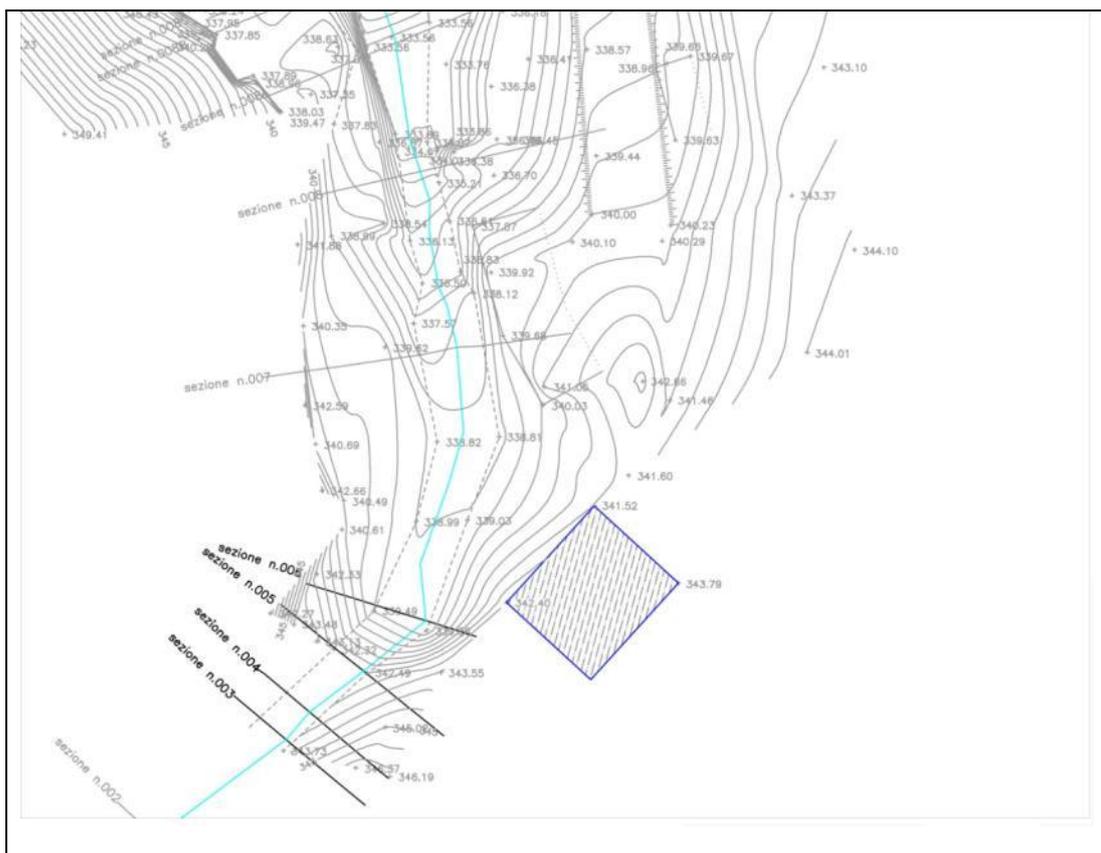


Figura 10 - Fosso del Frantoio: planimetria dell'area sovrastante la piazza (da rilievo dell' Ufficio Tecnico del Genio Civile Area Vasta FI,PO,PT,AR).

Il fabbricato di Figura 10 contornato in blu rappresenta una vecchia opera di presa (cfr. anche le successive Figure 11 e 12), posta in destra idrografica a monte del ponte della strada che collega Mulazzo a Montereggio. È stato possibile rilevare una traccia di piena in corrispondenza di detto fabbricato, come indicato in Figura 11, la quale riporta la foto del Fosso ripresa da valle del fabbricato.

Utilizzando il rilievo di Figura 10 è stata ricavata, seppur approssimativamente, la quota della traccia di piena (corrispondente a circa 343.8 m slm).

Tale quota corrisponde ad una altezza d'acqua di circa 4.66 m sulla sezione n. 06 del rilievo, che si trova alla base della cascata in primo piano in Figura 11 e che corrisponde con buona approssimazione alla sezione d'alveo in corrispondenza dell'opera di presa (Fig. 10). Il rilievo della sezione n. 06 è riportato in Figura 12.



