



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



POLITECNICO
MILANO 1863

IRIS — Italian Research and development Initiative for Spaceborne river monitoring



Accordo di collaborazione tecnico-scientifica tra
l'ISPRA e il DEIB del Politecnico di Milano

CUP: I56J17000490005

RELAZIONE TECNICA INTERMEDIA N.1 IN MERITO ALLA SELEZIONE DEI SITI DI STUDIO E ALLA PRIMA CAMPAGNA DI RILEVAMENTO SU CAMPO

ISPRA

Stefano Mariani

(Responsabile ISPRA dell'Accordo)

Martina Bussettini

Giovanni Braca

Marco Casaioli

Barbara Lastoria

DEIB

Andrea Castelletti

(Responsabile DEIB dell'Accordo)

Simone Bizzi

Barbara Belletti

Giulia Marchetti

Patrice Carbonneau

Claudio Prati

GENNAIO 2018

Sommario

Premessa	1
Introduzione	1
Lista preliminare degli indicatori da estrarre dai dati Copernicus Sentinel.....	1
Piano delle attività	2
Struttura delle attività	4
Selezione e descrizione dei siti di studio oggetto delle attività (Task 1).....	5
Alpi: bacino del Po/Sesia	6
Appennino Centrale: bacino del Tevere/Paglia	9
Appennino Meridionale: fiumara Bonamico	12
Rilievi di Campo (Task 1.1)	14
Acquisizione immagini da APR.....	14
Rilievo punti GPS.....	16
Preprocessing delle immagini acquisite da drone (Task 1.4)	19
STEP 1: Add photos	19
STEP 2: Alignment	20
STEP 3: Build Dense Cloud	21
STEP 4: Build Mesh	21
STEP 5: Build DEM	22
STEP 6: GPS points inclusion.....	22
STEP 7: Build Orthomosaic	23
STEP 8: Export orthomosaic and DEM	24
Avanzamento delle attività: step futuri	24
Bibliografia.....	25
Appendice 1	27
Alpi: bacino del Po/Sesia	27
Appennino Centrale: bacino del Tevere/Paglia	28
Appennino Meridionale: fiumara Bonamico	29

Indice delle tabelle

Tabella 1. Lista degli indicatori oggetto dell'Accordo, con indicazione dei dati di campo/di base e dei dati Copernicus Sentinel utilizzati.....	2
Tabella 2. Sintesi della prima campagna di rilievi. P1, P2, P3: tratti rilevati nel bacino del Sesia/Po (Alpi); L1, L2, L3; tratti rilevati nel bacino del Paglia/Tevere (Appennino Centrale); C1, C2: tratti rilevati nell'Appennino Meridionale.	6
Tabella 3. Sintesi delle caratteristiche dei tratti campionati nel bacino del Po. L: lunghezza del tratto; D: larghezza media dell'alveo di magra; H: altitudine media del tratto. Per la tipologia d'alveo si fa riferimento al manuale IDRAIM (Rinaldi et al., 2016a, 2014).	6
Tabella 4. Sintesi delle caratteristiche dei tratti campionati nel bacino del Tevere/Paglia. L: lunghezza del tratto; D: larghezza media dell'alveo di magra; H: altitudine media del tratto. Per la tipologia d'alveo si fa riferimento al manuale IDRAIM (Rinaldi et al., 2016a, 2014).	10
Tabella 5. Sintesi delle caratteristiche dei tratti campionati lungo la Fiumara Bonamico. L: lunghezza del tratto; D: larghezza media dell'alveo di magra; H: altitudine media del tratto. Per la tipologia d'alveo si fa riferimento al manuale IDRAIM (Rinaldi et al., 2016a, 2014).	13
Tabella 6. Survey Report per target p1 nel sito C2. PDOP: Position Dilution of Precision; GDOP: Geometric Dilution of Precision; HDOP: Horizontal Dilution of Precision; VDOP: Vertical Dilution of Precision.	17

Indice delle figure

Figura 1. Diagramma di Gantt delle attività previste. Legenda: APR, aeromobile a pilotaggio remoto; DEM, Digital Elevation Model; S1, Sentinel 1; S2, Sentinel 2. Milestone: M0, piano delle attività; M1, relazione tecnica intermedia n. 1; M2, relazione tecnica intermedia n. 2; M3, relazione tecnica finale. I rilievi di campo T1.1 nel 2019 si intendono a eventuale integrazione ove necessario. ...	3
Figura 2. Diagramma di flusso delle attività del presente Accordo così come definite nel WP8000 "Morfologia fluviale" della Convenzione ASI-ISPRA "Habitat Mapping" (cf. Deliverable n. 16 "Requisiti di Sistema". Nel riquadro blu sono comprese ed evidenziate le attività svolte nella prima fase del lavoro, descritte nella presente relazione intermedia n. 1.	4
Figura 3. Localizzazione dei siti di studio. P1, P2, P3: tratti rilevati nel bacino del Sesia/Po (Alpi); L1, L2, L3: tratti rilevati nel bacino del Paglia/Tevere (Appennino Centrale); C1, C2: tratti rilevati lungo la Fiumara Bonamico nell'Appennino Meridionale.	6
Figura 4. Posizione dei siti L1, L2 e L3 e delle relative stazioni idrometriche di riferimento.	7
Figura 5. Localizzazione dei siti di studio nel bacino del Po e delle corrispondenti aree coperte da rilievo APR rispetto alle stazioni di misura idrometrica. Si noti che P1 (Sesia ad Arborio) non ha una stazione di misura in prossimità del sito.	7
Figura 6. Sesia nel tratto P1 presso Arborio – settembre 2017.	8
Figura 7. Sesia nel tratto P2 presso Caresana – luglio 2017.	9
Figura 8. Fiume Po nel tratto P3 presso Cascine Nuove – luglio 2017.	9
Figura 9. Posizione dei siti L1, L2, L3 e delle relative stazioni idrometriche di riferimento.	10

Figura 10. Localizzazione dei siti di studio nel bacino del Tevere e delle corrispondenti aree coperte da rilievo APR rispetto alle stazioni di misura idrometrica.	10
Figura 11. Fiume Paglia nel tratto L1 presso Acquapendente – 20 settembre 2017.	11
Figura 12. Fiume Paglia nel tratto L2 presso Allerona – 18 settembre 2017.	12
Figura 13. Fiume Paglia nel tratto L3 presso Orvieto – 19 settembre 2017.	12
Figura 14. Posizione dei siti C1 e C2 e dell'unica stazione idrometrica di riferimento.	13
Figura 15. Localizzazione dei siti di studio lungo la fiumara Bonamico e delle corrispondenti aree coperte da rilievo APR rispetto all'unica stazione di misura idrometrica.	13
Figura 16. Fiumara Bonamico nel tratto C1 presso San Luca – 15 novembre 2017.	14
Figura 17. Fiumara Bonamico nel tratto C2 presso San Nicola – 16 novembre 2017.	14
Figura 18. APR DJI Phantom 4 Pro a terra (in base) e in fase di decollo, fiumara Bonamico tratto C2.	15
Figura 19. Rilievo GPS con Trimble R10, Fiume Paglia nel tratto L2.	16
Figura 20. Disposizione dei punti GPS secondo linee parallele tra loro e perpendicolari alla direzione della corrente nel sito P3 sul Po.	17
Figura 21. Esempio di posizionamento di un punto target rilevato con GPS.	18
Figura 22. Immagine da APR, esempio di visibilità dall'alto di un target posizionato a terra per rilievo con GPS.	18
Figura 23. Schema a blocchi di sintesi delle operazioni di processamento delle immagini da drone su PhotoScan.	19
Figura 24. Esempi di foto da scattare prima di procedere con il processamento delle immagini in PhotoScan.	20
Figura 25. Esito dello STEP "Alignment" per il sito L1 sul fiume Paglia: (a) posizioni e orientamenti della camera e costruzione del modello Sparse Point Cloud; (b) nuvola di punti ottenuta attraverso la funzione Alignment.	20
Figura 26. Nuvola densa di punti relativa al sito L1, lungo il fiume Paglia, in località Acquapendente (VT).	21
Figura 27. DEM relativo al sito L1, lungo il fiume Paglia, in località Acquapendente (VT).	22
Figura 28. Inclusione dei punti GPS e riposizionamento dei marcatori nel centro del target a terra per il sito L1 sul fiume Paglia.	23
Figura 29. Ortofoto relativa al sito L1, lungo il fiume Paglia, in località Acquapendente (VT).	23
Figura A1. Sito P1, in località Aborio (VC). A sinistra il DEM, a destra l'ortofoto.	27
Figura A2. Sito P2, in località Caresana (VC). A sinistra il DEM, a destra l'ortofoto.	27
Figura A3. Sito P3, in località Cascine Nuove (PV). A sinistra il DEM, a destra l'ortofoto.	28
Figura A4. Sito L2, in località Allerona (TR). A sinistra il DEM, a destra l'ortofoto.	28
Figura A5. Sito L3, in località Orvieto (TR). A sinistra il DEM, a destra l'ortofoto.	28
Figura A6. Sito C1, in località San Luca (RC). A sinistra il DEM, a destra l'ortofoto.	29
Figura A7. Sito C2, in località San Nicola (RC). A sinistra il DEM, a destra l'ortofoto.	29

Premessa

La presente relazione tecnica intermedia n. 1 si inserisce all'interno dell'accordo di collaborazione tecnico-scientifica tra l'Istituto Superiore per la Ricerca e la Protezione Ambientale (ISPRA) e il Dipartimento di Elettronica, Informazione e Bioingegneria (DEIB) del Politecnico di Milano per attività di sviluppo, applicazione prototipale e implementazione pre-operativa, nell'ambito della **Convenzione ASI-ISPRA "Habitat Mapping"**, di procedimenti, metodologie e strumenti applicativi in grado di supportare e agevolare, tramite la produzione semi-automatica da dati satellitari di parte degli indicatori previsti dal protocollo IDRAIM-Sistema di valutazione idromorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d'acqua ([Rinaldi et al., 2014, 2016a](#)), la valutazione da parte degli Enti territoriali preposti dello stato morfologico dei sistemi fluviali ai sensi della [Direttiva 2000/60/CE](#) e della [Direttiva 2007/60/CE](#) e delle norme di recepimento italiane.

In particolare, oggetto della relazione è l'attività di formazione e supporto nel rilievo idromorfologico da aeromobili a pilotaggio remoto (APR) e di collaborazione nelle prime campagne di misura nei tratti dei bacini selezionati, di cui agli art. 3.1, lett. a), b) dell'accordo.

Parte integrante di questa relazione è il "Piano delle attività" redatto a settembre 2017.

Introduzione

Questa relazione descrive le attività svolte nella prima fase di lavoro, da settembre 2017 a gennaio 2018 (**Milestone M1**), e i risultati conseguiti, riguardanti principalmente la selezione dei siti, la prima campagna di rilevamento su campo nei siti selezionati e il processamento delle immagini acquisite da drone per la creazione del dataset per la verità a terra (*ground truth*; Task 1 in [Figura 1](#)).

Per la prima fase di test e di estrazione degli indicatori oggetto dell'accordo, sono stati selezionati 8 tratti lungo 3 fiumi di medie-grandi dimensioni (larghezza > 20÷30 m) appartenenti all'ambito alpino del Distretto Idrografico Padano (bacino del Sesia/Po), al Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale (bacino del Paglia/Tevere) e al Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale (fiumara Bonamico), avendo cura di rappresentare così la diversità di ambienti sul territorio italiano.

Le osservazioni di campo sono state svolte affiancando metodologie di rilevamento classiche condotte mediante un *GPS-Global Positioning System* (Trimble R10 di proprietà dell'ISPRA) con acquisizioni tramite l'utilizzo di APR a basso costo (due droni Phantom 4 Pro della DJI, di cui uno in dotazione al gruppo di lavoro DEIB e l'altro dell'ISPRA), al fine di validare i prodotti basati su dati da satellite e garantire una copertura spaziale significativa con uno sforzo di campionamento ridotto rispetto alle metodologie tradizionali.

Le immagini da drone, acquisite durante i rilievi di campo, sono state processate utilizzando il software Agisoft PhotoScan (<http://www.agisoft.com/>) con cui sono state prodotte, per ciascun sito, le ortofoto utili alla creazione dei modelli di classificazione necessari all'estrazione degli indicatori idromorfologici oggetto dell'accordo.

Lista preliminare degli indicatori da estrarre dai dati Copernicus Sentinel

In [Tabella 1](#) è riportata la lista degli indicatori potenzialmente estraibili dai dati Copernicus Sentinel e le relative fonti di dati (da rilievi di campo e sensore Sentinel interessato), così come già illustrato nel "Piano delle attività". Tali indicatori risultano utili ai fini della valutazione della dinamica spazio-temporale idromorfologica in termini di:

- a) habitat fluviali, **indicatori 1, 2 e 3**;
- b) aree allagabili, **indicatori 3 e 4**;
- c) alveo attivo, **indicatori 4 e 5**.

Tabella 1. Lista degli indicatori oggetto dell'Accordo, con indicazione dei dati di campo/di base e dei dati Copernicus Sentinel utilizzati.

	Nome	Scopo principale	Dati di campo / di base	Dati Sentinel
Indicatore 1	Assemblaggio unità morfologiche	Mappatura habitat (macro-unità SUM)	Drone (mappatura habitat + DEM of Difference) + GPS	Sentinel 1 + 2
Indicatore 2	Classi granulometriche	Caratterizzazione substrato	Drone (photosieving)	Sentinel 2
Indicatore 3	Larghezza alveo bagnato	Stima portata	Spectral Water Index da immagini ottiche S2; dati di portata	Sentinel 1
Indicatore 4	Larghezza alveo di piena (bankfull)	Delineazione larghezza alveo di piena	Drone (DEM + mappatura habitat) + GPS + dati di portata	Sentinel 1
Indicatore 5	Indicatori di processo	Indicatori di dinamica morfologica	Drone (DEM of Difference) + GPS	Sentinel 2

La bibliografia di riferimento per gli indicatori presi in considerazione è la seguente:

- Assemblaggio unità morfologiche per la mappatura delle macro-unità SUM, incluso l'alveo di magra (unità sommerse), le barre di sedimenti (unità emerse) e le unità di vegetazione ([Belletti et al., 2017](#); [Demarchi et al., 2016](#), [Rinaldi et al., 2016b](#), [2015](#); [Wheaton et al., 2015](#); [Marcus et al., 2012](#));
- Classi granulometriche per la caratterizzazione del substrato ([Vázquez-Tarrio et al., 2017](#); [Black et al., 2014](#); [Dugdale et al., 2010](#); [Carbonneau et al., 2005](#), [2004](#); [Pitlick and Cress, 2002](#); [Surian, 2001](#));
- Larghezza dell'alveo bagnato per la stima della portata ([Irwin et al., 2017](#), [Tiang et al., 2017](#); [Durand et al., 2016](#); [Gleason and Smith, 2014](#));
- Delineazione della larghezza dell'alveo di piena ([Demarchi et al., 2016](#); [Rinaldi et al., 2016a](#), [2014](#), [Schumann et al., 2012](#), [Marcus et al., 2012](#));
- Indicatori di dinamica morfologica ([Rinaldi et al., 2016a](#), [2014](#), [Lallias-Tacon et al., 2014](#), [Wheaton et al., 2013](#)).

