

Algoritmi applicati a dati telerilevati per il monitoraggio della qualità ambientale in ambito fluviale

Riccardo Corso ^(a), Gianluca Ristorto ^(b), Raimondo Gallo ^(a), Nadia Zorzi ^(c), Alex Bojeri ^(b), Francesco Ferraiolo ^(c), Giuliano Sauli ^(d), Fabrizio Mazzetto ^(a)

^(a) Libera Università di Bolzano - Facoltà di scienze e tecnologie, Piazza Università n°5, 39100 Bolzano, Riccardo.Corso@unibz.it

^(b) Mavtech srl, Via A. Volta 13, 39100 Bolzano, gianluca.ristorto@mavtech.eu

^(c) Maccaferri Innovation Center srl, Via A. Volta 13, 39100 Bolzano, n.zorzi@it.maccaferri.com

^(d) Naturstudio Soc. Coop, Via del Monte 2, 34121 Trieste, naturstudio@naturstudio.it

Introduzione

Le politiche ambientali europee degli ultimi anni puntano a salvaguardare la biodiversità degli ecosistemi, in particolare tramite la promozione e l'utilizzo di *Green Infrastructures* (GI). La direttiva quadro sulle acque (WFD-2000/60/CE) ha come obiettivo la classificazione dei corpi idrici, l'individuazione degli impatti antropici di confine con i corpi idrici e il miglioramento qualitativo e quantitativo dei sistemi fluviali. La direttiva alluvioni (2007/60/CE) pone invece l'attenzione sulla fase di progettazione e pianificazione di opere idrauliche prefiggendosi lo scopo di ridurre il rischio di calamità naturali dovute ad inondazioni, frane o erosioni e di salvaguardare gli ecosistemi acquatici (Rinaldi *et al.*, 2016).

Il progetto europeo FESR Südtirol-Alto Adige WEQUAL "centro servizi Web per la progettazione multidimensionale di QUALità e il monitoraggio teleoperato di Green Infrastructures" ha come obiettivo quello di sviluppare una serie di metodologie, integrate in una piattaforma web, capaci di valutare in maniera speditiva ed automatica l'impatto ambientale di opere longitudinali e trasversali di sistemazione idraulica. Pertanto, si vuole sviluppare uno strumento, il più oggettivo possibile, di supporto decisionale ai vari soggetti interessati nella progettazione e valutazione delle opere fluviali, come tecnici, amministratori territoriali o ricercatori.

La piattaforma web, cuore dell'intero sistema valutativo, è stata organizzata in maniera tale da garantire due distinte valutazioni:

- Stato attuale dell'asta fluviale, mediante la quale si valuta la qualità ambientale di un tratto fluviale ove vi è già installata un'opera di regimazione fluviale.
- Stato previsionale, dove si valuta l'impatto ambientale di opere idrauliche che potrebbero essere ipoteticamente realizzate per la regimazione fluviale; questo sistema valutativo permette agli utenti di confrontare, mediante analisi multicriterio, molteplici alternative progettuali valutando la proposta migliore non solo da un punto di vista di impatto ambientale.

L'analisi sulla quale si basano entrambi i sistemi precedentemente descritti è la valutazione dell'impatto ambientale dell'opera oggetto di studio. Il sistema che si propone, grazie all'impiego di specifici indicatori ambientali e tramite un'analisi multiattributo, sarà capace di valutare il livello di qualità ambientale della zona analizzata. L'indicatore scelto come migliore a questo scopo è l'Indice di Funzionalità Fluviale (IFF) (APAT, 2007) il quale è stato riadattato per le finalità di progetto ed ha preso il nome di Indice di Funzionalità Fluviale Wequal (IFFw).

In conclusione, grazie al progetto WEQUAL si vogliono creare delle procedure automatizzate capaci di elaborare dati grezzi provenienti da diversi sensori installati su Sistemi Aeromobili a Pilotaggio Remoto (SAPR) e di calcolare, grazie all'implementazione di specifici algoritmi, i punteggi da attribuire ai singoli criteri previsti dall'indice IFFw per la valutazione dell'impatto delle *Green Infrastructures* (GI).