Figura 11 - Fosso del Frantoio ripreso da valle dell'opera di presa. In blu la traccia approssimativa della curva di livello del rilievo di Figura 11.

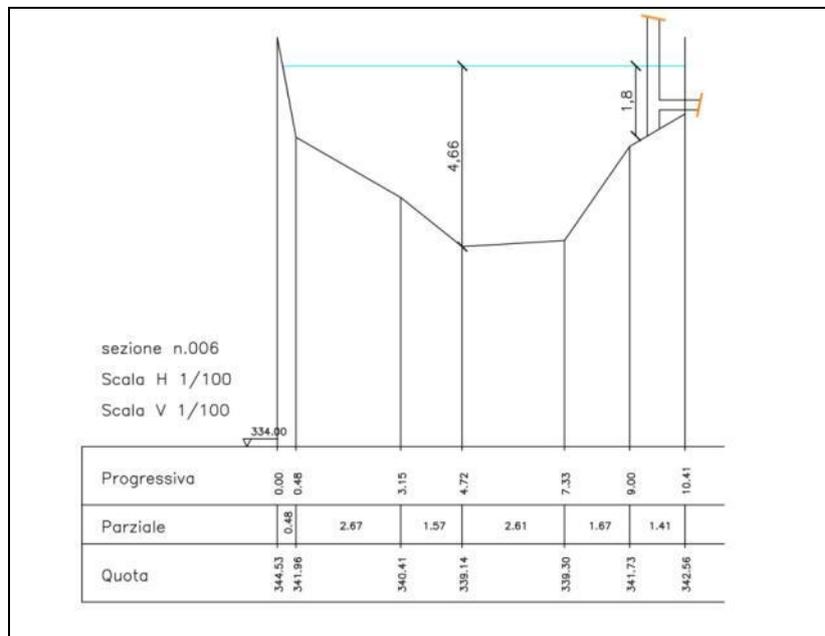


Figura 12 - Fosso del Frantoio: sezione n.06 con indicazione della traccia di piena rilevata (da rilievo Ufficio Tecnico Genio Civile Area Vasta FI,PO,PT,AR)

In Figura 13 è riportato il profilo longitudinale del Fosso del Frantoio in prossimità dell'opera di presa: la distanza tra la sezione n. 06 e la sezione n. 05, situata in corrispondenza della soglia della cascata di Figura 11, è pari a circa 5 m.

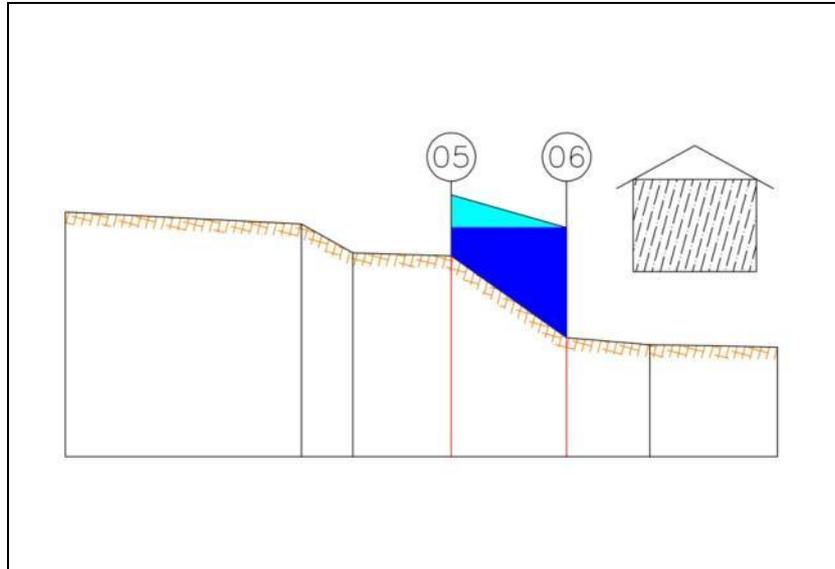


Figura 13 - Fosso del Frantoio: profilo longitudinale in prossimità dell'opera di presa
(da rilievo dell'Ufficio Tecnico del Genio Civile Area Vasta FI,PO,PT,AR)

Proiettando orizzontalmente il livello di piena relativo alla sezione n. 06, si ottiene un'altezza d'acqua h , pari a 1.20 m circa sulla sezione n. 05 (limite tra l'area colorata in blu e l'area colorata in ciano in Figura 13).

