



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI “G. D’ANNUNZIO”
DI CHIETI-PESCARA. DIPARTIMENTO INGEGNERIA E GEOLOGIA**

REGIONE ABRUZZO

AGENZIA REGIONALE DI PROTEZIONE CIVILE

**ANALISI ED ELABORAZIONE DI DATI DA RETI DI
MONITORAGGIO NELLE DISPONIBILITÀ DELLA REGIONE
ABRUZZO RELATIVI ALLA GESTIONE DELLE RISORSE
IDRICHE**

A cura di:

Nico D’Intino

Coordinatori scientifici:

Sergio Rusi

Giancarlo Boscaino

Sabrina di Giuseppe – Già dirigente del Servizio di Gestione e Qualità delle Acque
Silvio Liberatore – Dirigente del Servizio Emergenze di Protezione Civile

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI “G. D’ANNUNZIO”
DI CHIETI-PESCARA. DIPARTIMENTO INGEGNERIA E GEOLOGIA**

REGIONE ABRUZZO

AGENZIA REGIONALE DI PROTEZIONE CIVILE

**ANALISI ED ELABORAZIONE DI DATI DA RETI DI
MONITORAGGIO NELLE DISPONIBILITÀ DELLA REGIONE
ABRUZZO RELATIVI ALLA GESTIONE DELLE RISORSE
IDRICHE**

A cura di:

Nico D’Intino

Coordinatori scientifici:

Sergio Rusi

Giancarlo Boscaino

Sabrina di Giuseppe – Già dirigente del Servizio di Gestione e Qualità delle Acque

Silvio Liberatore – Dirigente del Servizio Emergenze di Protezione Civile

Ringraziamenti:

Pierpaolo Pescara - Direttore del Dipartimento Territorio-Ambiente

Luigi De Gregorio – Resp. Ufficio Uso Efficiente Risorsa Idrica – Dipartimento
Agricoltura

I collaboratori dell’Ufficio Idrologia, Idrografico e Mareografico di Pescara

Gli enti gestori acquedottistici, in particolare ACA S.p.A. e SASI S.p.A. per la loro
cortese collaborazione

Abruzzo Sviluppo S.p.A.

INDICE

PREFAZIONE.....	6
1. INTRODUZIONE	8
2. OBIETTIVI.....	9
3. MATERIALI, ENTI COINVOLTI E METODOLOGIA DI LAVORO	10
4. RACCOLTA E RICOGNIZIONE DEI DATI.....	14
4.1 . Fase di ricognizione dettagliata delle reti dati interne	14
4.2 . Fase di reperimento, raccolta e digitalizzazione dei dati mancanti	15
5. PIATTAFORMA IN TELEMISURA	19
5.1 . Descrizione	19
5.2. Le stazioni di monitoraggio.....	19
5.3. Misure di portata e di livello idrometrico	22
5.3.1. Gruppo sorgivo del Fiume Verde	22
5.3.2. Gruppo sorgivo del Fiume Tavo.....	24
5.3.3. Gruppo sorgivo del Fiume Tirino	26
5.4. Misure del livello di falda.....	26
5.4.1. Falda dell’acquifero del Gran Sasso e della piana del Tirino	26
5.5. Misura in condotta della risorsa idropotabile	27
5.5.1. Sub-ambito pescarese e chietino.....	27
5.6. Procedure di controllo	28
5.7. Efficienza della rete di monitoraggio	29
6. BILANCIO IDROLOGICO	31
6.1. Il bilancio.....	31
6.2. Temperature.....	32
6.3. Precipitazioni	34
6.4. Evapotraspirazione	37
6.5. Infiltrazione	38
6.6. Ruscellamento	39
7. ESEMPI DI UTILITÀ DEI DATI E DELLE ELABORAZIONI	41
7.1. Bilancio di bacini campione	41
7.2. Metodologia per il calcolo di altri tematismi: esempio delle pressioni antropiche	43
7.3. Calcolo del WEI	44
7.4. Curve di esaurimento delle sorgenti	45
7.5. Script per l’estrazione, il filtraggio e l’analisi dei dati	50
7.6. Esempio di studio su serie storiche.....	51
7.7. WebGIS e progetti di gestione dei dati.....	52
8. CONCLUSIONI	54
9. APPENDICE	56
9.1. Misure di portata e di livello idrometrico	56
9.1.1. Stazione di misura M1	56
9.1.2. Stazione di misura M2.....	57
9.1.3. Stazione di misura M3.....	58
9.1.4. Stazione di misura M4.....	59
9.1.5. Stazione di misura M5.....	60
9.1.6. Stazione di misura M6.....	60
9.1.7. Stazione di misura M7.....	60
9.1.8. Stazioni di misura M8 e M9	61
9.2. Misura del livello di falda.....	62
9.2.1. Stazioni di misura M10 ed M11	62
9.3. Misure di portata in condotta stazioni di misura M12 ed M13.....	63
9.3.1. Stazioni di misura M12 ed M13	63
9.4. Misura degli eventi grandinigeni.....	64
9.4.1. Stazioni di misura M14 ed M15	64
BIBLIOGRAFIA.....	70

PREFAZIONE

Molte reti di monitoraggio e gestione delle acque superficiali e sotterranee in Italia sono nate negli anni successivi alla realizzazione degli impianti di sfruttamento, e dunque dall'immediato dopoguerra sino alla fine del secolo scorso. Grande impulso allo sfruttamento delle Risorse Idriche venne dalla Cassa per il Mezzogiorno e dagli enti statali per la produzione di energia idroelettrica e da quelli locali per le reti di irrigazione comprensoriali. La consistenza e la tipologia di monitoraggio risentivano inevitabilmente delle necessità, delle sensibilità e ovviamente della tecnologia dell'epoca in cui le reti erano state realizzate. Col passare degli anni gli impianti di sfruttamento per usi civili, industriali ed irrigui sono andati man mano ampliandosi a seconda della aumentata richiesta sia di risorsa che di energia. A tale aumento non è corrisposto un ampliamento ed un ammodernamento delle reti di monitoraggio, spesso, qualora presenti, progettate con valenza locale, per ciascun tipo di uso e senza coordinamento di tipo regionale (senso geografico) multidisciplinare. Ne conseguiva che non tutti i prelievi venivano monitorati/controllati, quelli controllati lo erano in modo individuale e ad interrogazione estemporanea limitata nel tempo e nello spazio (es. portate captate da sorgenti o portate derivate da corsi d'acqua, misurate una volta al mese con archivi perlopiù cartacei). Col procedere della tecnologia si sono evolute sia le tecniche di misura che quelle di immagazzinamento dei dati ma molte reti sono rimaste sprovviste e altre, pur essendosi modernizzate sotto l'aspetto delle misure, non hanno implementato la densità delle misure. Contemporaneamente sono aumentate sia la richiesta di risorsa e di energia, sia la sensibilità verso lo sfruttamento delle stesse (basti pensare allo sviluppo enorme della normativa in materia ambientale e gestionale della risorsa idrica). Attualmente gli enti incaricati della gestione delle risorse idriche sono molteplici e gravati di compiti complessi ed articolati, basti solo pensare alle adozioni dei piani come PTA (Piano Tutela delle Acque) e PSDA (Piano Stralcio Difesa Alluvioni) ed ai relativi adempimenti. La necessità di informazioni qualitative e quantitative sulle risorse idriche, non solo come adempimenti normativi ma come vera e propria gestione consapevole della risorsa, comportano una quanto più precisa quantificazione della risorsa naturale e della sua variazione (anche in relazione alle CD variazioni climatiche), di quella sfruttata e di quella sfruttabile, nel quadro del Bilancio Idrologico sia nel breve periodo, utile ad esempio alla difesa dalle alluvioni, che nel medio lungo periodo, utile alla gestione delle risorse a scopi civili, irrigui ed industriali. Dalle suddette considerazioni si è dipanato lo studio, egregiamente svolto dall'Autore, riportato nel presente volume e illustrante la necessità, con relative proposte reali, di implementare la attuale rete di monitoraggio delle risorse idriche, di ammodernare e digitalizzare la stessa con criteri multidisciplinari in grado di integrare i dati degli afflussi, dei deflussi, e dei vari tipi di usi. Con l'auspicio che le risultanze contenute nel presente studio siano una guida imprescindibile per politici e decisori pubblici.

Giancarlo Boscaïno, Ufficio Idrologia, Idrografico e Mareografico – APC Regione Abruzzo

Sergio Rusi, Dipartimento INGEO – Università degli Studi “G. D’Annunzio”

1. INTRODUZIONE

La gestione sostenibile della risorsa idrica si basa su un processo amministrativo volto ad ottimizzare lo sfruttamento dell'acqua, senza compromettere la qualità dell'ambiente e dei suoi ecosistemi. Tale pratica è di fondamentale importanza per mantenere e raggiungere uno stato di benessere sociale ed economico. L'efficienza ed il successo della gestione dipendono fortemente dall'approccio multidisciplinare che integra e si avvale della collaborazione di varie discipline scientifiche, le quali aiutano a tradurre i dati provenienti dai rilievi e dalle acquisizioni, in strategie per la pianificazione delle azioni a breve e lungo termine.

Questo processo è ben regolarizzato dalla governance europea, la quale ha emesso una direttiva quadro sulle acque, denominata Water Framework Directive (WFD - 2000), ed una serie di aggiornamenti costituiti da linee guida (Reporting Guidance WFD 2016 e 2020). L'insieme di queste direttive, che è stato poi recepito dalla normativa nazionale nella parte terza del Testo Unico Ambientale (DLgs. 152/06– TUA) e dalla normativa regionale, prevede di tutelare i sistemi acquatici e la risorsa idrica in termini qualitativi e quantitativi. Particolare attenzione viene posta sulla sostenibilità degli usi attuali e futuri, sulla riduzione dell'inquinamento e sulla riduzione degli estremi idrologici (siccità, alluvioni). Per regolare questa sostenibilità è stata prevista una pianificazione sessennale alla scala di distretto idrografico, attraverso la realizzazione dei Piani di Gestione di Bacino Distrettuale. Tali piani prevedono l'obbligo della caratterizzazione dei corpi idrici in termini di disponibilità e fruibilità della risorsa idrica (Bilancio Idrologico), in termini di pressioni antropiche (prelievi/restituzioni) ed in termini di obiettivi economici. La caratterizzazione dei corpi idrici (superficiali e sotterranei) è portata avanti attraverso il monitoraggio quantitativo (portate dei corsi d'acqua, delle sorgenti e dei livelli di falda) e qualitativo (stato d'inquinamento).

La gestione della risorsa idrica, inoltre, si inquadra attualmente in un contesto di transizione socioeconomica, derivante in parte dalla situazione pandemica (COVID 19), in parte da altri fattori come il caro materie prime ed energia ed i cambiamenti climatici. Per promuovere la ripresa economica derivante da queste crisi, è stato introdotto il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza, che è un documento governativo predisposto ad illustrare alla commissione europea come il nostro paese intenda investire le risorse che sono state previste nell'ambito del programma Next generation Eu. Il PNRR si articola su sei missioni principali, strettamente interconnesse con la risorsa idrica, riassumibili con i seguenti punti:

- Digitalizzazione, innovazione, competitività, cultura e turismo;
- Rivoluzione verde e transizione ecologica;
- Infrastrutture per la mobilità sostenibile;
- Istruzione e ricerca;
- Coesione ed inclusione;
- Salute.

Per i suddetti intenti e le suddette motivazioni è stato realizzato, per mezzo di una borsa di studio finanziata dall'ufficio Servizio Gestione e Qualità delle Acque (DPC024) della Regione Abruzzo, uno studio riguardante la gestione sostenibile delle risorse idriche con particolare riferimento a quelle idropotabili. Tale studio, è stato condotto sotto la guida dell'Ufficio Idrologia, Idrografico, Mareografico della Agenzia Regionale di Protezione Civile (APC 002), e con la supervisione scientifica del Dipartimento di Ingegneria e Geologia dell'Università "G. D'Annunzio".

2. OBIETTIVI

La necessità di informazioni qualitative e quantitative sulle risorse idriche, come gestione consapevole della risorsa, comportano una precisa quantificazione della risorsa naturale e della sua variazione (anche in relazione alle variazioni climatiche), di quella sfruttata e di quella sfruttabile, nel quadro del bilancio idrologico e idrogeologico sia nel breve periodo, utile ad esempio alla difesa dalle alluvioni, che nel medio lungo periodo, utile alla gestione delle risorse a scopi civili, irrigui ed industriali.

Gli obiettivi di questo studio, anche in accordo con le politiche di ripresa relative al PNRR, sono:

- Efficientamento multidisciplinare della gestione integrata delle risorse idriche;
- Ampliamento ed efficientamento delle reti di monitoraggio, in particolare di quelle riguardanti le acque sotterranee;
- Possibile perfezionamento del bilancio idrogeologico e idrologico;
- Determinazione della componente antropica nel bilancio idrogeologico;
- Predisposizione di un sistema che preveda la centralizzazione della gestione dei dati inerenti alla risorsa idrica.

Il raggiungimento di tali obiettivi è attuabile tramite l'ottimizzazione, il completamento, l'omogeneizzazione e la digitalizzazione delle reti di monitoraggio e dei dati disponibili. Il successo del progetto, inoltre, è strettamente collegato alla conoscenza e alla ricognizione delle problematiche inerenti ai dati e alle reti di monitoraggio. Da questo punto di vista, ad una prima ricognizione, è emerso che il principale problema è relativo al coordinamento tra le reti e gli enti che gestiscono i dati, nonché l'uniformazione dei dati presenti, l'automatizzazione e la copertura spaziale dei dati stessi.

Gran parte degli obiettivi proposti sono stati centrati, come l'aver adottato un approccio multidisciplinare per la fase di efficientamento della gestione delle risorse, avendo coinvolto molteplici enti ed uffici per la raccolta e l'omogeneizzazione dei dati ed avendo predisposto le basi per la creazione dei webgis. La messa in opera di una piattaforma ed una rete di monitoraggio dedicati alle acque sotterranee, inoltre, ha creato i presupposti per il raggiungimento dell'obiettivo riguardante l'ampliamento delle reti di monitoraggio. Gli obiettivi del perfezionamento del bilancio idrogeologico e idrico, anche attraverso la determinazione della componente antropica, sono stati predisposti e potranno essere raggiunti allorché la rete di monitoraggio verrà implementata. In tal senso, sono state messe a punto delle metodologie che necessitano solo di dati attendibili per essere pienamente utilizzate.

3. MATERIALI, ENTI COINVOLTI E METODOLOGIA DI LAVORO

Per la finalizzazione di questo studio è stato deciso di adottare un approccio volto a sperimentare una metodologia, raccogliendo i dati da varie fonti e facendoli convergere in un'unica raccolta. Considerando l'estrema eterogeneità dei dati a disposizione, nonché la loro incompletezza, i risultati ottenuti sono da intendersi come meri esempi delle potenzialità esprimibili dalla metodologia adottata.

A livello regionale, i principali enti coinvolti in questo studio riguardante la gestione dei dati inerenti alla risorsa idrica sono, per la Regione Abruzzo:

- Ufficio Idrologia, Idrografico, Mareografico (APC 002 - d'ora in avanti Ufficio Idrografico);
- Servizio Gestione e Qualità delle Acque (DPC024);
- Dipartimento Agricoltura.

Per l'Università degli Studi "G. D'Annunzio" di Chieti-Pescara:

- Il Dipartimento di Ingegneria e Geologia (INGEO).

Tra gli altri enti coinvolti, inerenti alla gestione idrica, vi sono:

- ACA S.p.A. (già Azienda Consortile Acquedottistica);
- CAM S.p.A. (Consorzio Acquedottistico Marsicano);
- SASI S.p.A. (Società Abruzzese per il Servizio Idrico integrato);
- Ruzzo Reti S.p.A.;
- Gran Sasso Acqua S.p.A.;
- SACA S.p.A. (Servizi Ambientali Centro Abruzzo).

