



**Migliori
pratiche per
l'identificazione
dei fiumi
temporanei**



Co-funded by
the European Union

Autori che hanno contribuito

Giammarco Manfreda, Isabelle Brichetto, Carmela Cavallo, Chiristina Dolianidi, Simone Forte, Almudena González Costas, Alessandro Guglielmetto, Anastasios Karakostas, Maria Lilli, Giovanni Negro, Nikolaos Nikolaidis, Guillermo Palau Salvador, Maria Nicolina Papa, Beatrice Pinna, Katerina Valta, Paolo Vezza

DOI: 10.5281/zenodo.8134015



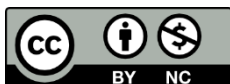
Riconoscimento

Questa pubblicazione è stata finanziata dalla Commissione Europea con il Grant Agreement numero 2022-1-IT02-KA220-HED-000086223, progetto di partenariato di cooperazione Erasmus+ *RIVERTEMP: Education in categorization and identification of Temporary Rivers to fight climate change*.

Dichiarazione di non responsabilità

Il sostegno della Commissione europea alla realizzazione di questa pubblicazione non costituisce un'approvazione del contenuto, che riflette esclusivamente il punto di vista degli autori, e la Commissione non può essere ritenuta responsabile dell'uso che può essere fatto delle informazioni in essa contenute.

Avviso di copyright



Quest'opera è rilasciata con licenza Creative Commons **Attribuzione-Non commerciale 4.0 Internazionale**. Siete liberi di copiare, condividere, adattare e utilizzare il materiale per scopi non commerciali, se rispettate le seguenti condizioni:

- **Attribuzione:** È necessario dare il giusto credito, fornire un link alla licenza e indicare se sono state apportate modifiche. Potete farlo in qualsiasi modo ragionevole, ma non in modo da suggerire che Right to Remain approvi voi o il vostro utilizzo.
- **Non commerciale:** non è consentito utilizzare il materiale per scopi commerciali.

Contenuti

1. Introduzione	4
1.1 Definizioni di fiumi non permanenti	4
1.2 Classificazione dei regimi e delle condizioni idrologiche	7
1.3 Definizioni di intermittenza naturale e artificiale	9
1.4 Prevalenza globale dei fiumi temporanei	9
1.5 La mancanza di percezione sociale e di riconoscimento giuridico	10
1.6 Come valutare l'intermittenza del flusso	12
2. Migliori pratiche per l'identificazione dei fiumi temporanei	14
2.1 Il progetto MIRAGE	14
2.2 Il progetto DRYvER	24
2.3 Il telerilevamento	30
Riferimenti	38

1. Introduzione

1.1 Definizioni di fiumi non permanenti

I fiumi non perenni (NPR) sono definiti come corsi d'acqua che possono prosciugarsi per un certo periodo di tempo nell'arco dell'anno (Parlamento Europeo - Water Frame Directive 2000/60/CE, 2000). È importante chiarire che i NPR sono tutti i fiumi in cui alcuni dati dimostrano l'assenza di acqua lungo l'alveo.

(Figura 1).



Figura 1. Un esempio delle potenziali variazioni osservate nella stessa porzione di fiume temporaneo nell'arco dello stesso anno: A) stagnazione (16-12-2022). B) secca (16-04-2023). Foto di I. Brichetto, fiume Palancia, Comunità Valenciana (Spagna).

La definizione include un'ampia gamma di intermittenze diverse: dal fiume con presenza episodica di acqua ai fiumi quasi-perenni (Magand et al., 2020). Questi fiumi sono solitamente localizzati in regioni con clima semi-arido o arido, dove la stagione secca è più lunga ogni anno rispetto ad altre regioni (Shanafield et al., 2021). Tuttavia, questo fenomeno si verifica ovunque nel mondo ed è stato dimostrato che le NPR sono ubiquitarie (Allen et al., 2020; Messenger et al., 2021).

Oltre alla loro ubiquità, le NPR hanno avuto e hanno tuttora difficoltà a essere riconosciute e classificate nella legislazione nazionale come un gruppo di fiumi con caratteristiche ed esigenze

specifiche (Fritz et al., 2017). In Europa, la Direttiva Quadro sulle Acque (WFD) è stata adottata nel 2000 per stabilire un nuovo quadro per la protezione e la gestione sostenibile delle risorse idriche. Il suo scopo è classificare la qualità ecologica dei corpi idrici superficiali e raggiungere un "buono stato ecologico" per tutte le acque interne e costiere dell'UE, definendo per tutti i corpi idrici superficiali una condizione di riferimento che rappresenti lo stato indisturbato (Magand et al., 2020). Solo alcuni Paesi della regione mediterranea integrano la WFD con implementazioni nazionali che introducono il concetto e alcune classificazioni per i fiumi in cui possono verificarsi eventi di prosciugamento. Nel 2008, Spagna e Italia, rispettivamente con ORDEN ARM/2656/2008" (Figura 2) e "Decreto Ministeriale 16 giugno 2008, n. 131" (D.M. 131/2008, Figura 3), hanno definito una possibile classificazione delle diverse temporaneità.

Perennial	Water courses have natural flow regime conditions flow during the whole year.
Temporary or seasonal	Water courses where natural flow regime conditions present a marked seasonality, showing reduced flow or dry riverbed in summer, and flow is present during an average period of 300 days in a year.
Intermittent or strongly seasonal	Water courses where natural flow regime conditions present a high temporality, and flow is present during an average period between 100 and 300 days in a year.
Ephemeral	Water courses that in natural flow regime conditions only flow sporadically, mainly in storm episodes, during an average period less than 100 days in a year.

Figura 2. Classificazione dei diversi tipi di temporaneità fluviale nella WFD (ORDEN ARM/2656/2008) (per l'attuazione della WFD 2000/60/CE). I dati dei giorni di assenza di flusso per un regime indisturbato sono ottenuti con l'aiuto di un modello di deflusso delle piogge.

Stream type	Description
Temporary	Watercourse that can dry out completely and/or at some stretches
• Intermittent	Water is present more than 8 months a year. It may dry out in some river stretches and/or several times a year
• Ephemeral	Water is present <8 months a year. Disconnected pools may remain
• Episodic	Water only present after heavy rains, once every 5 years

Figura 3. La tabella in figura mostra la classificazione dei fiumi temporanei definita nel D.M. 131/2008 (per l'attuazione della WFD 2000/60/CE).

Per mantenere la coerenza con le definizioni normative e facilitare la comparabilità dei metodi di valutazione e delle classi di stato ecologico tra gli Stati membri, è stato condotto un esercizio

di intercalibrazione in due fasi per garantire l'allineamento dei confini delle classi. L'esercizio di intercalibrazione è stato eseguito da cinque gruppi geografici di intercalibrazione (GIG), uno per ciascuna delle cinque regioni che condividono tipi di corpi idrici simili in Europa (Fritz et al., 2017). Il GIG Mediterraneo, che comprende Bulgaria, Cipro, Francia, Grecia, Italia, Portogallo, Slovenia e Spagna, ha introdotto una classificazione, denominata RM5, per i fiumi non permanenti noti come *torrenti temporanei*, in cui sono stati inclusi tutti i tipi di NPR possibili (Fritz et al., 2017; Magand et al. 2020). Questi tre esempi evidenziano la mancanza di coerenza nella formulazione di quadri terminologici chiari e concisi, nonostante il termine "temporaneo" sia utilizzato in tutti i casi. In particolare, nel caso del D.M. 131/2008 e della GIG mediterranea, il termine "temporaneo" è utilizzato come un'ampia categoria che comprende tutti i fiumi non classificati come perenni. Nel corso degli anni, in assenza di una classificazione ufficiale e universale, la letteratura scientifica ha differenziato gli epiteti per riferirsi a un'ampia gamma di intermissioni fluviali. I termini possibili per indicare i NPR possono essere "arido", "discontinuo", "secco", "effimero", "episodico", "intermittente", "interrotto", "irregolare", "non perenne", "non permanente", "stagionale" e "temporaneo" (Busch et al. 2020).

A causa della mancanza di omogeneità terminologica, era essenziale definire definizioni universali e comunemente accettate per questi fiumi e i loro diversi tipi di intermissioni. Busch et al. (2020) hanno proposto una revisione degli epiteti più utilizzati per i diversi tipi di fiumi non perenni per definire definizioni universali e generali:

- *Non perenne*: qualsiasi sistema lotico di acqua dolce che cessa periodicamente di fluire e/o è secco in un certo momento nel tempo e/o nello spazio.
- *Intermittente*: fiume o corso d'acqua non perenne con una connessione considerevole alla falda freatica, con cicli variabili di bagnatura e cessazione del flusso e con un flusso sostenuto più a lungo di un singolo evento temporalesco. Questi corsi d'acqua sono idrologicamente in attivo per la maggior parte del tempo, se si considerano i modelli di flusso a lungo termine.
- *Effimero*: un tipo di fiume o torrente non perenne, senza una connessione significativa con le acque sotterranee, che scorre per un breve periodo di tempo, in genere solo dopo le precipitazioni. Questi corsi d'acqua sono idrologicamente perdenti per la maggior parte del tempo, se si considerano i modelli di flusso a lungo termine.

Questo sforzo mira a chiarire la letteratura evidenziando i diversi tipi di fiumi che si possono incontrare. Tuttavia, va notato che i termini alternativi sono ancora comunemente utilizzati al posto di *non perenne*; ciò si riflette, ad esempio, nelle definizioni utilizzate in alcuni significativi progetti europei su questo tema.

Da un lato, il MIRAGE (Mediterranean Intermittent River manAGEment) è stato un progetto finanziato dall'UE dal 2009 al 2011 per sviluppare e codificare metodi e strumenti per valutare la qualità ecologica richiesta dalla WFD anche per i *fiumi temporanei* (vedi sezione 2.1). Il *Deliverable 8.1* ha indicato la dicotomia *temporaneo/permanente* come terminologia utilizzata per distinguere tra fiumi che possono o meno subire un prosciugamento periodico.

D'altra parte, il DRYvER (Securing biodiversity, functional integrity and ecosystem services in DRYing riVER networks) è un progetto europeo in corso, iniziato nel 2020, in cui un team di esperti multidisciplinari provenienti da 11 Paesi in Europa, Sud America, Cina e Stati Uniti approfondisce gli impatti dei cambiamenti climatici sulla biodiversità, sulle funzioni ecosistemiche e sui servizi ecosistemici dei *fiumi temporanei* (si veda la sezione 2.2). Tuttavia, la terminologia utilizzata nel *Deliverable 1.1*, sul sito web e nelle applicazioni si riferisce alle *reti fluviali di essiccazione (DRN)*.

In questo Deliverable 3.1, appartenente al progetto RIVERTEMP, il termine *fiumi temporanei* (TRs) viene utilizzato per riferirsi ai *fiumi non perenni* (NPRs). Questa scelta è stata dettata dall'uso diffuso del termine nelle legislazioni nazionali in tutta Europa e nella regione mediterranea.

1.2 Classificazione dei regimi e delle condizioni

idrologiche

Per comprendere e valutare il possibile passaggio di un TR da un regime idrologico a un altro, è fondamentale definire e classificare i possibili regimi idrologici che descrivono l'ampia gamma di temporaneità che i TR possono presentare. Nel corso dell'anno sono state utilizzate diverse prospettive e metodi per distinguere e classificare operativamente i diversi regimi.

Uno dei primi approcci si è basato sul conteggio del numero di giorni di assenza di flusso all'anno con l'aiuto di un modello di deflusso delle piogge; un esempio è la classificazione spagnola fornita nell'attuazione della WFD (Figura 2). Si tratta di un modello semplice e facile, ma meno capace

di descrivere la variabilità idrologica che può presentare il tratto temporaneo di un fiume e, quindi, meno utile per determinare la condizione ecologica (Magand et al., 2020).

Dal punto di vista biologico, sono stati individuati diversi concetti idrologici ed ecologici per classificare i possibili regimi e condizioni idrologiche nelle TR (Boulton, 2003; Fritz et al. 2006). Gallart et al. (2017) hanno proposto una classificazione semplificata (Figura 4) basata su tre diverse *fasi acquatiche* (*flusso*, *pozze* e *secca*) che sono le stesse metriche operative utilizzate nel progetto francese Onde (<https://onde.eaufrance.fr/>), chiamate *livelli di bassa portata* (Magand et al., 2020). La condizione di *flusso* (o *scorrimento*) è caratterizzata dalla presenza di un flusso superficiale continuo nel canale fluviale. La condizione di *pool* (o *ponding*) raggruppa le possibili condizioni in cui c'è acqua superficiale nel canale fluviale, ma solo in pool o stagni disconnessi. Un fiume *asciutto* implica l'assenza di acqua superficiale, anche se è possibile una vita iporica.



Figura 4. Panoramica delle tre diverse condizioni idrologiche che possono verificarsi nei TR: a) fluente b) stagnante e c) secca. Foto di C. Cavallo, fiume Sciarapotamo, Salerno (IT).

Anche se la metrica *flow-pools-dry*, o *flowing-ponding-dry*, è emersa come la più coerente per la descrizione delle possibili condizioni nei TR, la terminologia per riferirsi a queste condizioni manca ancora di omogeneità. L'epiteto *condizioni idrologiche* (o *idrologiche*) sembra essere la definizione più diffusa per alludere genericamente alla classificazione flusso-piscina-secco. È utilizzato sia in letteratura (Magand et al., 2020) sia nei rapporti ufficiali e nei progetti europei sulle TR. Ad esempio, DRYvER utilizza questa terminologia nell'applicazione di crowdsourcing (Tutorial per l'applicazione web DRYRivers) (cfr. Sezione 2.2). Pertanto, nel contesto di questo Deliverable del progetto RIVERTEMP, ci riferiamo alle *condizioni idrologiche* per indicare la condizione di flusso-stagno-secco dell'alveo.

Sulla base di queste condizioni idrologiche, la letteratura scientifica ha proposto diversi approcci per definire valori soglia per il flusso e la permanenza delle pozze o per considerare la stagionalità di questi eventi per classificare i possibili regimi idrologici per le TR (Gallart et al., 2017; De Girolamo et al.,

2015). Tuttavia, a causa della soggettività intrinseca nella determinazione di questi valori limite, un metodo universalmente applicabile che possa essere impiegato nella maggior parte della rete idrologica rimane elusivo.

1.3 Definizioni di intermittenza naturale e artificiale

Per salvaguardare i TR, è importante avere consapevolezza delle cause che determinano l'intermittenza, non solo del tipo di intermittenza. Nonostante l'attenzione per i TR stia sorgendo in molteplici campi di ricerca, il focus principale della ricerca rimane ancora sui fiumi perenni. Nei TR, l'alternanza tra condizioni di flusso e non flusso è una caratteristica del regime idrologico naturale, nota anche come intermittenza naturale del flusso (IFN). Tuttavia, un'alterazione del regime idrologico indotta dall'uomo può anche causare un'intermittenza di flusso antropogenica (AFI) (Datry et al., 2023).