Piano delle attività

Nel quadro generale delle attività previste, organizzate in 6 Task come riportato nel diagramma di Gantt in [Figura 1](#), la presente relazione si riferisce al raggiungimento della **Milestone M1** che si concretizza nella selezione dei siti, nella prima campagna di rilevamento su campo nonché nella formazione e il supporto a favore dei ricercatori ISPRA coinvolti nelle attività.

Nel riquadro blu di [Figura 1](#), sono evidenziate le attività previste per il periodo settembre 2017–gennaio 2018 che hanno riguardato in particolare il Task 1. A tale riguardo, sono state avviate tutte le attività previste, portando a compimento T1.1 e T1.4, relative alla creazione del dataset per la verità a terra nell'ambito della prima campagna di misura. Tali attività saranno poi replicate a valle della seconda campagna di rilevamento dati, prevista tra la primavera e l'estate del 2018. Per quanto riguarda le attività relative al Task 2.1 si è proceduto al download¹ delle immagini satellitari Copernicus di Sentinel 1 (S1) e Sentinel 2 (S2) disponibili fino ad oggi sul sito dell'ESA–European Space Agency attraverso il Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu/>). Tale attività proseguirà anche nei prossimi mesi con l'obiettivo di scaricare immagini satellitari riferite a un arco temporale di almeno un anno, necessarie per l'implementazione e validazione degli indicatori idromorfologici. Discorso analogo si applica al Task 1.5, per il quale sono stati raccolti i dati idrologici fino a oggi disponibili. Infine, l'attività di mappatura degli habitat da APR, relativa a T1.2, è stata avviata con la produzione delle ortofoto

¹ Il download delle immagini satellitari dal Copernicus Open Access Hub è necessario solo in questa fase di sviluppo degli indicatori idromorfologici. A regime, l'applicazione prototipale che sarà sviluppata nell'ambito Convenzione ASI-ISPRA "Habitat Mapping" per la produzione di questi indicatori prevederà il collegamento diretto con il database Copernicus.

necessarie per l'estrazione delle macro-unità (*ground truth*) e sarà portata a compimento nei prossimi mesi.

Nel corso del periodo oggetto della presente relazione è stata svolta dal DEIB l'attività di formazione e supporto nel rilievo idromorfologico da APR e di affiancamento durante questa prima campagna di misura (Task 6.1) nel corso della quale è stato avviato il *knowledge transfert* previsto dall'accordo (T6.2).

Per quanto riguarda i Task 1.3, 2.2, 3.2 e 4.2, sono state avviate le attività impostando le metodologie da applicare ed effettuando i primi test. Per T1.3, è stata fatta una recensione dei diversi software disponibili per il "*photosieving*" al fine di estrarre la distribuzione della granulometria a partire dalle immagini APR. A valle di tale valutazione è stato selezionato e scaricato il software *Basegrain*, che al momento risulta il più adatto per gli scopi previsti dalla ricerca in corso. Per il Task 2.2, sono stati realizzati i primi test su GIS per valutare le modalità più idonee ad associare la mappatura delle macro-unità derivante dalle acquisizioni APR (verità a terra) con quella ottenibile a partire dalle immagini S2. Per quanto riguarda T3.2, sono stati condotti alcuni test per la definizione dell'algoritmo di estrazione del canale bagnato dalle immagini S1, algoritmo che servirà nelle prossime fasi per la stima delle portate. Infine, per le attività previste nel T4.2, sono stati estratti dalle immagini S2 i valori di riflettanza, utili per la futura determinazione delle classi granulometriche.

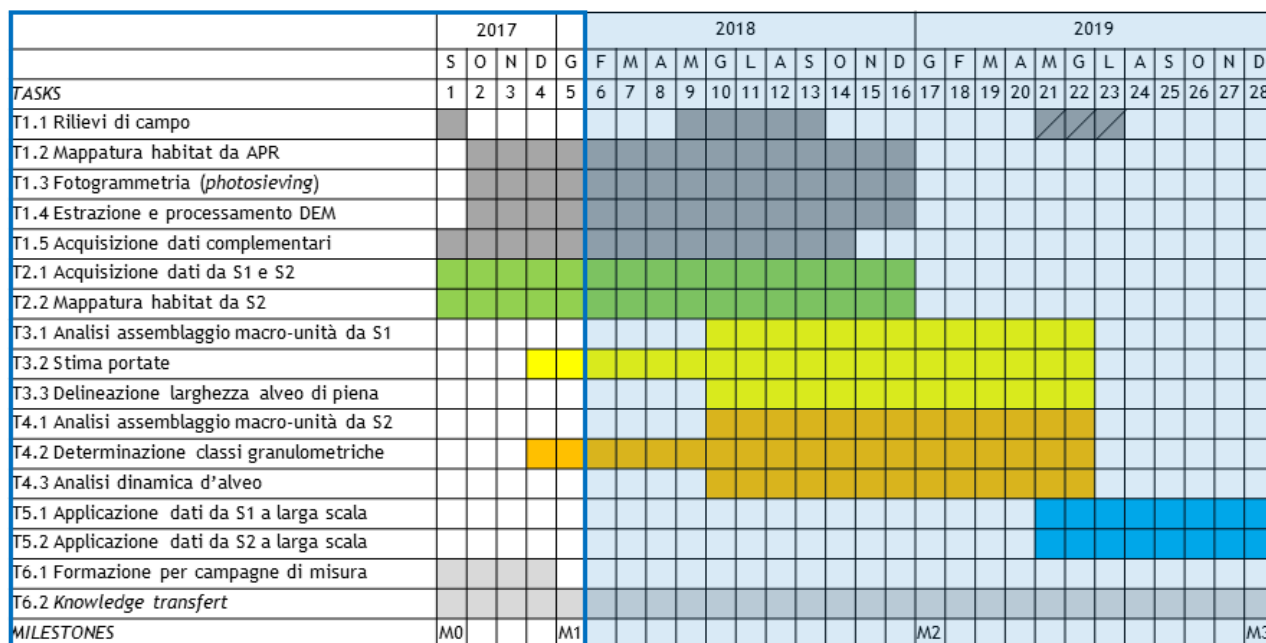


Figura 1. Diagramma di Gantt delle attività previste. Legenda: APR, aeromobile a pilotaggio remoto; DEM, Digital Elevation Model; S1, Sentinel 1; S2, Sentinel 2. Milestone: M0, piano delle attività; M1, relazione tecnica intermedia n. 1; M2, relazione tecnica intermedia n. 2; M3, relazione tecnica finale. I rilievi di campo T1.1 nel 2019 si intendono a eventuale integrazione ove necessario.

In [Figura 2](#) vengono riportate, tramite un diagramma di flusso, le attività previste per tutta la durata dell'accordo. Le attività svolte e descritte nella presente relazione intermedia n. 1 sono quelle incluse nel riquadro blu.

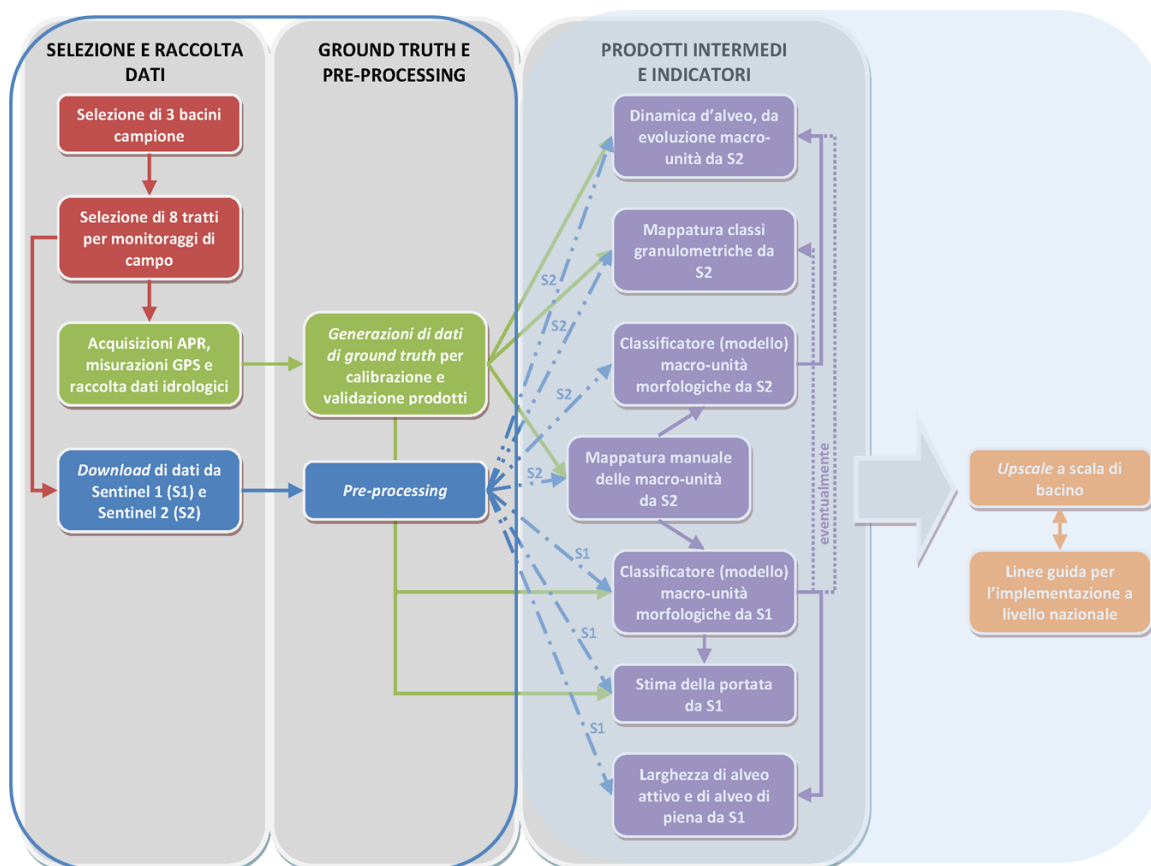


Figura 2. Diagramma di flusso delle attività del presente Accordo così come definite nel WP8000 “Morfologia fluviale” della Convenzione ASI-ISPRA “Habitat Mapping” (cf. Deliverable n. 16 “Requisiti di Sistema”. Nel riquadro blu sono comprese ed evidenziate le attività svolte nella prima fase del lavoro, descritte nella presente relazione intermedia n. 1.

Struttura delle attività

Nella presente sezione sono dettagliate le singole attività, associate al Task 1, che sono state fino ad oggi condotte e di cui, nei seguenti paragrafi, si fornisce la descrizione e si riportano i risultati.

Task 1	CREAZIONE DEL DATASET PER LA VERITÀ A TERRA (GROUND TRUTH)
Obiettivi <ul style="list-style-type: none"> • Effettuare i rilievi di campo (APR, GPS) e la raccolta dei dati complementari (e.g., dati idrologici). • Sviluppare una metodologia per la costruzione del dataset che permetta di creare la verità a terra (<i>ground truth</i>) sulla quale calibrare e testare i dati estratti da Sentinel e quindi estrarre gli indicatori idromorfologici. 	
Descrizione delle attività <p>T1.1 Rilievi di campo: L’obiettivo è di effettuare almeno due rilievi di campo in 8 tratti lungo 3 corsi d’acqua selezionati in modo da rappresentare a grandi linee la diversità di ambienti sul territorio italiano (ad es., Piemonte, Lazio-Umbria, Calabria). I rilievi riguardano sia le acquisizioni di immagini da APR che rilievi GPS con strumentazione che permetta di georeferenziare con precisione centimetrica (indicatori da 1 a 5).</p> <p>T1.4 Estrazione e processamento DEM: L’obiettivo è quello di estrarre il DEM-Digital Elevation Model dalle immagini APR e, a partire da due acquisizioni in date diverse, l’evoluzione della topografia dei tratti in esame (DoD-DEM of Difference; indicatori 1, 4 e 5).</p>	

Selezione e descrizione dei siti di studio oggetto delle attività (Task 1)

I criteri adottati per la selezione dei siti di studio sono quelli previsti nel “Piano delle attività”, che possono essere così sintetizzati:

- distribuzione dei siti in differenti aree del territorio nazionale in modo da caratterizzarne le diverse condizioni ambientali (ambito alpino, Appennino Centrale, Appennino Meridionale);
- identificazione di 8 tratti su 3 corsi d'acqua secondari più 2 tratti individuati su corsi d'acqua principali;
- identificazione di almeno 2 tratti (tratto monte e tratto valle) su ciascuno dei 3 corsi d'acqua secondari aventi ciascuno una lunghezza massima di 700÷800 m ai fini del rilievo con APR e una larghezza minima dell'alveo di magra di 20÷30 m in modo da essere visibili nelle immagini Copernicus Sentinel;
- individuazione di 1 tratto su ciascuno dei 2 corsi d'acqua principali (ad es., Po e Tevere);
- presenza di almeno una stazione di misura delle portate per corso d'acqua e/o per tratto.