Materiali e metodi

L'indice IFFw redatto a tale scopo è composto da 15 criteri, i quali vanno a definire la matrice di valutazione WEQUAL. A seguito di un'analisi di fattibilità, di questi, 9 sono valutabili automaticamente mediante specifici algoritmi, mentre i restanti necessitano di un rilievo manuale diretto in campo (Tabella 1).

Tabella 1 - Indicatori che compongono la matrice di valutazione di qualità ambientale in ambito fluviale.

INDICATORE RICAVABILE IN MODO AUTOMATICO DAI DATI TELERILEVATI	
SI	NO
1) Uso del suolo (fasce laterali)	3) Permeabilità (continuità verticale)
2) Continuità laterale	7) Regime idrogeologico
4) Continuità longitudinale delle portate solide	6) Capacità di ritenzione della sostanza organica
5) Morfologia d'alveo	8) Qualità chimica
11) Vegetazione della fascia ripariale	9) Comunità macrobenthonica
12) Ampiezza della fascia ripariale	15) Carbon footprint
13) Continuità della fascia ripariale	
10) Idoneità ittica (<i>ricavabile indirettamente</i>)	
14) Carbon Sequestration	

Ogni indicatore prevede 4 o 5 risposte a seconda della situazione da valutare, distinte per intero alveo o per singola sponda. Ad ogni risposta è associato un

punteggio esponenziale su base due, da un minimo di 1 fino ad un massimo pari alla base elevata al numero della domanda di riferimento meno uno, valutando così le condizioni di bassa o di alta naturalità. Sommando il risultato ottenuto per singolo criterio, distinguendolo per singola sponda, si ottiene l'indice totale di qualità ambientale per destra e sinistra orografica.

Come precedentemente anticipato la gran parte del monitoraggio avviene grazie all'impiego di un drone, col quale si effettua una missione per ogni strumento installato: un sensore LiDAR YellowScan Surveyor, una camera multispettrale Micasense RedEdge ed una fotocamera digitale Sony RX100. Grazie a queste combinazioni, è possibile monitorare la porzione di asta fluviale da valutare anche in caso di difficile accesso. I dati così ricavati vengono poi elaborati dai specifici algoritmi capaci di estrapolare le informazioni necessarie alla compilazione dei singoli criteri. Le procedure di automatizzazione sono state implementate prendendo spunto da metodologie già presenti in letteratura (Cavalli *et al.*, 2008; Michez *et al.*, 2013; Tompalski *et al.*, 2017) ed adattate al nostro caso.

Attualmente la fase di implementazione e sviluppo degli algoritmi è in fase studio, infatti, ad ora solamente due algoritmi sono stati sviluppati, mediante i quali si può classificare l'uso del suolo (criterio 1) ed identificare le sponde e classificare la vegetazione ripariale (criterio 11). In questa fase preliminare, gli algoritmi sono stati implementati interamente in MATLAB, successivamente verranno tradotti in linguaggio di programmazione *open-source* come *Python*.

Entrambi gli algoritmi impiegano come dato di partenza sia le immagini raccolte dalla camera multispettrale sia la nuvola di punti ottenuta dal rilievo LiDAR. I dati ricavati dalle immagini della multispettrale vengono impiegati per il calcolo di diversi indici per l'identificazione della vegetazione, dell'acqua e del suolo (ad esempio NDVI, NDRE, GNDVI, BNDVI, CCCI, SAVI e OSAVI). Mentre i dati ricavati dal secondo sensore sono impiegati per l'ottenimento modelli 3D del suolo (*Digital Terrain Model, DTM*) della superficie (*Digital Surface Model, DSM*) e quindi del profilo verticale (*Canopy Height Model, CHM*) degli oggetti presenti sull'area monitorata.