Non è sempre facile valutare la differenza tra i driver naturali e quelli antropici che determinano l'intermittenza di un fiume, soprattutto quando il risultato è una diminuzione della portata (Skoulidakis et al., 2017). Al contrario, quando le TR diventano perenni a causa di un aumento innaturale della portata, è più facile stabilire un legame causa-effetto attribuito a fattori antropici, come dighe, impianti di trattamento delle acque reflue (WWTP) o scarichi urbani, civili e industriali (Hassan & Egozi, 2001). In questo caso, l'aumento del flusso di base (anti-siccità) può dare origine a notevoli implicazioni ecologiche, come il cambiamento nella composizione delle comunità biotiche autoctone (Poff & Zimmerman, 2010).

1.4 Prevalenza globale dei fiumi temporanei

Messenger et al. (2021) hanno quantificato che lungo la rete fluviale globale con un MAF (flusso medio annuo) $> 0,01 \text{ m}^3/\text{s}$, il periodo in cui l'acqua cessa di scorrere almeno un giorno all'anno va dal 51% (approccio conservativo) al 60%. Inoltre, il fenomeno del passaggio da un regime di flusso permanente a uno temporale si accentuerebbe negli scenari futuri a causa delle pressioni antropiche, come i cambiamenti climatici, i cambiamenti nell'uso del suolo e l'aumento dei prelievi idrici (Döll & Schmied, 2012; Pumo et al., 2016). Negli ultimi 50 anni, molti dei fiumi più grandi e famosi, come il Nilo, il Giallo, l'Indo e il Colorado, che scorrevano

ininterrottamente, hanno iniziato a presentare tratti in cui l'acqua cessa di scorrere (Datry et al., 2014). Tutte queste evidenze dimostrano come oggi i TR siano la regola piuttosto che l'eccezione.

1.5 La mancanza di percezione sociale e di riconoscimento legale

Nonostante il fiorire della letteratura sul tema negli ultimi anni, la popolazione non è consapevole dell'importanza dei TR per la rete fluviale (Cottet et al., 2023; Llanos-Paez & Acuña, 2022), del loro ruolo nella regolazione delle acque sotterranee, del loro contributo alla biodiversità locale e regionale e all'integrità biogeochimica (Magand et al., 2020). Ciò determina una subordinazione nell'attenzione data alla protezione di questi sistemi rispetto ai fiumi perenni nelle legislazioni e nelle politiche nazionali, indicando un ritardo generale nel riconoscimento (Magand et al., 2020; Messenger et al., 2021).

Llanos-Paez & Acuña (2022) hanno mostrato come la percezione sociale dell'importanza di un fiume sia strettamente correlata alla permanenza del flusso, evidenziando che esistono ancora difficoltà socioculturali nel considerare un alveo secco come un fiume a tutti gli effetti. Inoltre, i pescatori sono importanti portatori di interesse che si rivolgono alle politiche di ripristino e conservazione dei fiumi più che ai corsi d'acqua perenni, dove le specie biotiche sono generalmente più presenti (Cottet et al., 2023). Inoltre, soprattutto nelle regioni aride e semi-aride, è diffusa la presenza di corsi d'acqua effimeri che di solito sono asciutti ma possono avere periodicamente tragiche inondazioni. In questa regione, quindi, si tende a ricollegare immediatamente i TR ai pericoli di inondazione piuttosto che a una risorsa idrica da proteggere. Infatti, nella regione EU-Med, sono ancora utilizzati come parcheggi o siti di smaltimento dei rifiuti (Figura 5) (Skoulidakis et al., 2017).



Figura 5. Esempio di siti di smaltimento dei rifiuti nel canale fluviale temporaneo. Foto di I. Brichetto, fiume Carraixet, Comunità Valenciana (2023).

Tutti questi pregiudizi culturali sui TR determinano una legislazione che ancora tarda ad aggiornare la gestione e la protezione dei TR (Acuña et al., 2014; Messenger et al., 2021). Questi fiumi possono essere sottoposti alle stesse normative dei fiumi perenni (ad esempio, la Direttiva quadro sulle acque nell'UE, il Water Act negli Stati Uniti) o, in alcuni casi, possono essere esclusi dalla legislazione (Cottet et al., 2023). Ad esempio, anche se le implementazioni spagnole e italiane della WFD definiscono i TR (vedi Figura 2 e 3), una porzione essenziale della rete fluviale intermittente è esclusa dai programmi di valutazione ecologica, poiché la definizione include solo i corsi d'acqua con un bacino idrografico $> 10 \text{ km}^2$ (Italia), un bacino idrografico $> 10 \text{ km}^2$ e un flusso medio annuo superiore a $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ (Spagna) (Fritz et al., 2017). Inoltre, negli Stati Uniti (Marshall et al., 2018) e in Francia (ad esempio, il decreto Giraud 2019), si assiste a una graduale rimozione dei TR dalle mappe e dalle definizioni nazionali dei corsi d'acqua, con conseguente perdita del loro status ufficiale di corsi d'acqua (Cottet et al., 2023). Le implicazioni dell'abbandono normativo dei TR determinano l'esclusione dalle analisi sistematiche sullo stato ecologico e dalla gestione caso per caso, in cui le restrizioni alle attività umane sono solitamente definite se possono avere un impatto sui corpi idrici a valle (Acuña et al., 2014).

1.6 Come valutare l'intermittenza del flusso

L'elevata variabilità spaziale e temporale delle condizioni idrologiche costituisce un ostacolo fondamentale allo studio dell'intermittenza fluviale. Per avere chiari modelli di intermittenza fluviale è fondamentale conoscere le condizioni idrologiche che i fiumi possono sperimentare insieme alla frequenza, alla durata e alla stagionalità di questi cambiamenti nelle condizioni di flusso. Inoltre, è possibile comprendere l'evoluzione dell'intermittenza nel tempo e l'alterazione del regime naturale di flusso solo confrontando i dati in tempo reale con una serie di dati a lungo termine che possono essere utilizzati come RC (Reference Condition) del fiume (Magand et al., 2020).

Nel corso degli anni sono stati sviluppati diversi metodi e approcci per caratterizzare il regime idrologico e l'intermittenza del flusso delle TR:

- **Indagini sul campo.** I rilievi sul campo sono una delle soluzioni migliori per acquisire dati in tempo reale sulle metriche del regime di flusso e possono valutare con elevata accuratezza quale condizione idrologica è presente nel tempo (Magand et al., 2020). I principali ostacoli sono le limitate possibilità di replicare le campagne. La citizen science e il crowdsourcing potrebbero essere soluzioni praticabili quando i tratti temporanei sono facilmente raggiungibili.
- **Stazioni di rilevamento.** Le stazioni di misura sono una delle soluzioni migliori per ottenere dati a lungo termine e valutare la possibile evoluzione del deflusso nel corso degli anni. I principali svantaggi sono la rara presenza di stazioni di misura nei tratti intermittenti e il problema di misurare piccole portate o la presenza/assenza di acqua durante la fase di stagnazione (Oueslati et al., 2015).
- **Sensori logger.** Un altro metodo per ottenere dati in tempo reale e a medio termine sono i logger da campo che possono misurare la temperatura dell'acqua, la conducibilità elettrica o entrambe (Chapin et al., 2014). Questi strumenti possono rilevare il movimento dei fronti di bagnatura e asciugatura (Bhamjee & Lindsay, 2011), ma potrebbero avere difficoltà a distinguere tra acqua corrente e acqua stagnante. Inoltre, lo svantaggio è la possibilità che gli strumenti vengano spazzati via o sepolti durante le inondazioni o che la loro integrità venga compromessa da atti di vandalismo (Magand et al., 2020).

- **Modellazione idrologica.** I modelli idrologici attuali sono ancora distorti nel prevedere la variabilità del flusso di deflusso nei TR. Sovrastimano gli eventi a portata zero e non riescono a prevedere la variabilità spaziale delle condizioni idrologiche (Datry et al., 2012; Gallart et al., 2017). Inoltre, diversi limiti si riscontrano anche nella modellazione dell'interazione acqua superficiale-sotterranea senza informazioni sulle condizioni di umidità dell'alveo durante i giorni di assenza di flusso (Ye et al., 1997). Il miglioramento dei modelli idrologici è un aspetto importante che deve ancora essere acquisito per consentire l'applicazione sui TR (Magand et al., 2020).
- **Telerilevamento.** Il telerilevamento ha definito opportunità significative per il monitoraggio delle condizioni dei TR. I rilievi aerei consentono l'esecuzione di indagini rapide ed estese su tratti intermittenti, anche se l'alveo è complicato da raggiungere personalmente (Gao et al., 2021). Le immagini satellitari possono restituire periodicamente, a volte con un tempo di rivisitazione inferiore alla settimana, immagini multispettrali dell'intera rete fluviale, attraverso le quali è possibile monitorare costantemente l'evoluzione delle fasi acquatiche (Cavallo et al., 2021a, 2022a). Il principale svantaggio dell'immagine satellitare è la risoluzione spaziale, che ostacola l'applicazione per fiumi e torrenti stretti (Costigan et al., 2017). Nella sezione 2.3 viene presentata una descrizione più dettagliata di questa tecnica.

2. Migliori pratiche per l'identificazione dei fiumi temporanei

A livello globale, i fiumi temporanei sono ancora trascurati dagli idrologi e dai gestori delle acque (Llanos-Paez & Acuña, 2022) e, di conseguenza, non sono stati sviluppati metodi sufficientemente scientifici per la gestione di questi ecosistemi acquatici e terrestri unici. Il progetto RIVERTEMP mira a implementare strumenti e risorse per combattere il cambiamento climatico e il suo impatto sui fiumi temporanei e a sostenere e sviluppare capacità verdi e digitali nel settore dell'istruzione superiore su questo tema specifico. Il progetto prevede partnership strategiche tra istituti di istruzione superiore (Politecnico di Torino (IT), Università degli Studi di Salerno (IT), Universitat Politècnica de Valencia (ES) e Polytechnic of Kritis (GR)), piccole e medie imprese (DRAXIS ENVIRONMENTAL S.A. (GR)) e fornitori di istruzione e formazione professionale (FEMXA FORMACIÓN S.L.U. (ES)). Le sinergie con altre iniziative, come il progetto DRYvER, mirano a creare un database completo di TR. Il progetto RIVERTEMP mira a sviluppare uno strumento informatico innovativo, un archivio basato su GIS, una piattaforma di e-learning e un MOOC (Massive Open Online Course) e il relativo materiale formativo per il crowd-mapping delle TR. Il progetto sottolinea il ruolo dell'istruzione superiore nella promozione di una gestione responsabile dell'acqua e mira a colmare le lacune nell'educazione all'acqua. Il progetto produrrà risorse educative aperte e si impegnerà in attività di divulgazione e valorizzazione.

Nel capitolo seguente, abbiamo raccolto una sintesi di alcune migliori pratiche per identificare e classificare le TR, utilizzando la durata e la frequenza (o la permanenza) di condizioni di flusso, stagnazione e siccità. La rassegna seguente prende in considerazione i progetti europei MIRAGE e DRYvER e l'uso dell'elaborazione di immagini satellitari per l'identificazione e la classificazione delle TR. Inoltre, sono stati citati gli archivi basati su GIS per la gestione e l'utilizzo di database open-source.

2.1 Il progetto MIRAGE

Nel contesto della pubblicazione del Blueprint to Safeguard Europe's Waters della Commissione Europea, il quadro proposto da MIRAGE per la caratterizzazione delle dinamiche eco-idrologiche e la descrizione sistematica dell'impatto misurato per i fiumi temporanei potrebbe apportare un notevole valore aggiunto alla revisione UE di tutte le politiche idriche pertinenti. Il progetto ha

raccomandato integrazioni agli articoli della WFD, tra cui una definizione esplicita dei TR, l'adattamento degli obiettivi ambientali alle loro peculiarità e la creazione di un metodo adeguato per determinare lo stato iniziale e le azioni specifiche nei piani di gestione dei bacini idrografici (Nikolaidis et al., 2013).

Il progetto MIRAGE ha sviluppato un Toolbox per riunire tutti gli approcci che adattano gli standard di qualità di riferimento sviluppati per i corsi d'acqua permanenti, in corpi idrici non temporanei (Prat et al., 2014). Il Toolbox consiste in una serie di metodologie che sono state progettate per essere utilizzate in modo sequenziale per consentire di stabilire lo stato ecologico e chimico dei corsi d'acqua temporanei e di mettere in relazione questi risultati con lo stato idrologico dei corsi d'acqua. Il pacchetto di strumenti MIRAGE è destinato a servire i seguenti scopi: (i) la determinazione del regime idrologico del corso d'acqua; (ii) la progettazione di programmi adeguati per il campionamento biologico e chimico in base allo stato acquatico del corso d'acqua; (iii) l'adempimento dei criteri per la progettazione di stazioni in condizioni di riferimento; (iv) l'analisi delle modifiche idrologiche del regime del corso d'acqua (con la definizione dello stato idrologico); e (v) lo sviluppo di nuovi metodi per misurare lo stato ecologico (compresi i metodi strutturali e funzionali) e lo stato chimico quando le condizioni idrologiche del corso d'acqua sono lontane da quelle dei corsi d'acqua permanenti.

Il MIRAGE Toolbox è un insieme sequenziale di strumenti che coprono gli aspetti idrologici [regime temporaneo dei corsi d'acqua (TSR)-Strumento, stato idrologico (HS)-Strumento e stato acquatico (AS)-Strumento], ecologici [condizione di riferimento (RC)-Strumento, valutazione biologica (BioAS)-Strumento e ES-Strumento] e chimici [stato fisico-chimico (PCHS-Strumento) e CHS-Strumento] della valutazione dei corsi d'acqua temporanei (Figura 6).

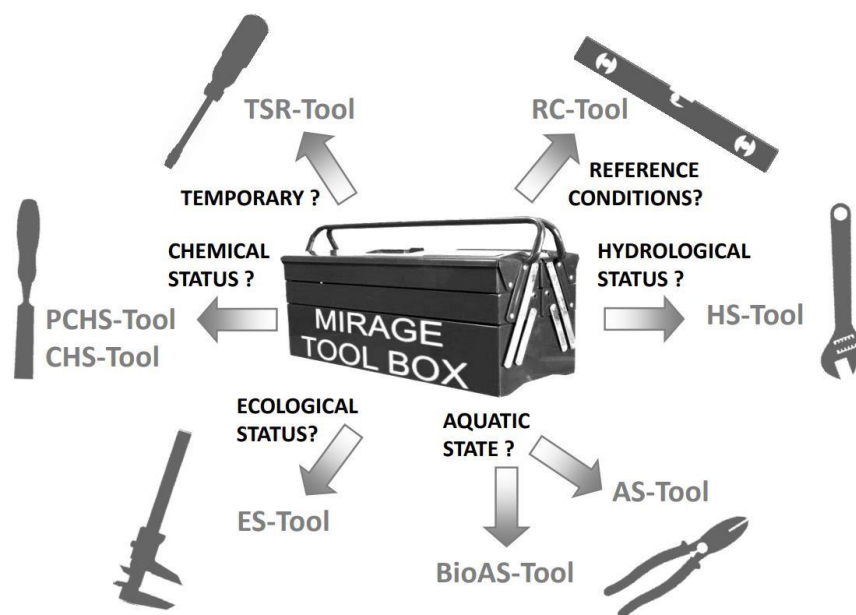


Figura 6. Rappresentazione schematica del MIRAGE Toolbox e degli strumenti in esso contenuti (Prat et al., 2014).