La pianificazione della campagna di rilievi, ai fini dell'individuazione dei tratti da analizzare, si è poi basata sulla sussistenza di due condizioni principali: fattibilità dei rilievi mediante APR e accessibilità dei tratti stessi. La non sussistenza di quest'ultima condizione, constatata solo direttamente sul campo, ha portato in alcuni casi a dover modificare la localizzazione del tratto da analizzare. Si è, inoltre, considerato prioritario il criterio della rappresentatività dei tratti di studio nel contesto italiano rispetto alla dimensione del corso d'acqua. Sono stati quindi selezionati corsi d'acqua e tratti rappresentativi di diverse morfologie (sia a canale singolo che a canali multipli) e sono stati selezionati non solo tratti il cui alveo di magra fosse maggiore di 20÷30 m, ma anche tratti per i quali fosse possibile osservare, durante il periodo di studio, dinamiche morfologiche rispetto all'intera zona di alveo (o *bankfull channel*; [Rinaldi et al., 2016a](#)). Ai fini dell'*habitat mapping*, la selezione si è orientata su tratti che consentissero di includere una vasta gamma di unità morfologiche ([Rinaldi et al., 2016b](#); [Belletti et al., 2017](#)). L'applicazione dei suddetti criteri ha consentito l'individuazione dei seguenti tratti di studio la cui distribuzione sul territorio italiano è illustrata in [Figura 3](#):

- Distretto Idrografico Padano/ambito alpino: 3 tratti nel bacino del Po di cui 2 lungo il fiume Sesia e 1 sul fiume Po (P1, P2, P3);
- Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale: 3 tratti nel bacino del Tevere e in particolare lungo il Fiume Paglia (L1, L2, L3);
- Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale: 2 tratti lungo l'asta del torrente Bonamico, una fiumara Calabria (C1, C2).

Si ricorda che la dimensione dei tratti selezionati e descritti in questa relazione tecnica fa riferimento ai campionamenti tramite APR ai fini della costruzione della verità a terra (*ground truth*), mentre per il calcolo degli indicatori dalle immagini Sentinel si farà riferimento a tratti omogenei definiti secondo la metodologia IDRAIM ([Rinaldi et al., 2016a](#), [2014](#)), pertanto la dimensione varierà a seconda dell'indicatore da calcolare.

La prima campagna di rilievi è stata svolta per lo più nel periodo settembre–novembre 2017. Tuttavia, un primo rilievo è stato effettuato, in accordo tra le parti, a luglio 2017 ([Tabella 2](#)).



Figura 3. Localizzazione dei siti di studio. P1, P2, P3: tratti rilevati nel bacino del Sesia/Po (Alpi); L1, L2, L3: tratti rilevati nel bacino del Paglia/Tevere (Appennino Centrale); C1, C2: tratti rilevati lungo la Fiumara Bonamico nell'Appennino Meridionale.

Tabella 2. Sintesi della prima campagna di rilievi. P1, P2, P3: tratti rilevati nel bacino del Sesia/Po (Alpi); L1, L2, L3: tratti rilevati nel bacino del Paglia/Tevere (Appennino Centrale); C1, C2: tratti rilevati nell'Appennino Meridionale.

Rilievi	21 luglio 2017	16-20 settembre 2017	15-17 novembre 2017
Sito/Tratto rilevato	P2	P1, P3, L1, L2, L3	C1, C2

Nei paragrafi seguenti si riporta la descrizione generale dei tratti selezionati per ciascun ambito territoriale (ambito Alpino, Appennino Centrale, Appennino Meridionale).

Alpi: bacino del Po/Sesia

In ambito alpino sono stati selezionati due tratti (P1 e P2) lungo il fiume Sesia, situati rispettivamente all'altezza delle località di Arborio e di Caresana (VC) ([Figura 4](#); [Figura 5](#)), e un tratto lungo il fiume Po (P3) compreso tra la confluenza Po-Bormida e la confluenza Po-Scrivia, nei pressi della località di Cascine Nuove (PV) ([Figura 4](#); [Figura 5](#)). In [Tabella 3](#) sono riassunte le principali caratteristiche di questi tratti campionati.

Tabella 3. Sintesi delle caratteristiche dei tratti campionati nel bacino del Po. L: lunghezza del tratto; D: larghezza media dell'alveo di magra; H: altitudine media del tratto. Per la tipologia d'alveo si fa riferimento al manuale IDRAIM ([Rinaldi et al., 2016a, 2014](#)).

Tratto	Località	L(m)	D (m)	H (m s.l.m.)	Tipologia alveo	Stazione idrometrica
P1	Arborio (VC)	300	> 30	184	Canali intrecciati	n.d.
P2	Caresana (VC)	550	> 45	110	Meandriforme	PALESTRO
P3	Cascine Nuove (PV)	670	> 50	74	Wandering	ISOLA S. ANTONIO

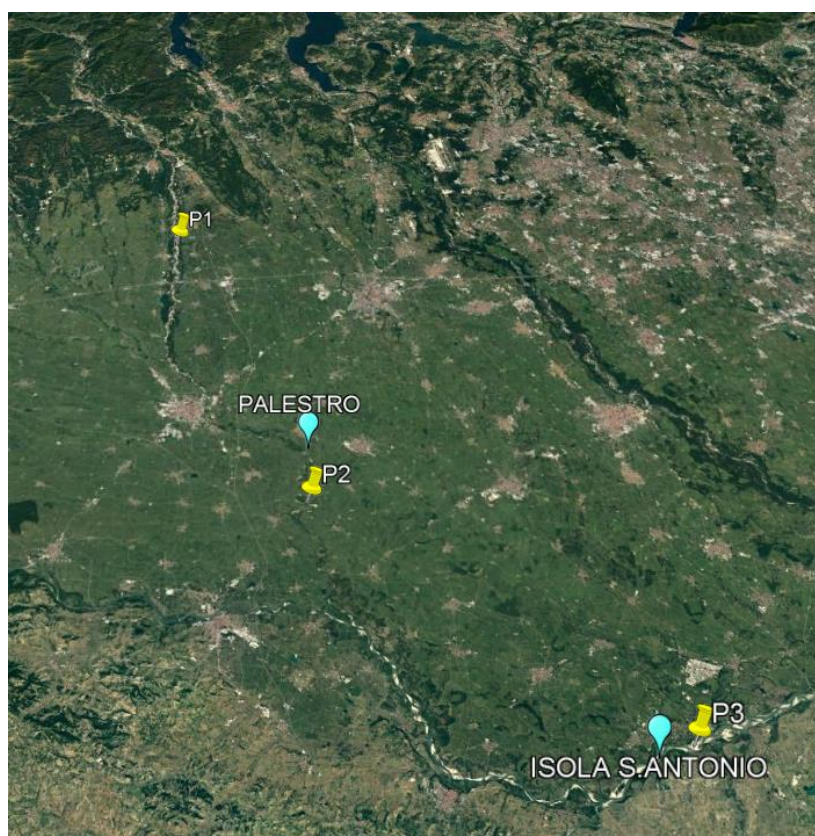


Figura 4. Posizione dei siti L1, L2 e L3 e delle relative stazioni idrometriche di riferimento.

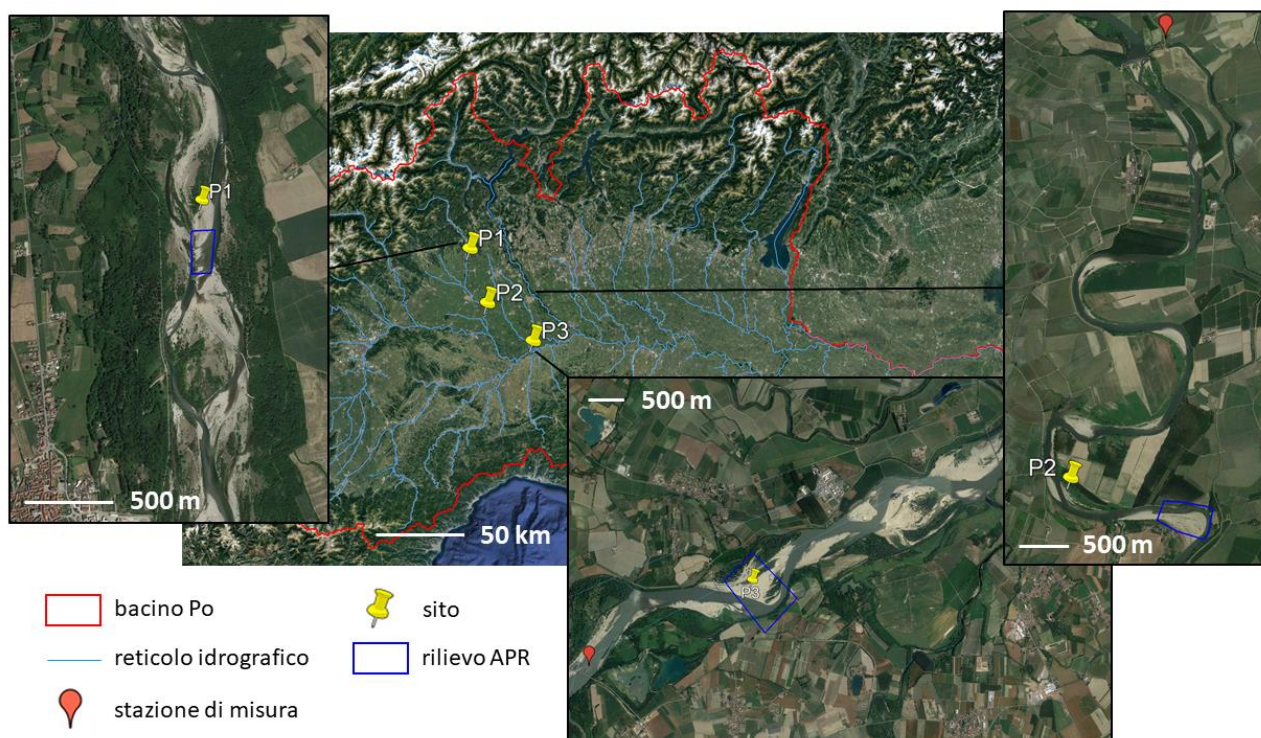


Figura 5. Localizzazione dei siti di studio nel bacino del Po e delle corrispondenti aree coperte da rilievo APR rispetto alle stazioni di misura idrometrica. Si noti che P1 (Sesia ad Arborio) non ha una stazione di misura in prossimità del sito.

Riguardo al tratto P1 lungo il Sesia, una prima ipotesi di localizzazione, più a monte di quella poi assunta e più vicino a una stazione idrometrica (Campertogno Sesia), è stata scartata in seguito a sopralluogo sul campo, avendo accertato la non sussistenza delle condizioni di accessibilità. Il tratto P1 è l'unico, per quanto riguarda il bacino Po/Sesia a cui non è associata una stazione idrometrica di riferimento ([Figura 5](#)). Il Sesia in questo tratto presenta un alveo molto largo e una morfologia a canali intrecciati e il sedimento è costituito prevalentemente da ciottoli ([Figura 6](#)).

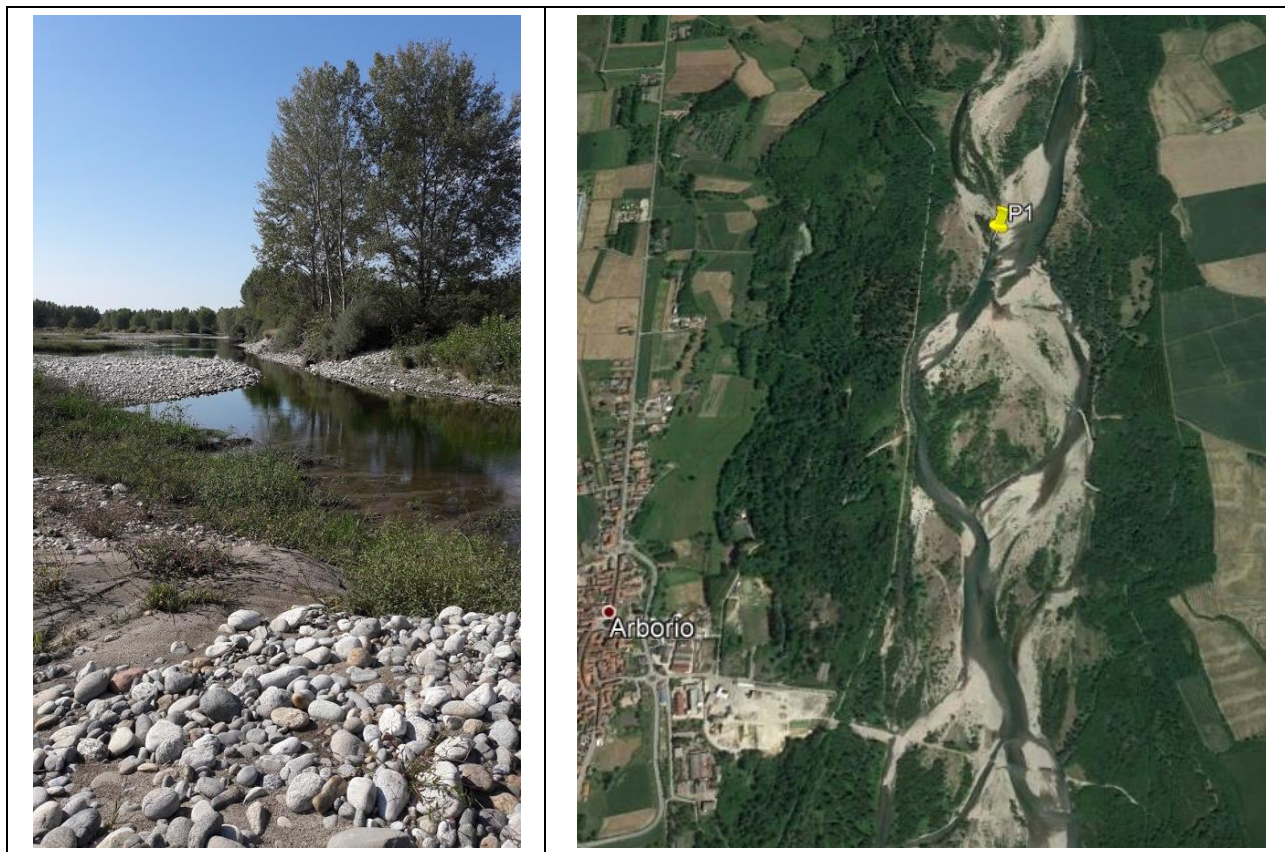


Figura 6. Sesia nel tratto P1 presso Arborio – settembre 2017.