Risultati e discussioni

L'algoritmo implementato per la classificazione dell'uso del suolo è schematizzato nella Figura 1. Le procedure di valutazione di questo iniziano con il contornamento dell'area interessata dalla valutazione direttamente sulla piattaforma web. Il poligono così tracciato viene utilizzato per eseguire un *clip* (procedura di ritaglio) sia delle immagini ottenute dalla multispettrale, sia della nuvola di punti raccolta dal LiDAR, così da poter elaborare i soli datasets inerenti alla regione di interesse (Figura 2a). Una volta estratta l'area di analisi, l'algoritmo procede con:

1. Richiesta di tracciare un'aria campione per la vegetazione e per l'acqua;
2. Calcolo degli indici vegetativi per la determinazione dei valori soglia per la discretizzazione dello strato vegetativo da quello idrico;
3. Classificazione, sulla base dei valori soglia precedentemente calcolati, della superficie dove è presente la vegetazione da quella dove è presente acqua;

4. Calcolo della superficie a suolo considerandola come differenza tra la superficie totale analizzata e le superficie calcolate al punto 3;
5. Caratterizzazione della nuvola grezza di punti (mediante GlobalMapper) per l'estrazione del DTM e DSM;
6. Calcolo del CHM mediante operazione raster di sottrazione tra DTM e DSM;
7. Incrocio tra le informazioni ottenute al punto 3, 4, e 6 per ottenere la classificazione della vegetazione e della presenza di opere civili;
8. Calcolo della percentuale di copertura per le singole tipologie analizzate.

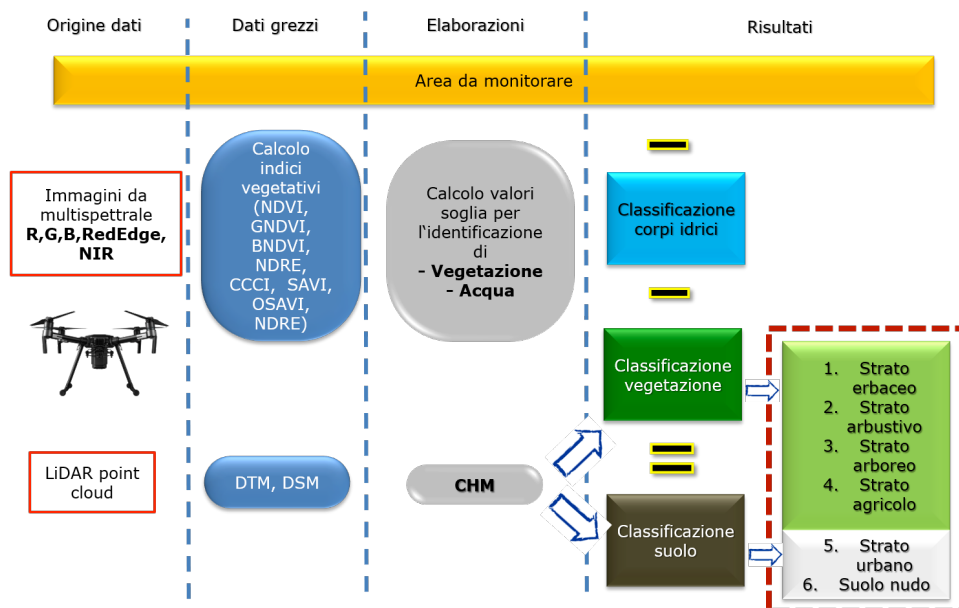


Figura 1 - rappresentazione schematizzata dell'algoritmo per la classificazione automatica dell'uso del suolo nel tratto di fiume interessato dal monitoraggio.

Nell'immagine di seguito (Figura 2b) viene riportato il risultato della classificazione automatizzata dell'uso del suolo considerando le sole macro-voci vegetazione, acqua e suolo necessarie alla validazione della procedura. Oltre alla mappa, l'algoritmo è in grado di calcolare l'area della superficie coperta dalle diverse tipologie di destinazione d'uso.