L'immagine seguente (Figura 7) riprende il processo complessivo in cui ogni strumento - già citato - deve essere utilizzato in sequenza. Una descrizione più dettagliata del MIRAGE Toolbox si trova in Prat et al. (2014).

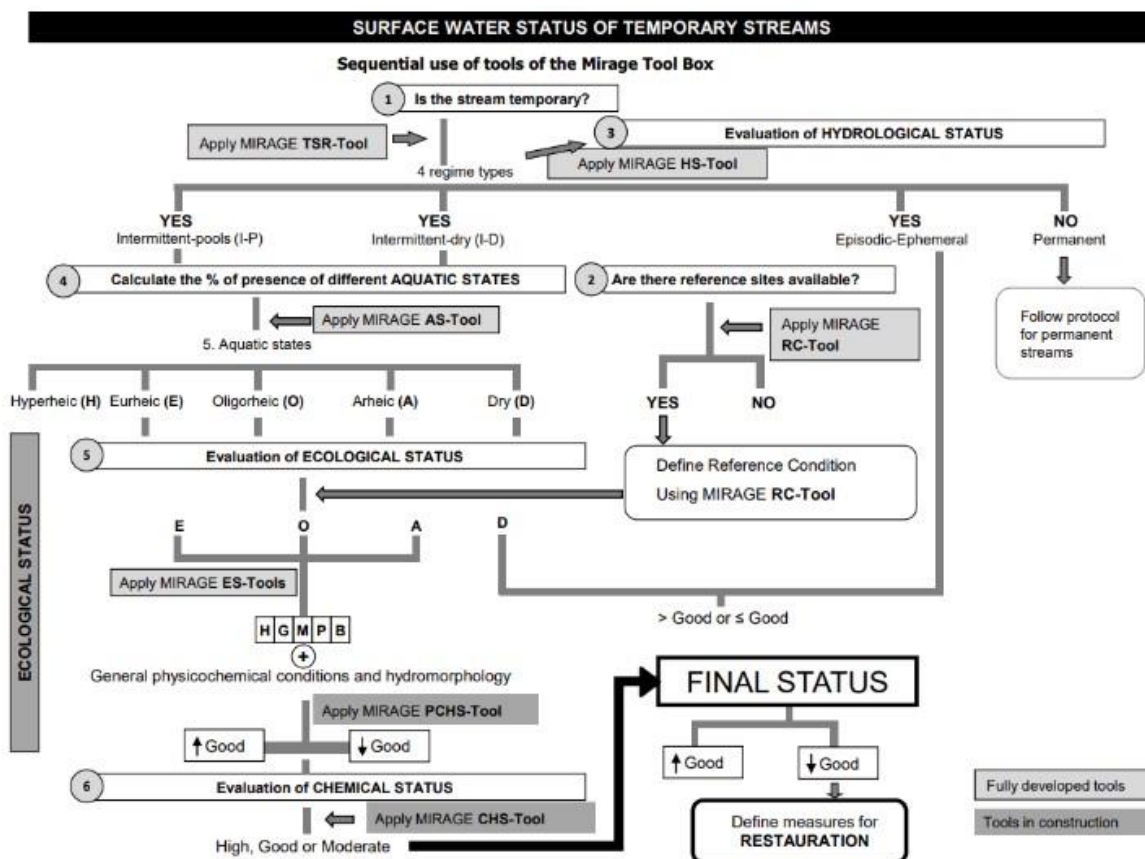


Figura 7. Diagramma di flusso che mostra l'uso sequenziale degli strumenti del MIRAGE Toolbox (Prat et al., 2014).

2.1.1 Regime temporaneo dei corsi d'acqua - Strumento

Il Temporary stream regime - Tool (TSR-Tool) permette di ipotizzare se un fiume è temporaneo e il suo regime temporaneo (Gallart et al., 2012) utilizzando due parametri: il numero relativo annuale a lungo termine di mesi con flusso (Mf) e la prevedibilità della stagione secca a 6 mesi (Sd6) (Tabella 1). Per calcolare questi due parametri è necessario utilizzare dati sulla presenza-assenza di flusso a scala mensile con un periodo di monitoraggio di almeno 10 anni; in mancanza di dati, per ottenere le serie temporanee si può utilizzare un modello di deflusso delle piogge o le interviste degli abitanti.

La Figura 8 riprende in un diagramma di flusso le fasi del TSR - Tool.

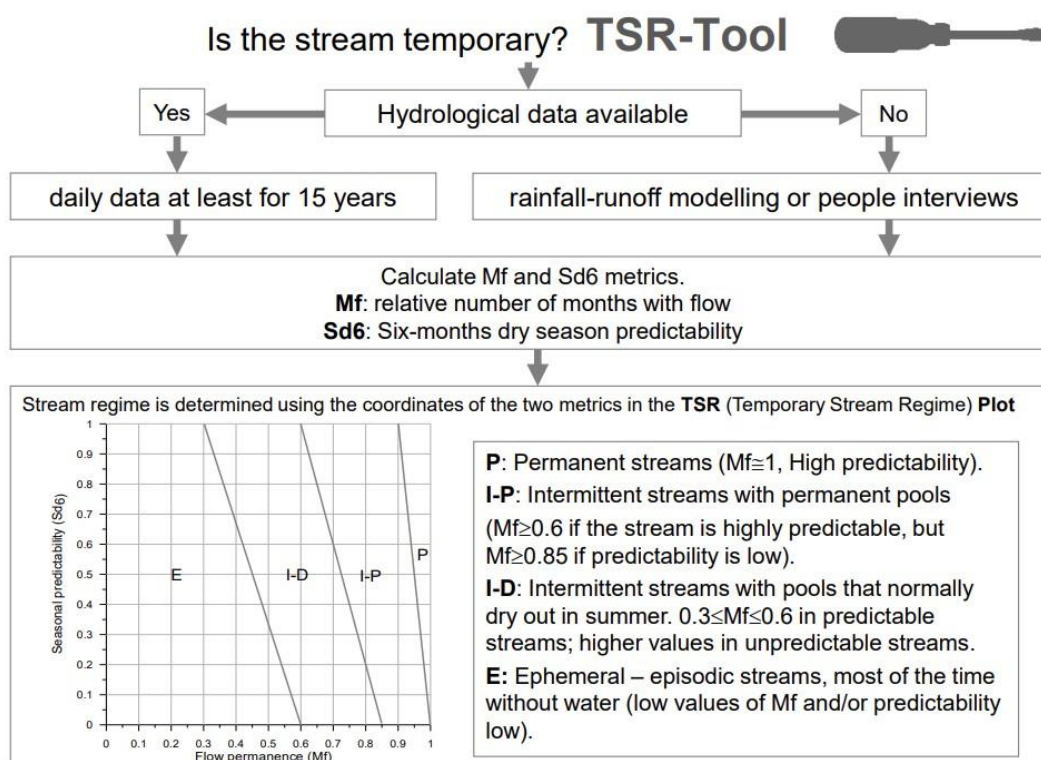


Figura 8. Strumento TSR. Diagramma di flusso che mostra le fasi utilizzate per determinare se il fiume è temporaneo (Prat et al., 2014).

Valutate le due metriche, sono state utilizzate per tracciare nel TSR Plot il punto corrispondente al caso del fiume. A seconda dell'area in cui si trova il punto, è possibile classificare il regime idrologico. Nella Figura 8, è possibile vedere quattro diversi regimi idrologici: permanente (P),

intermittente con pozze nel periodo di non deflusso (I-P), intermittente con un canale asciutto nel periodo di non deflusso (I-D) ed episodico-epimero (E).

2.1.2 Condizioni di riferimento - Strumento

In base all'approccio definito nella WFD, l'assunzione e il monitoraggio delle condizioni attuali di un fiume sono fondamentali per il confronto con le condizioni di riferimento (RC). La RC è definita come una condizione naturale senza pressioni antropiche ed è utilizzata come standard per valutare lo stato attuale (Stoddard et al., 2006). Per selezionare il giusto RC per i fiumi temporanei, viene utilizzato un elenco di 37 attributi (Figura 9) basato su criteri precedenti utilizzati in Spagna da Bonada et al. (2004), Munné e Prat (2009) e Sánchez-Montoya et al. (2009).

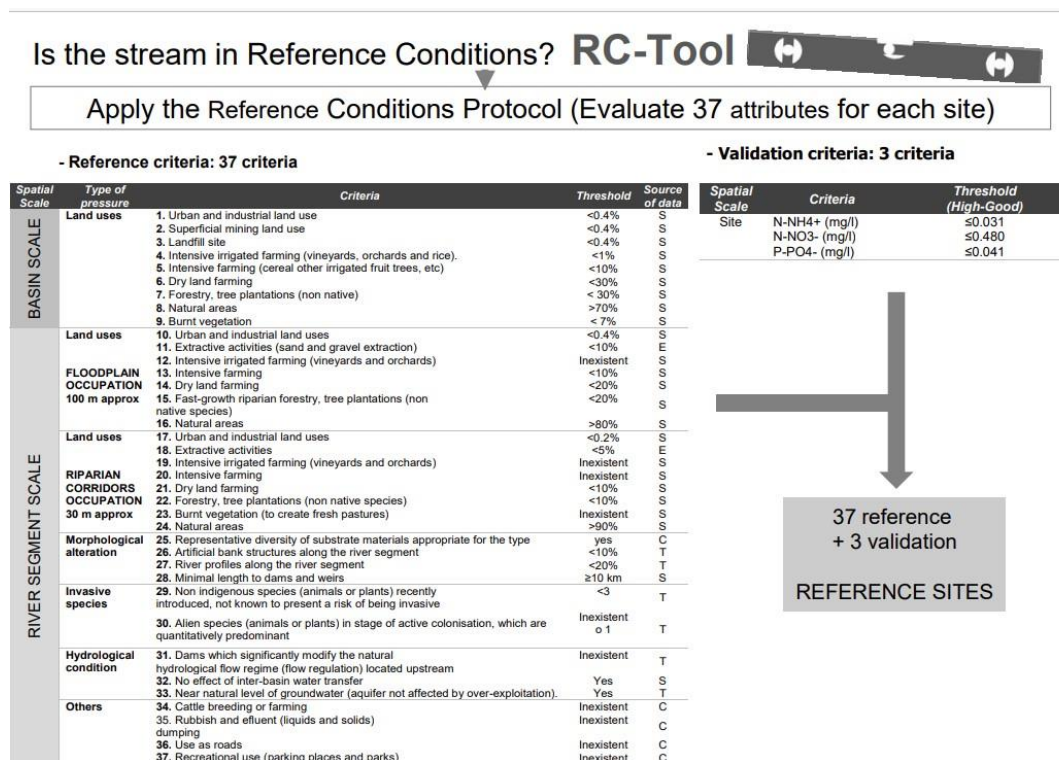


Figura 9. RC-Tool. Diagramma di flusso che mostra i passaggi per ottenere un modello per le condizioni di riferimento (Prat et al., 2014).

La convalida di questa selezione è obbligatoria per confermare il RC scelto. Il metodo deve essere diverso dal precedente e, quindi, si utilizzano i tre criteri, relativi alle condizioni dei nutrienti, elencati nella seconda colonna della Figura 9 (Sánchez-Montoya et al., 2012).

2.1.3 Stato idrologico - Strumento

Le pressioni antropiche potrebbero influenzare la temporaneità dei fiumi modificandone lo stato (o regime) idrologico. L'Hydrologic Status - Tool (HS - Tool) consente di determinare lo stato idrologico di un fiume valutando la durata e la tempistica delle occorrenze dei diversi stati acquatici (AS) o dei periodi di non deflusso. Definito il RC con il RC - Tool e valutate le due metriche M_f e Sd_6 , i due punti sono stati tracciati nel TSR-Plot. La distanza euclidea tra i due punti, che rappresentano il sito RC e l'area di studio, viene confrontata con la variabilità annuale delle metriche per valutare l'eventuale passaggio da un regime idrologico a un altro. Il protocollo di queste fasi è mostrato nella Figura 10.

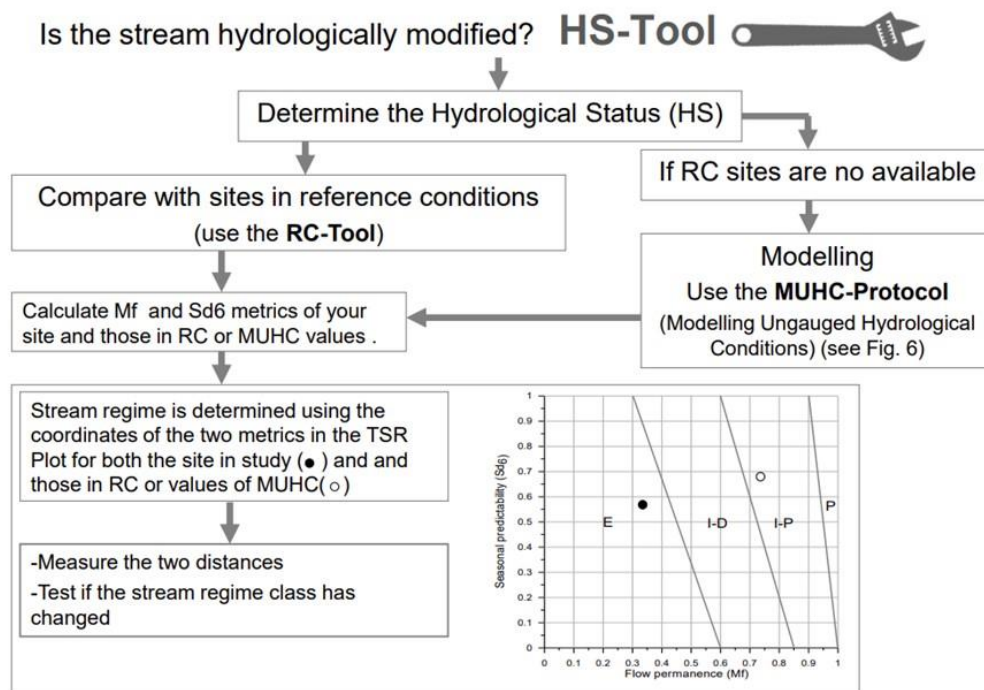


Figura 10. Strumento HS. Diagramma di flusso che mostra le fasi utilizzate per determinare lo stato idrologico in base alla disponibilità o meno di RC (Prat et al., 2014).