Il tratto P2 sul Sesia ha come stazione idrometrica di riferimento quella di Palestro, situata a monte del tratto a una distanza di circa 6 km. In questo tratto il Sesia manifesta un alveo meandriforme e il sedimento è prevalentemente ghiaioso ([Figura 7](#)).

Per il tratto P3 sul Po si fa riferimento alla stazione idrometrica di Isola Sant'Antonio, posta a monte del tratto a una distanza di circa 2,5 km. L'alveo è transizionale e di tipo *wandering* e il sedimento è prevalentemente costituito da ghiaia grossolana ([Figura 8](#)).



Figura 7. Sesia nel tratto P2 presso Caresana – luglio 2017.



Figura 8. Fiume Po nel tratto P3 presso Cascine Nuove – luglio 2017.

Appennino Centrale: bacino del Tevere/Paglia

Nell'ambito dell'Appennino Centrale, tutti i tratti selezionati (L1, L2, L3) nel bacino del Tevere si trovano lungo il fiume Paglia e sono situati rispettivamente all'altezza delle località di Acquapendente (VT), Alleronia (TR) e Orvieto (TR) ([Figura 9](#); [Figura 10](#)). In [Tabella 4](#) sono riassunte le principali caratteristiche dei tratti campionati.

Tabella 4. Sintesi delle caratteristiche dei tratti campionati nel bacino del Tevere/Paglia. L: lunghezza del tratto; D: larghezza media dell'alveo di magra; H: altitudine media del tratto. Per la tipologia d'alveo si fa riferimento al manuale IDRAIM (Rinaldi et al., 2016a, 2014).

Tratto	Località	L(m)	D (m)	H (m s.l.m.)	Tipologia alveo	Stazione idrometrica
L1	Acquapendente (VT)	620	< 30	248	Anabranching	PROCENO
L2	Allerona (TR)	870	30	146	Sinuoso a barre alternate	ALLERONA
L3	Orvieto (TR)	550	< 30	124	Sinuoso a barre alternate	ORVIETO

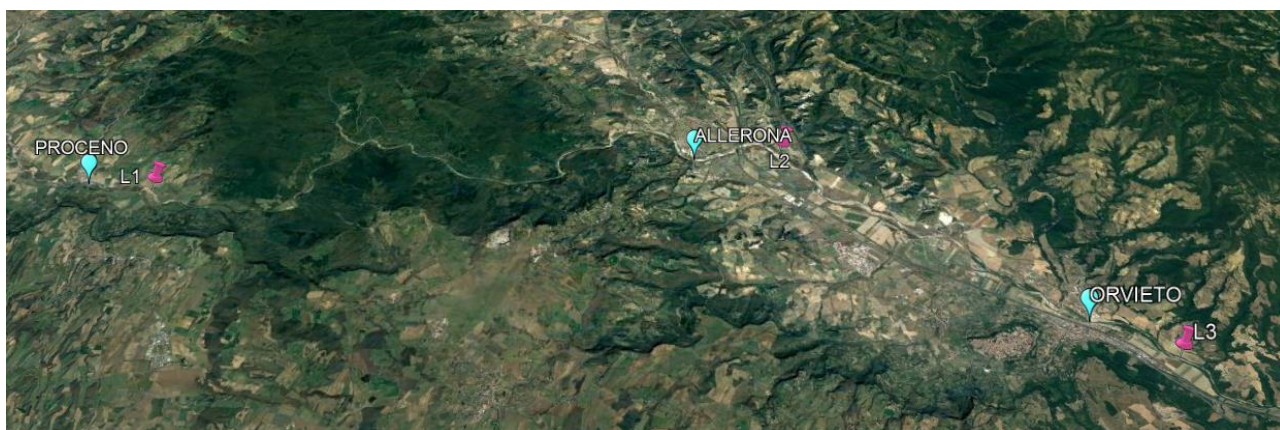


Figura 9. Posizione dei siti L1, L2, L3 e delle relative stazioni idrometriche di riferimento.

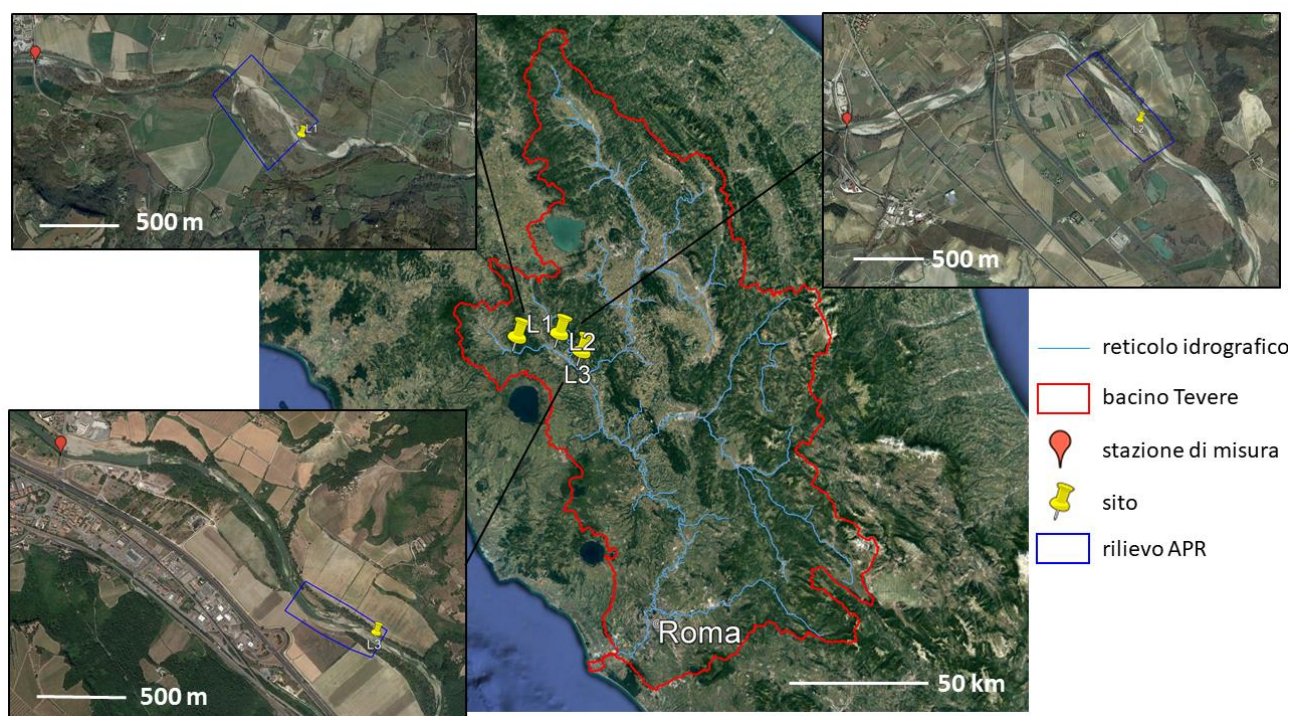


Figura 10. Localizzazione dei siti di studio nel bacino del Tevere e delle corrispondenti aree coperte da rilievo APR rispetto alle stazioni di misura idrometrica.

Il tratto L1 sul Paglia ha come stazione idrometrica di riferimento quella di Proceno, situata a monte del tratto a una distanza di circa 1,6 km. In questo tratto il fiume presenta una morfologia *anabranching* con un'isola terrazzata ben sviluppata e colonizzata da vegetazione arborea. Il sedimento è prevalentemente costituito da ghiaia e ciottoli e sono presenti numerosi accumuli di materiale legnoso grossolano (*large wood jam*, v. [Figura 11](#)).



Figura 11. Fiume Paglia nel tratto L1 presso Acquapendente – 20 settembre 2017.

Il tratto L2 sul Paglia ha come stazione idrometrica di riferimento quella di Allerona, situata a monte del tratto a una distanza di circa 2,3 km. In questo tratto l'alveo è significativamente inciso come testimoniano gli affioramenti di substrato argilloso e la mancanza di vere e proprie barre di sedimento ([Figura 12](#)). Il tratto risulta confinato in sponda sinistra.

Il tratto L3 sul Paglia ha come stazione idrometrica di riferimento quella di Orvieto Scalo, che si trova a monte del tratto a una distanza di circa 2,2 km. Il sedimento è costituito prevalentemente da ghiaia e ciottoli ([Figura 13](#)).

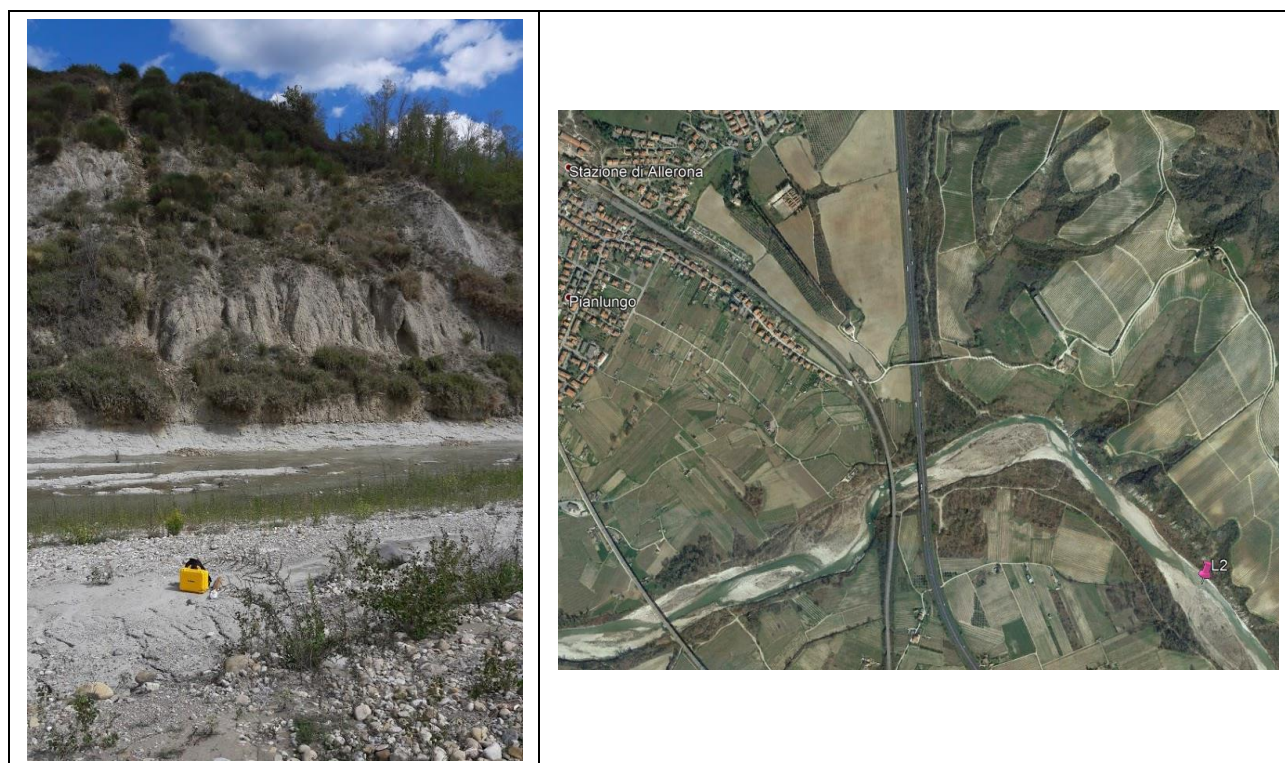


Figura 12. Fiume Paglia nel tratto L2 presso Allerona – 18 settembre 2017.



Figura 13. Fiume Paglia nel tratto L3 presso Orvieto – 19 settembre 2017.

Appennino Meridionale: fiumara Bonamico

Nell'ambito dell'Appennino Meridionale, i tratti selezionati (C1, C2) si trovano lungo la Fiumara Bonamico ([Figura 14](#); [Figura 15](#)). Il sito C1 ([Figura 16](#)), nei pressi della località San Luca (RC), è stato selezionato in corrispondenza della confluenza con la Fiumara Butramo. Il sito C2 ([Figura 17](#)), nei pressi della località San Nicola (RC), è posto in prossimità della foce della Fiumara Bonamico ([Figura 14](#)). Solo il tratto a valle (C2) ha una stazione di misura in prossimità del sito. In [Tabella 5](#) sono riassunte le principali caratteristiche dei tratti campionati.

Entrambi i tratti presentano alveo a canali intrecciati e il sedimento è costituito prevalentemente da ciottoli (C1; v. [Figura 16](#)) e ghiaia grossolana (C2; v. [Figura 17](#)).

Tabella 5. Sintesi delle caratteristiche dei tratti campionati lungo la Fiumara Bonamico. L: lunghezza del tratto; D: larghezza media dell'alveo di magra; H: altitudine media del tratto. Per la tipologia d'alveo si fa riferimento al manuale IDRAIM (Rinaldi et al., 2016a, 2014).

Tratto	Località	L(m)	D (m)	H (m s.l.m.)	Tipologia alveo	Stazione idrometrica
C1	San Luca (RC)	900	n.d.	93	Canali intrecciati	—
C2	San Nicola (RC)	500	n.d.	13	Canali intrecciati	BONAMICO



Figura 14. Posizione dei siti C1 e C2 e dell'unica stazione idrometrica di riferimento.