Società Energetiche:

- Enel S.p.A.;
- ACEA S.p.A..

Società di Sensoristica:

- CAE S.p.A.;
- SIAP + MICROS S.p.A.;
- GEOSPHERA – Hi Tech Supplies S.r.l..

Altri enti e consorzi:

- ARTA (Agenzia Regionale per la Tutela dell'Ambiente);
- ARSSA (Agenzia Regionale per i Servizi di Sviluppo Agricolo);
- ERSI (Ente Regionale Servizio Idrico).

La raccolta del materiale è stata fatta a partire dai dati storici disponibili negli archivi dell'Ufficio Idrografico. Tali archivi erano conservati con diversi formati di dati, come per esempio i registri cartacei o diverse tipologie di dati in formato digitale. Gli addetti dell'Ufficio che si sono susseguiti nel tempo, infatti, hanno effettuato un gran lavoro di digitalizzazione del dato, trasponendo gran parte dei dati cartacei in file di tipo testuale. Questa procedura ha fatto sì che la maggior parte dei dati storici, che coprono un range temporale che va dalla fine dell'800 circa ai primi anni 2000 circa, venisse in qualche modo raccolta e catalogata sui server. Il formato utilizzato per questa digitalizzazione, tuttavia, era stato salvato con l'architettura dell'epoca, poco adatta per gli strumenti

di analisi dei dati utilizzati oggi, sfruttando forme di tabulazione estremamente diverse da quelle utilizzate nei moderni database o nei fogli di calcolo. La raccolta di dati in formato facilmente sfruttabile per elaborazioni, invece, è iniziata in maniera graduale a partire dai primi anni del 2000, seguendo l'adeguamento digitale della rete di monitoraggio.

La prima fase del lavoro, dunque, è stata quella di rendere questi dati compatibili per le analisi, effettuando delle trasformazioni mediante l'utilizzo di script in linguaggio Python e trasponendo la restante parte dei dati cartacei in formato digitale. Parte del lavoro è avvenuto anche mediante l'utilizzo di software GIS, con i quali si è proceduto a georeferenziare i dati raccolti, andando a creare dei layer informativi a seconda della tipologia del dato. Il prodotto di questa prima fase di rielaborazioni è stato raccolto nei seguenti database anagrafici, idrologici e meteorologici:

- database anagrafico e georeferenziato delle stazioni della rete di monitoraggio termometrica, pluviometrica e idrometrica, che era già presente in un formato adeguato;
- database anagrafico delle sorgenti (soprattutto captate) monitorate dall'Ufficio, che era presente in parte in forma cartacea e con dati a partire dal 2008 (area marsicana) ed in parte con vecchi formati digitali che sono stati rielaborati;
- database delle serie storiche termo-pluviometriche dal 1868 al 2020, opportunamente rielaborato per l'applicazione degli studi.

Nell'ambito della implementazione della rete di monitoraggio, è stata progettata e realizzata con l'Ufficio Idrografico, la piattaforma sperimentale Datasphere, con la relativa rete di monitoraggio. Tale piattaforma ha permesso di creare un database costituito da serie storiche di varia natura (livelli di falda, portata delle sorgenti, altezze idrometriche e dati relativi alla grandine). I dati ricavati, che hanno permesso di effettuare diverse elaborazioni in seguito descritte, sono stati acquisiti a partire da periodi diversi, a seconda dello sviluppo della rete. I primi dati disponibili, risalenti al giugno 2020, sono quelli della sorgente della Vitella D'Oro. Gli ultimi dati disponibili invece sono aggiornati alla data odierna.

A seguito di questa fase di ricognizione ed omogenizzazione dei dati interni dell'Ufficio, è seguita una fase di raccolta di dati esterni, attivando dei flussi di dati convergenti, che necessitavano di essere riorganizzati. Tale attività è stata espletata in parte effettuando delle ricerche dei dati disponibili in rete, in parte attraverso il confronto con altri uffici della Regione Abruzzo ed altri enti. I dati raccolti in questa fase sono i seguenti:

- dati del Piano di Tutela delle Acque (PTA), in particolare vari shapefile relativi ai corpi idrici (superficiali e sotterranei) e alle caratteristiche di permeabilità delle litologie; oltre a questi, sono stati raccolti anche i dati relativi alle sorgenti e le schede monografiche dei principali corsi d'acqua e corpi idrici;
- database delle sorgenti dello studio ERSI, divisi per gestori idrici ed ex Ambiti Territoriali;
- database delle captazioni ad uso idropotabile dei gestori idrici (ACA SpA, SASI SpA e Ruzzo Reti SpA);
- database unificato delle domande di concessione di derivazione dei geni civili (Pescara, L'Aquila, Chieti e Teramo – gran parte di tali domande si è effettivamente concretizzata con una concessione di derivazione);
- database tratto dal Sistema Informativo Nazionale per la Gestione delle Risorse Idriche in Agricoltura (SIGRIAN);
- dati riguardanti gli studi sullo sfruttamento della risorsa idrica per scopi idroelettrici, derivanti dalle società ENEL SpA e Abruzzo Progetti;

- database del monitoraggio delle sorgenti e delle acque sotterranee di ARTA;
- dati ISTAT su tematismi territoriali (abitanti, centri abitati ecc.).

Dopo aver raccolto e rielaborato tutti i dati precedentemente indicati, creando anche delle cartografie dedicate, si è proceduto alla creazione di un progetto GIS unificato, predisposto per essere messo in rete (WEBGIS) ed essere messo a disposizione di tutti coloro che si occupano di gestione della risorsa idrica. Successivamente, sono state svolte le elaborazioni e le analisi che hanno permesso di testare la bontà delle metodologie proposte, fornendo anche esempi di utilizzo dei dati in diversi ambiti di ricerca.

Perseguendo l'obiettivo del perfezionamento del bilancio idrogeologico e idrologico, e partendo dallo studio svolto nell'ambito del PTA, è stato fatto un ricalcolo della componente idrica del bilancio, utilizzando metodologie concettualmente diverse rispetto allo studio del PTA ed inserendo nel computo anche i dati meteorologici relativi al periodo 2006-2020. Da queste elaborazioni è stato possibile estrarre dei casi studio specifici, relativi ai bacini del Fiume Vomano, del Fiume Sinello e del Fiume Foro e ciò ha permesso di effettuare un confronto con i calcoli effettuati per i medesimi bacini nel PTA. I dati utilizzati per effettuare l'elaborazione meteorologica derivano dalle serie storiche dell'Ufficio e comprendono tutti i dati disponibili di serie storiche lunghe almeno 3 anni, dal periodo del 1868 al 2020. Le elaborazioni derivanti da questa fase hanno permesso di effettuare semplici confronti qualitativi con i dati dei medesimi bacini derivanti dal PTA, indicando alcune differenze che potrebbero essere approfondite in ulteriori studi.

Un altro importante obiettivo che si pone il Piano di Tutela delle Acque è quello di andare a quantificare la pressione antropica, ai fini di caratterizzare quanto meglio possibile la disponibilità idrica nei termini del bilancio. Seguendo questa linea operativa, è stato tentato di applicare una metodologia di analisi basata sulla sovrapposizione e l'incrocio dei tematismi GIS. Tale processo è stato applicato e sostenuto dai flussi di dati ricavati precedentemente (database unificato delle domande di concessione di derivazione dei beni civili, database SIGRIAN, dati ISTAT, database PTA), tenendo in considerazione, per i risultati finali, il fatto che si tratta di informazioni incomplete che andrebbero completate con ulteriori gradi di approfondimento e campagne di studio dedicate. Sulla base di questi elaborati e delle considerazioni sopra riportate, si è cercato di applicare la metodologia del WEI (Water Exploitation Index), per quantificare e comparare l'uso idrico con disponibilità e rinnovabilità della risorsa idrica.

L'applicabilità dei dati provenienti dalla piattaforma Datasphere ha permesso di effettuare anche uno studio sulle curve di esaurimento delle sorgenti della Vitella D'Oro e di Mortaio D'Angri, che costituiscono la principale fonte idrica che alimenta il Fiume Tavo. Le analisi e le elaborazioni hanno permesso di caratterizzare le peculiarità di queste sorgenti, andando a fornire anche delle valutazioni quantitative sui volumi d'acqua e sulle riserve idriche.

La creazione di uno script in linguaggio Python ha permesso di collaudare una procedura semi-automatica per estrazione, il filtraggio e l'analisi dei dati provenienti dal database delle serie storiche termo-pluviometriche dell'Ufficio Idrografico. Nel lavoro svolto, grazie agli strumenti messi a punto, è stato riportato un esempio di confronto della piovosità dell'anno 2016 rispetto alla media del periodo 1918-2020, il quale ha messo in evidenza le anomalie pluviometriche dell'anno analizzato. Partendo dal medesimo script, è stato anche elaborato un esempio di correlazione tra serie storica di una stazione ed un indice teleconnettivo, nella fattispecie tra la stazione di Pagliaroli e l'indice NAO (North Atlantic Oscillation - Jones et al. 1997).

Infine, sono stati predisposti due webgis, uno sfruttando un software GIS commerciale ed uno creandolo per intero attraverso l'interazione di diversi linguaggi di programmazione. La raccolta di informazioni attraverso tematismi georiferiti ha infatti messo in evidenza l'importanza che questi strumenti hanno in ambito di pianificazione urbana e, in particolare, nella gestione delle risorse idriche. Tali piattaforme, opportunamente aggiornate e migliorate nel tempo, potrebbero infatti supportare le attività degli enti coinvolti, permettendo la condivisione in maniera rapida ed efficiente dei dati e delle informazioni.

4. RACCOLTA E RICOGNIZIONE DEI DATI

4.1. Fase di ricognizione dettagliata delle reti dati interne

L'Ufficio Idrografico, che è uno dei principali enti volti a gestire i dati idrici e, a partire dalla Direttiva del Presidente Del Consiglio dei Ministri del 27 febbraio 2004, svolge la propria funzione distinguendo, per la gestione del dato, il tempo differito ed il tempo reale. Il tempo differito prevede di ricostruire lo storico dei dati attraverso le reti di monitoraggio, predire i trend futuri e valutare la variabilità delle grandezze misurate; il tempo reale, invece, prevede il monitoraggio ed il controllo in tempo reale dei parametri misurati dalle reti. Entrambi gli approcci concorrono nella progettazione e nella pianificazione della gestione dell'acqua, sia essa considerata come rischio o come risorsa.



Figura 1. Rete di monitoraggio in tempo reale all'inizio del progetto. A sinistra sono indicate le stazioni idrometriche (simboli verdi), al centro le stazioni pluviometriche (simboli blu) e a destra le stazioni termometriche (simboli in arancio).

All'inizio del progetto (marzo 2021) la rete di monitoraggio (Fig.1 - sia in tempo reale che in tempo differito) constava di:

- 120 stazioni termo-pluviometriche in telemisura;
- 45 stazioni idrometriche in telemisura;
- Vari sensori di misure mareografiche, barometriche, anemometriche, igrometriche e di irraggiamento solare.

Dalla ricognizione dei database e degli annali idrografici derivanti da queste reti di monitoraggio e dalle misure spot di portata effettuate dal personale degli uffici nel tempo, è emersa una vasta quantità di dati meteo-climatici (serie storiche di precipitazioni e temperatura), congiuntamente ad una altrettanto vasta disponibilità di dati di portate dei principali corsi d'acqua. Inoltre, è emerso un monitoraggio incompleto delle principali sorgenti (dove veniva misurato prevalentemente il captato) e della misurazione dei livelli di falda sotterranea (misure degli osservatori). È stata riscontrata, invece, una quasi assenza di dati nell'ambito degli usi della risorsa idrica, nonché dei prelievi e delle pressioni antropiche.

La gran parte della ricognizione sopra menzionata, è stata riscontrata e confermata dalla lettura del Piano di Tutela delle Acque (PTA), il quale è stato utilizzato, effettivamente, come caposaldo e base di partenza per tutti gli studi effettuati nel progetto di ricerca e costituisce il principale documento di sintesi della gestione delle acque in Abruzzo.

4.2. Fase di reperimento, raccolta e digitalizzazione dei dati mancanti

Per poter avere un quadro completo dei dati effettivamente a disposizione, sono state effettuate anche delle ricognizioni con altri uffici e servizi (Servizio Gestione e Qualità delle Acque, Genio Civile, Dipartimento Agricoltura ecc.).

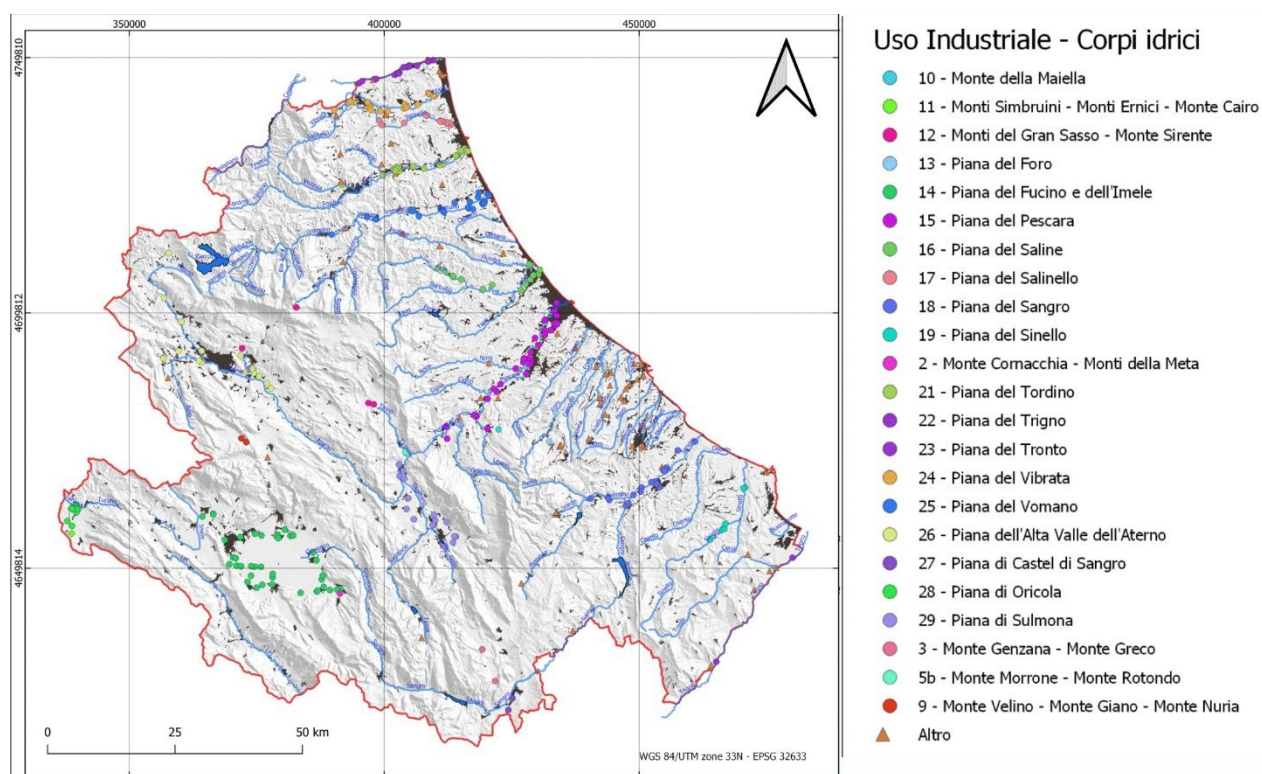


Figura 2. Mappa dei punti di derivazione a scopo industriale ricostruita a partire dai database delle richieste di derivazione dei geni civili abruzzesi.