Tuttavia, sia l'andamento del profilo del fondo che la conformazione geometrica dell'alveo, suggeriscono che in corrispondenza della sezione n.06 il profilo della corrente fosse rigurgitato dagli ostacoli presenti nella piazza (a sostegno di ciò, basti pensare che non esistono ulteriori salti di fondo tra la sezione n.06 e la piazza di Mulazzo).

Viceversa, a partire dalla sezione n. 05 verso monte, sono presenti svariati salti di fondo generati sia dalla morfologia a step-pool del Fosso, tipica degli alvei montani a forte pendenza, che dalla conformazione del versante.

Si assume che le condizioni per l'applicazione del criterio di Grant siano presenti a partire dalla sezione n. 05 verso monte. E' inoltre ragionevole assumere che la quota del pelo libero in corrispondenza della sezione n. 05 sia maggiore di quella rilevata in corrispondenza della sezione n. 06. Pertanto l'altezza d'acqua h da considerare sulla sezione n. 05 è presumibilmente maggiore di 1.20 m.

I valori di portata, calcolati utilizzando la formula di cui sopra ed assumendo un numero di Froude pari ad 1.1 sulla sezione n. 05, sono riportati in Tabella 14, per varie altezze d'acqua h comprese tra 1.20 m e 2.50 m, quest'ultima corrispondente al massimo contenimento che è stato possibile riscontrare in sito.

Tabella 14 - Valori di portata utilizzando le ipotesi di Grant per il Fosso del Frantoio (sezione n. 05)

h [m]	Ω [m ²]	W [m]	Q [m ³ /s]
1.20	4.10	6.90	10.9
1.50	6.43	7.46	20.6
1.75	8.34	7.86	29.6
2.00	10.36	8.27	39.9
2.25	12.48	8.68	51.6
2.50	14.70	9.30	63.7

La Figura 14 riporta il rilievo della sezione n. 05 con l'indicazione dei livelli idraulici di Tabella 14.

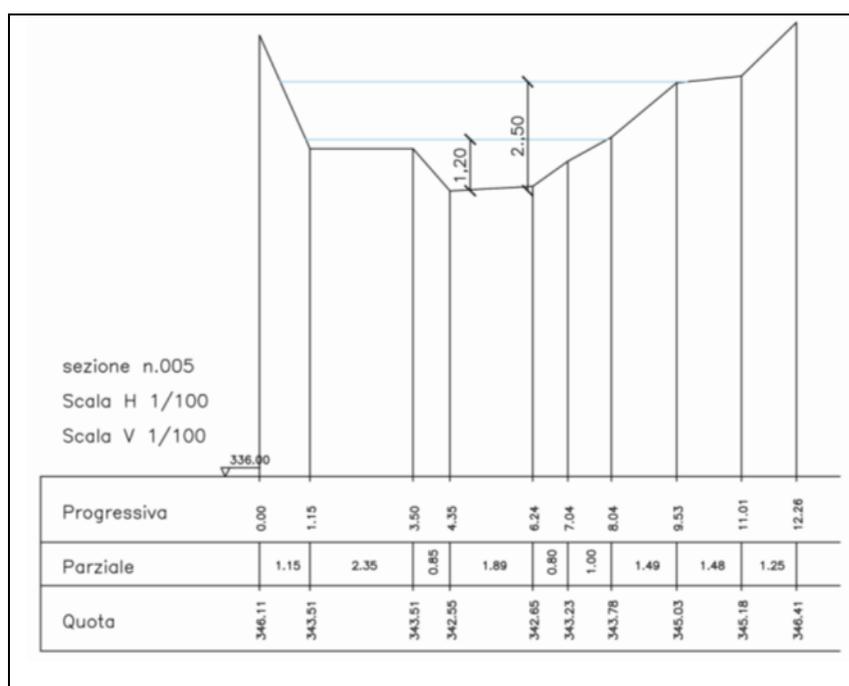


Figura 14 - Fosso del Frantoio: sezione n.05 con indicazione dei livelli idrici ipotizzati (da rilievo dell'Ufficio Tecnico Genio Civile Area Vasta FI,PO,PT,AR)

Allo scopo di verificare la affidabilità delle valutazioni effettuate, sono state infine stimate le portate al colmo per il Fosso del Frantoio, utilizzando le formule di cui alla Tabella 11. I risultati ottenuti sono riportati in Tabella 15 per i tempi di ritorno pari a 200 e 500 anni.