Se non ci sono siti che possono essere usati come RC, il progetto MIRAGE ha sviluppato il protocollo Modelling Ungauged Hydrological Conditions (MUHC) (Figura 11) per simulare almeno 5 anni di flusso naturale e alterato usando modelli idrologici per ottenere i due punti sul TRS - Plot da confrontare con la variabilità annuale delle metriche (es. Soil and Water Assessment Tool e SIMulation of GROundwater).

MIRAGE MUHC PROTOCOL (Modelling Ungauged River basins) HS-Tool

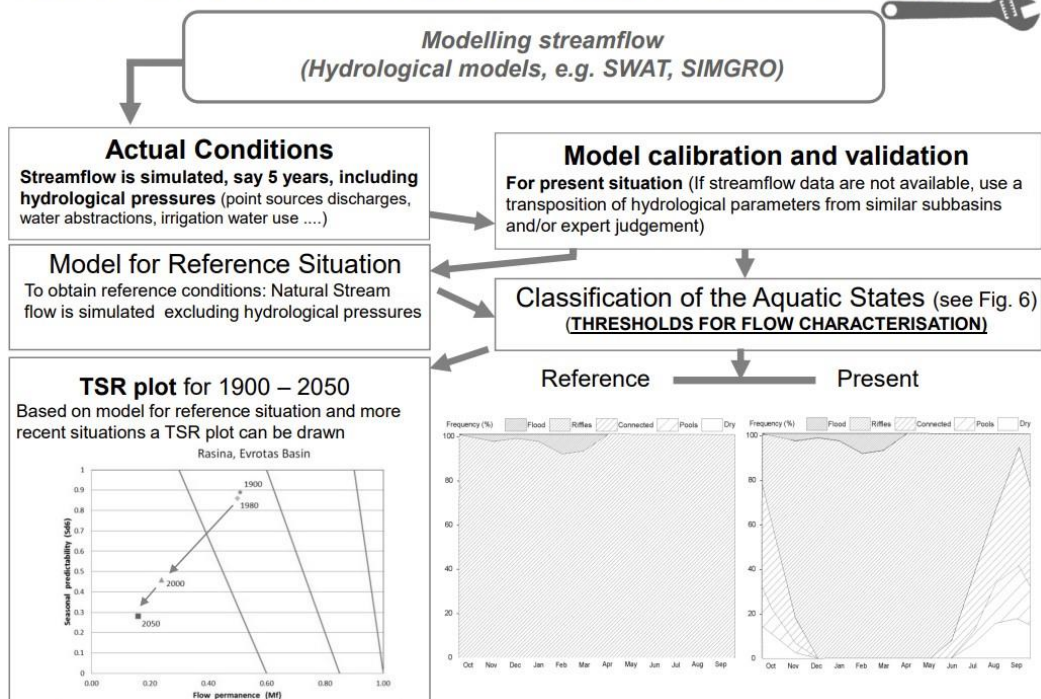


Figura 11. Diagramma di flusso che mostra le fasi di esecuzione del protocollo MUHC per stabilire lo stato idrologico in assenza di stazioni di misura nei bacini studiati (Prat et al., 2014).

2.1.4 Stati acquatici - Strumento

Secondo Gallart et al. (2012), esistono sei stati acquatici: Ipperico (H), Eurico (E), Oligoreico (O), Arico (A), Iporico ed Edafico. Lo strumento AS aggiunge informazioni qualitative alla descrizione del regime fluviale ed è propedeutico allo strumento Stato ecologico. Lo strumento AS (Figura 12) consente di determinare la data migliore per i campionamenti di biota acquatico, in genere durante lo stato eurico o oligorico. Se non sono disponibili informazioni sulla presenza di AS, è possibile utilizzare i dati di flusso (o una simulazione). Per determinare i valori soglia di flusso che valutano il passaggio da una SA a un'altra, è necessario effettuare osservazioni in campo e misurazioni di flusso sincronizzate.

(Gallart et al., 2012).

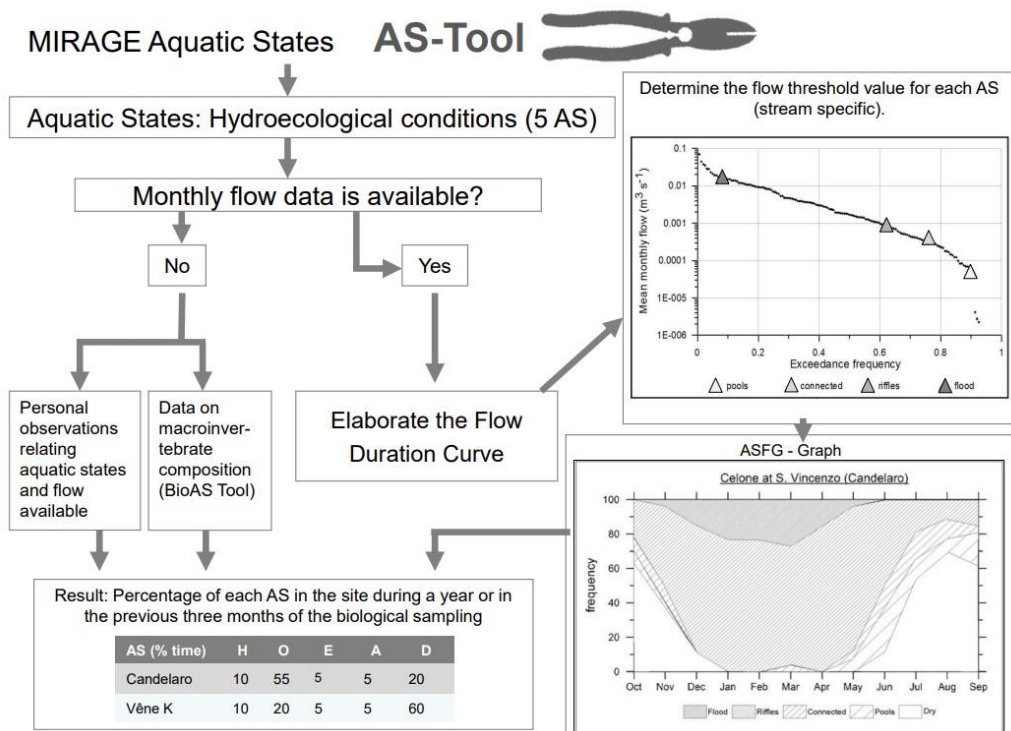


Figura 12. AS-Tool. Diagramma di flusso che mostra le fasi di determinazione degli stati acquatici dei corsi d'acqua (Prat et al., 2014).

È stato sviluppato un nuovo strumento, BioAS - Tool, per consentire ai gestori di definire gli AS a partire da campioni di macroinvertebrati raccolti in passato. Questo strumento è in grado di valutare la connettività del flusso utilizzando alcuni tratti biologici (ad esempio, la proporzione di filtratori, organismi che si nutrono di detrito < 1 mm, temporaneamente attaccati al substrato, volatori, con una dimensione media del corpo tra 1 e 2 cm, che si nutrono di animali morti ≥ 1 mm, con stadi acquatici diapausali e adulti (imago)) e lo spostamento dell'abbondanza dalle famiglie di macroinvertebrati che dominano in condizioni di flusso (cioè Hydropsychidae, Simuliidae e Heptageniidae) a quelle che si diffondono nelle pozze disconnesse (Hydropsychidae, Simuliidae e Heptageniidae) (Cid et al, 2016).

2.1.5 Stato ecologico - Strumento

Lo strumento per lo stato ecologico (ES - Tool) deve valutare lo stato ecologico dei fiumi temporanei sulla base delle cinque classi di qualità richieste dalla WFD (cioè Alta, Buona, Moderata, Scarsa, Cattiva). Per applicare questo strumento, sono obbligatori gli strumenti TSR e AS. La determinazione dell'ES si basa sugli studi delle comunità di macroinvertebrati acquatici. Il progetto MIRAGE ha utilizzato diverse metriche biologiche come il numero di taxa familiari, il

numero di taxa di Efemerotteri, Plecotteri e Tricotteri (EPT) e due indici multimetrici, lo STAR Intercalibration Common Metric Index (STAR_ICMi) e l'Index Multimetric Mediterranei quanTitatiu (García-Roger et al., 2011). Per le condizioni di siccità, quando è impossibile indagare il biota acquatico, il progetto MIRAGE ha sviluppato una metodologia che utilizza gli invertebrati terrestri per determinare l'ES (Steward et al., 2011). Un metodo più completo è dato dalla combinazione di metriche biologiche con metriche funzionali, che possono essere applicate in tutti gli AS. Nel progetto MIRAGE, la metrica più funzionale utilizzata è la decomposizione della lettiera fogliare (Gessner & Chauvet, 2002; Datry et al., 2011).

Nella Figura 13 è riportato un diagramma di flusso che riprende lo strumento ES. Per avere maggiori dettagli sulla tecnica di campionamento dei macroinvertebrati acquatici sviluppata nell'ambito del progetto MIRAGE, si consiglia di leggere García-Roger et al. (2011).

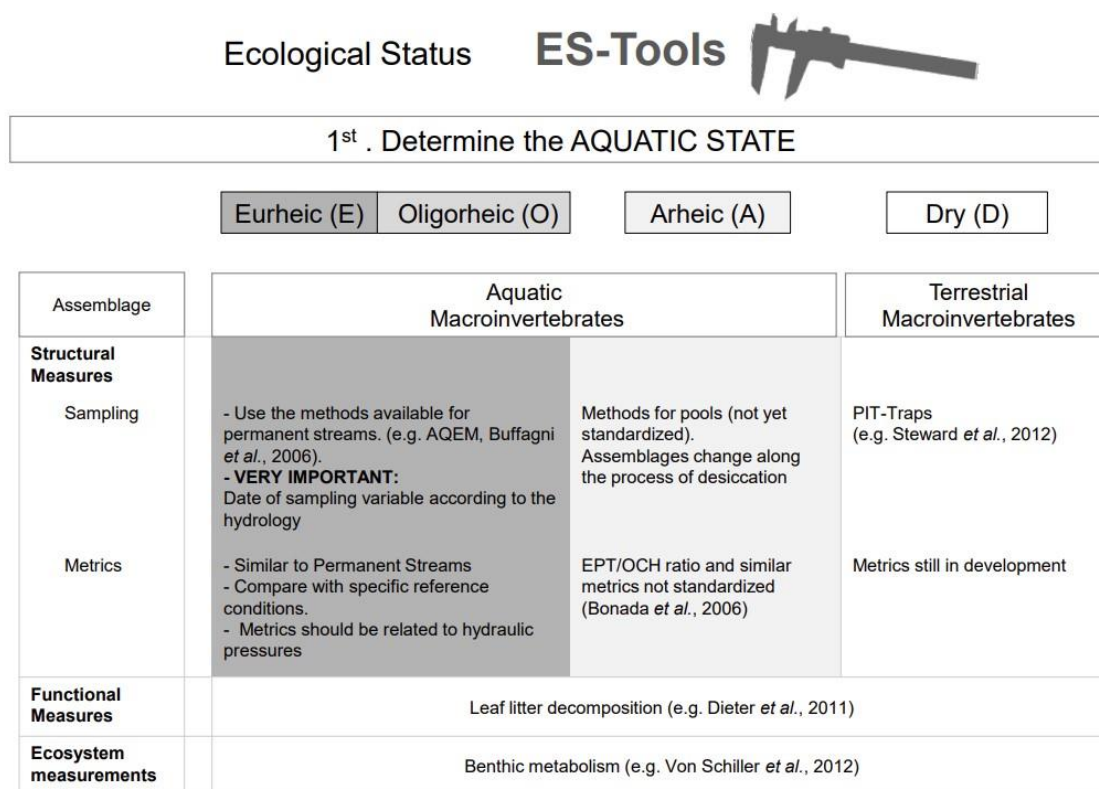


Figura 13. ES-Tool Descrizione dei diversi indici o indici funzionali utilizzati per determinare lo stato ecologico per diverse Ass (Prat et al., 2014).

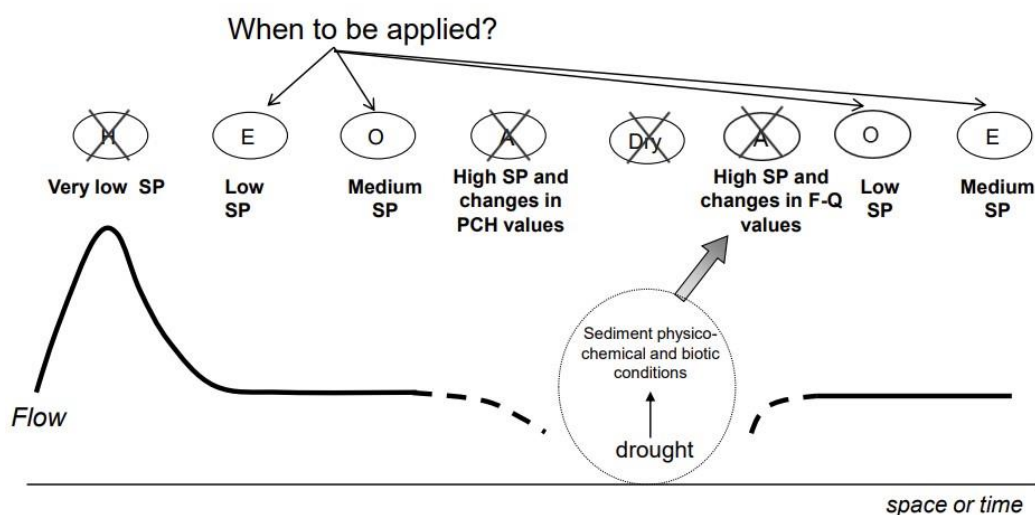
2.1.6 Stato fisico-chimico-Strumento

Questo strumento viene utilizzato per determinare le variabili fisico-chimiche (PCH) stabilite nella WFD 2000/60/EU: condizioni termiche, ossigeno, salinità, stato di acidificazione e

concentrazioni di nutrienti. I valori soglia per le buone condizioni dei fiumi temporanei (Figura 14) sono proposti in Sánchez-Montoya et al. (2012). Inoltre, per il PCHS - Tool, l'Eurheic e l'Oligorheic sono le condizioni migliori per applicare questo metodo. In condizioni di siccità, il PCHS - Tool non può essere utilizzato.