Per i dati relativi agli usi idrici sono stati attivati dei flussi dati da diverse fonti verso il database in costituzione:

- Database delle domande di concessione di derivazione del genio civile (che ha fornito la gran parte dei dati degli usi idrici, in particolare dell'uso industriale – Fig.2);
- Database portale SIGRIAN (uso irriguo – Fig.3);
- Dati degli enti gestori idrici, in particolare studio ERSI (Fig.4 – Uso Potabile);
- Studio Enel e studio Abruzzo Progetti (Uso Idroelettrico – Fig.5).

I dati provenienti da questi flussi erano in gran parte meramente descrittivi (destinazione d'uso, particella catastale d'ubicazione ecc.), con pochi accenni alle quantità volumetriche d'acqua effettivamente derivata, se non ai limiti di quantità d'acqua derivabili stabiliti dalle concessioni. In questo contesto si è proceduto al controllo qualità, alla georeferenziazione e alla digitalizzazione dei dati disponibili, facendoli confluire in un unico tematismo (layer) per l'inserimento su una piattaforma GIS.

I dati delle sorgenti abruzzesi ad eccezione di quelle marsicane, invece, sono stati reperiti dal database digitale ZEUS (Ufficio Idrografico), mentre i dati sulle sorgenti ricadenti nella Marsica sono state tratte dal database cartaceo prodotto dallo studio di Abruzzo Progetti (dati a partire dal 2008). Per l'omogenizzazione e georeferenziazione dei dati provenienti dal database ZEUS, è stato compilato

uno script in linguaggio Python per estrarre le principali informazioni geospaziali, mentre

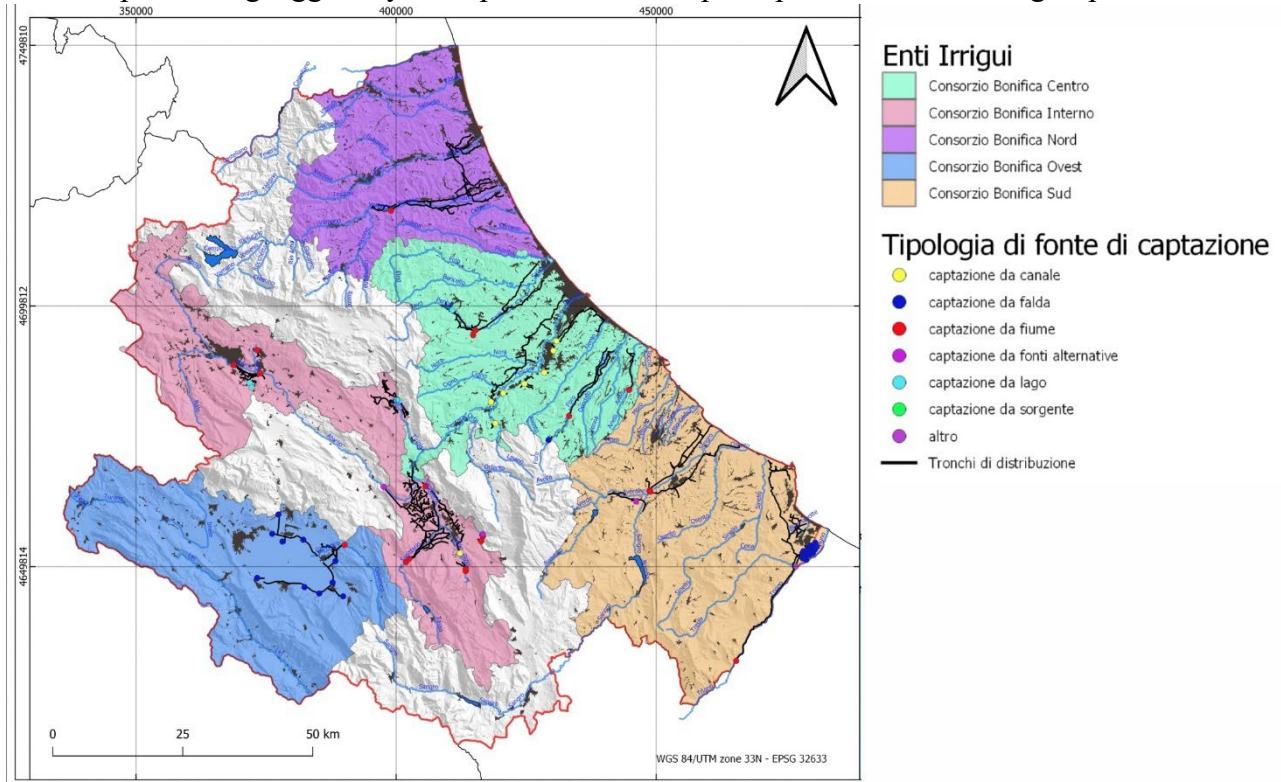


Figura 3. Mappa delle derivazioni irrigue e della rete di distribuzione tratta dal database SIGRIAN.

per i dati relativi allo studio di Abruzzo Progetti, è stata effettuata una digitalizzazione manuale a partire dal database cartaceo redatto durante la Campagna “Censimento Disponibilità Idriche da Sorgenti nell’Area Marsicana - 2008”.

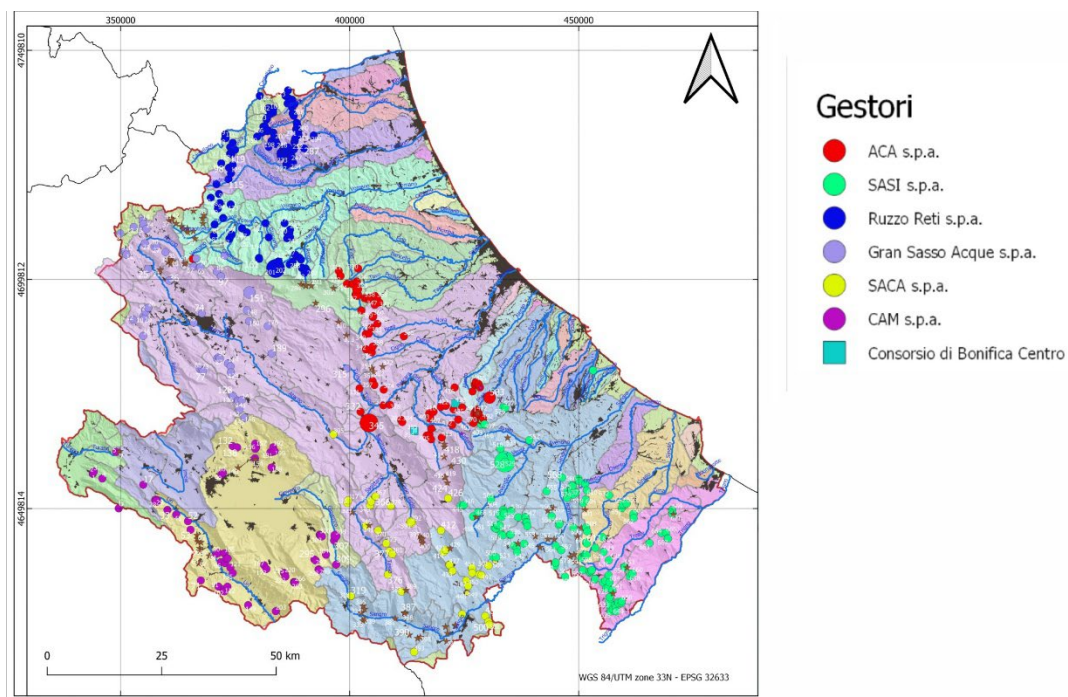


Figura 4. Mappa delle principali sorgenti di captazione a scopo idropotabile costruita a partire dal database ERSI delle sorgenti.

Entrambi i prodotti sono confluiti in layer (Fig.6 e Fig.7) per un potenziale inserimento in una piattaforma GIS o webgis.

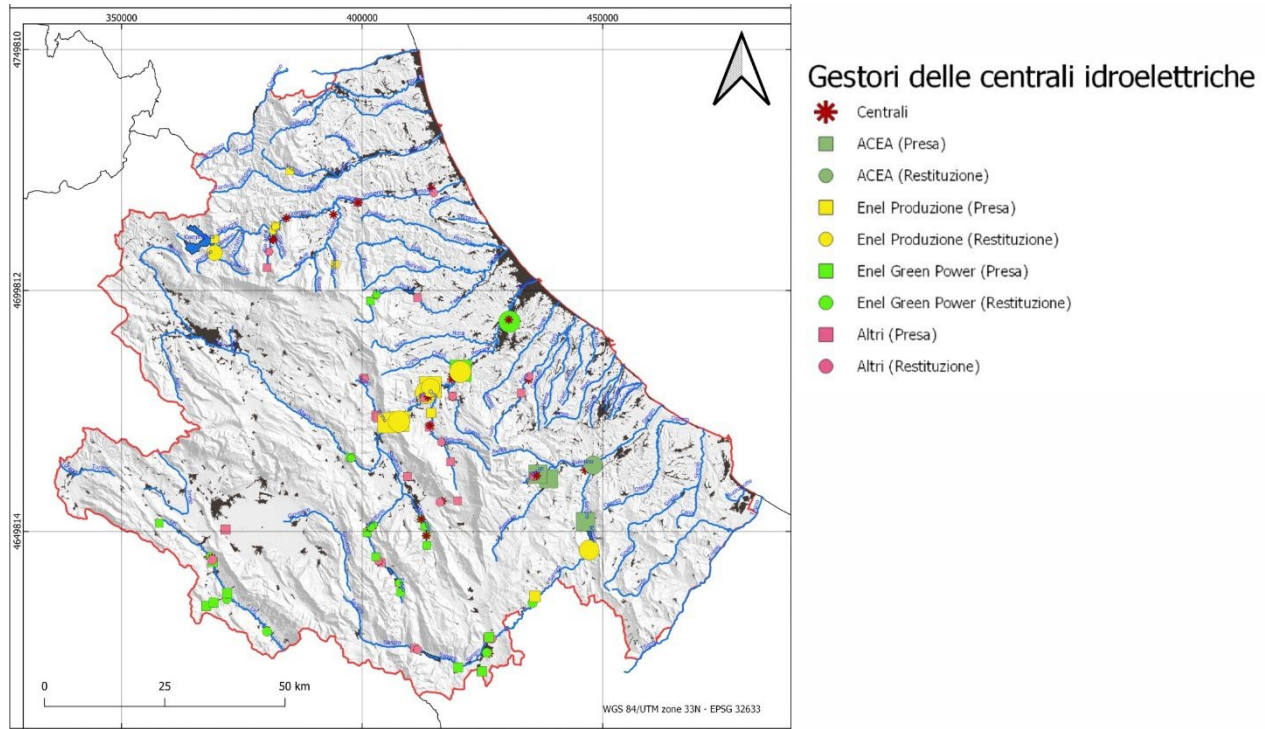


Figura 5. Mappa delle derivazioni ad uso idroelettrico creata a partire dai dati dello studio Enel e Abruzzo Progetti.

La raccolta, l'organizzazione e la centralizzazione di tutti i dati già presenti nelle disponibilità dell'ufficio e di tutti i dati mancanti reperiti esternamente, ha permesso di archiviare una banca dati facilmente interrogabile, capace di fornire uno sguardo d'insieme di molti dati utile alla gestione della risorsa idrica. La sovrapposizione di diversi layer in un sistema di tipo GIS, infatti, permette il controllo e la visualizzazione dei dati contemporaneamente, mettendo in relazione dati apparentemente non correlati. Inoltre, mettendo questi dati online con un webgis, è possibile condividere informazioni anche all'esterno dell'ufficio e con altri enti e persone addette ai lavori.

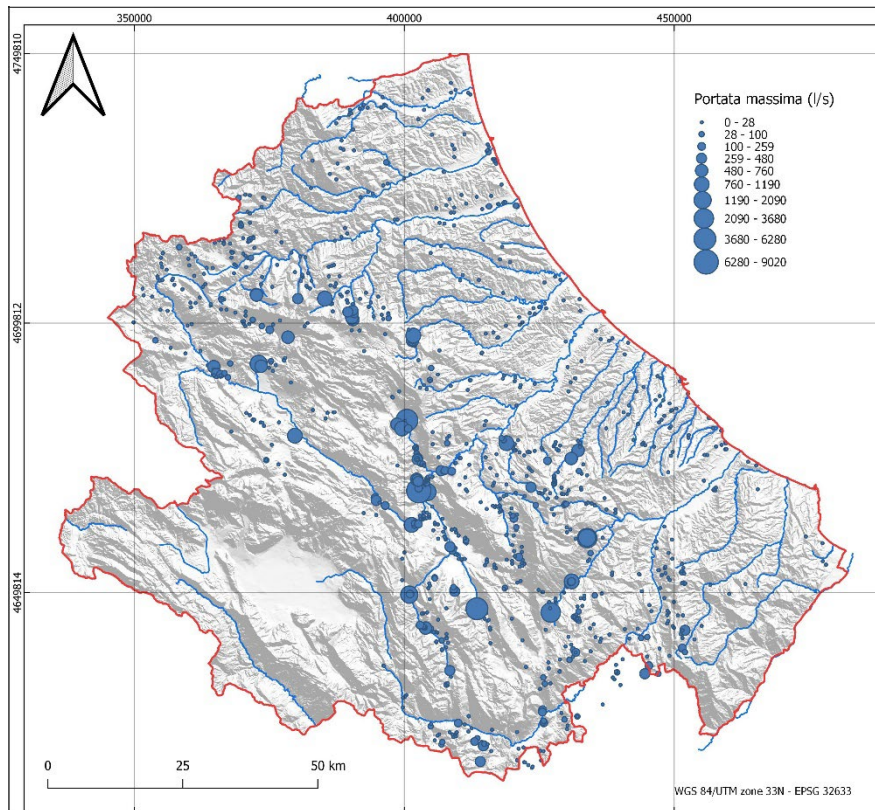


Figura 6. Mappa delle sorgenti abruzzesi, ad eccezione dell'area marsicana, tratta dal database digitale ZEUS (Servizio Idrografico).

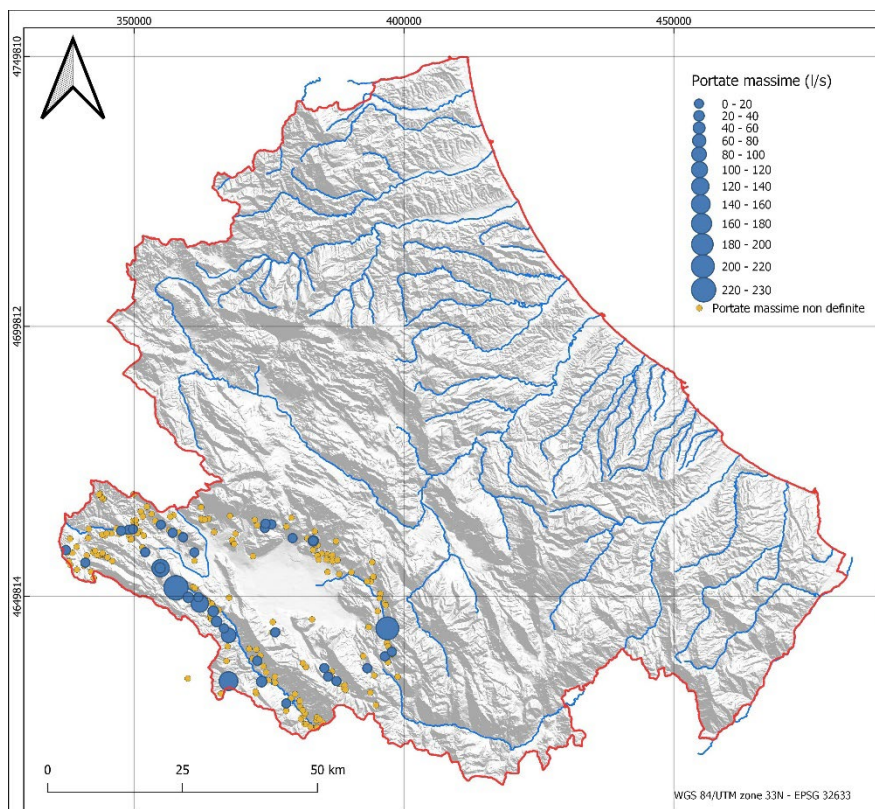


Figura 7. Mappa delle sorgenti marsicane, ricostruita utilizzando i dati della campagna di censimento svolta da Abruzzo Progetti.