Tabella 15 - Determinazione delle portate al colmo nel Fosso del Frantoio utilizzando le equazioni di Tabella 11.

		Q[mc/s]	Q[mc/s]
Bacino	A [Km ²]	Tr=200 anni	Tr= 500 anni
Fosso del Frantoio	1.9	39.7	48.3
$Q = K(A, Tr) \cdot A^{0.85}$ per $A < 65 \text{ Km}^2$			

È ragionevole, relativamente all'evento del 25/10/2011, aspettarsi un tempo di ritorno compreso tra i 150 ed i 200 anni sul Fosso del Frantoio, dal momento che:

- Il pluviometro di Parana, che tra quelli interessati dalle piogge più intense è prossimo al Fosso del Frantoio, riporta un tempo di ritorno pari a 150 anni, relativamente alla pioggia cumulata su 1h (88 mm), mentre riporta un tempo di ritorno superiore a 500 anni per la pioggia cumulata su 3h (165 mm).
- Vista l'estensione del bacino del Fosso del Frantoio e le pendenze in gioco, i tempi di corrivazione si attestano presumibilmente sulle scale temporali di cui al punto precedente.

Alla luce di queste considerazioni, ipotizzando una portata compresa tra 40 e 50 m³ /s, i livelli idrici stimati con il criterio di Grant si attesterebbero tra 2 e 2.30 metri (v. Tabella 14), valori del tutto ragionevoli e in accordo con quanto osservato in sito.

Altro criterio empirico per la stima della portata di piena è rappresentato dal calcolo della velocità limite della corrente, V_c , in grado di spostare un masso di dimensioni medie pari a D. Utilizzando a tal fine la formula di Sordo [8]:

$$V_c = 7.04 h^{0.05} D^{0.45} \quad \text{in m/s}$$

e nota la sezione idraulica Ω , si ottiene il valore della portata assumendo V_c come valore medio della velocità.

L'applicazione del metodo richiede tuttavia la conoscenza della dimensione D che si è trovata nelle condizioni limiti di trascinamento. Tra le situazioni esaminate, tali condizioni si sono verificate per il tratto del Canale del Bosco dove un masso di rilevanti dimensioni, noto ai residenti per la sua forma particolare, è stato trascinato dalla corrente per alcune decine di metri.

2.2 Ricostruzione dello stato ante-evento

La ricostruzione dello stato dei luoghi precedente all'evento del 25/10/2011 costituisce un utile riferimento per poter procedere alla ricostruzione dell'evento stesso mediante la modellistica idraulica ed idrologica, oltre a costituire un importante riferimento per la progettazione degli interventi necessari per il ripristino e la messa in sicurezza delle aree colpite. Si tratta tuttavia di un'operazione non semplice e non sempre precisa, in quanto le maggiori informazioni sul bacino ad oggi disponibili, si concentrano in larga misura attorno all'asta del Fiume Magra.

I dati raccolti per poter ricostruire lo stato dei luoghi precedente l'evento sono essenzialmente costituiti da:

- Rilievi topografici delle sezioni fluviali, ove disponibili. In particolare, è stato possibile reperire le sezioni dei tratti terminali dei fiumi Teglia, Mangiola ed Osca (anno di rilievo 1989), utilizzate nell'ambito degli studi per la redazione del Piano Assetto Idrogeologico (PAI) per il bacino del Magra.
- Rilievi LIDAR effettuati precedentemente l'evento. In particolare, è stato possibile utilizzare rilievi da voli LIDAR effettuati nell'anno 2008 sul Fiume Magra per ottenere informazioni sulle aste fluviali dei bacini minori in prossimità della confluenza con il Magra stesso.
- Foto aeree effettuate precedentemente l'evento del 25/10/2011.
- Foto storiche delle aree colpite.
- Riprese video, effettuate durante l'evento del 25/10/2011. In particolare è stato possibile reperire importanti testimonianze video relative agli abitati di Mulazzo e di Bosco di Rossano.
- Testimonianze degli abitanti dei luoghi colpiti, raccolte durante i sopralluoghi effettuati.