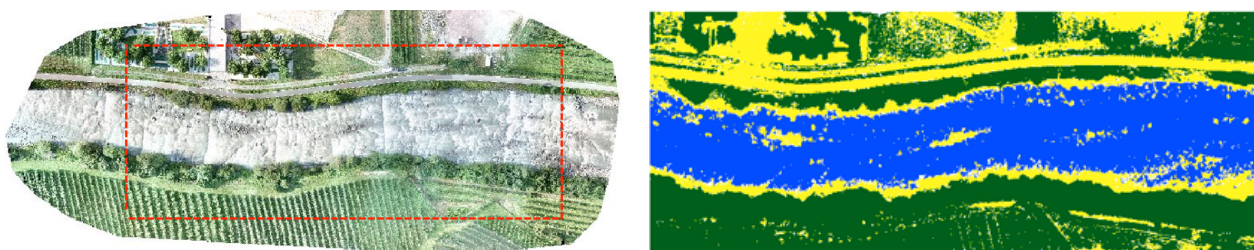


Figura 2 – nella parte sinistra a) è riportata l'ortofoto acquisita dalla camera multispettrale sulla quale è stato tracciato il poligono per l'operazione di clipping. Nella parte destra b) è riportato il risultato delle procedure di computazione automatica per la classificazione dell'uso del suolo (in verde la vegetazione, in blu l'acqua ed in giallo il suolo).

Nella Figura 3 viene riportato lo schema delle procedure computazionali dell'algoritmo implementato per l'estrazione delle sponde e la caratterizzazione della vegetazione presente su esse.

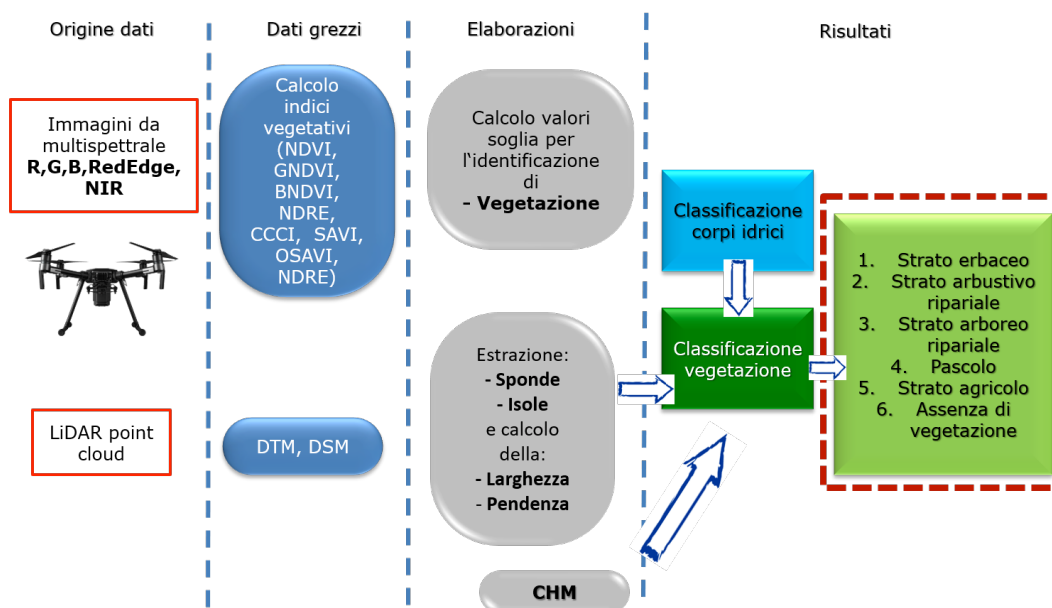


Figura 3 - rappresentazione schematizzata dell'algoritmo per identificazione automatica delle sponde e la classificazione della vegetazione ripariale e golenale nel tratto di fiume interessato dal monitoraggio.