MIRAGE Chemical Status

PCHS-Tool



General parameters	Reference Value	High-Good	General parameters	Reference Value	High-Good
Oxygen saturation (%)	97.0	91.0-103.2	Phosphate (mg/l)	0.027	0.041
Dissolved Oxygen (mg/l)	9.9	8.1-10.8	Nitrate (mg/l)	0.232	0.480
Conductivity (µS/cm)	337	443	Nitrite (mg/l)	0.019	0.041
pH	8.0	8.3	Ammonium (mg/l)	0.023	0.031

Figura 14. Strumento PCHS. Scala temporale di applicazione del PCHS-Tool in relazione alla transizione di AS nel ciclo idrologico naturale dei corsi d'acqua temporanei (Prat et al., 2014).

2.1.7 Stato chimico-Strumento

Il progetto Mirage sviluppa una linea guida specifica per il monitoraggio delle sostanze pericolose nei fiumi temporanei, a causa della limitazione di adattare quelle incluse nella WFD 2000/60/CE che potrebbero non essere sempre adatte ai fiumi temporanei (Figura 15).

Se si tratta di un fiume I-P, durante gli stati Eurheic e Oligorheic, è possibile utilizzare l'approccio per i corpi idrici (CE, 2010). Inoltre, il metodo deve includere il campionamento della fase solida.

Durante le fasi di secca dei fiumi I-P o per i fiumi I-D ed E, è fondamentale studiare i sedimenti in cui si possono trovare sostanze pericolose. A causa dell'elevata variabilità spaziale che contraddistingue i fiumi temporanei, è obbligatorio campionare ogni mesohabitat, anche se ve ne sono più di uno nella stessa sezione trasversale. I sedimenti devono essere campionati

almeno una volta all'anno, in particolare si raccomanda di farlo prima dei periodi di secca, quando il canale fluviale si trova in uno stato oligorico e con basse velocità di corrente.

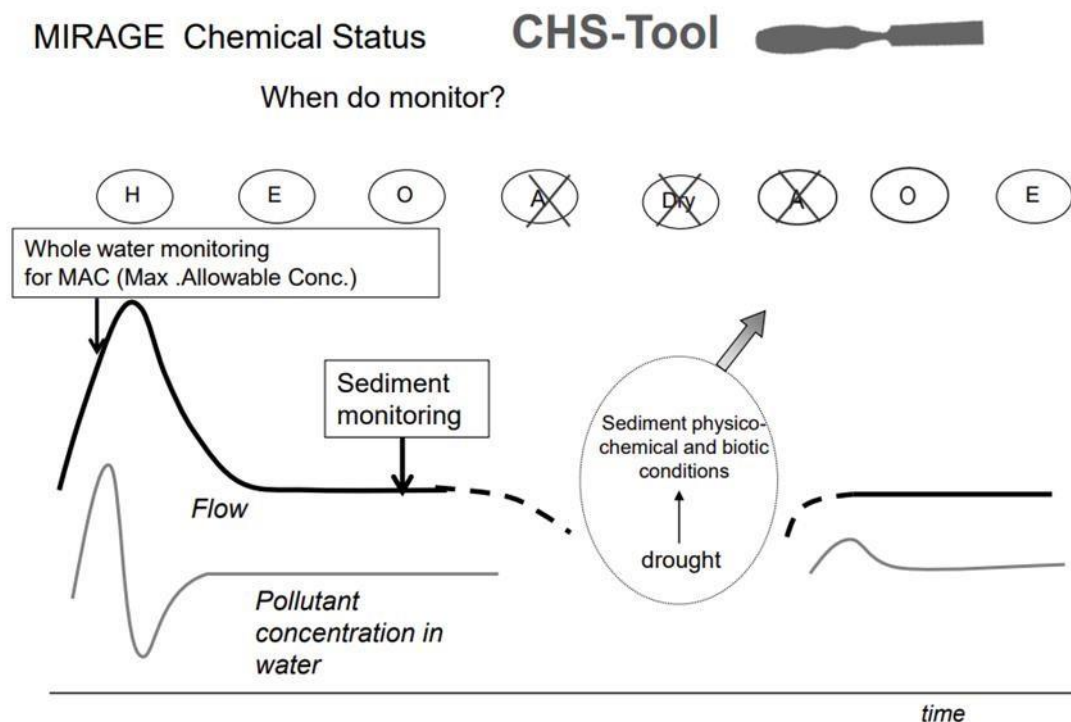


Figura 15. CHS- Strumento per il monitoraggio delle sostanze pericolose nei fiumi temporanei sviluppato durante il progetto MIRAGE (Prat et al., 2014).

2.2 Il progetto DRYvER

L'Accordo di Parigi (2015) ha raggiunto uno dei suoi obiettivi più cruciali riconoscendo l'importanza di proteggere la biodiversità e mantenere l'integrità funzionale degli ecosistemi di fronte ai cambiamenti climatici e ai loro impatti. Di conseguenza, la conservazione delle reti fluviali è diventata più che mai una priorità, dato il loro valore ecologico nel fornire servizi ecosistemici chiave (Thorp et al., 2010). L'attenzione che ricercatori e istituzioni stanno rivolgendo alle reti fluviali è fondamentale a causa della mancanza di conoscenze sugli effetti che i cambiamenti climatici avranno su questo tipo di fiumi e sui loro servizi e funzioni ecosistemiche (Datry et al., 2021).

Per questo motivo, il progetto Horizon 2020 ha riunito un team multidisciplinare di esperti provenienti da 11 Paesi di Europa, Sud America, Cina e Stati Uniti per indagare e mitigare queste sfide ambientali. La loro collaborazione ha portato all'avvio del progetto DRYvER (Securing

biodiversity, functional integrity, and ecosystem services in DRYing riVER networks, or temporary rivers).

Datry et al. (2021) spiegano come l'obiettivo primario di questo progetto sia quello di indagare nove TR nelle reti fluviali di prosciugamento (DRN) in un'ampia area geografica che copre l'Europa e la Comunità degli Stati dell'America Latina e dei Caraibi (CELAC) per comprendere la correlazione diretta e indiretta tra i cambiamenti climatici e l'alterazione della biodiversità, delle funzioni ecosistemiche e dei servizi ecosistemici in questi 9 fiumi. La Figura 16 illustra la posizione geografica dei nove fiumi (6 in Europa e 3 in CELAC) selezionati come casi di studio per il progetto DRYvER.

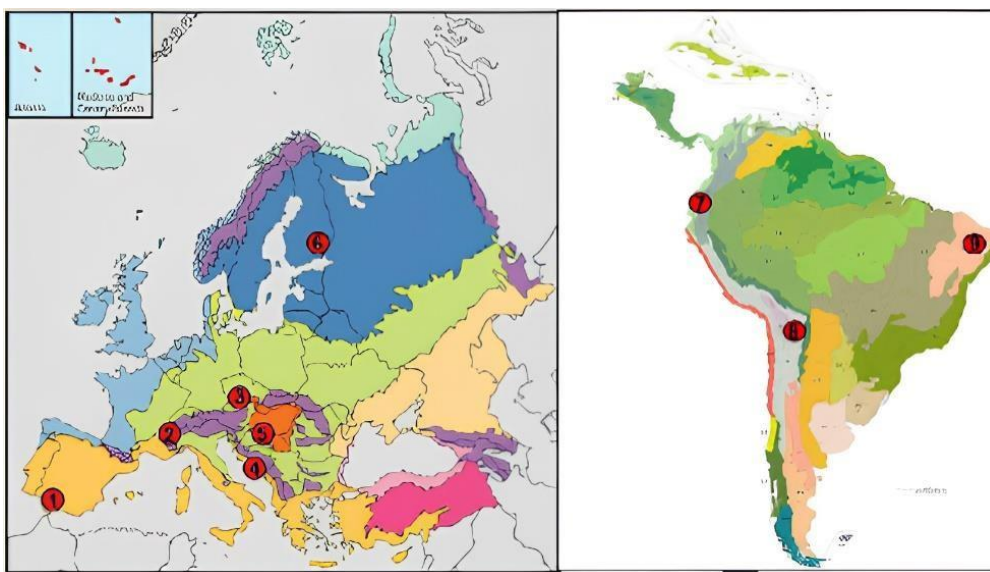


Figura 16. Ubicazione dei nove fiumi in Europa e Sud America presi come caso di studio per il progetto DRYvER (Datry et al., 2021). I punti rossi evidenziano: 1) la rete Genal in Andalusia (Spagna, ecoregione mediterranea). 2) La rete Albarine nel Giura meridionale (Francia, ecoregione alpina). 3) La rete Velička nella Morava (Repubblica Ceca, ecoregione continentale). 4) La rete Krka nel Carso Dinarico (Croazia, ecoregione balcanica). 5) La rete Bükkösd-víz, nel Mecsek (Ungheria, ecoregione Pannonia). 6) La rete Vantaanjoki, nella regione di Helsinki-Uusimaa (Finlandia, ecoregione boreale). 7) La rete Cube, nella regione del Cocco andino. (Ecuador, bassopiano del Pacifico). 8) La rete Rio Chico nella regione di Sucre (Bolivia, ecoregione delle Ande centrali alte). 9) La rete Jaguaribe, nella regione semiarida nordorientale (Brasile, ecoregione Caatinga).

Inoltre, il progetto DRYvER si propone di sviluppare un quadro metasistemico applicabile a livello mondiale (Cid et al., 2021) e strategie, linee guida e strumenti basati sulla conoscenza per includere la gestione adattiva delle TR nelle politiche effettive di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici (Datry et al., 2021). Il progetto ha già prodotto un numero considerevole di documenti, relazioni e documenti che sono accessibili sul sito web (<https://www.dryver.eu/results/>). Il progetto DRYvER cercherà anche di creare un ampio set di dati open-source per il monitoraggio delle condizioni idrologiche delle TR.

Considerando i limiti delle stazioni di misura per il monitoraggio delle condizioni di portata zero e delle pozze, le indagini sul campo sono ancora uno dei metodi migliori per valutare le condizioni in tempo reale delle TR (Magand et al., 2020). La necessità di una grande quantità di indagini sul campo promuove i progetti di citizen science e il crowdsourcing come possibilità di ampliare la raccolta di dati sul campo e di sensibilizzare il pubblico sulle questioni ambientali (Conrad & Hilchey, 2011; Johnson et al., 2014). Seguendo questo approccio, uno dei principali risultati di questo progetto è l'applicazione open-source DRYRivERS, una classica applicazione di crowdsourcing che consente a ogni cittadino di raccogliere informazioni sugli eventi di essiccazione delle TR.

Questa applicazione esiste in due versioni diverse:

- L'applicazione mobile è stata sviluppata per consentire la registrazione offline dei dati sul campo in modo semplice. È disponibile su Google Play (<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.dryrivers&pli=1>) e App Store (<https://apps.apple.com/us/app/dryrivers/id1593273058>).

L'applicazione web (<https://www.dryver.eu/app>) è una mappa in tempo reale di tutti i dati registrati. Gli utenti possono aggiungere nuovi punti e record o modificare i dati registrati in precedenza.

Per registrare le condizioni idrologiche di una porzione di fiume con l'applicazione DRYRivERS, gli utenti possono seguire questi semplici passaggi:

- Aggiungere la posizione del luogo (può essere utilizzata sul GPS del telefono o può essere trovata in un punto esistente sulla mappa).
- Scattare una foto che mostri le condizioni del fiume.
- Valutare la condizione idrologica del canale fluviale tra acqua corrente, pozze scollegate o alveo asciutto.
- Dopo aver registrato i dati, le informazioni devono essere salvate e caricate.

L'applicazione è in grado di registrare tutti i dati non appena il telefono cellulare si connette di nuovo a Internet (Wi-Fi o Internet mobile), quindi è possibile registrare la porzione di fiume anche in assenza di copertura di rete.

Per informazioni più dettagliate, questo link https://youtu.be/TZL4Rx_PxY fornisce un video tutorial per l'applicazione DRYRivERS oppure è possibile seguire le istruzioni contenute nel

documento "Tutorial per l'applicazione web DRYRivers" fornito da DRYVERS. Di seguito è riportato un breve curriculum tutorial che illustra i passaggi essenziali per avviare e sfruttare l'applicazione come semplice utente.

2.2.1 Esercitazione sulle app mobili

L'applicazione mobile serve come strumento operativo per documentare e registrare le condizioni idrologiche dei TR. Di seguito viene fornito un riassunto dell'esercitazione:

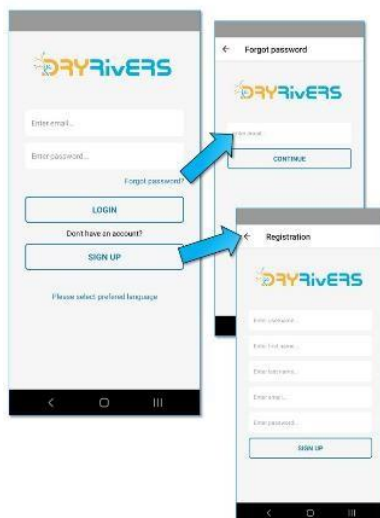


Figura 17. Accesso o registrazione (fonte: <https://www.dryver.eu/citizen-science/how-doesit-work>).

- Avviando l'applicazione, viene visualizzata la sezione della Figura 17. Per accedere all'account esistente sull'applicazione, inserire l'indirizzo e-mail e la password e fare clic sul pulsante LOGIN. Se si è un nuovo utente, fare clic sul pulsante ISCRIZIONE nella schermata iniziale dell'applicazione. Questo passaggio porta alla pagina di registrazione, dove è possibile inserire le informazioni necessarie.

Una volta completato il processo di registrazione, fare clic sul pulsante ISCRIZIONE per terminare. Se si desidera selezionare la lingua preferita, fare clic sul link Selezionare la lingua preferita.

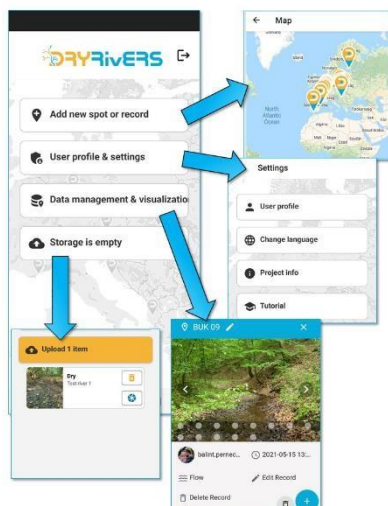


Figura 18. Opzioni della schermata iniziale (fonte: <https://www.dryver.eu/citizen-science/howdoes-it-work>).

- La schermata iniziale (Figura 18) offre quattro opzioni. È possibile aggiungere un nuovo spot o record facendo clic sul pulsante omonimo. Per accedere al proprio profilo utente e regolare le preferenze, fare clic sul menu Profilo utente e impostazioni (Figura 18). È possibile caricare i punti/registrazioni registrati dalla memoria del dispositivo selezionando il pulsante Carica elementi (Figura 18). Per gestire e modificare i punti e le registrazioni, si può accedere al menu Gestione dati e visualizzazione (Figura 18). Per uscire dall'applicazione, fare clic sull'icona Esci accanto al logo dell'applicazione DRYRIVERS.