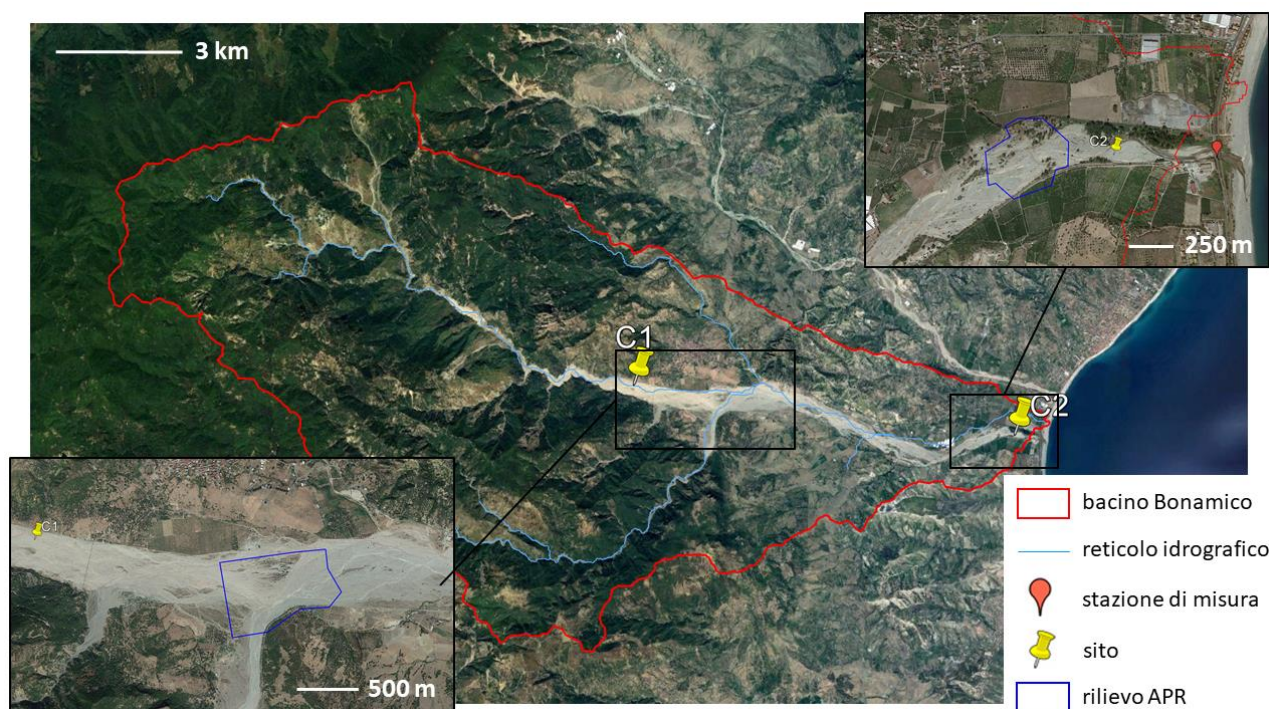


Figura 15. Localizzazione dei siti di studio lungo la fiumara Bonamico e delle corrispondenti aree coperte da rilievo APR rispetto all'unica stazione di misura idrometrica.



Figura 16. Fiumara Bonamico nel tratto C1 presso San Luca – 15 novembre 2017.

Si noti in [Figura 17](#) che durante il rilievo l'alveo di magra era principalmente asciutto con la presenza di alcune pozze isolate.



Figura 17. Fiumara Bonamico nel tratto C2 presso San Nicola – 16 novembre 2017.

Rilievi di Campo (Task 1.1)

I rilievi di campo previsti dal Task 1.1 sono consistiti nell'acquisizione di immagini da APR e nella determinazione delle coordinate di punti mediante sistema GPS.

Acquisizione immagini da APR

L'acquisizione delle immagini da APR è stata effettuata utilizzando la camera principale montata sul drone DJI Phantom 4 Pro ([Figura 18](#)), con la possibilità di montare l'ulteriore camera MAPIR NIR+Red (di proprietà dell'ISPRA) per l'aggiunta del canale infrarosso. Il collegamento tra drone e camera principale e

la mobilità di quest'ultima è garantito da un dispositivo noto come “*gimble*” o “*gimbal*”, che consente di effettuare acquisizioni stabilizzate.



Figura 18. APR DJI Phantom 4 Pro a terra (in base) e in fase di decollo, fiumara Bonamico tratto C2.

Le campagne di rilievo sono state effettuate da personale DEIB e ISPRA munito di “Attestato di pilota APR” abilitato per “Operazioni Specializzate Non Critiche”, rilasciato dall’ENAC a seguito di opportuno corso ed esame.

Per ciascun sito campionato, l’acquisizione d’immagini è stata progettata e guidata mediante la definizione di opportuni piani di volo. Attraverso tali piani è stato, infatti, possibile programmare e definire nel dettaglio, traiettorie, velocità, quota dal suolo e inclinazione della camera da adottare durante i voli con drone all’interno dell’area di rilevamento in esame. In corrispondenza di ciascun sito la dimensione dell’area campionata con più voli è stata compresa tra i 500 m e gli 800 m, a seconda delle condizioni presenti in loco (presenza di ostacoli quali ponti, linee elettriche, strade, alberi, ecc.) e delle caratteristiche del tratto fluviale. L’area oggetto di rilevamento include, in porzioni variabili a seconda del sito, il canale attivo, la vegetazione riparia e parte della piana inondabile.

I voli eseguiti sono stati programmati per le seguenti tipologie di acquisizione:

- acquisizioni a 5÷7 m di quota rispetto al suolo sulle barre di sedimento, per ottenere le foto utili alla tecnica del *photosieving* al fine di estrarre le informazioni granulometriche sui sedimenti ([Butler et al., 2001](#));
- acquisizioni a 20÷50 m di quota impostando l’inclinazione della camera verticale al suolo (parametro “*gimble*” da settare su -90°);
- acquisizioni a circa 80-100 m di quota impostando l’inclinazione della camera mediante la variazione del parametro “*gimble*” tra -30° e -60° .

Le diverse altezze di volo e le inclinazioni della camera sono state impostate in modo da ottenere prospettive multiple che, come riportato in letteratura, migliorano la creazione del progetto di *SfM-Structure from Motion* ([Carboneau and Dietrich, 2017](#)). I parametri di velocità del drone sono stati stabiliti in modo da ottenere una sovrapposizione longitudinale tra fotogrammi consecutivi maggiore dell’80% e verticale del 60%. Per ulteriori dettagli, è possibile consultare il materiale riguardante PhotoScan e i piani di volo che saranno archiviati nel repository ftp “HM-IRIS” predisposto da ISPRA ai fini dell’accordo.

Rilievo punti GPS

Per il rilievo dei punti a terra è stato utilizzato uno strumento GPS-RTK della Trimble dotato di ricevitore GNSS (Global Navigation Satellite System) di tipo R10 ([Figura 19](#)).



Figura 19. Rilievo GPS con Trimble R10, Fiume Paglia nel tratto L2.

Lo strumento è stato utilizzato per la determinazione delle coordinate di punti cosiddetti “target” che sono punti di riferimento per la georeferenziazione centimetrica delle immagini acquisite mediante APR. I target sono stati posizionati su 2 o 3 linee parallele tra loro e perpendicolari alla direzione di flusso del corso d’acqua ([Figura 20](#)), mantenendo un distanziamento medio tra le linee di circa 100 m (variabile a seconda dell’area campionata). I target sono stati inoltre disposti in aree emerse (barra di sedimento; v. [Figura 21](#)), avendo cura di garantirne la visibilità dall’alto ed essere così ben riconoscibili, in fase di processamento con PhotoScan, nelle immagini acquisite da drone ([Figura 22](#)) fino a quota di 20÷50 m.

Prima di iniziare ciascuna campagna di rilevamento, si è provveduto alla calibrazione del sensore GNSS effettuando le tre operazioni previste nel software del controller: calibrazione pendenza, calibrazione magnetometro e allineamento magnetometro. Il sistema di coordinate scelto per il rilievo dei punti è l’UTM, Datum WGS 84, Zona 32 Nord. Il rilevamento GNSS è di tipo *RTK-Real-Time Kinematic* (cinematico in tempo reale).

La misura dei punti target è stata effettuata con metodo “*Punto di rilevamento*” impostando un tempo di occupazione di 2 secondi e un numero di misurazioni uguale a 2. La misura del punto, una volta effettuata la messa in bolla, viene pertanto conclusa in 4 secondi. Altri punti che potranno essere utilizzati per la validazione del *DoD-Dem of Difference* ([indicatore 5](#)) sono stati ottenuti con metodo “*Punto rapido*” che, seppure con precisioni minori (maggiore tolleranza sull’inclinazione), consente tempi di campionamento molto più brevi, e dunque ben si adatta al rilievo di un numero considerevole di punti. In ogni caso, il software in dotazione al Trimble è impostato per fornire, durante il rilievo di un punto, avvisi riguardanti la copertura satellitare, l’eventuale eccesso d’inclinazione o l’eccessivo movimento dello strumento e la scarsa precisione del rilievo.

Per ciascun sito è stato possibile creare ed esportare un “*Survey Report*”, ossia un Rapporto di Rilevamento che contiene tutte le informazioni rilevanti di un dato lavoro di campionamento e la descrizione delle condizioni in cui è stato effettuato il rilevamento di ciascun punto. In questo modo, è stato possibile valutare la qualità delle posizioni misurate. Nella [Tabella 6](#) è riportato un estratto di tale

Report prodotto per il sito C2 in prossimità della foce della Fiumara Bonamico, riferito a un punto (p1) la cui posizione è stata determinata con metodo “Punto rilevamento”, utilizzando una costellazione composta da 16 satelliti, con precisioni orizzontale e verticale rispettivamente uguali a 0,012 m e 0,020 m e distanza di pendenza di 0,010 m.

Tabella 6. Survey Report per target p1 nel sito C2. PDOP: Position Dilution of Precision; GDOP: Geometric Dilution of Precision; HDOP: Horizontal Dilution of Precision; VDOP: Vertical Dilution of Precision.

Nome lavoro	Bonamico_valle								
Punto	p1	ΔX	1632.128	ΔY	-1522.175	ΔZ	-1467.376	Codice	
		Metodo	Rete RTK	Tipo	Punto rilevamento	Ricerca classe	Normale		
Altezza antenna	2	Tipo	Senza correzione	Distanza pendenza	0.01	Prec or	0.012	Prec.v.	0.02
QC 1		PDOP	1.6	GDOP	2	HDOP	0.8	VDOP	1.4
		Età dati base	1	Satelliti	16	Posizioni utilizzate	3		
QC 2		VCV xx (m ²)	0.000383	VCV xy (m ²)	0.000082	VCV xz (m ²)	0.000101		
				VCV yy (m ²)	0.000053	VCV yz (m ²)	0.000029		
						VCV zz (m ²)	0.000095		

Per una maggiore accuratezza del rilievo è necessario poter agganciare un numero minimo di satelliti e che essi siano ben distanziati fra loro. Il numero minimo di satelliti è 4, ma l’inizializzazione della RTK ne richiede almeno 5. Riguardo alla bontà della configurazione della costellazione di satelliti utilizzati durante la misurazione, si utilizzano opportuni indicatori. Il *DOP-Dilution of Precision* è una misura della qualità delle posizioni GPS, basata sulla configurazione geometrica dei satelliti utilizzati per calcolare le posizioni rispetto al ricevitore. Una migliore distribuzione dei satelliti nel cielo, a cui è associata una maggiore accuratezza della posizione, comporta un maggiore distanziamento tra essi sia sul piano orizzontale che su quello verticale e si traduce in un DOP più basso. L’accuratezza di una posizione 3D viene espressa attraverso il PDOP. Lo HDOP e il VDOP sono le componenti rispettivamente orizzontale (*Horizontal DOP*) e verticale (*Vertical DOP*) del PDOP. Il GDOP consente di fornire una valutazione della qualità della configurazione relativamente a una determinata posizione e a un determinato tempo. Occorre mantenere i valori DOP al di sotto di 6; valori buoni sono tra 4 e 6; valori eccellenti sono compresi fra 1 e 2, mentre al di sotto di 1 sono considerati ideali.

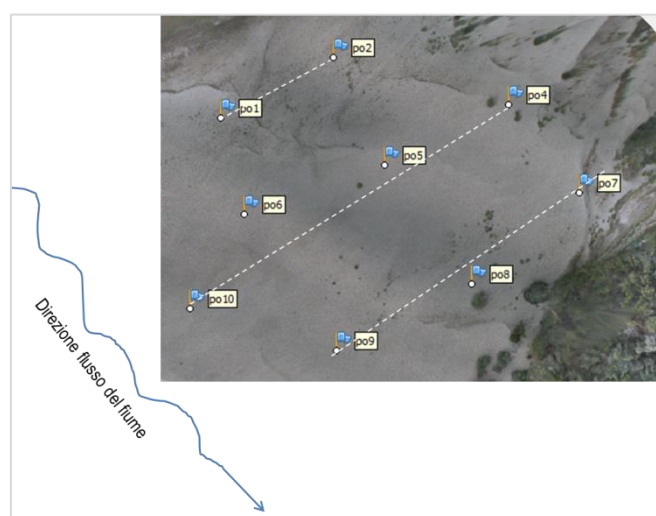


Figura 20. Disposizione dei punti GPS secondo linee parallele tra loro e perpendicolari alla direzione della corrente nel sito P3 sul Po.



Figura 21. Esempio di posizionamento di un punto target rilevato con GPS.



Figura 22. Immagine da APR, esempio di visibilità dall'alto di un target posizionato a terra per rilievo con GPS.

Preprocessing delle immagini acquisite da drone (Task 1.4)

Come anticipato, le immagini acquisite da drone sono state sottoposte a *preprocessing* utilizzando il software Agisoft PhotoScan, che realizza il processamento fotogrammetrico di immagini digitali e genera dati spaziali in 3D. In [Figura 23](#) viene riportato, attraverso uno schema a blocchi, l'insieme delle operazioni preliminari al raggiungimento del prodotto finale del rilievo fotogrammetrico (ortofoto). Lo schema rappresenta i comandi da eseguire in PhotoScan per il processamento dei dati e l'ordine con cui tali comandi vengono eseguiti.