Nelle successive parti specifiche di ciascun bacino sono descritti in dettaglio i risultati della ricostruzione effettuata.

2.3 La modellistica idraulica

La notevole complessità e variabilità dei fenomeni considerati suggerisce il ricorso a modelli diversificati ognuno dei quali possa ritenersi affidabile nelle specifiche condizioni in cui si trova ad essere applicato.

In particolare, per quanto riguarda i tratti di fondovalle dei torrenti Teglia, Mangiola e Osca, è stato utilizzato il modello unidimensionale a fondo fisso basato sulle classiche equazioni di De Saint Venant implementato nel codice HEC-RAS.

Lo stesso modello è stato utilizzato anche per il tratto del Canale del Bosco e di Borra Grande.

Viceversa, per le verifiche dei corsi d'acqua di Mulazzo progettati dal Genio Civile, è stato utilizzato un modello non stazionario a fondo mobile. Il modello si basa sulla risoluzione del sistema di equazioni differenziali descrittive la conservazione della massa e della quantità di moto per la fase liquida e solida:

$$\text{Fase liquida:} \quad \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad \frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} - J$$

$$\text{Fase solida:} \quad \frac{\partial Q_s}{\partial x} + (1 - n)w \frac{\partial z}{\partial t} = 0 \quad Q_s = f(Q, J, D, \dots)$$

in cui:

- A = area della sezione liquida [m²];
- Q = portata liquida [m³/s];
- Q_s = capacità di trasporto solido [m³/s];
- H = carico totale della corrente [m];
- g = accelerazione di gravità [m/s²];
- U = velocità media della corrente [m/s];
- J = perdite di carico effettivo per unità di lunghezza;
- w = larghezza dell'alveo attivo [m];
- n = porosità del materiale d'alveo [-]
- z = quota fondo alveo [m];
- x = ascissa corrente lungo l'alveo [m];
- t = tempo [s].

Per quanto riguarda la modellazione del trasporto solido, è stato adottato un modello che fornisce la stima della capacità di trasporto con una formula del tipo:

$$Q_s = K QJ^n,$$

ove n , K sono parametri da valutare in relazione alle caratteristiche del bacino e dei dati sperimentali raccolti, inclusi quelli relativi allo studio parallelo condotto dal Prof. Rinaldi.

La scabrezza da assegnare all'alveo è determinata sulla base dei rilievi sedimentologici che svolti nei tratti in esame, utilizzando l'espressione:

$$k_s = \frac{21}{d_{50}^{1/6}}$$

dove k_s indica il coefficiente di Gaucker-Strickler espresso in $[m^{1/3}/s]$ e d_{50} indica il diametro medio espresso in $[m]$.

Un altro aspetto di rilievo è quello della scabrezza associata alla presenza in alveo di vegetazione arbustiva. A tal scopo, vengono prese in esame le foto aeree relative ai diversi scenari di analisi per determinare la distribuzione spaziale e stimare le caratteristiche di rilievo della vegetazione.

I relativi coefficienti di Manning vengono stimati mediante lo schema proposto dalla Federal Highway Administration degli Stati Uniti. Per quanto riguarda la stima della resistenza al moto nel caso di vegetazione arborea si fa riferimento allo schema di Petryk e Bosmaijn [9].

Nel caso di alvei a forte pendenza e con elevati valori del trasporto solido si è fatto riferimento ai valori di scabrezza dedotti per via sperimentale da ricercatori cinesi [10] analizzando diverse tipologie di debris flow, come descritto nella Tabella 16.

Per quanto riguarda la modellazione dei fenomeni localizzati, vengono utilizzati i criteri disponibili in letteratura. Per gli scavi in corrispondenza delle pile dei ponti si utilizza lo schema di Raudkivi [11], per l'erosione in presenza di salti di fondo lo schema di Bormann e Julien [12], mentre per la stima dello scavo massimo all'esterno di curve nei corsi d'acqua il criterio proposto da Seminara e Solari [13].