5. PIATTAFORMA IN TELEMISURA

5.1. Descrizione

In questa sezione è descritta l'attività svolta nell'ambito della progettazione, dell'avvio, della gestione e dell'implementazione della rete di monitoraggio relativa alla piattaforma in telemisura (già chiamata DATASPHERE). Tale progetto, costituisce il primo avvio sperimentale del monitoraggio in tempo reale delle acque sotterranee da parte della Regione Abruzzo, inglobando anche il classico monitoraggio delle acque superficiali, delle sorgenti ed il monitoraggio dei fenomeni grandinigeni. La piattaforma è stata progettata con il preciso intento di supportare e migliorare la gestione quantitativa della risorsa idrica permettendo, attraverso l'acquisizione dei dati, un approfondimento delle conoscenze relative agli acquiferi ed alla loro relazione con le precipitazioni.

I punti scelti per l'ubicazione delle stazioni di misura delle sorgenti sono stati individuati a partire dai dati dell'ERSI e dell'ARTA, sui censimenti delle sorgenti con portate medie annue rilevanti e che costituiscono anche la principale fonte di approvvigionamento idropotabile del territorio.

Le prime sorgenti individuate nella fase progettuale, sono state scelte sulla base di alcuni semplici criteri:

- Sorgenti captate da grandi derivazioni per uso idropotabile;
- Portate significative (di norma $Q > 100$ l/s);
- Facilità logistica di installazione;
- Interesse per aree di futuro sviluppo per l'approvvigionamento idrico.

La piattaforma DATASPHERE, facente parte del gruppo KISTER AG, è un live-cloud-service, utilizzabile anche come webgis accessibile da browser. Nella piattaforma è presente l'ubicazione delle stazioni di monitoraggio, in corrispondenza delle quali è possibile consultare le serie storiche delle misure effettuate e i dati in tempo reale, applicando anche semplici calcoli statistici o inserendo le soglie di allarme. Il software, inoltre, è predisposto all'implementazione della rete qualora si aggiungessero nuove stazioni di misura ed è in grado di recepire eventuali serie storiche pregresse acquisite in tempi differenti. Nei paragrafi successivi vengono descritte le grandezze ed i primi punti sottoposti a monitoraggio.

5.2. Le stazioni di monitoraggio

Il sistema di monitoraggio è costituito da due sottoreti gestite dalle seguenti aziende che hanno anche contribuito alla progettazione e agli studi di messa in opera:

- CAE S.p.A.;
- Geosphaera Hi-Tech Supplies S.r.L..

I dati sono trasmessi, in tempo reale, dalle stazioni al server principale dell'Ufficio Idrografico di Pescara. Tale passaggio può avvenire direttamente (tramite ponte radio) o indirettamente, facendo passare i dati dai server delle aziende gestrici. I dati confluiti nei server delle aziende gestrici sono in seguito reindirizzati sul cloud della piattaforma DATASPHERE.

La stazione tipo è costituita (Fig.8) da un sistema di misura dotato di uno o più sensori, un data logger adibito alla memorizzazione del dato, una centralina elettronica che funge da computer, un dispositivo

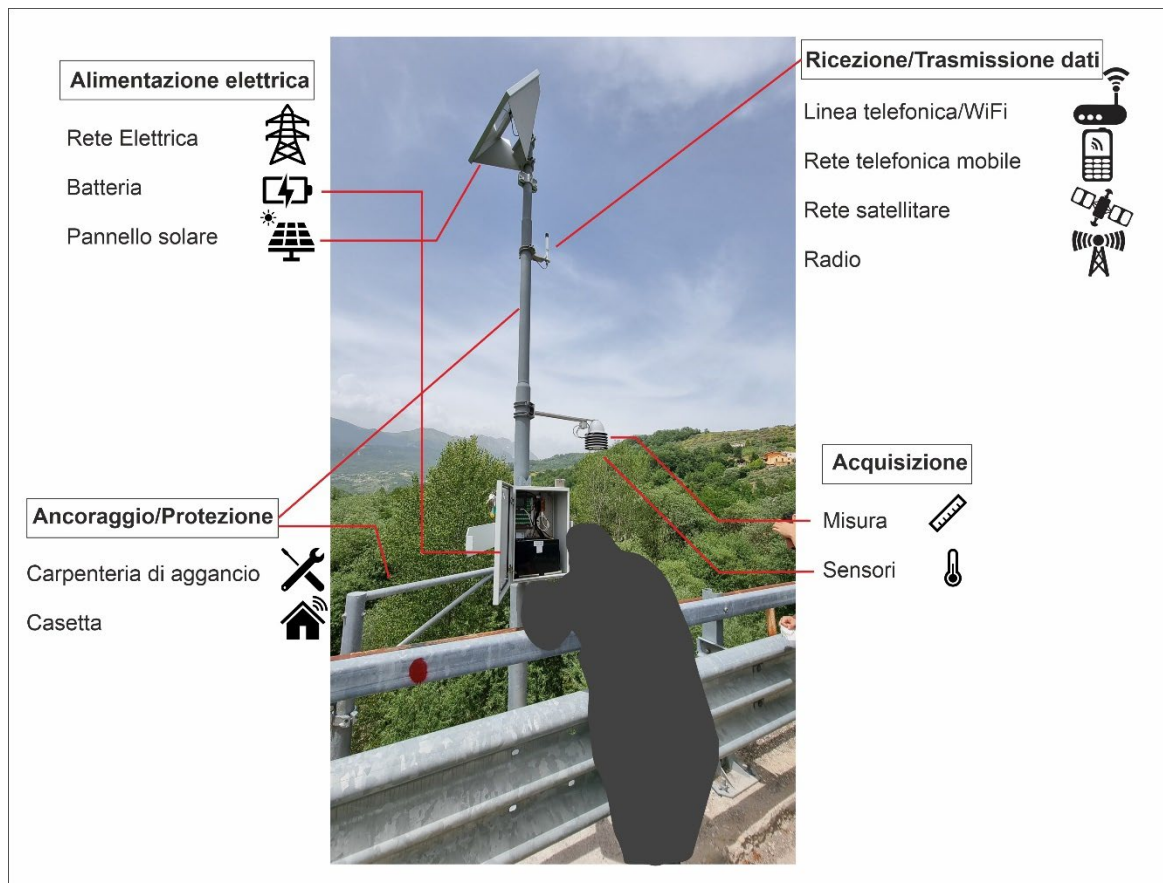


Figura 8. Schema di funzionamento generale di una stazione di monitoraggio in tempo reale. I principali sistemi di una stazione di monitoraggio sono: l'alimentazione, la ricezione/trasmissione dati, l'ancoraggio/protezione e l'acquisizione.

per la ricezione e la trasmissione del dato, un sistema di alimentazione elettrica e tutta la carpenteria metallica necessaria per ancorare la strumentazione e proteggere la centralina.

Il sistema di alimentazione elettrica è sempre corredato di batterie, per sopperire all'eventuale mancanza di erogazione elettrica, e di un dispositivo per la protezione da sovratensioni/cortocircuito. La stazione può alimentarsi direttamente dalla rete elettrica, tramite cablaggio, o produrre energia elettrica tramite pannello fotovoltaico.

La trasmissione dei dati è affidata ad un modem, che ha il compito sia di ricevere che di trasmettere dati e comandi. La modalità di trasmissione del dato può avvenire tramite diversi modi:

- collegamento a rete telefonica fissa tramite cablaggio (WiFi, Ethernet);
- collegamento a rete telefonica mobile con SIM-card telefonica (GPRS, GSM, UMTS);
- collegamento a rete radio con antenna radio (UHF);
- collegamento a rete satellitare tramite parabola (es. Iridium).

In tutti questi casi, ad esclusione del collegamento tramite ponte radio, è necessario sottoscrivere un contratto di abbonamento per un servizio di telecomunicazione. Ogni soluzione possibile si adatta alla particolare condizione logistica della stazione, dettata da molteplici fattori legati all'ubicazione (distanza da centri abitati, aree rurali, aree montuose ecc.).

L'elenco delle stazioni di monitoraggio attualmente attive è riportato nella figura 9.

Tutte le stazioni di monitoraggio della rete effettuano la misurazione in continuo di diverse grandezze fisiche, con un passo di campionamento temporale regolabile direttamente sulla centralina

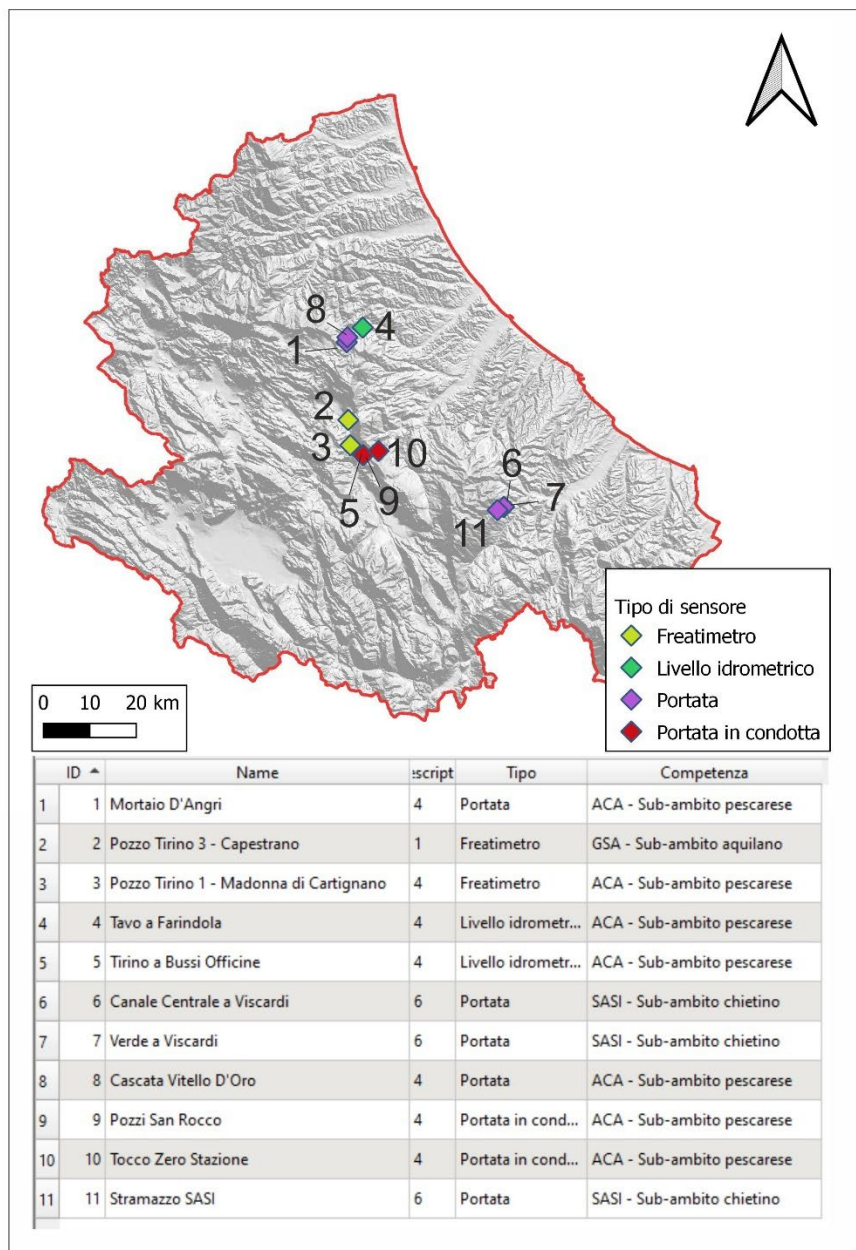


Figura 9. Mappa dell'ubicazione delle stazioni di monitoraggio relative alla piattaforma Datasphere. In basso, tabella che indica il tipo di sensore ed il rispettivo sub-ambito di appartenenza.

dall'operatore che ne esegue la manutenzione e ne cura la trasmissione dati. Altre grandezze sono semplicemente derivate mediante equazioni. Le principali grandezze monitorate sono:

- Portata (derivata da altre grandezze);
- Livello di falda;
- Altezza idrometrica.

Secondariamente sono monitorate anche:

- Eventi grandinigeni;

- Temperatura dell'acqua;
- Temperatura dell'aria;
- Voltaggio della batteria;
- Umidità;
- Corrente elettrica derivante da pannello solare.

5.3. Misure di portata e di livello idrometrico

5.3.1. Gruppo sorgivo del Fiume Verde

Il Fiume Verde è un'importante affluente del Fiume Aventino. La quota più alta del relativo bacino idrografico è il Monte Acquaviva (2737 m) del massiccio della Maiella. Scorrendo attraverso la Valle delle Mandrelle-S. Spirito con portate esigue, raggiunge le sorgenti principali poste in prossimità dell'abitato di Fara San Martino.

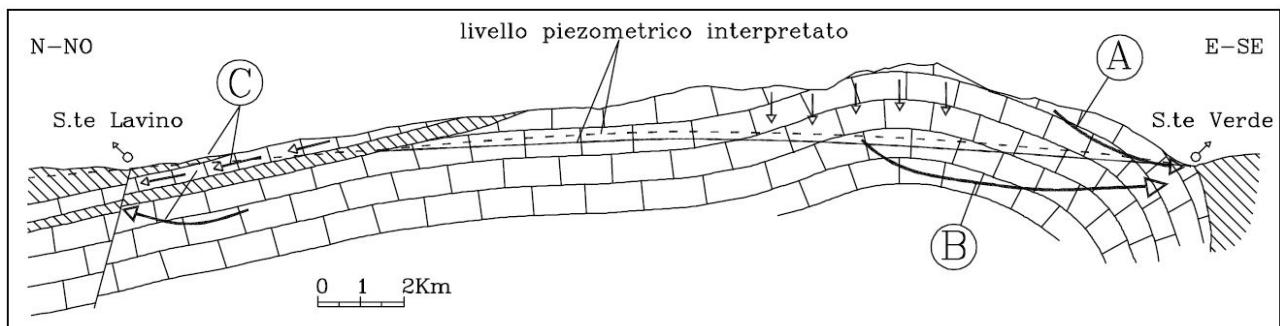


Figura 10. Sezione idrogeologica che attraversa il sistema di sorgenti del Fiume Verde nell'area di Fara San Martino (tratto da Nanni e Rusi, 2003).

La sorgente, che è la manifestazione dell'emergenza della falda basale della Maiella, è classificabile come sorgente per soglia di permeabilità sottoposta in cui la soglia è mascherata da una conoide dai cui detriti sgorga la sorgente. Essa è caratterizzata da elevate portate con massimi primaverili correlati allo scioglimento delle nevi nei 15-30 giorni precedenti (Nanni e Rusi, 2003, Chiaudani et al., 2019 – Fig.10).