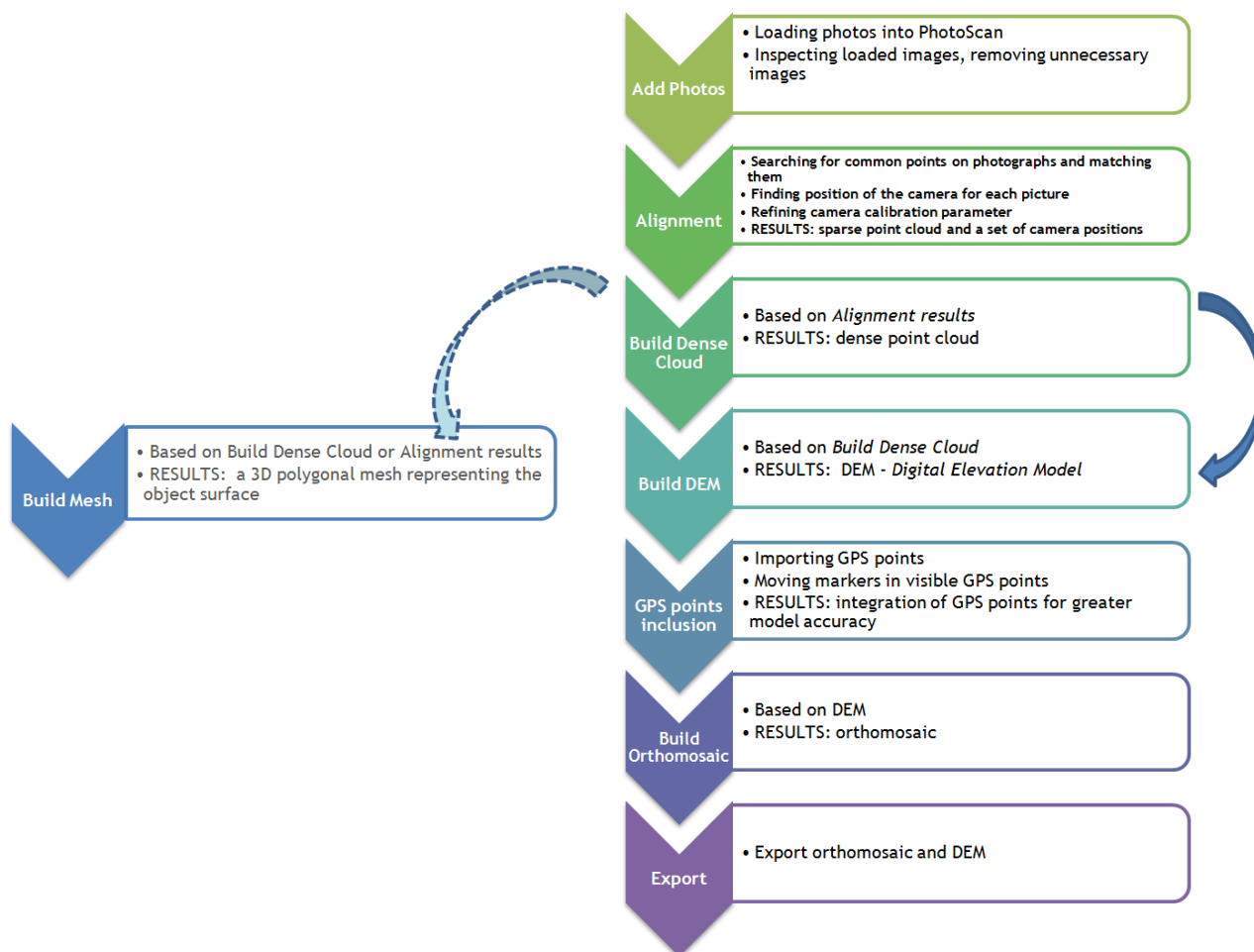


Figura 23. Schema a blocchi di sintesi delle operazioni di processamento delle immagini da drone su PhotoScan.

Nei paragrafi successivi vengono illustrati sinteticamente i vari step metodologici previsti in PhotoScan per il preprocessing utilizzando, a titolo esemplificativo, quanto effettuato sulle immagini acquisite nel sito L1 sul fiume Paglia. I risultati relativi agli altri 7 siti selezionati, sono riportati nella [Appendice 1](#) della presente relazione tecnica in formato immagine e nel *repository* ftp dell'accordo in formato digitale. Si rimanda a letteratura e manuali PhotoScan per una spiegazione tecnica dettagliata di ciascuno step e per maggiori informazioni sulle opzioni di configurazione alternative a quelle utilizzate in questa trattazione. Si ricorda, infatti, che in qualsiasi momento è possibile, aprendo i progetti PhotoScan forniti nel *repository* ftp, impostare per ciascuno step accuratezze e parametri diversi a seconda degli obiettivi preposti e far girare nuovamente il software per ottenere i risultati desiderati.

STEP 1: Add photos

Il primo step prevede di caricare in PhotoScan tutte le foto (*Add photos*) acquisite da drone durante la campagna di rilievo su un determinato sito. Il numero di fotogrammi disponibili dipende dal piano di

volo effettuato, che a sua volta è definito in relazione alla complessità morfologica, all'estensione dell'area rilevata in ciascun sito e alla necessità di creare delle sovrapposizioni tra le immagini acquisite (si veda, in proposito, il paragrafo [STEP 2: Alignment](#)). In questa fase, è opportuno effettuare una sorta di ispezione delle immagini e la rimozione di quelle non necessarie al rilievo 3D, in quanto potrebbero rallentare il processamento delle immagini stesse e peggiorare la qualità dei risultati ([Figura 24](#)).



Figura 24. Esempi di foto da scartare prima di procedere con il processamento delle immagini in PhotoScan.

STEP 2: Alignment

Una volta che tutte le foto sono state caricate in PhotoScan, occorre procedere all'allineamento (*Alignment*). PhotoScan trova, a partire da punti omologhi in fotogrammi consecutivi, la posizione e l'orientamento che la camera montata sul drone aveva al momento dell'acquisizione di ciascuna foto ([Figura 25](#)). Tali informazioni sono utilizzate dal software per costruire un modello stereoscopico “*Sparse Point Cloud*” (nuvola rada o sparsa di punti) che costituisce una rappresentazione 3D dei punti omologhi trovati.

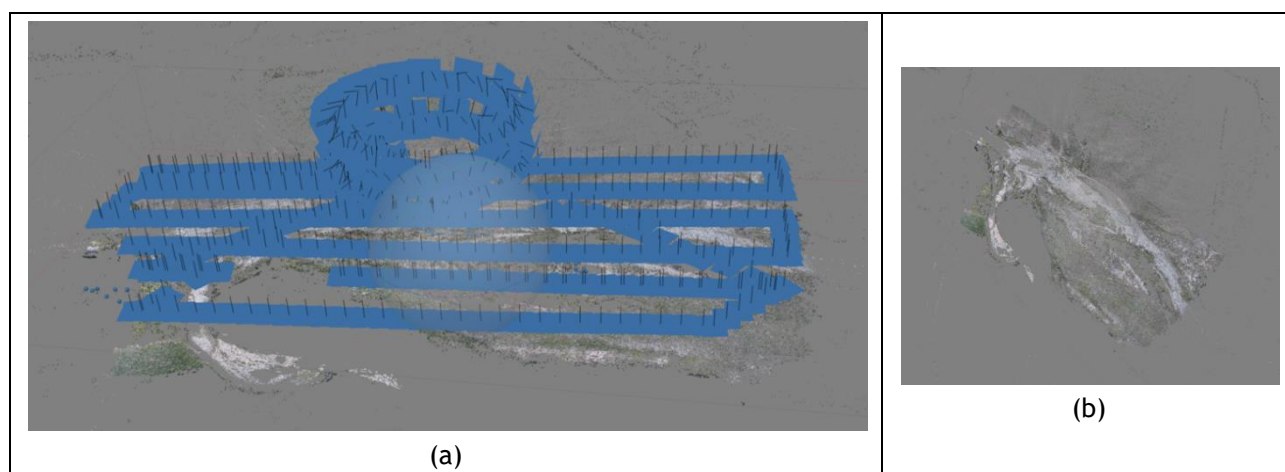


Figura 25. Esito dello STEP “Alignment” per il sito L1 sul fiume Paglia: (a) posizioni e orientamenti della camera e costruzione del modello *Sparse Point Cloud*; (b) nuvola di punti ottenuta attraverso la funzione *Alignment*.

Obiettivo dell'*Alignment* è quello di ricollocare i fotogrammi nella stessa posizione spaziale che avevano nella camera all'atto della presa. Per fare ciò, il software ricerca i punti omologhi tra le diverse fotogrammetrie e, risolvendo analiticamente un sistema di equazioni dette di collinearità, trova la posizione della camera all'atto della presa. Per migliorare la qualità dei risultati di questo step è importante che ci sia un numero sovrabbondante di punti omologhi opportunamente distribuiti nella zona di sovrapposizione tra i diversi fotogrammi e questo aspetto dipende da come è stato progettato il piano di volo. Una volta trovate le posizioni della camera e conoscendo la posizione di ciascun punto omologo sui

fotogrammi, PhotoScan riproietta nello spazio i punti omologhi individuati, trovando la loro posizione relativa 3D e costruendo così il modello a nuvola sparsa di punti.

Per tutti gli 8 siti considerati, l'accuratezza è stata impostata conciliando l'esigenza di produrre risultati il più possibile accurati con quella di produrli in tempi ragionevoli. Pertanto, si è optato per un valore di accuratezza elevato (*High*) e non il più elevato (*Highest*) che avrebbe richiesto un tempo di processamento eccessivamente lungo. Il processo di allineamento, infatti, può richiedere molto tempo nella fase di ricerca e collimazione dei punti omologhi tra tutte le immagini disponibili. In ogni caso, qualora si ritenesse necessario, è possibile aprire i progetti PhotoScan presenti nel *repository* ftp, modificarne l'accuratezza e far girare di nuovo il software per ottenere i nuovi risultati. Nella [Figura 25](#) si riporta, come esempio, il risultato dello step *Alignment* per il sito L1 sul fiume Paglia. È possibile riconoscere la nuvola sparsa di punti e le posizioni della camera che ricostruiscono il piano di volo programmato.

STEP 3: Build Dense Cloud

Photoscan consente di costruire e visualizzare un modello stereoscopico a nuvola densa di punti (*Build Dense Cloud*). Conoscendo tutte le posizioni della camera, ricavate nello step precedente, PhotoScan proietta nuovi punti generando una nuvola densa di punti. Questo step è il più dispendioso poiché il software per collimare un nuovo punto nel modello stereoscopico deve valutare tutte le possibili combinazioni e trovare la migliore posizione reciproca 3D tra tutti i punti.

Per questo step, l'accuratezza è stata settata su un livello medio (*Medium*) poiché livelli superiori richiedono tempi e risorse computazionali esponenzialmente più lunghi e più gravose, producendo risultati con un dettaglio non necessario per gli scopi dell'attività che si intende svolgere. In [Figura 26](#) si riporta, come esempio, la nuvola densa di punti generata per il sito L1, lungo il fiume Paglia.

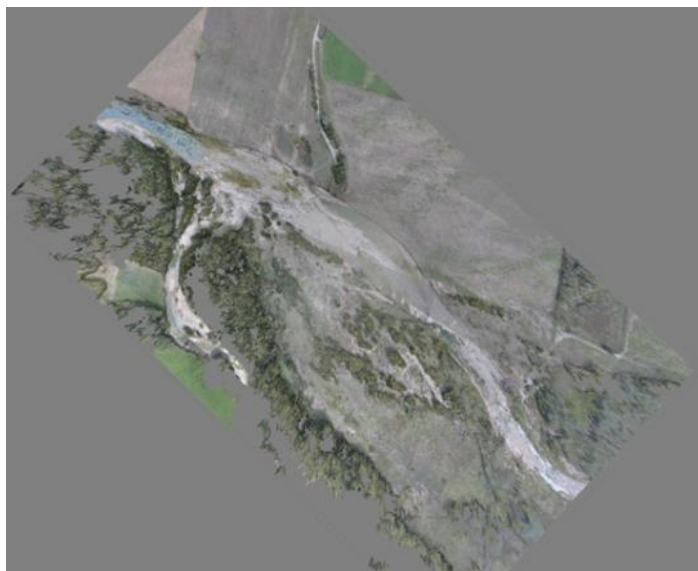


Figura 26. Nuvola densa di punti relativa al sito L1, lungo il fiume Paglia, in località Acquapendente (VT).

STEP 4: Build Mesh

In questo step, PhotoScan ricostruisce una maglia (*Build mesh*) poligonale 3D che rappresenta superfici, basandosi sulla nuvola densa di punti (si può ricorrere alla nuvola sparsa di punti per una rapida generazione della geometria). I punti del modello a nuvola densa vengono interpolati linearmente secondo triangoli: più la risoluzione richiesta è alta, più i triangoli di interpolazione sono piccoli, più il tempo di calcolo richiesto è lungo.

Dato che il processo di generazione delle ortofoto consente di utilizzare come dati di input in alternativa la Mesh o il DEM ed essendo il Build Mesh alquanto dispendioso, si è ritenuto opportuno non effettuare questo step riservandosi di riprenderlo in considerazione per eventuali applicazioni future.

STEP 5: Build DEM

Il DEM - *Digital Elevation Model* (modello digitale del terreno) è la rappresentazione digitale tridimensionale della superficie del terreno. In PhotoScan, ogni DEM è stato generato a partire dalla nuvola densa di punti: il software genera il DEM, nella risoluzione specificata, interpolando i punti della nuvola densa secondo l'algoritmo di interpolazione "*Inverse Distance Weighting*" (IDW). In alternativa, è possibile generare il DEM a partire dal Mesh o dalla nuvola sparsa di punti ma, in questi casi, i risultati conseguenti sono meno accurati. Il DEM può essere calcolato solo per modelli georiferiti quindi occorre specificare il sistema di riferimento adottato che nel caso specifico è quello assunto per i punti GPS (UTM/WGS84, Zona 32N). In [Figura 27](#) si riporta, come esempio, il DEM relativo al sito L1, lungo il fiume Paglia, in località Acquapendente (VT).

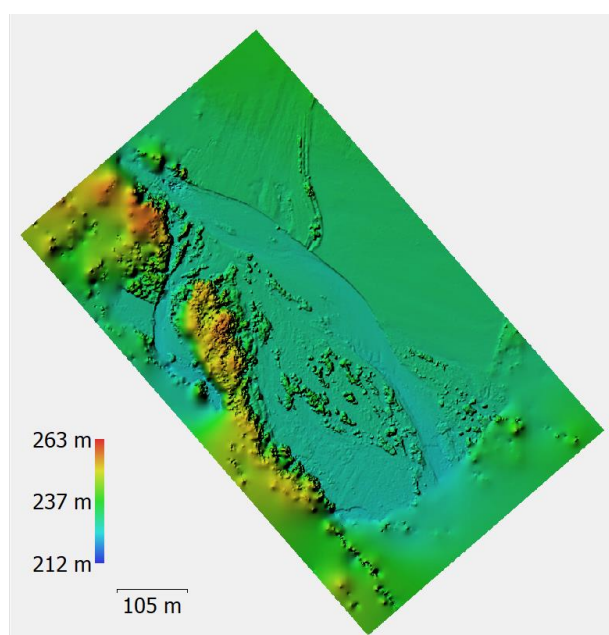


Figura 27. DEM relativo al sito L1, lungo il fiume Paglia, in località Acquapendente (VT).