Il complesso della modellazione consentirà di mettere in luce le diverse criticità connesse ai contenimenti delle piene, agli scavi localizzati ed all'interazione della corrente con la vegetazione.

Dai risultati ottenuti vengono individuati gli interventi per la mitigazione del rischio idraulico.

Tabella 16 - Coefficienti di Manning per debris flow [7]

Category	Channel characteristics	Slope	Values of n for various depths (m)			
			0.5	1.0	2.0	4.0
Non -viscous debris flow	Narrow and steep channel with steps and contraction; bed material is 0.5-2.0 stones	0.15 – 0.22	0.20	0.25	0.33	0.50
	Channel with many bends and steps; bed material is 0.3-0.5 stones	0.08 – 0.15	0.10	0.125	0.167	0.25
	Wide and straight channel; bed material is 0.3 stones, sand and gravel	0.02 – 0.08	0.056	0.071	0.10	0.125
Viscous debris flow	Narrow, steep and meandering channel; bed material is big stones, sand and gravel, forming blockages and steps	0.12 – 0.16	0.056	0.067	0.083	0.10
	Comparative straight channel; bed material is stones, sand and gravel	0.08 – 0.12	0.036	0.042	0.05	0.06
	Wide and straight channel; bed material is stones, sand and gravel	0.04 – 0.08	0.029	0.036	0.042	0.050

BIBLIOGRAFIA

- [1] Regione Toscana, Servizio Idrologico Regionale, CENTRO FUNZIONALE DELLA REGIONE TOSCANA, Report Evento Meteo-Idrologico del giorno 25 ottobre 2011 – Focus sul bacino Toscano del Fiume Magra, 04 novembre 2011.
- [2] Regione Liguria, Rapporto di evento meteoidrologico del 25/10/2011, Genova, 19 dicembre 2011.
- [3] Regione Toscana, CENTRO FUNZIONALE DELLA REGIONE TOSCANA, Report Fotografico Relativo all'Evento Meteo-Idrologico del Giorno 25 ottobre 2011, Focus sul bacino Toscano del Fiume Magra (Foto scattate il 02 novembre 2011 dall'elicottero della Guardia Costiera di Genova).
- [4] Magra, Autorità di Bacino del Fiume. PAI - Piano di Assetto Idrogeologico. Norme Tecniche di Attuazione. 2006. Allegato n.4.
- [5] Wolman, M.G. (1954) - A method of sampling coarse river-bed material. *Am.Geophys.Union.Trans.*, 35, 951-956.
- [6] Billi, P. (1992) - Variazione areale delle granulometrie e dinamica degli alvei ghiaiosi : metodologie di campionamento ed analisi dei primi risultati. *Atti Convegno Fenomeni di Erosione e Alluvionamenti degli Alvei Fluviali*, Ancona 14-15 Ottobre 1991, 91-106.
- [7] Grant G., Critical flow constrains flow hydraulics in mobile-bed streams:A new hypothesis, *WATER RESOURCES RESEARCH*, VOL. 33, NO. 2, PAGES 349–358, FEBRUARY 1997.
- [8] Sordo, S., Critical flow constrains flow hydraulics in mobile-bed streams:A new hypothesis, *WATER RESOURCES RESEARCH*, VOL. 33, NO. 2, PAGES 349–358, FEBRUARY 1997.
- [9] Petryk, S. & Bosmajian, G., Analysis of flow through vegetation, *Journal of the Hydraulics Division*, 1975, ASCE 101 (7), 871–884.
- [10] Chien N., Wan Z., *Mechanics of sediment transport*, ASCE Press, 1999.
- [11] Raudkivi A.J., *Scour at bridge piers*, IAHR, *Hydraulic Structures Design Manual n. 2*, A.A. Balkema, Rotterdam, NL
- [12] Bormann, N.E., e Julien, P.Y., 'Scour downstream of grade-control structures', *J. Hydr. Engineering*, ASCE, 117, 579-594, 1991.
- [13] Seminara, G. and L. Solari (1998), Finite amplitude bed deformations in totally and partially transporting wide channel bends, *Water Resour. Res.*, 34(6), 1585–1598, doi:10.1029/98WR00372.