Il complesso fluviale del Verde è monitorato attraverso l'utilizzo di tre sistemi di misura (M1, M2 e M3 – Fig.11 e Appendice Fig.1, Fig.2), siti nel comune di Fara San Martino, che permettono di quantificare tutta l'acqua proveniente dal gruppo sorgivo. Essi misurano rispettivamente la quantità captata a scopo potabile, il Deflusso Minimo Vitale (DMV) sul torrente Verde e la quantità captata a scopo idroelettrico.

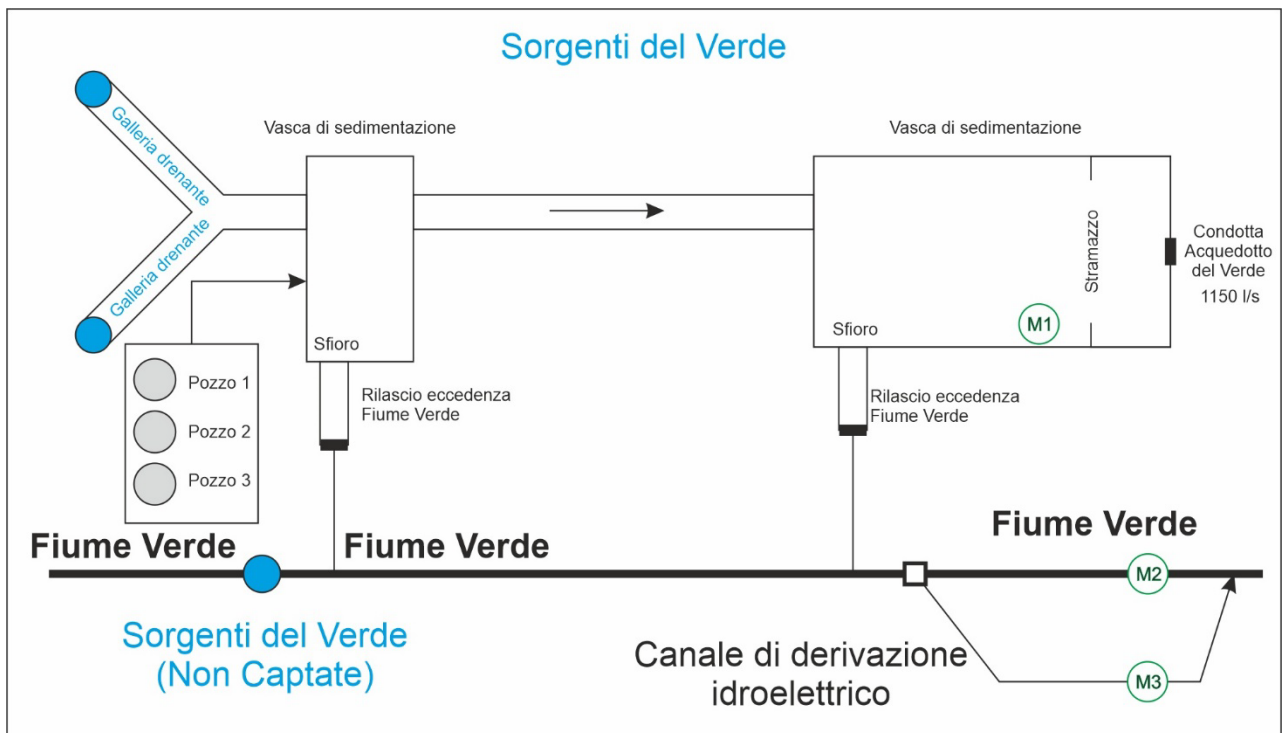


Figura 11. Schema idrico del sistema sorgivo del Fiume Verde. Le acque di queste sorgenti sono derivate per soddisfare molti dei bisogni idropotabili e industriali dell'area circostante. Le sorgenti del Verde sono monitorate attraverso 3 stazioni di misura in tempo reale (M1, M2 ed M3).

Le sorgenti del Verde alimentano l'omonimo acquedotto, che è il più importante, in termini di fornitura, del subambito chietino; le opere di presa di tale struttura, costituite da gallerie e pozzi, riescono a convogliare mediamente 1100 l/s alla popolazione servita. L'adduttrice principale va da Fara S. Maritino al partitore di Casoli, da dove l'acquedotto si divide in due grandi adduttrici: l'adduttrice Nord, che raggiunge i comuni di Ortona e Lanciano, e l'adduttrice Est, che serve invece l'area vastese (PRGA).

Nell'opera di captazione (Fig. 11) è presente un sistema di gallerie drenanti, talora integrata da 3 pozzi, che convogliano l'acqua ad una vasca di sedimentazione dotata di uno stramazzo.

L'eccedenza di acqua viene rilasciata direttamente nell'alveo del fiume, e sarà poi misurata più a valle dal misuratore M2 posto in corrispondenza della stazione Verde a Viscardi (Fig. 11).

Proseguendo più a valle nello schema idrico si trova la derivazione del Canale Centrale Viscardi, che convoglia l'acqua ad una centrale idroelettrica situata più a valle, nei pressi della stazione di misura Verde a Viscardi. L'aliquota d'acqua derivata per la produzione idroelettrica è misurata direttamente dal sensore M3 (Fig. 11).

A valle di tutto, ad una quota di 320 m.s.l.m. e a circa 1.8 km di distanza dalle sorgenti del Fiume Verde, si trova la stazione di misura di Verde a Viscardi. In questa sezione è misurata l'acqua del DMV (M2 nella Fig. 11), che comprende tutta l'acqua derivante dalle sorgenti ad esclusione del captato (condotte di galleria vecchia e vasca di sedimentazione SASI). A circa 50 metri di distanza, in destra idrografica del Fiume Verde, è presente il canale utilizzato per la derivazione di acqua destinata alla generazione di energia idroelettrica per l'area industriale di Fara S. Martino. Su tale canalizzazione è installato il sensore di portata M3.

5.3.2. Gruppo sorgivo del Fiume Tavo

Il Fiume Tavo, conflueno col Fiume Fino, va a formare il Fiume Saline, importante bacino idrografico che drena le acque superficiali a partire dalla catena appenninica (Gran Sasso D'Italia,

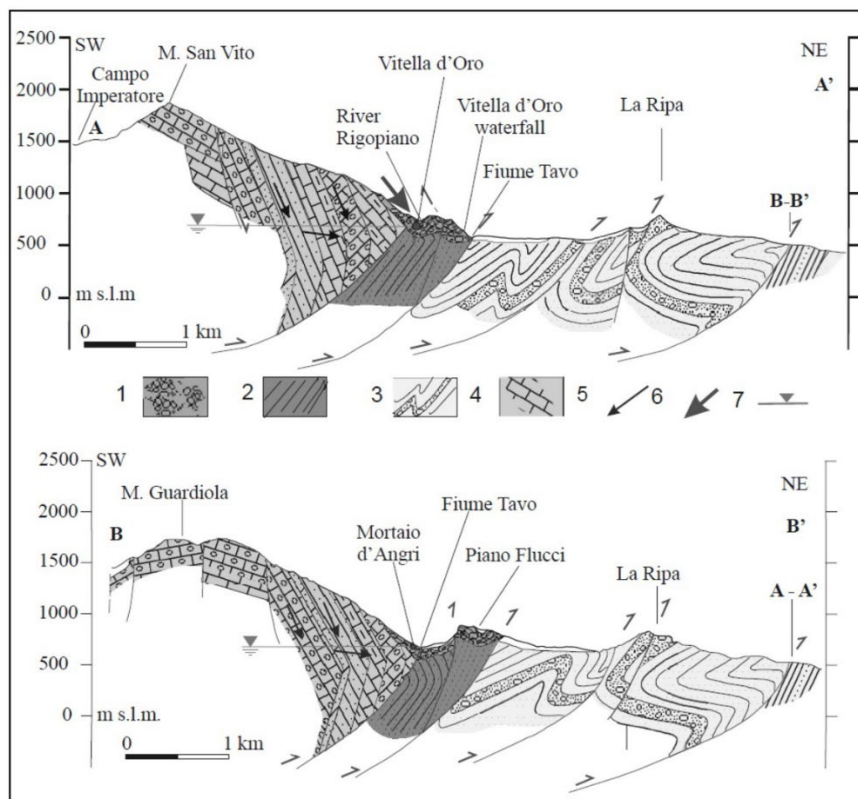


Figura 12. Sezioni geologiche e idrogeologiche che attraversano il sistema di sorgenti del Fiume Tavo (Vitella d'Oro sopra e Mortaio D'Angri sotto) nell'area a ridosso del sovrascorrimento del Gran Sasso (tratto da Ferracuti et al., 2006).

2912 m.s.l.m.) fino al Mare Adriatico. Il bacino si sviluppa dalle pendici del M. Guardiola, alla Val D'Angri, dove riceve l'apporto della sorgente Mortaio D'Angri (0.28 Mc/s – in parte captata) e della Vitella D'Oro (0.38 Mc/s - in parte captata – Ferracuti et alii, 2006).

Il gruppo sorgivo è alimentato dall'acquifero carbonatico del Gran Sasso, unitamente ai contributi di alcuni condotti carsici che veicolano l'acqua alle sorgenti a seguito degli eventi meteorici più intensi. La captazione della Vitella D'Oro, infatti, manifesta fenomeni di intorbidimento in concomitanza dei periodi più piovosi (Ferracuti et alii, 2006 – Fig.12).

Il complesso delle sorgenti del Tavo è monitorato, da un punto di vista quantitativo, attraverso l'uso di quattro stazioni di misura (M4, M5, M6 ed M7 – Fig.13 – Appendice Fig.1, Fig.2, Fig.4), situate strategicamente presso le due captazioni delle risorgenze e poco più a valle, dopo l'abitato di Farindola sul letto del fiume.

Le due captazioni del Tavo alimentano l'omonimo acquedotto, che approvvigiona tutti i comuni della vallata del Tavo e Fino, derivando una portata che si aggira mediamente intorno ai 500-600 l/s per quello che riguarda l'acqua sorgiva, potendo contare su un ulteriore supplemento derivante dall'emungimento dei pozzi. La captazione di Mortaio D'Angri è collegata al partitore Fiano, dal quale l'acqua viene smistata in varie direzioni, mentre la captazione di Vitella D'Oro va ad alimentare la parte meridionale dell'acquedotto, fino alle zone di Montesilvano e Pescara Nord (PRGA).

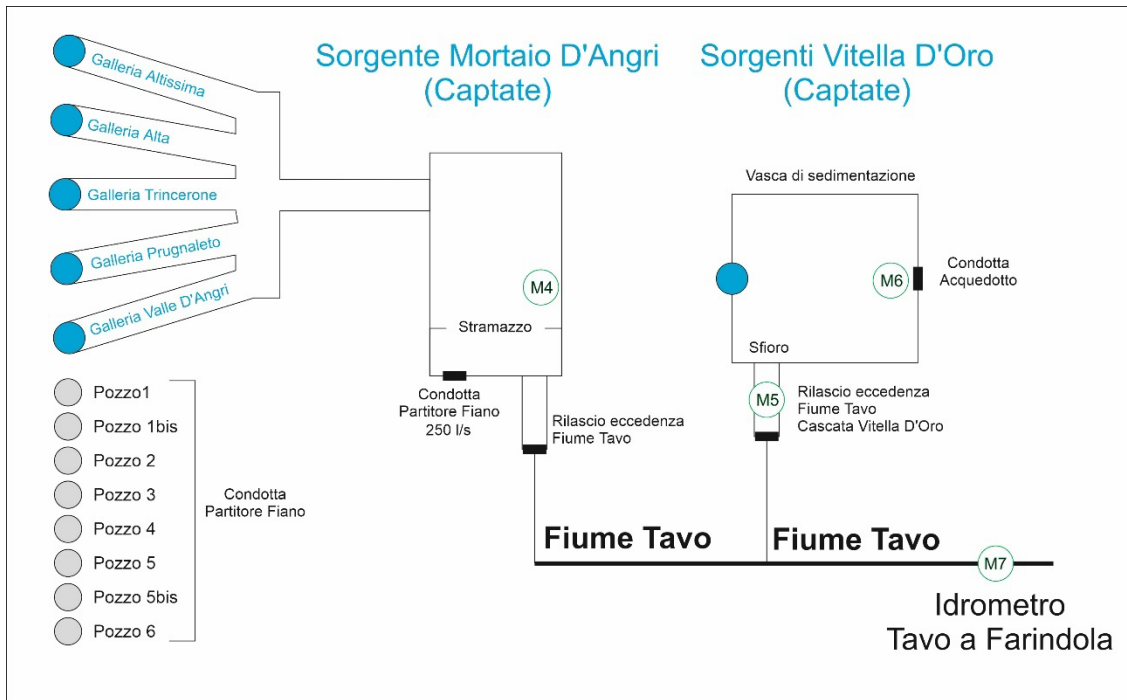


Figura 13. Schema idrico delle sorgenti del Fiume Tavo. Tale sistema, che permette l'approvvigionamento idrico anche dell'area di Montesilvano e Pescara Nord, è monitorato da 4 stazioni di misura (M4, M5, M6 e M7).

Partendo da monte, oltre all'aliquota che viene direttamente dalla parte più alta del bacino idrografico, la prima risorgenza apprezzabile in termini quantitativi è costituita dalle sorgenti del Mortaio D'Angri (690 m.s.l.m.), totalmente captate. L'opera di presa è formata da cinque gallerie drenanti (Fig.13- Galleria Altissima, Galleria Alta, Galleria Trincerone, Galleria Prugnaletto e Galleria Valle D'Angri), che fanno confluire l'acqua alla vasca di calma principale. In questa vasca di sedimentazione è presente uno stramazzo rettangolare (Appendice Fig.2) ed un sistema di misurazione del livello idrometrico (M4 – Appendice Fig.1). A valle dello stesso l'acqua viene derivata nella condotta che porta al partitore Fiano, mentre è presente un sistema di sfioro per lo scarico dell'acqua in eccedenza che è collegato direttamente con il fiume. In prossimità di questa captazione sono presenti anche otto pozzi d'emungimento, con un circuito dedicato, che entrano in funzione all'occorrenza e forniscono un'ulteriore aliquota d'acqua al partitore Fiano.

La risorgenza della Vitella D'Oro (680 m.s.l.m.), invece, è parzialmente captata, mentre l'aliquota non captata è convogliata, attraverso un piccolo canale artificiale, all'omonima cascata che si immette direttamente nell'alveo del Fiume Tavo. L'opera di captazione crea uno sbarramento delle acque che sgorgano da alcuni condotti naturali, facendo stanziare l'acqua in una vasca di calma. Da qui, parte dell'acqua viene derivata e immessa in condotta, dove viene misurata attraverso l'utilizzo di un venturimetro digitale (M6), mentre l'eccedenza viene scaricata attraverso un piccolo canale artificiale che porta alla cascata, e all'interno del quale è situato il misuratore M5 (Fig.13).

L'ultima stazione di misura, denominata Tavo a Farindola (M7 – Fig.13 – Appendice Fig.4), si trova poco a valle rispetto all'abitato di Farindola, sopra il ponte della Strada Provinciale 72 che attraversa il Fiume Tavo. In questa sezione è misurata l'acqua del DMV, che comprende tutta l'acqua derivante dalle sorgenti ad esclusione del captato.

5.3.3. Gruppo sorgivo del Fiume Tirino

Il Fiume Tirino è un'importante affluente del Fiume Aterno-Pescara e scorre, con andamento appenninico, per un tratto relativamente breve (circa 13 km), pur mantenendo una portata media annua di circa 15 m³/s e con fluttuazioni minime (Boni et alii, 2002). La portata basale è alimentata da tre gruppi sorgivi che costituiscono l'emergenza della falda del Gran Sasso (Fig.14):

- Sorgenti alte, formate dalle sorgenti di Capodacqua, Presciano e Capodacqua (circa 340 m s.l.m.);
- Sorgenti medie, costituite da incrementi lineari in alveo, a quote comprese tra i 340 e 310 m s.l.m.;
- Sorgenti basse, ad una quota di circa 250 m.s.l.m..