STEP 6: GPS points inclusion

In questo step si inseriscono i punti GPS (*GPS points inclusion*), in coordinate geografiche (gradi decimali), registrati a terra con il Trimble ed esportati come file di testo in formato "csv". La possibilità di disporre di punti a terra misurati con alta precisione mediante strumento GPS (si veda il paragrafo [Rilievo punti GPS](#)) consente di ottenere una georeferenziazione delle immagini con precisione centimetrica. Una volta importate le coordinate dei punti (longitudine, latitudine e altitudine), PhotoScan suggerisce quali, tra tutte le foto da drone disponibili, è più probabile che contengano i punti a terra misurati (target). Occorre aprire singolarmente ogni foto suggerita per verificare la presenza del target nell'immagine e poi bisogna utilizzare un marcatore, che può essere spostato manualmente, per segnare il punto GPS esattamente nel centro del target visualizzabile al suolo. Si procede così, facendo coincidere il marcatore con il centro del target su più foto, finché l'errore di posizionamento in piano di ciascun punto GPS non raggiunge un valore inferiore a 0,1 m. Qualora non si riuscisse ad andare al di sotto di questo valore, si elimina il punto GPS in questione.

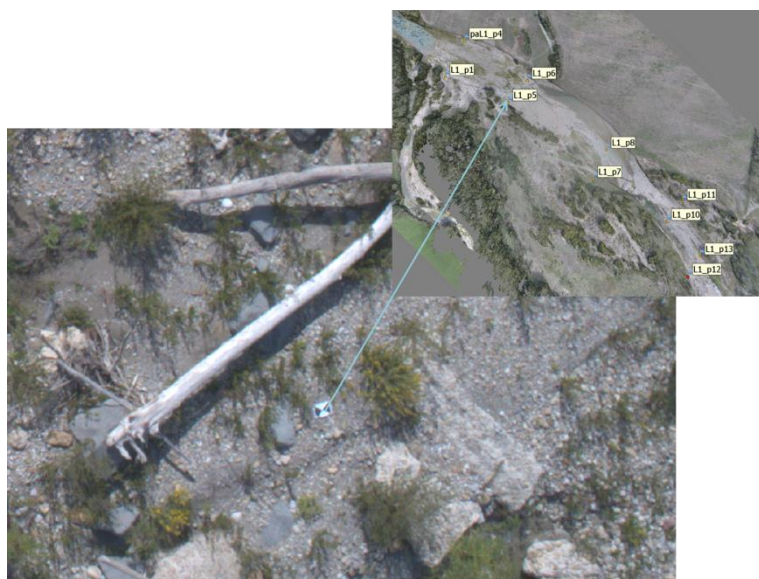


Figura 28. Inclusione dei punti GPS e riposizionamento dei marcatori nel centro del target a terra per il sito L1 sul fiume Paglia.

In [Figura 28](#) è riportato un esempio illustrativo del posizionamento di un marcatore sul sito L1 del fiume Paglia che è stato effettuato nella fase di inclusione dei punti GPS con la metodologia sopra descritta.

STEP 7: Build Orthomosaic

La realizzazione di un ortomosaico (*Buid Orthomosaic*), ovvero di una ortofoto, richiede la conoscenza del modello stereoscopico orientato e delle quote al fine di mantenere costante la scala. A tale scopo, in questo step, è stato selezionato il DEM come input alla generazione dell'ortofoto, che è una opzione diffusa ed efficiente quando si trattano dati di campagne aeree e che consente di risparmiare tempo rispetto all'opzione di utilizzare la *Mesh* come input alternativo. Così facendo, si ottiene un'immagine scalata, priva delle deformazioni prospettiche presenti nel fotogramma originario, sulla quale è possibile dedurre informazioni metriche. In [Figura 29](#) viene riportata l'ortofoto relativa al sito L1 sul fiume Paglia.

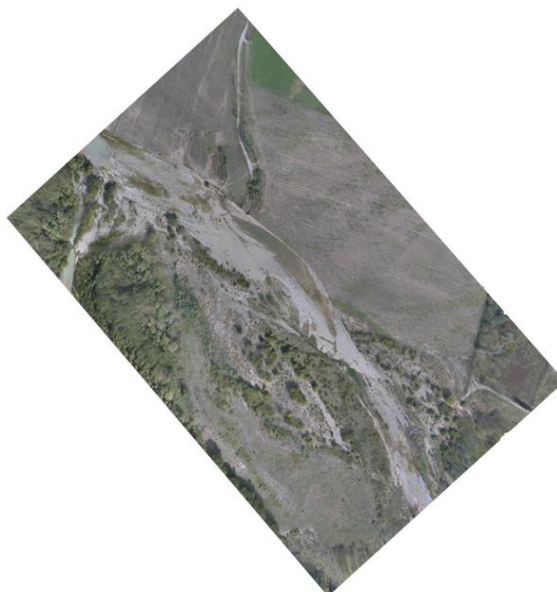


Figura 29. Ortofoto relativa al sito L1, lungo il fiume Paglia, in località Acquapendente (VT).

STEP 8: Export orthomosaic and DEM

L'ultimo step consiste nell'esportare le ortofoto e i DEM generati nei precedenti step. Nell'esportazione occorre specificare il sistema di coordinate (UTM/WGS84, Zona 32N), e la risoluzione con cui ortofoto e DEM saranno salvati.

Al fine di classificare le macro-unità che serviranno da verità a terra per classificazione dei dati di Copernicus Sentinel 2 e Sentinel 1, sia ortofoto che DEM sono stati esportati in formato "tiff" con una risoluzione di 10 cm/pixel. Qualora si volesse fare una classificazione e caratterizzazione delle unità morfologiche con un maggiore dettaglio, o fosse necessario un DoD a risoluzione più alta, si potrà decidere in qualsiasi momento di fare l'export alla risoluzione desiderata a partire dai progetti forniti come materiale digitale e depositati nel *repository* ftp dell'accordo.

Avanzamento delle attività: step futuri

Le attività previste per i prossimi 12 mesi, i cui risultati saranno riportati nella relazione tecnica intermedia n. 2 (**Milestone M2**), sono:

- utilizzo delle ortofoto per creare un classificatore delle immagini da drone: dalle 8 ortofoto ottenute, una per ogni sito di interesse, si procederà con la segmentazione in oggetti omogenei e la successiva classificazione da fotointerpretazione di un subset di oggetti riconoscibili sull'ortofoto (ad es., barre di sedimento, vegetazione, alveo di magra, ecc.), che costituirà il training set con cui addestrare il modello di classificazione delle immagini da drone;
- le ortofoto classificate saranno poi utilizzate come verità a terra per calibrare il modello di classificazione delle immagini Sentinel 2 (**indicatore 1**);
- sviluppo e implementazione dell'algoritmo di estrazione dell'alveo bagnato da S1 per la stima delle portate (**indicatore 3**);
- estrazione delle classi granulometriche combinando *photosieving* delle immagini drone e valori di riflettanza delle immagini di S2 (**indicatore 2**);
- sviluppo e implementazione dell'algoritmo per la mappatura degli habitat da S1 (**indicatore 1**);
- seconda campagna di rilievi, prevista tra la primavera e l'estate 2018, con la possibilità di estendere, con l'accordo delle parti, la campagna di rilievi anche a un bacino del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali.

Infine, i DEM a precisione centimetrica generati in questa prima fase del lavoro, saranno confrontati con i DEM generati sulla base dei dati acquisiti nella seconda campagna di rilievi. Si procederà con la generazione del DoD dalla cui analisi e confronto con i risultati della classificazione dei dati Sentinel 1 e 2 nell'arco temporale di un anno, si cercherà di ricavare indicatori di processo (**indicatori 4 e 5**). Questo step sarà riportato nella relazione finale (**Milestone M3**) insieme ai risultati della Task 5 in merito all'applicazione a scala di bacino delle metodologie e degli strumenti sviluppati per l'estrazione degli indicatori come risultato nelle attività delle Task 1-4.

Bibliografia

- Belletti B., Rinaldi M., Bussettini M., Comiti F., Gurnell A.M., Mao L., Nardi L., Vezza P. (2017) Characterising physical habitats and fluvial hydromorphology: A new system for the survey and classification of river geomorphic units. *Geomorphology* 283:143–157.
- Black M., Carbonneau P., Church M., Warburton J. (2014) Mapping sub-pixel fluvial grain sizes with hyperspatial imagery. *Sedimentology* 61:691–711. DOI: 10.1111/sed.12072.
- Butler J.B., Lane S.N., Chandler J.H. (2001) Automated extraction of grain size data from gravel surfaces using digital image processing. *Journal of Hydraulic Research* 39:1–11.
- Carbonneau P., Dietrich J. (2017) Cost-effective non-metric photogrammetry from consumer-grade sUAS: implications for direct georeferencing of structure from motion photogrammetry. *Earth Surf. Process. Landforms* 42:473–486.
- Carbonneau P.E., Lane S.N., Bergeron N.E. (2004) Catchment-scale mapping of surface grain size in gravel bed rivers using airborne digital imagery. *Water Resources Research* 40: n/a-n/a. DOI: 10.1029/2003WR002759.
- Carbonneau P.E., Bergeron N., Lane S.N. (2005) Automated grain size measurements from airborne remote sensing for long profile measurements of fluvial grain sizes. *Water Resources Research*. doi:10.1029/2005WR003994.
- Demarchi L., Bizzi S., Piégay H. (2016) Remote sensing hierarchical object-based mapping of riverscape units and in-stream mesohabitats using LiDAR and VHR imagery. *Remote Sensing* 8(2):97.
- Dugdale S.J., Carbonneau P.E., Campbell D. (2010) Aerial photosieving of exposed gravel bars for the rapid calibration of airborne grain size maps. *Earth Surface Processes and Landforms* 35(6):627–639.
- Durand M., Gleason C.J., Garambois P.A., Bjerklie D., Smith L.C., Roux H., Rodriguez E., Bates P.D., Pavelsky T.M., Monnier J., Chen X., Di Baldassarre G., Fiset J.-M., Flipo N., Frasson R.P.d.M., Fulton J., Goutal N., Hossain F., Humphries E., Minear J.T., Mukolwe M.M., Neal J.C., Ricci S., Sanders B.F., Schumann G., Schubert J. E., Vilmin L. (2016) An intercomparison of remote sensing river discharge estimation algorithms from measurements of river height, width, and slope. *Water Resources Research* 52:4527–4549. DOI: 10.1002/2015WR018434.
- Irwin K., Beaulne D., Braun A., Fotopoulus G. (2017) Fusion of SAR, Optical Imagery and Airborne LiDAR for 2 Surface Water Detection. *Remote Sensing* 9(9):890. DOI:10.3390/rs9090890.
- Gleason C.J., Smith L.C. (2014) Toward global mapping of river discharge using satellite images and at-many-stations hydraulic geometry. *PNAS* 111(13):4788–4791.
- Lallias-Tacon S., Liébault F., Piégay H. (2014) Step by step error assessment in braided river sediment budget using airborne LiDAR data. *Geomorphology*. DOI: 10.1016/j.geomorph.2014.02.014.
- Marcus W.A., Fonstad M.A., Legleiter C.J. (2012) Management Applications of Optical Remote Sensing in the Active River Channel. In: Carbonneau P. and Piegay H. (eds.), *Fluvial Remote Sensing for Science and Management*. Chichester, UK; 19–42.
- Pitlick J., Cress R. (2002) Downstream changes in the channel geometry of a large gravel bed river. *Water Resources Research*: 38(10). DOI:10.1029/2001WR000898.
- Rinaldi M., Surian N., Comiti F., Bussettini M. (2014) IDRAIM: Sistema di valutazione idromorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d'acqua. ISPRA, Manuali e Linee Guida 113/2014. Roma, giugno 2014.
- Rinaldi M., Belletti B., Comiti F., Nardi L., Mao L., Bussettini M. (2015) Sistema di rilevamento e classificazione delle Unità Morfologiche dei corsi d'acqua (SUM). ISPRA, Manuali e Linee Guida 122/2015. Roma, aprile 2015.
- Rinaldi M., Surian N., Comiti F., Bussettini M. (2016a) IDRAIM: Sistema di valutazione idromorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d'acqua – Versione aggiornata 2016 – ISPRA, Manuali e Linee Guida 131/2016. Roma, gennaio 2016.

Rinaldi M., Belletti B., Comiti F., Nardi L., Mao L., Bussettini M. (2016b) Sistema d rilevamento e classificazione delle unità morfologiche dei corsi d'acqua (SUM) – Versione aggiornata 2016 – ISPRA, Manuali e Linee Guida 132/2016. Roma, gennaio 2016.

Schumann G.J., Bates P.D., Di Baldassare G., Mason D.C. (2012). The use of Radar imagery in riverine flood inundation studies. In: Carbonneau P. and Piegay H. (eds.), *Fluvial Remote Sensing for Science and Management*. Chichester, UK; 440.

Surian N. (2001). Downstream variation in grain size along an Alpine river: analysis of controls and processes. *Geomorphology* 43:137-149.

Tiang H., Li W., Wu m., Huang N., Li G., Li X., Niu Z. (2017) Dynamic Monitoring of the Largest Freshwater Lake in China Using a NewWater Index Derived from High Spatiotemporal Resolution Sentinel-1A Data. *Remote Sensing* 9:521. DOI:10.3390/rs9060521.

Vázquez-Tarrío D., Borgniet L., Liébault F., Recking A. (2017) Using UAS optical imagery and SfM photogrammetry to characterize the surface grain size of gravel bars in a braided river (Vénéon River, French Alps). *Geomorphology*. DOI: 10.1016/j.geomorph.2017.01.039.

Wheaton J.M., Brasington J., Darby S.E. et al (2013) Morphodynamic signatures of braiding mechanisms as expressed through change in sediment storage in a gravel-bed river. *J Geophys Res Earth Surf* 118:759-779. DOI:10.1002/jgrf.20060.

Wheaton J.M., Fryirs K.A., Brierley G., Bangen S.G., Bouwes N., O'Brien G. (2015) Geomorphic mapping and taxonomy of fluvial landforms. *Geomorphology* 248:273-295. DOI: 10.1016/j.geomorph.2015.07.010.

Appendice 1

Di seguito si riportano gli output per ogni sito, in formato cartaceo, relativi al processing delle immagini da drone tramite il software Agisoft PhotoScan.