Figura 19. Aggiunta di un nuovo punto (fonte: <https://www.dryver.eu/citizen-science/howdoes-it-work>).

- Facendo clic sul pulsante Aggiungi nuovo punto o Registra nella schermata iniziale si passa alla schermata Mappa (Figura 19). Da qui si hanno due opzioni per localizzare la macchia che si desidera

Si può usare l'icona GPS per trovare la posizione attuale o scorrere e zoomare manualmente sulla mappa. La posizione attuale è indicata da un mirino nero. Esistono tre metodi per aggiungere un nuovo punto o una nuova registrazione: A) Metodo GPS: Toccare l'icona GPS per determinare la posizione corrente, quindi toccare l'icona Aggiungi nuovo. In questo modo si aggiunge un nuovo punto alla posizione corrente (questa opzione è possibile solo quando la precisione del GPS è inferiore a 200 m). B) Metodo basato sulla mappa: Navigare fino alla posizione desiderata sulla mappa scorrendo e zoomando. Toccare la mappa per posizionare un indicatore, che apparirà con un contorno blu. Toccare quindi l'icona Aggiungi nuovo. B) Aggiunta di un record a un punto esistente: Selezionare un marcatore sulla mappa toccandolo, che verrà delineato in nero. Toccare l'icona Aggiungi nuovo per aggiungere un nuovo record al punto selezionato.

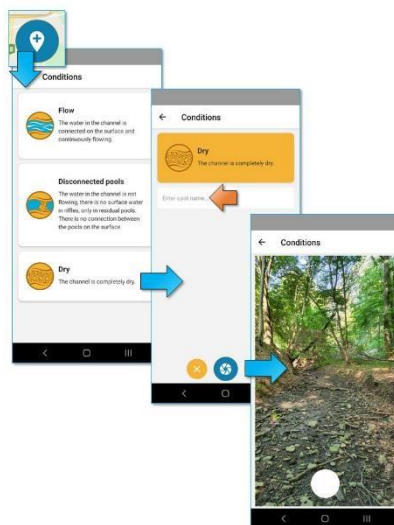


Figura 20. Schermata delle condizioni (fonte: <https://www.dryver.eu/citizen-science/howdoes-it-work>).

- Selezionando l'icona Aggiungi nuovo nella schermata Mappa, si verrà reindirizzati alla schermata Condizioni (Figura 20). Qui è necessario scegliere l'opzione di condizione più appropriata (Flusso / Pozze / Secco) che descriva accuratamente lo stato idrologico del sito. Se si sta aggiungendo un nuovo punto, è possibile inserire un nome (Figura 20). Successivamente, si consiglia vivamente di scattare più fotografie (almeno una) delle condizioni attuali facendo clic sull'icona Foto e premendo il pulsante Otturatore (Figura 20).

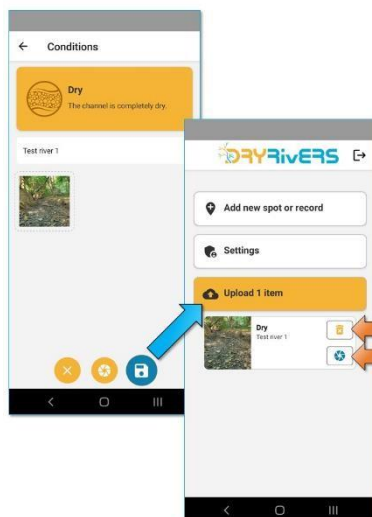


Figura 21. Caricamento di un elemento (fonte: <https://www.dryver.eu/citizen-science/how-does-itwork>).

- Una volta completati tutti i passaggi necessari, è possibile salvare il record selezionando l'icona Salva (Figura 21). In seguito, si tornerà alla schermata iniziale, dove sarà possibile aggiungere un altro punto o un'altra registrazione oppure caricare gli elementi salvati facendo clic sul pulsante Carica elementi (Figura 21). Se lo si desidera, è possibile aggiungere altre foto agli elementi già salvati selezionando l'icona dell'otturatore. Al contrario, se non si desidera più caricare alcuni elementi salvati, è possibile eliminarli utilizzando l'icona del cestino.

2.3 Telerilevamento

Il telerilevamento è una disciplina tecnico-scientifica che permette di identificare, misurare e analizzare le caratteristiche qualitative e quantitative di uno specifico oggetto posto a distanza, sulla base di misure di energia elettromagnetica, emessa, riflessa o diffusa dalla superficie in esame. L'acquisizione dei dati avviene grazie a sensori remoti montati su piattaforme, come droni, aerei e satelliti, che permettono di rilevare l'energia elettromagnetica proveniente da una scena e di convertirla in informazioni. Un vantaggio significativo del telerilevamento satellitare, rispetto ad altre piattaforme remote, è la possibilità di monitorare ampie aree con varie risoluzioni spaziali e temporali. Inoltre, alcuni archivi satellitari forniscono serie temporali superiori ai 40 anni (ad esempio, Landsat). L'ampio uso dei dati satellitari è incoraggiato anche dalla politica di distribuzione gratuita adottata da alcune agenzie spaziali (ad esempio, il

programma Copernicus dell'Agenzia Spaziale Europea), nonché dai programmi di ricerca e istruzione istituiti da aziende private (ad esempio, Planet, Esri).

Le piattaforme satellitari sono dotate di sensori che misurano la radiazione elettromagnetica riflessa o emessa da un determinato oggetto o superficie. In base alla funzionalità del sensore, si distinguono due tipi principali di telerilevamento: il telerilevamento attivo e il telerilevamento passivo. Nel telerilevamento attivo, il sensore produce radiazioni elettromagnetiche per illuminare la scena e registra il segnale di ritorno. Il sensore attivo più comune è, ad esempio, il radar ad apertura sintetica (SAR), che invia un fascio di radiazioni e registra il segnale di ritorno dopo che questo ha interagito, e quindi è stato modificato, dalla superficie indagata. Il telerilevamento passivo, invece, si avvale di sensori passivi che rilevano l'energia naturale emessa o riflessa dall'oggetto osservato ed è la tecnologia più utilizzata per il monitoraggio della superficie terrestre (Wulder et al., 2019). Nei sistemi di telerilevamento passivo, la fonte di energia più comune è il sole, che irradia la superficie terrestre con una gamma continua di radiazioni elettromagnetiche. I sensori di questo tipo misurano generalmente in diversi canali spettrali incentrati su determinate lunghezze d'onda dello spettro elettromagnetico. In genere, vanno dal visibile ($0,4\ \mu\text{m}$ - $0,7\ \mu\text{m}$) all'infrarosso ($0,7\ \mu\text{m}$ - $1\ \text{mm}$). Il principale svantaggio dei sensori passivi è l'impossibilità di osservare la superficie terrestre in presenza di nuvole; di conseguenza, nelle aree con frequenti precipitazioni possono verificarsi lunghi periodi senza osservazione. D'altra parte, nella maggior parte dei casi, i dati acquisiti dai sensori passivi non richiedono lunghe e complicate fasi di pre-elaborazione. Sono spesso corretti radiometricamente e geometricamente da varie agenzie spaziali e possono essere sfruttati direttamente da un utente. Inoltre, associando le bande blu, verdi e rosse ai canali corrispondenti (rispettivamente blu, verde e rosso) è possibile ottenere un'immagine a colori naturali (True Color), attraverso un'operazione di sintesi additiva del colore, che può essere facilmente interpretata anche dai non esperti.

Lo sviluppo di nuove tecnologie nel campo dell'osservazione della Terra ha contribuito al lancio nello spazio di diverse missioni satellitari sempre più potenti e sofisticate. Nel corso degli anni si sono succedute diverse missioni satellitari, tra cui Landsat, MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) e la più recente missione Sentinel-2. La scelta dei dati satellitari da utilizzare, in una specifica applicazione di monitoraggio, dipende da molti fattori, come le dimensioni dell'oggetto (ad esempio, la lunghezza e la larghezza del bersaglio), la risoluzione spaziale richiesta, le proprietà fisiche degli oggetti da osservare, la durata del periodo di osservazione e la frequenza con cui è necessario seguire i cambiamenti (Legleiter e Fonstad,

2012; Brierley e Fryirs, 2013; Gilvear e Bryant, 2016). In generale, le risoluzioni spaziali, temporali e spettrali sono in opposizione tra loro, i dati con una risoluzione spaziale grossolana sono disponibili con un'alta risoluzione temporale e viceversa. Pertanto, la scelta dei set di dati telerilevati da satellite più adatti è impegnativa a causa degli inevitabili compromessi tra risoluzione spaziale e tempo di rivisitazione.

L'uso dei dati satellitari per il monitoraggio delle TR è stato finora limitato da due fattori principali: la risoluzione spaziale delle immagini satellitari e la disponibilità di immagini a costi accessibili. Per il monitoraggio delle TR sono necessarie risoluzioni spaziali e temporali elevate. Immagini ad altissima risoluzione (risoluzione spaziale dell'ordine di 0,5 m) sono disponibili per uso commerciale, ma il loro utilizzo per il monitoraggio continuo su lunghi intervalli di tempo è limitato dagli alti costi dei prodotti. Tra le immagini multispettrali distribuite liberamente con copertura globale sistematica, la missione Sentinel-2 offre la più alta risoluzione spaziale e frequenza di rivisitazione.

La missione Sentinel-2 fa parte del programma Copernicus di osservazione della Terra guidato dalla Commissione europea e gestito dall'Agenzia spaziale europea (ESA). La missione Sentinel-2 comprende una costellazione di due satelliti polarorbitanti posizionati nella stessa orbita. Il primo satellite, Sentinel-2A, lanciato il 23 giugno 2015, fornisce immagini con un tempo di rivisitazione di circa 10 giorni all'equatore. Dal lancio del secondo satellite, Sentinel-2B, avvenuto il 7 marzo 2017, il tempo di rivisitazione complessivo è diventato di circa 5 giorni all'equatore e di 2-3 giorni alle medie latitudini. Entrambi i satelliti sono dotati di uno strumento optoelettronico multispettrale (MSI), che fornisce immagini a risoluzione moderata dal giugno 2015 (Sentinel-2A) e dal marzo 2017 (Sentinel-2B). MSI acquisisce tredici bande spettrali (vedi Tabella 2) nel visibile (bande 1-2-3-4), nel rosso (bande 5-6-7), nel vicino infrarosso (NIR, bande 8-8a), nell'infrarosso a onde corte (SWIR, bande 9-10-11-12). La risoluzione spaziale è di 10 m per le bande 2, 3, 4 e 8; 60 m per le bande 1, 9 e 10 e 20 m per le altre.

Tabella 1. Copertura spettrale dei dati del satellite Sentinel-2.

Intervallo di lunghezza d'onda [nm]	Risoluzione spaziale [m]			Regione spettrale
	10	20	60	
423-463			B1	Aerosol costiero
458-523	B2			Blu
543-578	B3			Verde

650-680	B4			Rosso
698-713		B5		Bordo rosso
733-748		B6		Bordo rosso
773-793		B7		Bordo rosso
785-899	B8			NIR
855-875		B8a		NIR stretto
925-965			B9	Acqua - Vapore
1350-1410			B10	SWIR - Cirrus
1565-1655		B11		SWIR
2100-2280		B12		SWIR

Grazie all'ottimo compromesso tra risoluzione spaziale e temporale e alla possibilità di scaricare i dati in modo semplice e gratuito, i dati multispettrali della missione satellitare Sentinel-2 sono i più adatti per il monitoraggio delle TR.

Le immagini satellitari acquisite da sensori passivi sono state ampiamente sfruttate per la mappatura delle superfici idriche lungo i fiumi perenni, grazie all'elevata disponibilità di dati e alle adeguate risoluzioni spaziali e temporali (Piégay et al., 2020). Alcuni autori hanno sviluppato metodi di classificazione supervisionati o non supervisionati per generare mappe dell'acqua o della copertura del suolo. Baki e Gan (2012) hanno implementato una rete neurale non supervisionata per estrarre classi di copertura del suolo (acqua, sedimenti e vegetazione) da immagini Landsat per monitorare l'erosione/accrezione degli argini e la dinamica delle isole del fiume Jamuna per tre decenni (1973-2003). Carbonneau et al. (2020) hanno utilizzato un metodo di classificazione supervisionato per estrarre classi di copertura del suolo (acqua, vegetazione e sedimenti) e delimitare canali attivi da immagini Sentinel-2 su quattro fiumi italiani: il fiume Po, il fiume Sesia, il fiume Paglia e il fiume Bonamico.

Sebbene ad oggi siano state sviluppate diverse tecniche per l'estrazione di superfici d'acqua da sensori multispettrali, non esiste ancora un metodo di classificazione universale che funzioni per tutti i casi di studio e l'estrazione della copertura del suolo da immagini satellitari multispettrali è un argomento in continua evoluzione (Huang et al., 2018; Talukdar et al., 2020).

Un modo semplice e ampiamente utilizzato per estrarre le superfici idriche o le classi di copertura del suolo è quello di utilizzare gli indici multispettrali (Petropoulos e Kalaitzidis, 2012). L'andamento delle curve di riflettanza spettrale di un oggetto o di una superficie fornisce informazioni utili per la derivazione degli indici multispettrali. Infatti, gli indici rappresentano una combinazione di due o più bande spettrali per le quali una superficie assume caratteristiche che la rendono distinguibile da altre.

La firma spettrale dell'acqua "limpida" (solidi sospesi <10 mg/l) ha un picco nella banda di lunghezza d'onda verde ($0,50-0,56$ μm) e diminuisce con l'aumentare della lunghezza d'onda, raggiungendo una riflettanza prossima allo zero nella regione del vicino infrarosso (NIR) ($0,75-1,4$ μm). Lo spettro di riflettanza dell'acqua torbida presenta valori più elevati rispetto all'acqua moderatamente torbida nelle regioni del visibile e del vicino infrarosso e si avvicina allo zero alle lunghezze d'onda maggiori (Malinowski et al., 2015; Cavallo, 2022b). Ciò è dovuto alla concentrazione e alle dimensioni di soluti, sedimenti e materia organica, la cui presenza aumenta la riflessione nella banda del vicino infrarosso. La risposta spettrale della vegetazione varia, come per l'acqua, con la lunghezza d'onda e dipende da molteplici fattori, come il tipo di vegetazione, la densità, lo stato di crescita e il contenuto di umidità. Nel visibile, i valori di energia riflessa sono correlati alla presenza di pigmenti, come la clorofilla.