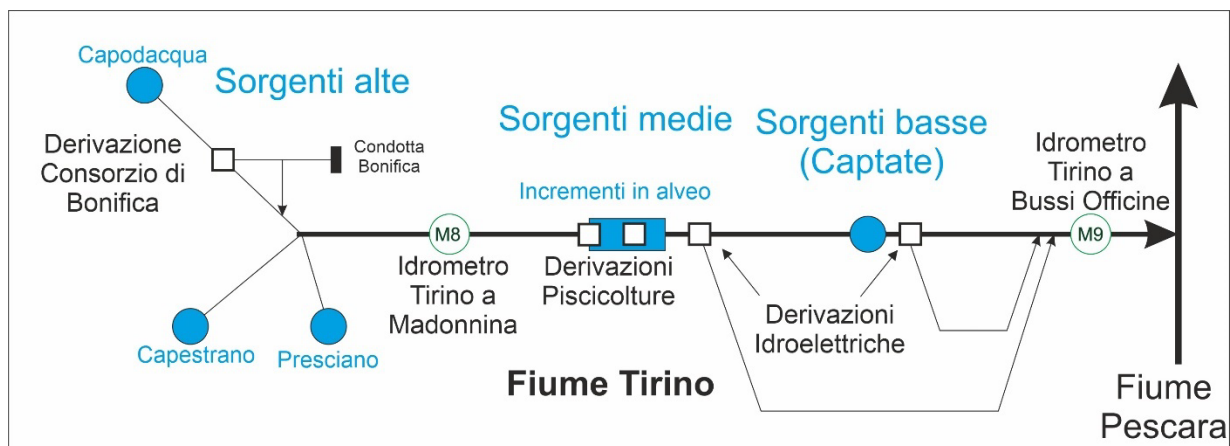


Figura 14. Schema idrico del Fiume Tirino, dalle sorgenti all'immissione nel Fiume Pescara. Il Fiume Tirino e le sue sorgenti sono monitorati attraverso i sensori di misura M8 e M9.

Il complesso delle sorgenti è monitorato da due idrometri (Fig.14), "Tirino a Madonna" (M8 – Appendice Fig.4), posto a valle delle sorgenti alte e medie, e "Tirino a Bussi" Officine (M9 – Appendice Fig.4), posto alla chiusura del bacino idrografico, a valle delle sorgenti basse. La stazione idrometrica posta più a monte possiede una scala di deflusso aggiornata e validata, mentre la stazione idrometrica posta più a valle, essendo di nuova costituzione, non possiede ancora una scala di deflusso utilizzabile. Le derivazioni più importanti presenti, invece, sono lo sbarramento del consorzio di bonifica centro che, catturando le acque della sorgente Capodacqua, forma un piccolo invaso artificiale utilizzato a scopo irriguo, la presa all'interno del centro abitato, il cui scopo è la produzione di energia idroelettrica destinata alla zona industriale e la presa delle sorgenti basse, dalle quali vengono costantemente derivati 6 mc di acqua ad uso idroelettrico.

5.4. Misure del livello di falda

5.4.1. Falda dell'acquifero del Gran Sasso e della piana del Tirino

L'acquifero del Gran Sasso si estende, attraverso l'omonima catena montuosa, su un'area di circa 700 kmq, ed è costituito da unità di rocce carbonatiche fratturate e ricche di condotti carsici, inglobando anche la dorsale del Monte Sirente (Celico, 1978). Il limite di permeabilità dell'acquifero, a nord e ad est, è costituito dal contatto tettonico con le formazioni torbiditiche terrigene sin-orogeniche (Ghisetti e Vezzani, 1983). Le maggiori sorgenti si localizzano lungo tale soglia di permeabilità (a

nord) e lungo la zona della valle del Tirino (a sud-est – Fig.15 - Celico et al., 2005, Petitta e Tallini, 2002).

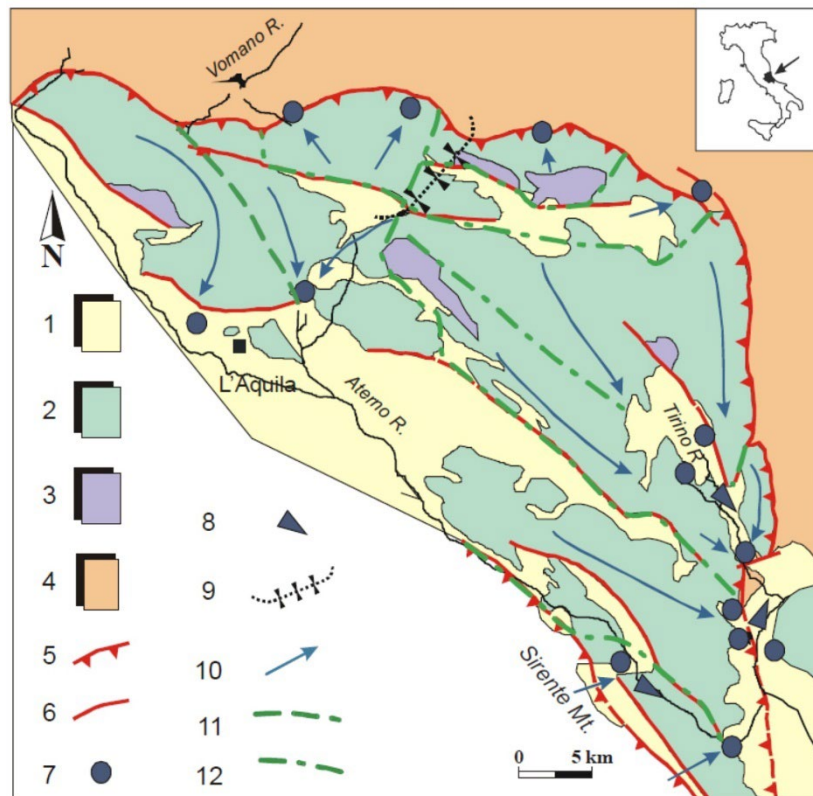


Figura 15. Mappa dell'unità idrogeologica del Gran Sasso (tratta da Celico et al., 2005). E' possibile notare le numerose sorgenti a ridosso del sovrascorrimento del Gran Sasso che pone in contatto le unità carbonatiche e le unità terrigene torbiditiche.

Nell'area della valle del Fiume Tirino, sono state allestite a scopo di monitoraggio piezometrico, due stazioni di misura dotate di sensori di pressione (celle resistive di pressione) all'interno di pozzi perforati e tubati già presenti sul territorio. I due pozzi, prima di competenza dell'ex Cassa del Mezzogiorno, intercettano la falda del Gran Sasso – Tirino e permettono di effettuare un monitoraggio in continuo del livello piezometrico. Il pozzo più a monte, denominato "Tirino 3 o Tirino Capodacqua", è monitorato dalla stazione M10 (Appendice Fig.5), e presenta una soggiacenza media, per il periodo di misura, di -55,5 m. Tale pozzo si trova in prossimità delle sorgenti di Capodacqua del F. Tirino, sulla piana alluvionale del fiume ed è profondo almeno 100 m, attraversando alla base rocce carbonatiche e in superficie i depositi alluvionali.

La seconda stazione (M11 – Appendice Fig.5) è situata più a valle, ed è denominata "Tirino 1 o Tirino Madonna di Cartignagno", trovandosi in prossimità dell'omonima chiesa, poco distante dal centro abitato. Il pozzo presenta una soggiacenza media di circa -24 m e attraversa nella sua parte basale delle rocce carbonatiche e nella parte sommitale detrito di versante recente.

5.5. Misura in condotta della risorsa idropotabile

5.5.1. Sub-ambito pescarese e chietino

Per quanto concerne le misurazioni relative alla risorsa idropotabile nell'ambito della piattaforma Datasphere, oltre a quelle effettuate nelle vasche di sedimentazione delle sorgenti del Tavo (Mortaio

D'Angri e Vitella D'Oro) e nella vasca delle sorgenti del Fiume Verde (Vasca SASI), vi sono anche le misure effettuate direttamente in condotta. Si tratta della stazione di misura “Tocco Zero Stazione” (M12 – Appendice Fig.6), che comprende due strumenti clamp-on sulle due adduttrici

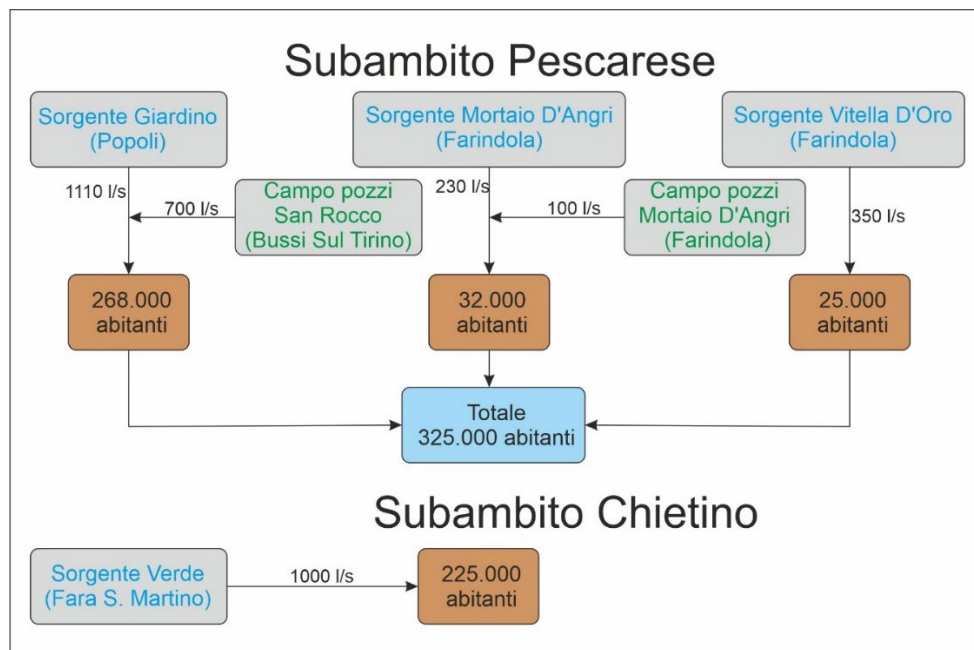


Figura 16. Diagramma che schematizza il monitoraggio quantitativo della risorsa idropotabile nel Subambito Pescara e nel Subambito Chietino. Nella piattaforma Datasphere è monitorato l'approvvigionamento equivalente di circa 550 mila abitanti serviti.

principali dell'acquedotto Giardino, e della stazione “Pozzi San Rocco – Bussi Officine” (M13 – Appendice Fig.6), che misura, sempre attraverso strumenti clamp-on, il contributo all'acquedotto fornito dal Campo Pozzi San Rocco. Nel complesso, il sistema di misura, garantisce il monitoraggio quantitativo della fornitura idropotabile di gran parte della popolazione abruzzese. In particolare, considerando tutti i punti di controllo, è possibile monitorare l'approvvigionamento equivalente di circa 550 mila abitanti serviti (Fig.16 - dati report ACA e SASI), che costituiscono circa il 42.5% della popolazione abruzzese (1,294 milioni di abitanti – ISTAT 2019).

5.6. Procedure di controllo

Nell'ambito della piattaforma Datasphere (e anche nell'ambito di altre reti di monitoraggio proprie dell'Ufficio Idrografico), è stata creata una procedura di controllo semiautomatizzata, progettata e seguita dal personale dell'ufficio. In via sperimentale, giornalmente, vengono controllati tutti i sensori delle reti in telemisura, attraverso interfacce web in tempo reale. Le anomalie riscontrate vengono annotate su appositi fogli elettronici e, a seconda del tipo di anomalia riscontrata, viene programmato un sopralluogo e/o aperto un ticket di assistenza alla società che si occupa della manutenzione. Per quanto riguarda i sensori utili in fase di allertamento (per ora non sono compresi i sensori afferenti alla piattaforma Datasphere), ogni giorno viene inviato un file con l'esito della verifica giornaliera al Centro Funzionale di Protezione Civile (Nazionale), al Centro Funzionale Regionale (Regione Abruzzo) e al dirigente dell'ufficio che si occupa di effettuare il controllo (Ufficio Idrografico). Al Centro Funzionale è stato riconosciuto, a partire dal 2014, il certificato ISO 9001 (norma internazionale per i Sistemi di Gestione per la Qualità).

Per l'inizializzazione degli esiti dei controlli in un database, è stato anche creato un applicativo con interfaccia grafica (Fig.17) scritto in codice Python, che permette la compilazione dei fogli Excel in maniera più speditiva.

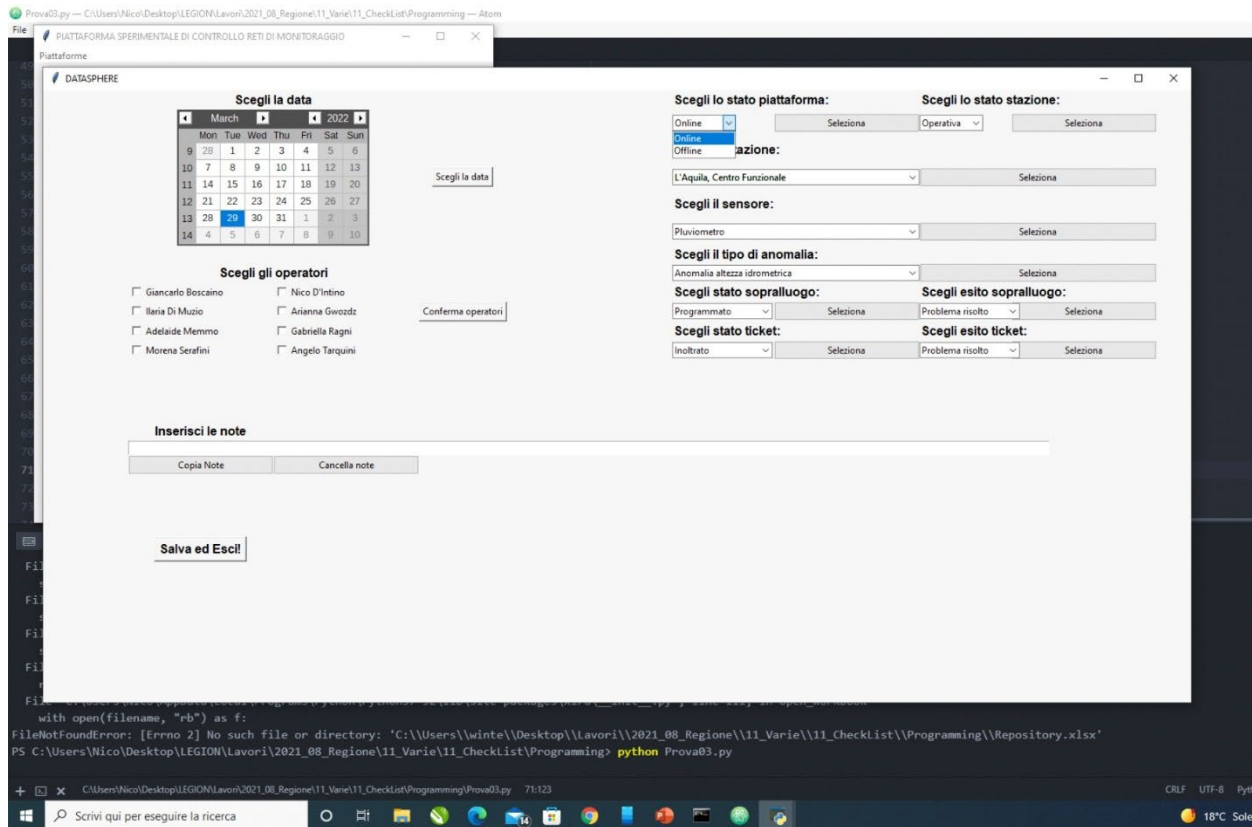


Figura 17. Interfaccia grafica dell'applicativo sperimentale realizzato per il controllo giornaliero delle reti di monitoraggio.