Alpi: bacino del Po/Sesia

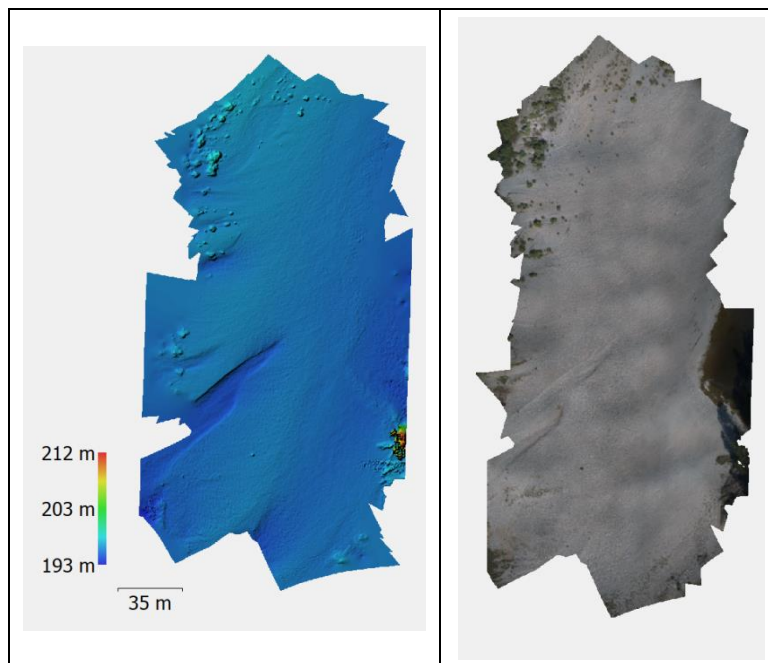


Figura A1. Sito P1, in località Aborio (VC). A sinistra il DEM, a destra l'ortofoto.

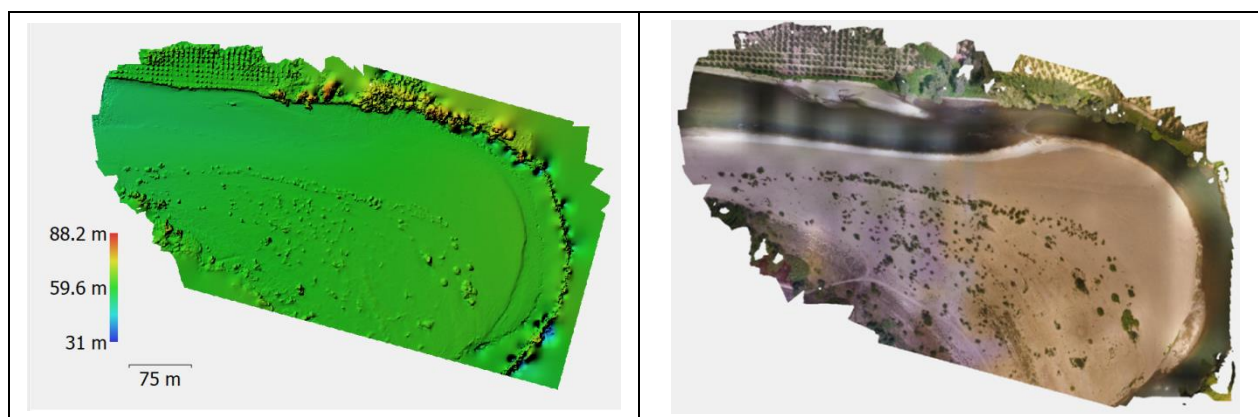


Figura A2. Sito P2, in località Caresana (VC). A sinistra il DEM, a destra l'ortofoto.

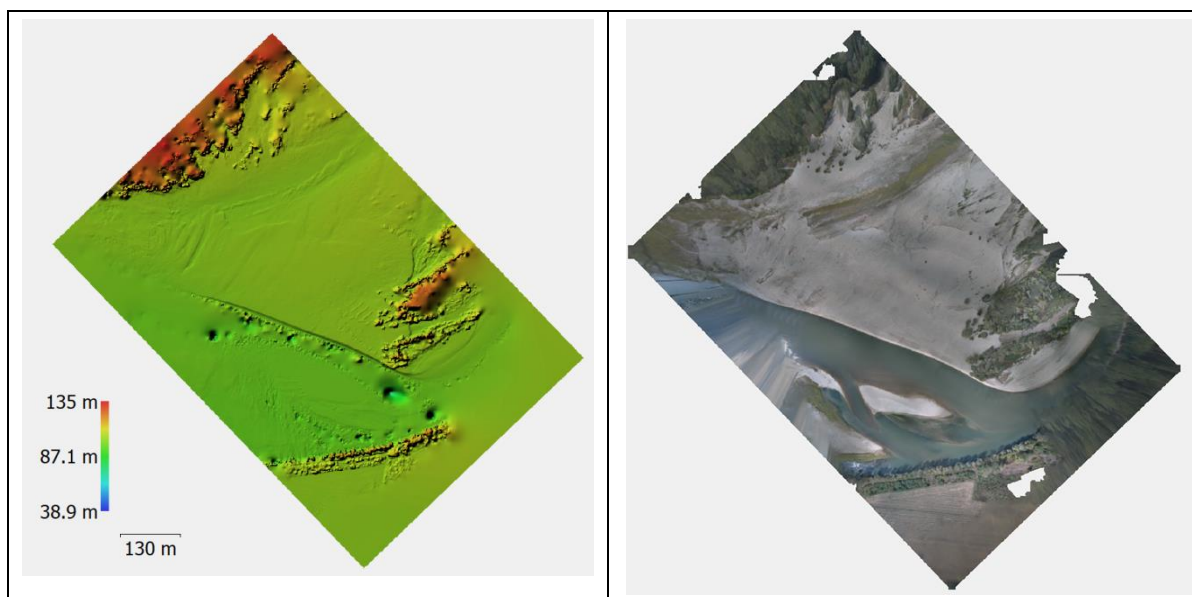


Figura A3. Sito P3, in località Cascine Nuove (PV). A sinistra il DEM, a destra l'ortofoto.

Appennino Centrale: bacino del Tevere/Paglia

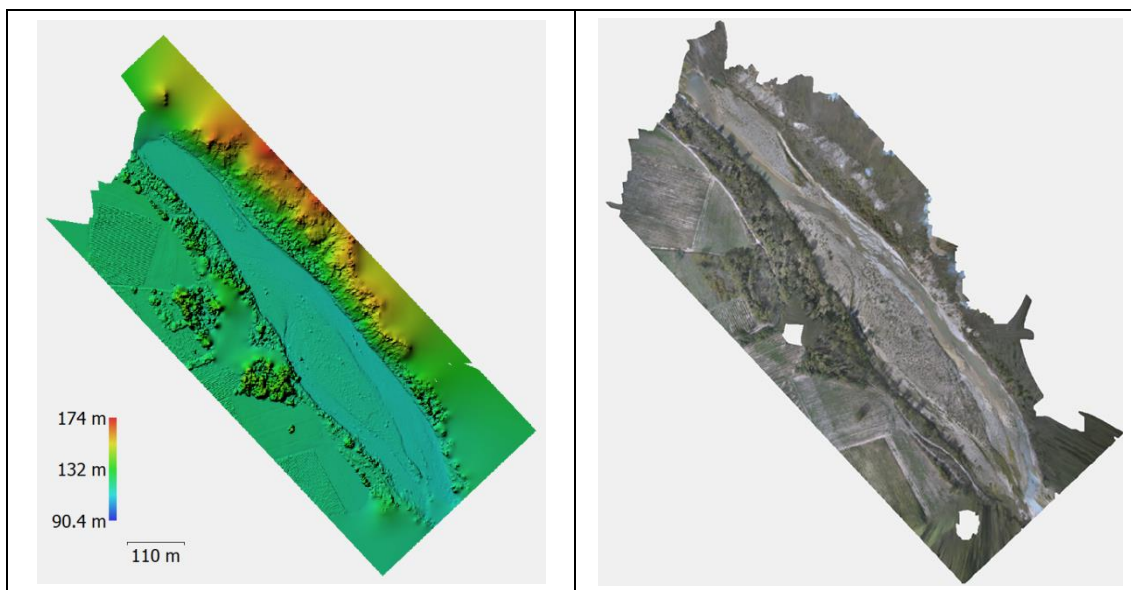


Figura A4. Sito L2, in località Allerona (TR). A sinistra il DEM, a destra l'ortofoto.

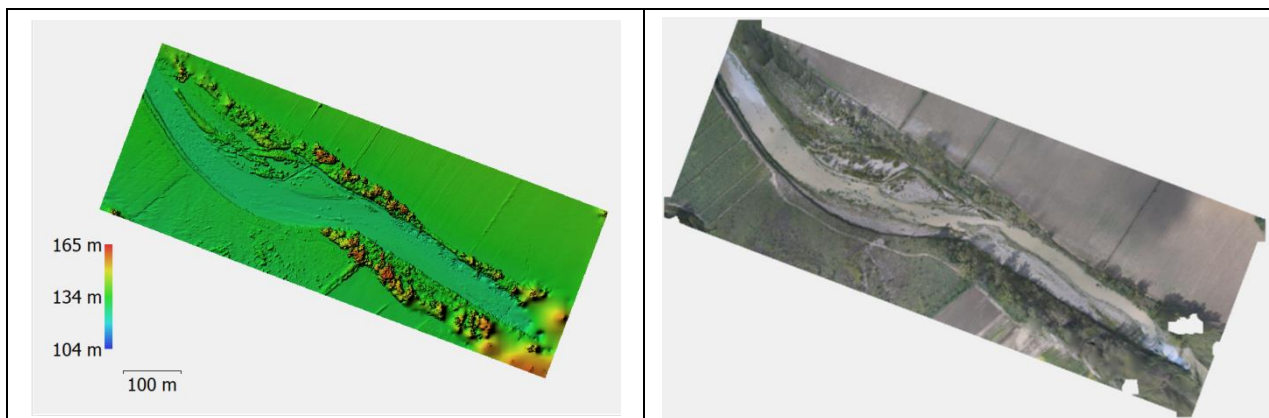


Figura A5. Sito L3, in località Orvieto (TR). A sinistra il DEM, a destra l'ortofoto.

Appennino Meridionale: fiumara Bonamico

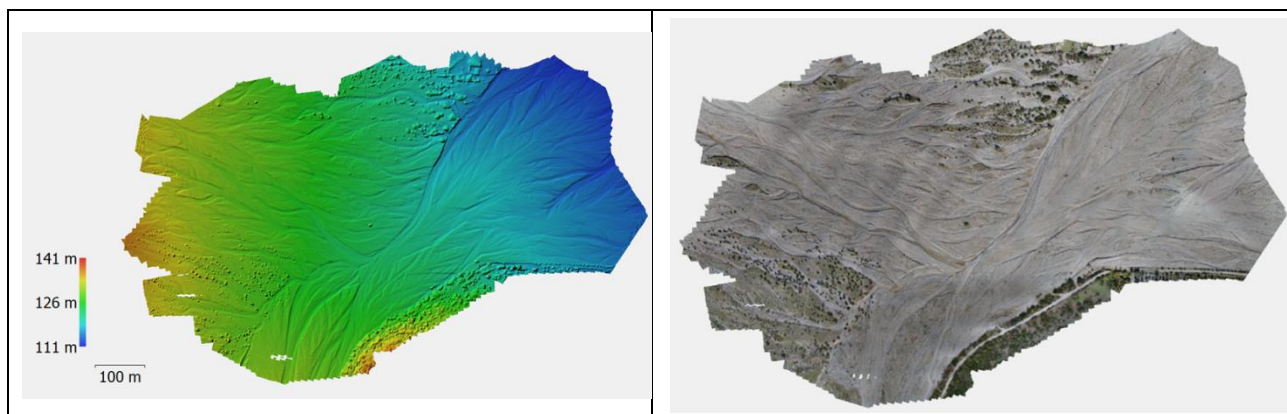


Figura A6. Sito C1, in località San Luca (RC). A sinistra il DEM, a destra l'ortofoto.

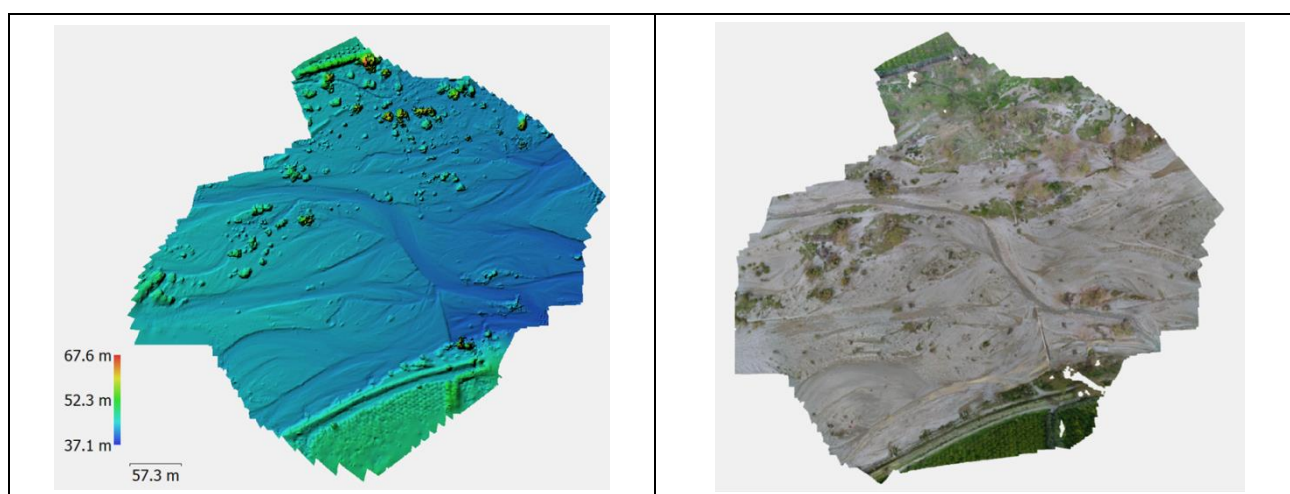


Figura A7. Sito C2, in località San Nicola (RC). A sinistra il DEM, a destra l'ortofoto.