Anche questo algoritmo si basa, come il precedente, su una prima operazione di *clip* per estrarre dai dati grezzi quelli relativi all'area di interesse al monitoraggio. Una volta effettuata questa prima analisi l'algoritmo procede con:

1. Richiesta di tracciare un'aria campione per la vegetazione e per l'acqua;
2. Calcolo degli indici vegetativi per la determinazione dei valori soglia necessari ad identificare lo strato vegetativo e del corso d'acqua;
3. Identificazione dello strato vegetativo e del fiume sull'intera area di interesse;
4. Caratterizzazione della nuvola grezza di punti (mediante GlobalMapper) per l'estrazione del DTM e DSM;
5. Identificazione delle sponde e delle isole mediante l'analisi della distribuzione di frequenza dell'inclinazione del terreno in prossimità o all'interno del fiume, considerando la sezione trasversale del fiume (Figura 4).

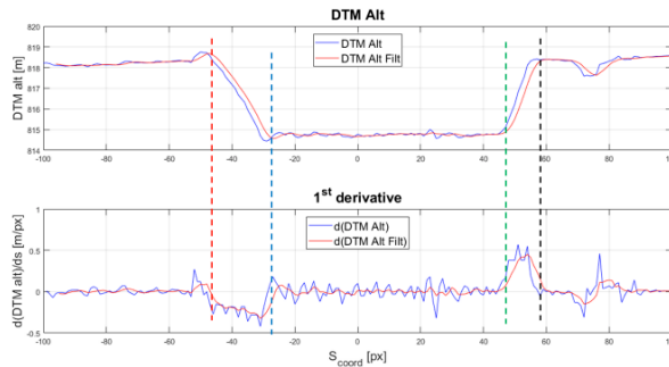


Figura 4 – estrazione sponde fluviali a partire da DTM. L'algoritmo identifica il piede e la testa di sponda mediante l'analisi della derivata prima del profilo trasversale. I valori di pendenza delle sponde vengono usate per la caratterizzazione fisica delle stesse.

6. Calcolo del CHM mediante operazione raster di sottrazione tra DTM e DSM;
7. Incrocio tra le informazioni ottenute al punto 3, 5 e 6 per ottenere la classificazione della vegetazione presente sulle sole sponde o sulle isole interne al fiume;
8. Calcolo della percentuale di copertura per le singole tipologie analizzate.

Come nella precedente analisi, anche per questa, il risultato è una mappa sulla quale è riportata, distinta per tipologia, la classificazione della vegetazione ripariale e golenale dell'area monitorata (Figura 5) ed il calcolo delle rispettive aree occupate.

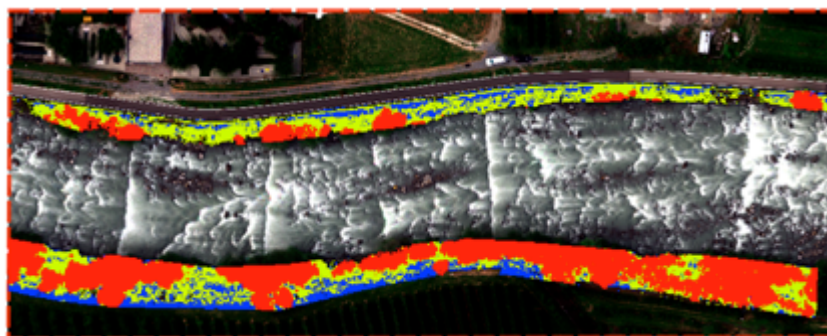


Figura 5 – risultato delle procedure di valutazione dell'algoritmo per l'identificazione delle sponde e la classificazione della vegetazione ripariale e golenale (la colorazione verde, blu e rossa si riferiscono a strato erbaceo, arbusti ripariali e arboreo ripariale).