5.7. Efficienza della rete di monitoraggio

Il grado di efficienza della rete, è un parametro fondamentale da conoscere, sia per avere contezza del grado di affidabilità della rete, sia per controllare che i servizi di manutenzione lavorino in maniera ottimale. Per valutare in maniera ottimale l'efficienza della rete occorre analizzare singolarmente le serie temporali di ogni stazione, andando ad individuare i vari motivi che possano aver determinato una diminuzione della performance del monitoraggio. In generale, prima di allestire una campagna di monitoraggio, è buona norma individuare la destinazione d'uso dei dati prodotti da tale campagna, trovando un compromesso tra l'efficienza della rete e le risorse economiche spese per la messa in opera ed i servizi di manutenzione. Se la destinazione d'uso di un monitoraggio dovesse garantire la salvaguardia delle persone, per esempio, occorrerà avere una rete estremamente efficiente, che permetta di avere una misura in tempo reale ed uno storico delle misure che sia continuo nel tempo. Viceversa, se lo scopo del monitoraggio fosse di natura scientifica, a seconda della situazione, ci si potrebbe accontentare di una soluzione che permetta un'efficienza minore, correlata però ad un risparmio di denaro.

Durante l'esperienza maturata relativamente a questo progetto di studio, sono emerse diverse cause che hanno agito negativamente sull'efficienza della rete di monitoraggio. In questa trattazione è stato deciso di adottare come definizione di efficienza in generico, il rapporto tra i campionamenti effettivamente misurati ed il numero massimo di campionamenti effettuabili da una stazione durante il suo periodo di funzionamento (dalla data di messa in funzione alla data di analisi dei dati, ossia

20/07/2022). In particolare, matematicamente, è stata adottata la seguente formula (modificata da Nucci, 2008):

Equazione 1

$$Ip = Np/N$$

Dove:

IP è l'indice di performance

Np è il numero di campionamenti effettivamente svolti

N è il numero di campionamenti massimi teorici, dato dal prodotto tra numero di campionamenti giornalieri e numero di giorni dalla messa in funzione.

Tale indicatore è influenzato sia dell'efficienza del servizio di manutenzione sia da tutti i fattori che non dipendono dal servizio, essendo questi ultimi imputabili a cause esterne come eventi atmosferici, attacchi hacker ai cloud service, interruzione dell'alimentazione elettrica dei server, furti e manomissioni della strumentazione, errata progettazione e posizionamento delle stazioni ed, in generale, ogni evento o causa di forza maggiore.

L'indice di performance considera esclusivamente i problemi relativi alla trasmissione di una stazione, in quanto i dati possono essere correttamente trasmessi, ma essere inattendibili perché affetti da errori grossolani (spike, starature ecc.) e per evidenziare questo tipo di errore è necessario effettuare una ricognizione approfondita delle serie storiche a disposizione. L'efficienza delle stazioni, inoltre, è fortemente condizionata dal tipo di sensore e dalle modalità di trasmissione.

	A	B	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Stazione	Tipo	Inizio	Fine	Periodo [giorni]	Campionamenti giornalieri	Max campionamenti teorici	Campionamenti effettivi	Resa Effettiva [IP]	Errore
2	Pozzo Madonna Cartignano	Freatimetro	27/09/2021	20/07/2022	296	96	28416	19149	67,39%	0,34%
3	Pozzo Capo D'Acqua	Freatimetro	27/09/2021	20/07/2022	296	96	28416	19983	70,32%	0,34%
4	Tavo a Farindola	Idrometro	27/09/2021	20/07/2022	296	96	28416	18399	64,75%	0,34%
5	Bussi Officine	Idrometro	27/09/2021	20/07/2022	296	96	28416	20005	70,40%	0,34%
6	Canale Centrale Verde a Viscardi	Portata	25/10/2021	20/07/2022	268	48	12864	8523	66,25%	0,37%
7	Pozzi S. Rocco	Portata	03/06/2021	20/07/2022	412	24	9888	9867	99,79%	0,24%
8	Stramazzo SASI	Livello/Portata	12/10/2021	20/07/2022	281	288	80928	39519	48,83%	0,36%
9	Tocco Zero	Portata	30/06/2021	20/07/2022	385	24	9240	8167	88,39%	0,26%
10	Verde a Viscardi (periodo 1)	Portata	06/10/2021	07/07/2022	274	48	13152	13028	99,06%	0,36%

Tabella 1. Elenco delle stazioni presenti nella piattaforma Datasphere con l'indicazione della resa effettiva (IP) delle singole stazioni in termini di trasmissione dati.

Nella tabella 1 sono evidenziati gli indici di performance della maggior parte delle stazioni presenti sulla rete di monitoraggio. I valori dell'indice variano dal 48% al 99% circa, tenendo presente che dati di alcune stazioni risiedevano su server che hanno subito attacchi hacker, fattore che ha comportato una perdita di trasmissione.

Il parametro di resa effettiva (IP), quindi, in assenza di un'accurata analisi delle serie storiche, non può essere direttamente indicativo dell'efficienza del servizio di manutenzione, bensì è da considerarsi come un semplice indicatore dipendente da tutta una serie di fattori che ha comportato una diminuzione della performance nella trasmissione dei dati.

6. BILANCIO IDROLOGICO

6.1. Il bilancio

Il bilancio idrologico, come anticipato dalla normativa europea (Dir. 2000/60/CE – Water Framework Directive - WFD), e come poi definito dalla normativa regionale (Decreto Ministeriale 28 luglio 2004), è inteso come la comparazione, nel periodo di tempo considerato e con riferimento ad un determinato bacino o sottobacino, superficiale o sotterraneo, tra afflussi e deflussi naturali, ovvero deflussi che si avrebbero in assenza di pressione antropica. Mentre per bilancio idrico si intende la comparazione, nel periodo di tempo considerato, fra le risorse idriche (disponibili o reperibili) in un determinato bacino o sottobacino, superficiale o sotterraneo, al netto delle risorse necessarie alla conservazione degli ecosistemi acquatici ed i fabbisogni per i diversi usi (esistenti o previsti).

In questo lavoro non sarà trattato il bilancio idrogeologico (che comprende le acque sotterranee), sarà bensì sperimentata una variante metodologica, che potrebbe risultare utile in sede di aggiornamento del bilancio idrologico delle acque superficiali già redatto nel Piano di Tutela delle Acque della Regione Abruzzo (PTA - 2006). Inoltre, saranno proposti metodi alternativi per effettuare calcoli su semplici esempi di quantificazione della pressione antropica, utili a capire lo stress a cui i corpi idrici sono sottoposti.

Lo studio del bilancio è stato effettuato sull'intero territorio regionale e non comprende i dati meteorologici (temperature e precipitazioni) dell'area marsicana, poiché questa è entrata sotto la competenza dell'ufficio idrografico a partire dal 2007. Sono state selezionate 187 stazioni aventi almeno 3 anni di misurazioni effettive, in periodi compresi tra il 1918 e il 2020 e appartenenti alla rete dell'ufficio idrografico. Il calcolo è stato valutato su base annua, partendo dalle piogge e temperature mensili, effettuando la media annua di tutti i dati disponibili. Come rilevato anche nel documento A.1.3 del PTA, le serie storiche sono perlopiù continue, abbastanza ben distribuite da un punto di vista spaziale, ad eccezione delle quote più alte caratteristiche della catena appenninica, che sono scarsamente rappresentate a causa della mancanza di stazioni di misura.

L'equazione del bilancio idrologico, come stabilito dal principio della conservazione di una grandezza, fa riferimento ai volumi d'acqua in ingresso ed in uscita rispetto ad un determinato territorio ed un determinato lasso temporale. In particolare, l'equazione del bilancio può essere ricondotta ad una forma del tipo (Allegato A1.3 del PTA):

Equazione 2

$$P - ETR = I + R + \Delta V$$

P è il volume d'acqua derivante da afflusso tramite **precipitazione** all'interno del bacino

ETR è il volume d'acqua d'**evapotraspirazione** relativa al bacino

R è il volume d'acqua di **ruscellamento** derivante dall'apporto meteorico

I è il volume d'acqua d'**infiltrazione** nel sottosuolo

ΔV è la **variazione dei volumi idrici**, detta anche stock, immagazzinati sotto varie forme (es. invasi)

Su archi temporali lunghi (come, per esempio, durante il corso di un anno come in questa trattazione) e in considerazione del fatto che gli invasi del territorio abruzzese non presentano variazioni di volumetrie elevate, il valore di ΔV può essere trascurato.

6.2. Temperature

Per quanto riguarda le temperature, essendo queste strettamente dipendenti dalla quota, sono state calcolate delle funzioni di correlazione lineare quota-temperatura, elaborando sia le rette di regressione relative ai singoli mesi, che quella relativa all'intero anno (Fig.18). In particolare, per valutare la bontà delle regressioni, è stato calcolato anche il coefficiente R^2 (coefficiente di determinazione) che indica il legame tra la variabilità dei dati e la correttezza del modello statistico utilizzato; esso è semplicemente il quadrato dell'indice di correlazione di Pearson (R). La regressione lineare per la media annuale, per esempio, ha restituito la seguente equazione:

Equazione 3

$$\text{Temperatura} = -0.0058 \cdot \text{Quota} + 16.667$$

dove la temperatura è espressa in gradi centigradi ($^{\circ}\text{C}$) la quota sul livello del mare espressa in metri (m). Il coefficiente R^2 calcolato ha restituito un valore di circa 0.8708, che indica un'ottima correlazione tra le due variabili statistiche.

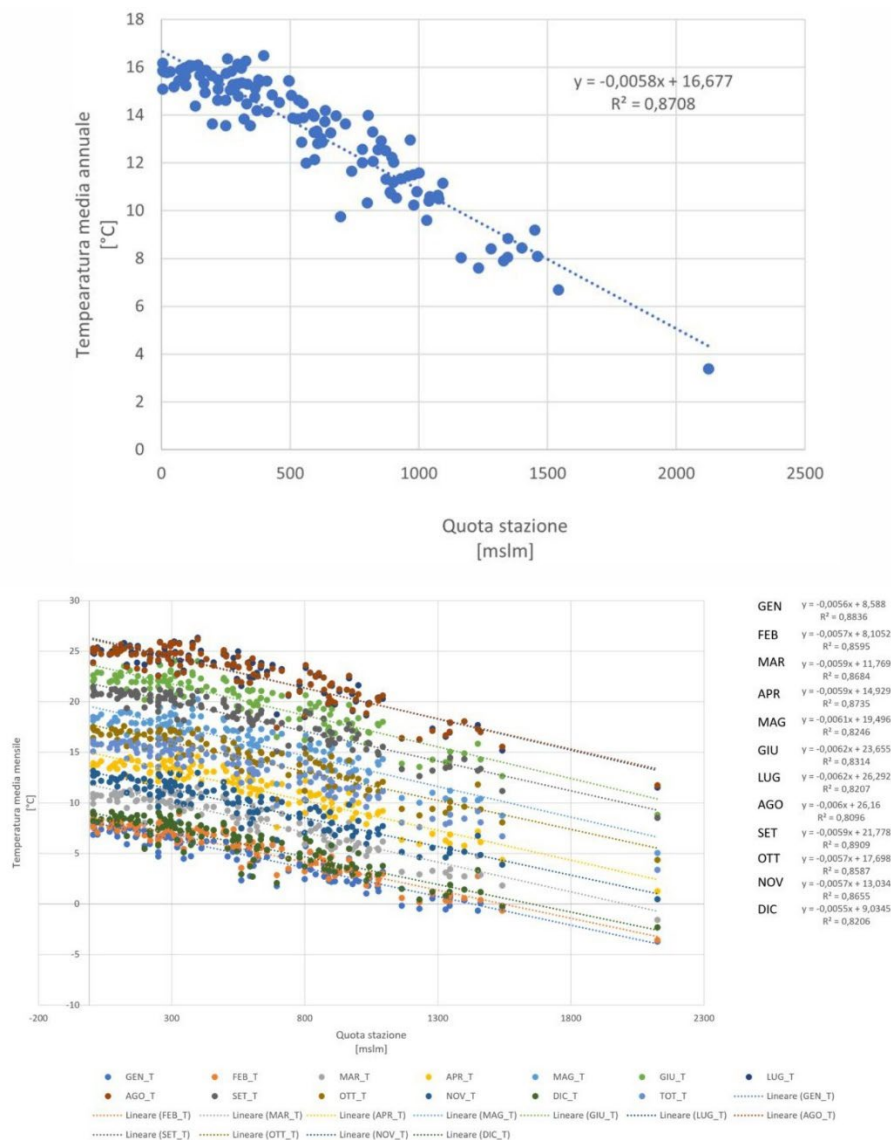


Figura 18. Retta di calibrazione quota-temperatura relativa all'intero periodo annuale (sopra) e insieme delle rette di calibrazione quota-temperatura mensili (sotto).

Il set di dati utilizzato per le elaborazioni termometriche è il database delle serie storiche termopluviometriche dal 1868 al 2020 dell'Ufficio Idrografico, che comprende 182 stazioni. Sono state prese in considerazione le stazioni con almeno 3 anni di funzionamento e solo 15 delle 182 stazioni utilizzate hanno una serie storica che parte da prima del 1918. Solo 14 stazioni di quelle considerate, presentano una completezza della serie storica inferiore al 50%. Pur mancando i dati dell'area marsicana, che è entrata a far parte della competenza dell'Ufficio Idrografico a partire dal 2008, avendo costruito una funzione di correlazione quota-temperatura si è deciso di estendere il calcolo delle mappe a tutto il territorio abruzzese.

La realizzazione della mappa delle temperature medie annue, così come per le mappe delle temperature medie mensili, è avvenuta utilizzando la seguente procedura in ambiente GIS: (i) creazione di una griglia di punti (fishnet), estesa sul tutto il territorio abruzzese, con dimensioni di cella di circa 630x630 metri; (ii) estrazione del valore di quota di ogni nodo della griglia, utilizzando il dem "Tinality" con risoluzione 10x10 metri, scaricabile dal sito dell'INGV (Tarquini et al., 2007); (iii) calcolo del valore di temperatura di ogni punto, sfruttando l'equazione di correlazione quota-temperatura (equazione 3); (iv) interpolazione dei valori puntuali delle temperature relativi ai nodi del grid, sfruttando l'algoritmo di interpolazione "Natural Neighbour" (Sibson, 1981); (v) ritaglio dei bordi della mappa, utilizzando come maschera lo shapefile dei confini regionali della Regione Abruzzo.