Per la fotosintesi, la vegetazione assorbe la radiazione visibile blu e rossa e riflette quella verde. Nelle lunghezze d'onda del vicino infrarosso ($0,7-1,35$ μm), la firma spettrale è influenzata dalla struttura della foglia, mentre nell'infrarosso a onde corte ($1,35-2,70$ μm) dal contenuto d'acqua. Una vegetazione sana tende a mostrare una maggiore riflettanza nelle lunghezze d'onda del vicino infrarosso (Bannari et al., 1995). Per i suoli, allo stesso modo, la riflettanza varia in base alla loro composizione chimica e fisica. I fattori più importanti sono il contenuto di umidità, il contenuto di sostanza organica, la tessitura e la struttura (Ou et al., 2022). La riflettanza del suolo aumenta con la lunghezza d'onda e diminuisce proporzionalmente al contenuto di umidità in corrispondenza dei picchi di assorbimento dell'acqua (ad esempio, $1,4$, $1,9$, $2,7$ μm , vedi Figura 22). In genere, l'acqua di zone umide, laghi e fiumi contiene particelle solide e potrebbe apparire non "limpida". In generale, in ambienti come i laghi, la torbidità negli strati superficiali è bassa e l'acqua nella maggior parte dei casi ha una firma spettrale simile a quella delle acque "limpide" (solidi sospesi <10 mg/l). Nei fiumi, invece, a causa del trasporto solido, la torbidità può essere maggiore e la firma spettrale può apparire simile a quella di un'acqua torbida. Inoltre, nel caso di acque poco profonde, la firma spettrale può essere influenzata dal tipo e dal colore del materiale di fondo (ad esempio, sedimenti o vegetazione acquatica).

Dall'analisi delle firme spettrali sono stati ricavati gli indici multispettrali più comuni utilizzati per estrarre le superfici di acqua, vegetazione e suolo nudo. Ad esempio, McFeeters (1996) ha proposto l'indice NDWI (Normalised Difference Water Index) derivato dalle bande verdi e NIR.

$$NDWI = \frac{\rho_{green} - \rho_{NIR}}{\rho_{green} + \rho_{NIR}}$$

In seguito, Xu (2006) ha scoperto che la banda dell'infrarosso a onde corte (SWIR) è in grado di riflettere alcune caratteristiche sottili dell'acqua, quindi ha sostituito la banda del vicino infrarosso (NIR) nell'NDWI con la banda SWIR e ha proposto l'MNDWI (Modify Normalised Difference Water Index).

$$MNDWI = \frac{\rho_{green} - \rho_{SWIR}}{\rho_{green} + \rho_{SWIR}}$$

Dagli spettri presentati nella Figura 22, si può affermare che le aree coperte da acque "chiare" saranno caratterizzate da valori positivi di NDWI. Al contrario, ci si aspetta che le superfici coperte da acque torbide manifestino valori quasi nulli di NDWI. Al contrario, sia le acque pulite che quelle torbide saranno caratterizzate da valori positivi di MNDWI.

L'indice di vegetazione normalizzato (NDVI, Curran, 1983) è stato sviluppato per rilevare le superfici vegetate ma anche per estrarre le superfici d'acqua. In base alle caratteristiche di riflettanza dell'acqua (vedi Figura 22), i valori NDWI e MNDWI per l'acqua sono generalmente maggiori di zero, mentre i valori NDVI sono minori di zero.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + \rho_{red}}$$

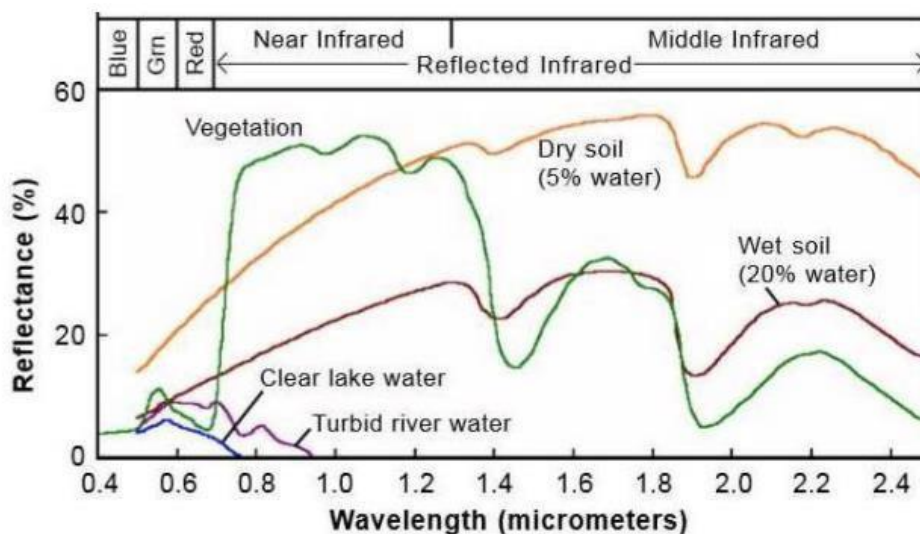


Figura 22. Riflettanza spettrale dell'acqua limpida del lago (solidi sospesi <10 mg/l), dell'acqua torbida del fiume, della vegetazione, del suolo secco e del suolo umido (fonte: Pft [ErM E x 100 - Meteorologia agricola - Giardinaggio progressivo]): Pft [ErM E x 100 - Meteorologia agricola - Giardinaggio progressivo]).

Diversi autori hanno utilizzato indici multispettrali e un metodo di soglia per estrarre il canale umido da immagini satellitari e studiare le evoluzioni morfologiche dei canali fluviali. Ad esempio, Cavallo et al. (2021b) hanno estratto il canale umido del fiume Po italiano dai dataset Landsat-4/5, Landsat-8 e Sentinel2 utilizzando un metodo di soglia basato sull'indice MNDWI per analizzare i suoi cambiamenti morfologici dal 1986 al 2021. Kryniecka e Magnuszewski (2021) hanno sfruttato un metodo di soglia basato sulla Sentinel Water Mask (SWM) e sull'Automated Water Extraction Index no shadow ($AWEI_{nsh}$) per estrarre superfici d'acqua da sei immagini multispettrali Sentinel-2 e studiare il movimento alternato dei banchi di sabbia sul fiume Vistola in Polonia. Jiang et al. (2014) hanno sviluppato un metodo di estrazione automatica della superficie d'acqua sfruttando quattro indici idrici multispettrali (NDWI, MNDWI, $AWEI_{nsh}$ e Automated Water Extraction Index with shadow, $AWEI_{sh}$) per la mappatura dei canali umidi di sei diversi fiumi nel nord e nel nord-ovest della Cina.

Sebbene il telerilevamento abbia trovato un'ampia applicazione per l'estrazione dell'acqua nei fiumi perenni, solo recentemente alcuni autori hanno iniziato a esplorare il potenziale dei dati satellitari per monitorare la presenza di acqua lungo i TR. Ad esempio, Seaton et al. (2020) hanno esaminato l'utilità di vari indici multispettrali derivati da immagini satellitari Sentinel-2 e Landsat-8 per identificare e mappare le aree di superficie idrica lungo tre TR situati nel Capo occidentale del Sudafrica. Gli autori hanno osservato che gli indici NDWI e $AWEI_{nsh}$ di Wang et al. (2018) si prestano meglio a estrarre la superficie dell'acqua. Maswanganye et al. (2022) hanno esplorato l'uso di dati telerilevati multi-sorgente per monitorare la distribuzione spaziale delle pozze e la dinamica delle pozze lungo tre TR. Gli autori hanno estratto le superfici d'acqua utilizzando tre indici multispettrali, tra cui NDWI, MNDWI e NDVI, e un metodo di classificazione random forest (RF) supervisionato da immagini multispettrali Sentinel-2. L'RF è un algoritmo di apprendimento automatico che utilizza un metodo non parametrico per risolvere problemi di classificazione e regressione. Si basa sull'algoritmo Classification And Regression Trees (CART) e ne supera gli svantaggi impiegando una moltitudine (una "foresta") di alberi decisionali per fare previsioni potenti, meno inclini a problemi di overfitting. Hanno anche estratto le superfici d'acqua dai dati SAR Sentinel-1 con un metodo di classificazione a soglia. I risultati del loro lavoro suggeriscono che MNDWI e NDWI hanno identificato le pozze d'acqua meglio di altri metodi in entrambi i fiumi studiati.

Altri studi più recenti hanno sfruttato i set di dati satellitari per stimare l'intermittenza del flusso nei TR. In particolare, Wang e Vivoni (2022) hanno sviluppato un nuovo approccio per stabilire la presenza di flusso superficiale in un TR dell'Arizona (USA) sfruttando le immagini commerciali di CubeSat (Planet). È stato proposto un indice, basato sulla banda NIR, per determinare la condizione di flusso in diversi tratti del fiume Hassayampa su scala giornaliera durante tre anni di osservazione. L'evoluzione temporale di questo indice ha mostrato un alto grado di convergenza con i dati di portata osservati registrati da una stazione di misura situata nel tratto di fiume analizzato. Infine, Cavallo et al. (2022a) hanno utilizzato immagini Sentinel-2 multispettrali per rilevare e monitorare i cambiamenti nella presenza della superficie dell'acqua lungo tre TR mediterranei situati nell'Italia meridionale. Valutando la firma di riflettanza delle coperture di acqua, sedimenti e vegetazione, e con l'aiuto di dati di verità a terra e immagini ad alta risoluzione, è emerso che l'immagine in falsi colori con bande SWIR, NIR e RED di Sentinel-2 permette di distinguere chiaramente le superfici d'acqua dagli altri componenti del corridoio fluviale. Le immagini composite in falsi colori permettono di eseguire una classificazione supervisionata dei corsi d'acqua rilevati in termini di tre condizioni idrologiche durante i sei anni di osservazione: "Flowing" (F), "Ponding" (P) e "Dry" (D). Il dataset ottenuto ha permesso di addestrare modelli Random Forest (RF) calibrati localmente. Tali modelli sono stati utilizzati per risolvere un problema di classificazione, limando gli intervalli temporali tra le immagini satellitari e prevedendo il verificarsi di una delle tre condizioni idrologiche (F/P/D) su scala giornaliera utilizzando i dati meteo-idrologici locali.

Riferimenti

- Acuña, V., Datry, T., Marshall, J., Barceló, D., Dahm, C. N., Ginebreda, A., & Mcgregor, G. (2014). Perché dovremmo preoccuparci dei corsi d'acqua temporanei? *SCIENCE*, 343, 6-7.
- Allen, D. C., Datry, T., Boersma, K. S., Bogan, M. T., Boulton, A. J., Bruno, D., ... & Zimmer, M. (2020). Modelli concettuali di ecosistemi fluviali e non fiumi perenni: una revisione critica. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Acqua*, 7(5),
- Bannari, A., Morin, D., Bonn, F. e Huete, A. (1995). Una revisione degli indici di vegetazione. *Recensioni sul telerilevamento*, 13(1-2), 95-120.
- Baki, A. B. M., & Gan, T. Y. (2012). Migrazione degli argini e dinamica delle isole del fiume Jamuna del bacino del Gange-Brahmaputra utilizzando immagini Landsat multitemporali. *Quaternary International*, 263, 148-161.
- Bhamjee, R. e Lindsay, J. B. (2011). Progettazione di sensori per torrenti effimeri con l'uso di registratori di stato. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(3), 1009-1021.
- Brierley, G. J., & Fryirs, K. A. (2013). Geomorfologia e gestione fluviale: applicazioni del quadro degli stili fluviali. John Wiley & Sons.
- Bonada, N., Zamora-Munoz, C., Rieradevall, M., & Prat, N. (2004). Profili ecologici delle larve di caddisfly nei corsi d'acqua del Mediterraneo: implicazioni per i metodi di biovalutazione. *Inquinamento ambientale*, 132(3), 509-521.
- Boulton, A. J. (2003). Paralleli e contrasti negli effetti della siccità sugli assemblaggi di macroinvertebrati di torrente. *Freshwater Biology*, 48(7), 1173-1185.
- Busch, M. H., Costigan, K. H., Fritz, K. M., Datry, T., Krabbenhoft, C. A., Hammond, J. C., Zimmer, M., Olden, J. D., Burrows, R. M., Dodds, W. K., Boersma, K. S., Shanafield, M., Kampf, S. K., Mims, M. C., Bogan, M. T., Ward, A. S., Rocha, M. P., Godsey, S., Allen, G. H., ... Allen, D. C. (2020). Cosa c'è in un nome? Modelli, tendenze e suggerimenti per la definizione di fiumi e torrenti non permanenti. *Acqua (Svizzera)*, 12(7).
- Carbonneau, P. E., Belletti, B., Micotti, M., Lastoria, B., Casaioli, M., Mariani, S., ...

- & Bizzi, S. (2020). Addestramento basato su UAV per la classificazione completamente fuzzy di scene fluviali Sentinel-2. *Earth surface processes and landforms*, 45(13), 3120-3140.
- Cavallo, C., Papa, M. N., Gargiulo, M., Palau-Salvador, G., Vezza, P., & Ruello, G. (2021a). Monitoraggio continuo delle dinamiche di inondazione nella zona umida di Albufera (Spagna) attraverso i dataset landsat-8 e sentinel-2. *Telerilevamento*, 13(17).
- Cavallo, C., Nones, M., Papa, M. N., Gargiulo, M., & Ruello, G. (2021b). Monitoraggio dell'evoluzione morfologica di un tratto del fiume Po italiano mediante immagini satellitari multispettrali e dati di portata. *Geocarto International*, 37(25), 8579-8601.
- Cavallo, C., Papa, M. N., Negro, G., Gargiulo, M., Ruello, G., & Vezza, P. (2022a). Sfruttare il set di dati Sentinel-2 per valutare l'intermittenza del flusso nei fiumi non permanenti. *Scientific Reports*, 12(1), 21756.
- Cavallo, C. (2022b). Monitoraggio di ambienti d'acqua dolce tramite dati satellitari. Tesi di dottorato.
- Chapin, T. P., Todd, A. S., & Zeigler, M. P. (2014). Registratori di dati robusti e a basso costo per il monitoraggio della temperatura, dell'intermittenza del flusso e della conducibilità relativa dei corsi d'acqua. *Water Resources Research*, 50(8), 6542-6548.
- Cid, N., Heino, J., Singer, G., ria Bonada, N., Sarremejane, R., Sandin, H. M. L., ... & Datry, T. (2021). Dalla teoria dei metasistemi alla gestione sostenibile dei fiumi nell'Antropocene.
- Cid, N., Verkaik, I., García-Roger, E. M., Rieradevall, M., Bonada, N., Sánchez-Montoya, M. D. M., ... & Prat, N. (2016). Uno strumento biologico per valutare la connettività dei flussi in corsi d'acqua temporanei di riferimento del bacino del Mediterraneo. *Science of the Total Environment*, 540, 178-190.
- Conrad, C. C. e Hilchey, K. G. (2011). Una revisione della citizen science e del monitoraggio ambientale basato sulla comunità : problemi e opportunità. *Monitoraggio e valutazione ambientale*, 176, 273-291.
- Costigan, K. H., Kennard, M. J., Leigh, C., Sauquet, E., Datry, T., & Boulton, A. J. (2017). Capitolo 2.2 - Regimi di flusso nei fiumi intermittenti e nei corsi d'acqua effimeri. In T. Datry, N.