A questo punto della ricerca, la validazione dei risultati è stata possibile condurla solamente per l'algoritmo della classificazione dell'uso del suolo. Utilizzando un software GIS è stato possibile eseguire una classificazione visiva della regione di interesse di analisi (area interna al poligono rosso, Figura 2a). Con la massima accuratezza si sono calcolate le aree identificabili come vegetazione, acque e suolo e confrontate con gli stessi risultati ottenuti dal metodo automatico. In Tabella 2 si riportano i risultati.

Tabella 2 - validazione della procedura di analisi automatica

	Rilievo manuale	Rilievo automatico	Differenza
Vegetazione	53.2%	50.3%	-2.9%
Acque	27.2%	21.0%	-6.2%
Suolo	19.6%	28.7%	9.1%

Come è possibile vedere dal risultato riportato in Tabella 2, l'algoritmo per l'identificazione della classificazione automatizzata dell'uso del suolo è capace a riconoscere le aree dove è presente la vegetazione, mentre presenta delle incertezze nell'identificazione delle acque e del suolo. Questo può essere dovuto a possibili problemi di riconoscimento delle zone di transizione. Infatti, le zone di passaggio tra acqua e sponda, a seconda dell'orario e stagione in cui sono stati effettuati i voli, sono interessate da una fascia ombreggiata dovuta alla presenza della chioma delle piante ripariali. Questa ombreggiatura determina una leggera variazione della riflettanza di queste fasce transitorie tale da inficiarne l'elaborazione dei dati acquisiti con la camera multispettrale causando quindi una sovrastima a favore del suolo.

Conclusioni

L'obiettivo finale del progetto WEQUAL è la realizzazione di una piattaforma Web in grado di fornire un supporto decisionale per la valutazione della qualità ambientale dei corpi fluviali mediante l'analisi semi-automatizzata di una matrice composta da 15 indicatori.

Nel presente manoscritto sono stati riportati i risultati preliminari dell'implementazione di due algoritmi in grado di effettuare, tramite una procedura automatizzata, la valutazione:

- Dell'uso del suolo;
- Identificazione delle sponde e caratterizzazione della vegetazione ripariale e golenale.

L'algoritmo di utilizzo del suolo è risultato essere accurato nell'identificazione della vegetazione, un po' meno per la distinzione tra suolo e acqua. La fase di valutazione dei risultati ottenuti dal secondo algoritmo è ancora in fase di analisi.

L'implementazione dei restanti algoritmi richiede la conoscenza dell'asse fluviale del tratto monitorato. Infatti, è grazie a questo fondamentale elemento che è determinata la distinzione tra la destra e la sinistra orografica ed inoltre, permette il tracciamento delle sezioni trasversali lungo il corso. Grazie al tracciamento di quest'ultime sarà possibile effettuare le valutazioni di carattere fisico del corso d'acqua monitorato.

Infine, in quanto non automaticamente valutabili, i parametri di carattere chimico-biologico si prevede che vengano raccolti manualmente così come l'attribuzione dei rispettivi punteggi ed il loro inserimento nella piattaforma web.

Ringraziamenti

Progetto di ricerca finanziato dal programma EFRE-FESR 2014-2020 per il Sud Tirolo – WEQUAL Project – CUP I52F16000840005.

Bibliografia

- APAT - Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici. (2007). I.F.F. 2007 - Indice di funzionalità fluviale. Manuale APAT.
- Cavalli M., Tarolli P., Marchi L., Dalla Fontana G. (2007). The effectiveness of airborne LiDAR data in the recognition of channel-bed morphology. *Catena*, 73 (2008), 249-260.
- Michez A., Piégay H., Toromanoff F., Brogna D., Bonnet S., Lejeune P., Claessens H. (2013). LiDAR derived ecological integrity indicators for riparian zones: Application to the Houille river in Southern Belgium/Northern France. *Ecological Indicators*, 34, 627-640
- Rinaldi M., Surian N., Comiti F., Bussetini M. (2016). 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
- Tompalski P., Coops N.C., White J.C., Wulder M.A., Yuill A. (2017). Characterizing streams and riparian areas with airborne laser scanning data. *Remote Sensing of Environment*, 192, 73-86