- Bonada, & A. Boulton (Eds.), *Intermittent Rivers and Ephemeral Streams* (pp. 51-78). Academic Press.
- Cottet, M., Robert, A., Tronchère-Cottet, H., & Datry, T. (2023). "È secco, ha meno fascino!": Le percezioni e i valori dei fiumi intermittenti interagiscono con la loro gestione? *Environmental Science and Policy*, 139(novembre 2022), 139-148.
- Curran, P. J. (1983). Telerilevamento multispettrale per la stima dell'indice di area fogliare verde. *Transazioni filosofiche della Royal Society of Londra. Serie A, Scienze Matematiche e Fisiche*, 309(1508), 257270.
- Datry, T., Corti, R., Claret, C., & Philippe, M. (2011). L'intermittenza del flusso controlla la disgregazione della lettiera fogliare in un fiume alluvionale temporaneo francese: la "memoria dell'essiccazione". *Aquatic Sciences*, 73, 471-483.
- Datry, T., Larned, S. T., & Tockner, K. (2014). Fiumi intermittenti: Una sfida per l'ecologia delle acque dolci. *BioScience*, 64(3), 229-235.
- Datry, T., Allen, D., Argelich, R., Barquin, J., Bonada, N., Boulton, A., ... & Vinyoles, D. (2021). Garantire la biodiversità, l'integrità funzionale e i servizi ecosistemici nelle reti fluviali in secca (DRYvER). *Research Ideas and Outcomes*, 7, e77750.
- Datry, T., Truchy, A., Olden, J. D., Busch, M. H., Stubbington, R., Dodds, W. K., Zipper, S., Yu, S., Messager, M. L., Tonkin, J. D., Kaiser, K. E., Hammond, J. C., Moody, E. K., Burrows, R. M., Sarremejane, R., DelVecchia, A. G., Fork, M. L., Little, C. J., Walker, R. H., ... Allen, D. (2023). Cause, risposte e implicazioni dell'intermittenza del flusso antropogenico rispetto a quello naturale nelle reti fluviali. *BioScience*, 73(1), 9-22.
- De Girolamo, A. M., Pappagallo, G., & Porto, A. L. (2015). Variabilità temporale del trasporto di sedimenti sospesi e curve di valutazione in un bacino fluviale del Mediterraneo: Il Celone (SE Italia). *Catena*, 128, 135-143.
- Döll, P., & Schmied, H. M. (2012). In che modo l'impatto del cambiamento climatico sui regimi di flusso fluviale è correlato all'impatto sul deflusso medio annuo? Un'analisi su scala globale. *Environmental Research Letters*, 7(1).
- Parlamento europeo - Direttiva quadro sulle acque 2000/60/CE. (2000). DIRETTIVA WFD 2000/60/CE.

- Fritz, K. M., Feminella, J. W., Colson, C., Lockaby, B. G., Governo, R., & Rummer, R. B. (2006). Biomassa e tassi di decadimento di radici e detriti nei sedimenti di corsi d'acqua intermittenti della Pianura Costiera. *Hydrobiologia*, 556, 265-277.
- Fritz, K., Cid, N., & Autrey, B. (2017). Governance, legislazione e protezione dei fiumi intermittenti e dei corsi d'acqua effimeri. In *Fiumi intermittenti e corsi d'acqua effimeri: Ecology and Management*. Elsevier Inc.
- Garcia-Roger, E. M., del Mar Sánchez-Montoya, M., Gómez, R., Suárez, M. L., Vidal-Abarca, M. R., Latron, J., ... & Prat, N. (2011). I cambiamenti stagionali nelle caratteristiche dell'habitat influenzano gli assemblaggi di macroinvertebrati acquatici in corsi d'acqua mediterranei perenni e temporanei? *Aquatic sciences*, 73, 567-579.
- Gao, S., Chen, M., Li, Z., Cook, S., Allen, D., Neeson, T., Yang, T., Yami, T., & Hong, Y. (2021). Mappatura delle reti dinamiche di corsi d'acqua non permanenti mediante simulazione idrologica distribuita ad alta risoluzione: Un caso di studio nel bacino del fiume blu superiore. *Journal of Hydrology*, 600(settembre 2020), 126522.
- Gessner, M. O. e Chauvet, E. (2002). Un caso di utilizzo della disgregazione della lettiera per valutare l'integrità funzionale dei corsi d'acqua. *Applicazioni ecologiche*, 12(2), 498-510.
- Gilvear, D., & Bryant, R. (2016). Analisi di dati telerilevati per la geomorfologia fluviale e le scienze fluviali. *Strumenti di geomorfologia fluviale*, 103-132.
- Hassan, M.A., Egozi, R. (2001). Impatto dello scarico delle acque reflue sulla morfologia dei canali dei corsi d'acqua effimeri. *Processi della superficie terrestre e forme del territorio*.
- Huang, C., Chen, Y., Zhang, S., & Wu, J. (2018). Rilevamento, estrazione e monitoraggio delle acque superficiali dallo spazio mediante sensori ottici: Una rassegna. *Reviews of Geophysics*, 56(2), 333-360.
- Jiang, H., Feng, M., Zhu, Y., Lu, N., Huang, J., & Xiao, T. (2014). Un metodo automatizzato per estrarre fiumi e laghi dalle immagini Landsat. *Remote Sensing*, 6(6), 5067-5089.
- Johnson, M. F., Hannah, C., Acton, L., Popovici, R., Karanth, K. K., & Weinthal, E. (2014). Ambientalismo di rete: I cittadini scienziati come agenti per la difesa dell'ambiente. *Global Environmental Change*, 29, 235-245.

- Kryniecka, K. e Magnuszewski, A. (2021). Applicazione delle immagini satellitari sentinel-2 per studiare il movimento alternato dei banchi di sabbia nel fiume Vistola inferiore (Polonia). *Remote Sensing*, 13(8), 1505.
- Legleiter, C. J., & Fonstad, M. A. (2012). Un'introduzione alle basi fisiche per ricavare informazioni fluviali con il telerilevamento ottico. *Fluvial remote sensing for science and management*, 43-69.
- Llanos-Paez, O., & Acuña, V. (2022). Analisi dei fattori socio-ecologici dell'uso ricreativo di corsi d'acqua temporanei e fiumi. *Scienza dell'ambiente totale*, 807.
- Magand, C., Maria, H. A., Calleja, E., Datry, T., Dörflinger, G., England, J., Munne, A., & Iakovos, T. (2020). Fiumi intermittenti e corsi d'acqua effimeri: Cosa devono sapere i gestori dell'acqua.
- Malinowski, R., Groom, G., Schwanghart, W., & Heckrath, G. (2015). Rilevamento e delimitazione di inondazioni localizzate da dati multispettrali WorldView-2. *Telerilevamento*, 7(11), 14853-14875.
- Marshall, J. C., Acuña, V., Allen, D. C., Bonada, N., Boulton, A. J., Carlson, S. M., ... & Vander Vorste, R. (2018). Proteggere i corsi d'acqua temporanei degli Stati Uniti. *Science*, 361(6405), 856-857.
- Maswanganye, S. E., Dube, T., Jovanovic, N., & Mazvimavi, D. (2022). Uso di dati telerilevati da più fonti per monitorare la distribuzione spaziale delle pozze e la dinamica delle pozze lungo fiumi non permanenti in ambienti semi-aridi, Sudafrica. *Geocarto International*, 1-20.
- McFeeters, S. K. (1996). L'uso dell'indice di differenza d'acqua normalizzato (NDWI) nella delineazione di acque libere. *International journal of remote sensing*, 17(7), 1425-1432.
- Messenger, M. L., Lehner, B., Cockburn, C., Lamouroux, N., Pella, H., Snelder, T., Tockner, K., Trautmann, T., Watt, C., & Datry, T. (2021). Prevalenza globale di fiumi e torrenti non permanenti. *Nature*, 594(7863), 391-397.
- Munné, A., & Prat, N. (2009). Uso di indici multimetrisi basati sui macroinvertebrati per la valutazione della qualità dell'acqua nei fiumi spagnoli del Mediterraneo: un approccio di intercalibrazione con l'indice IBMWP. *Hydrobiologia*, 628, 203-225.

- Ou, D., Tan, K., Wang, X., Wu, Z., Li, J., & Ding, J. (2022). Coefficienti di diffusione del suolo modificati per l'inversione della materia organica basati sulla teoria di Kubelka-Munk. *Geoderma*, 418, 115845.
- Oueslati, O., De Girolamo, A. M., Abouabdillah, A., Kjeldsen, T. R., & Lo Porto, A. (2015). Classificazione dei regimi di flusso dei corsi d'acqua mediterranei mediante analisi multivariata. *Hydrological Processes*, 29(22), 4666-4682.
- Pastor, A. V., Tzoraki, O., Bruno, D., Kaletová, T., Mendoza-Lera, C., Alamanos, A., Brummer, M., Datry, T., De Girolamo, A. M., Jakubínský, J., Logar, I., Loures, L., Ilhéu, M., Koundouri, P., Nunes, J. P., Quintas-Soriano, C., Sykes, T., Truchy, A., Tsani, S., & Jorda-Capdevila, D. (2022). Ripensare gli indicatori dei servizi ecosistemici per la loro applicazione ai fiumi intermittenti. *Indicatori ecologici*, 137(marzo).
- Petropoulos, G. P., & Kalaitzidis, C. (2012). Indici multispettrali della vegetazione nel telerilevamento: una panoramica. *Ecol. Model*, 2, 15-39.
- Piégay, H., Arnaud, F., Belletti, B., Bertrand, M., Bizzi, S., Carbonneau, P., ... & Slater, L. (2020). Fiumi rilevati a distanza nell'Antropocene: Stato dell'arte e prospettive. *Earth Surface Processes and Landforms*, 45(1), 157-188.
- Poff, N. L., & Zimmerman, J. K. H. (2010). Risposte ecologiche a regimi di flusso alterati: una revisione della letteratura per informare la scienza e la gestione dei flussi ambientali. *Biologia delle acque dolci*, 55(1), 194-205.
- Prat, N., Gallart, F., Von Schiller, D., Polesello, S., García-Roger, E. M., Latron, J., ... & Froebrich, J. (2014). The mirage toolbox: uno strumento di valutazione integrata per i corsi d'acqua temporanei. *River research and applications*, 30(10), 13181334.
- Pumo, D., Caracciolo, D., Viola, F., & Noto, L. V. (2016). Effetti dei cambiamenti climatici sul regime idrologico di piccoli bacini fluviali non perenni. *Science of the Total Environment*, 542, 76-92.
- Sánchez-Montoya, M. M., Vidal-Abarca, M. R., Puntí, T., Poquet, J. M., Prat, N., Rieradevall, M., ... & Suárez, M. L. (2009). Definizione di criteri per la selezione di siti di riferimento in corsi d'acqua mediterranei. *Hydrobiologia*, 619, 39-54.
- Sánchez-Montoya, M. M., Arce, M. I., Vidal-Abarca, M. R., Suárez, M. L., Prat, N., & Gómez, R. (2012). Stabilire le condizioni fisico-chimiche di riferimento nei corsi d'acqua del

Mediterraneo secondo la Direttiva Quadro sulle Acque. *Water Research*, 46(7), 2257-2269.

Seaton, D., Dube, T., & Mazvimavi, D. (2020). Uso di dati satellitari multitemporali per il monitoraggio delle aree di superficie delle pozze d'acqua nei fiumi non perenni in ambienti semi-aridi del Western Cape, Sudafrica. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 167, 375-384.

Shanafield, M., Bourke, S. A., Zimmer, M. A., & Costigan, K. H. (2021). Una panoramica sull'idrologia dei fiumi e dei torrenti non permanenti. Wiley
Recensioni interdisciplinari: *Water*, 8(2), 1-25.

Skoulidakis, N. T., Sabater, S., Datry, T., Morais, M. M., Buffagni, A., Dör, G., Zogaris, S., Sánchez-montoya, M., Bonada, N., Kalogianni, E., Rosado, J., Vardakas, L., Maria, A., Girolamo, D., & Tockner, K. (2017). Scienza dell'ambiente totale Fiumi mediterranei non permanenti in Europa: Stato, pressioni e sfide per la ricerca e la gestione. 577, 1-18.
Steward, A. L., von Schiller, D., Tockner, K., Marshall, J. C., & Bunn, S. E. (2012). Quando il fiume scorre secco: valori umani ed ecologici dei letti dei fiumi asciutti. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10(4), 202-209.

Stoddard, J. L., Larsen, D. P., Hawkins, C. P., Johnson, R. K., & Norris, R. H. (2006). Definire le aspettative per la condizione ecologica dei corsi d'acqua: il concetto di condizione di riferimento. *Applicazioni ecologiche*, 16(4), 1267-1276.

Talukdar, S., Singha, P., Mahato, S., Pal, S., Liou, Y. A., & Rahman, A. (2020). Classificazione della copertura del suolo mediante classificatori di apprendimento automatico per osservazioni satellitari: una rassegna. *Remote Sensing*, 12(7), 1135.
Wang, X., Xie, S., Zhang, X., Chen, C., Guo, H., Du, J., & Duan, Z. (2018). Un robusto Multi-Band Water Index (MBWI) per l'estrazione automatica dell'acqua superficiale dalle immagini Landsat 8 OLI. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 68, 73-91.

Thorp, J. H., Flotemersch, J. E., Delong, M. D., Casper, A. F., Thoms, M. C., Ballantyne, F., ... & Haase, C. S. (2010). Collegare servizi ecosistemici, riabilitazione e idrogeomorfologia fluviale. *BioScience*, 60(1), 67-74.

Wang, Z., & Vivoni, E. R. (2022). Rilevamento del flusso di corrente nei fiumi di terraferma mediante CubeSats. *Geophysical Research Letters*, 49(15).

- Wulder, M. A., Loveland, T. R., Roy, D. P., Crawford, C. J., Masek, J. G., Woodcock, C. E., ... & Zhu, Z. (2019). Stato attuale del programma Landsat, scienza e applicazioni. *Telerilevamento dell'ambiente*, 225, 127-147.
- Xu, H. (2006). Modifica dell'indice di differenza d'acqua normalizzato (NDWI) per migliorare le caratteristiche delle acque aperte nelle immagini telerilevate. *International journal of remote sensing*, 27(14), 3025-3033.
- Ye, W., Bates, B. C., Viney, N. R., Sivapalan, M., & Jakeman, A. J. (1997). Prestazioni di modelli concettuali di pioggia e deflusso in bacini idrografici effimeri a bassa resa. *Water Resources Research*, 33(1), 153-166.
- Zipper, S., Popescu, I., Compare, K., Zhang, C., & Seybold, E. C. (2022). Stati stabili alternativi e cambiamenti di regime idrologico in un grande fiume intermittente. *Environmental Research Letters*, 17(7).