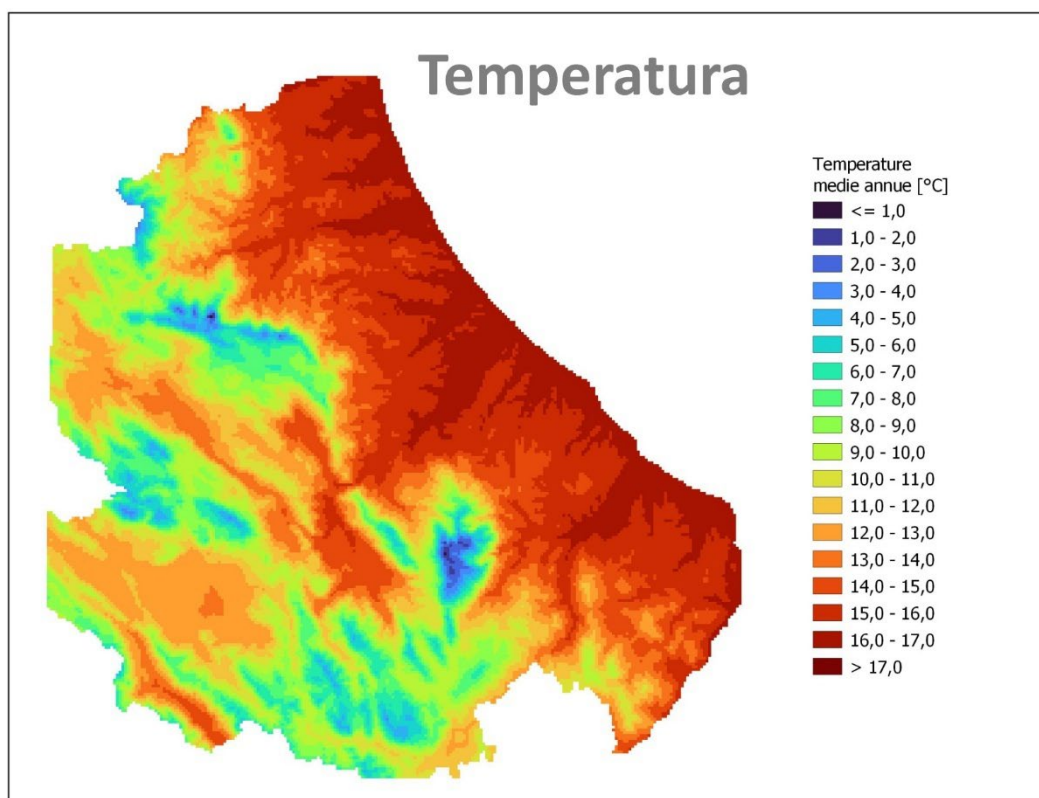


Figura 19. Mappa delle temperature medie annue del territorio abruzzese.

La mappa risultante (Fig.19), interpolata con una dimensione di cella 500x500 m, mostra una temperatura media annuale che dipende principalmente dall'andamento delle quote, con i valori massimi delle medie annuali localizzati a ridosso della fascia litoranea adriatica e dei tratti terminali dei principali fondivalle (+16.77 °C) e i valori minimi delle medie in corrispondenza dei principali

rilievi appenninici (+0.86 °C sulla catena del Gran Sasso e +0.95 °C sul massiccio della Maiella). Per quello che riguarda le elaborazioni delle medie mensili (Fig.20), il mese più freddo, con la medesima

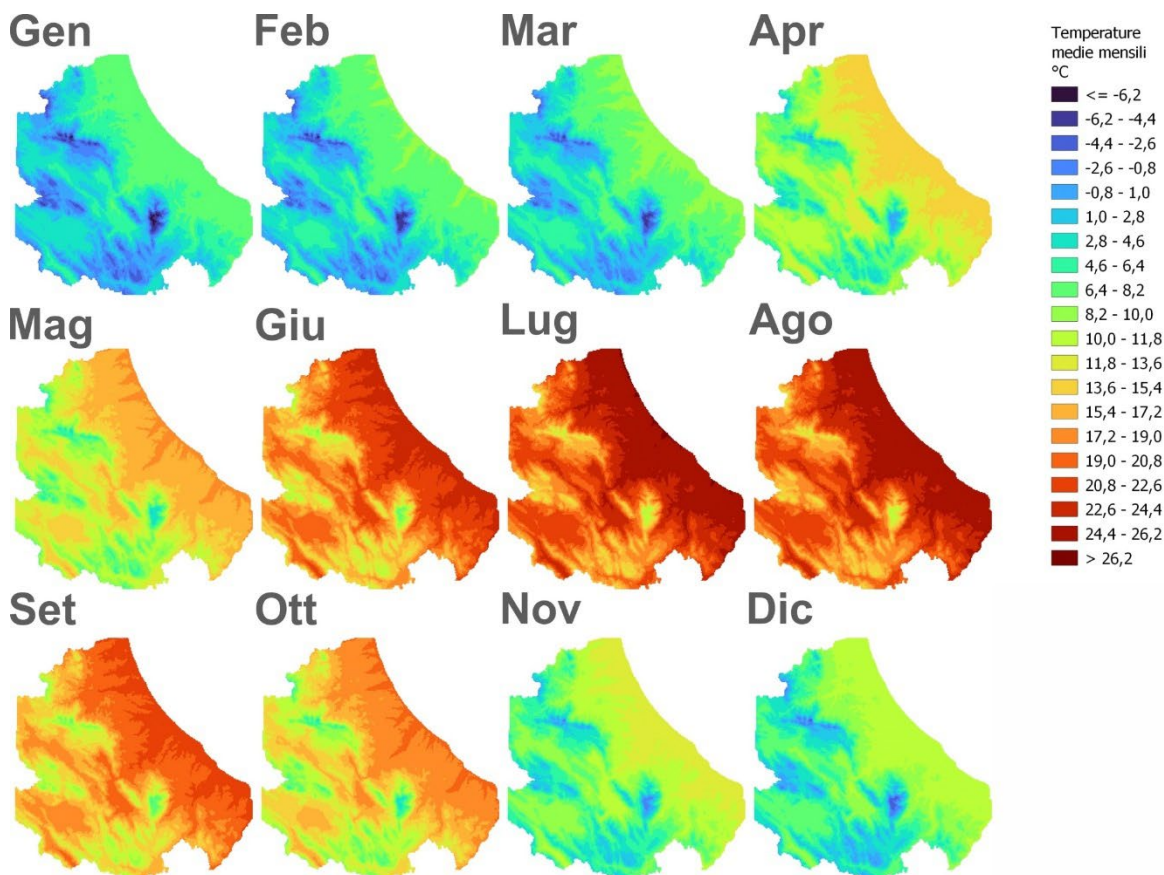


Figura 20. Mappe delle temperature medie mensili del territorio abruzzese.

distribuzione territoriale delle temperature medie annuali, è quello di gennaio, con valori minimi di -7.53 °C e valori massimi di +8.10 °C, mentre il mese più caldo è il mese di luglio, con valori minimi di +9.28 °C e valori massimi di +26.29 °C.

6.3. Precipitazioni

I dati delle precipitazioni, sotto forma di cumulate mensili, sono stati interamente estrapolati dallo stesso database delle serie storiche utilizzato per le i calcoli delle temperature. Da questi sono stati ricavati in primo luogo i valori medi mensili di cumulata e secondariamente i dati medi di cumulata annuale. A differenza dei dati inerenti alle temperature, per i dati di pioggia, non è stato fatto uno studio di correlazione tra quota e precipitazioni, poiché per poter ottenere delle indicazioni più attendibili, occorrerebbe fare anche delle valutazioni dell'influenza sulle precipitazioni operata dalle unità orografiche, come considerato nel PTA (Allegato A1.3 del PTA). Per questo motivo, non essendo disponibili le serie storiche dell'area marsicana, va considerata la scarsa attendibilità degli elaborati sulla piovosità (e derivanti) in corrispondenza della Marsica stessa. Nella metodologia adottata per i calcoli, differentemente rispetto a quanto fatto nel PTA che ha adottato il metodo di calcolo per topoleti, è stato scelto di interpolare semplicemente i dati a disposizione delle varie stazioni, usando anche in questo caso il Natural Neighbour come algoritmo di interpolazione (Sibson, 1981) e ritagliando i dati ricadenti nell'area di interesse (territorio regionale).

La mappa ottenuta (Fig.21), interpolata con una dimensione di cella 500x500m, mostra la presenza di 4 macroaree a piovosità circa omogenea, tutte allungate parallelamente alla catena appenninica, con i seguenti domini, da est verso ovest:

- (a) Dominio adriatico, a ridosso dell'omonimo mare, con piovosità media annua scarsa e valori compresi tra i 650 mm della costa e gli 800-900 mm/anno delle zone pedemontane;
- (b) Dominio della catena appenninica più esterna, a ridosso della catena del Gran Sasso e del massiccio della Maiella, con valori compresi tra 800-1000 mm/anno della bassa montagna, fino a 1400 mm/anno dell'alta montagna;
- (c) Dominio intramontano esterno, comprendente la valle dell'Aterno, del Tirino e della conca peligna, con valori minimi di circa 650 mm/anno della valle del Tirino, fino ai valori di 800-900 mm/anno della bassa montagna;
- (d) Dominio della catena appenninica più interna, che comprende la zona del M. Velino e dell'alto Sangro, con valori compresi tra i 1000 mm/anno e i 1400 mm/anno.

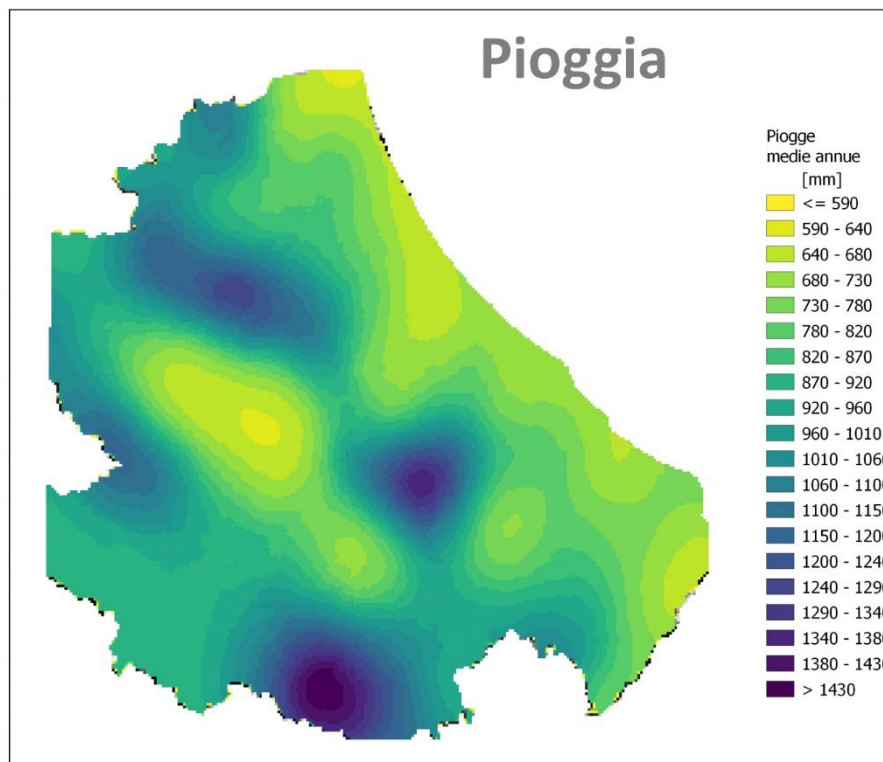


Figura 21. Mappa della piovosità media annua relativa al territorio abruzzese.

Vi è poi una quinta fascia più interna, comprendente la zona della conca del Fucino e della Valle del Liri che, sebbene ricada nel territorio regionale, non presenta valori attendibili a causa della carenza di dati disponibili in quell'area. In generale, si osserva che le precipitazioni, oltre che subire l'influenza della configurazione orografica, sono strettamente dipendenti dalle quote, in quanto a quote maggiori, generalmente, corrispondono precipitazioni maggiori.

Per quello che riguarda le elaborazioni delle precipitazioni cumulate medie mensili, oltre che le mappe (Fig.22) relative, è stato prodotto un grafico che riassume i valori massimi e minimi di precipitazione media mensile, per il territorio studiato (Fig.23). Quello che si evince dal grafico, è che il minimo valore osservato è poco variabile, e si aggira per tutti i mesi intorno a 50 mm, con un

minimo di circa 25 mm nel mese di luglio ed un massimo di 69 mm nel mese di dicembre. I valori massimi di precipitazione mensile sul territorio in esame, invece, variano in maniera più netta, con

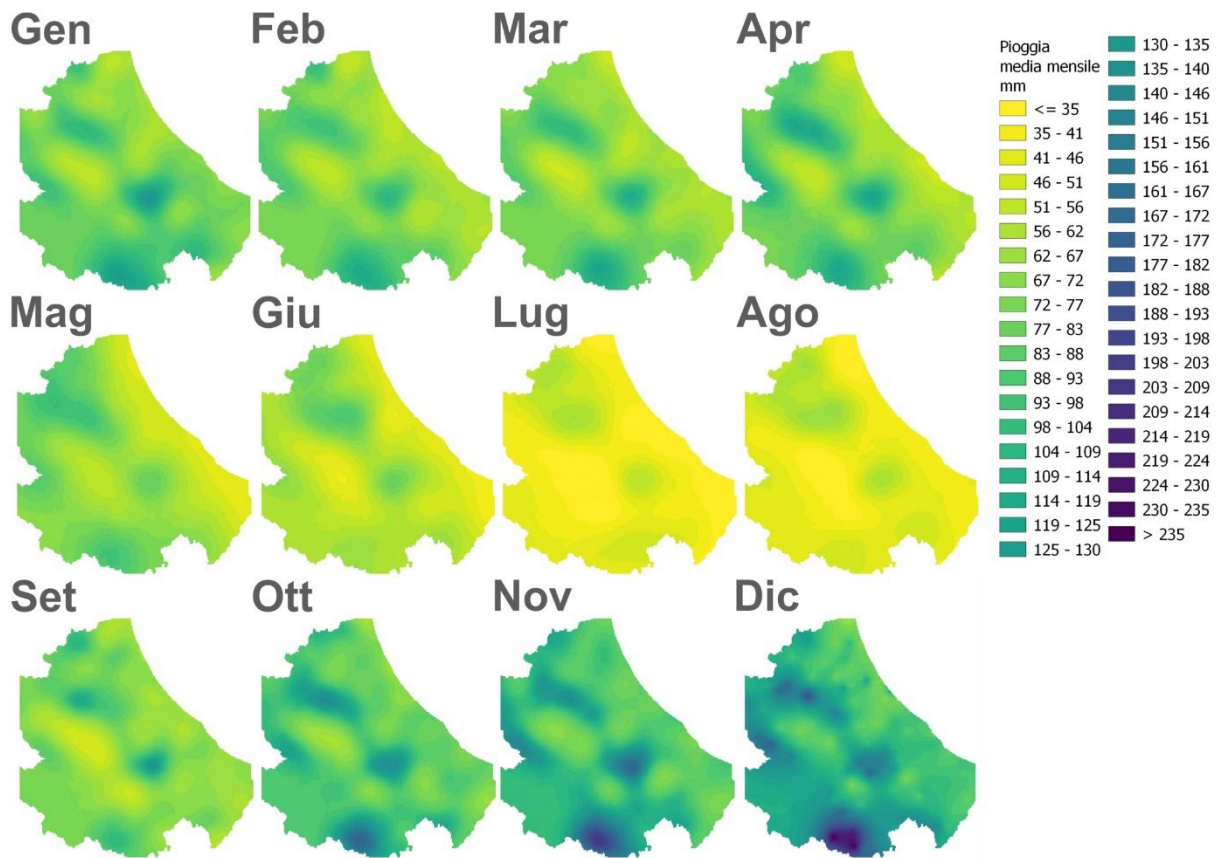


Figura 22. Mappe delle precipitazioni medie mensili relative al territorio abruzzese.

un minimo di circa 62 mm nel mese di luglio ed un massimo di 240 mm nel mese di novembre. Dal grafico, inoltre, è possibile osservare che la stagione con maggiore piovosità è quella autunnale, mentre le precipitazioni sono scarse nel periodo estivo.

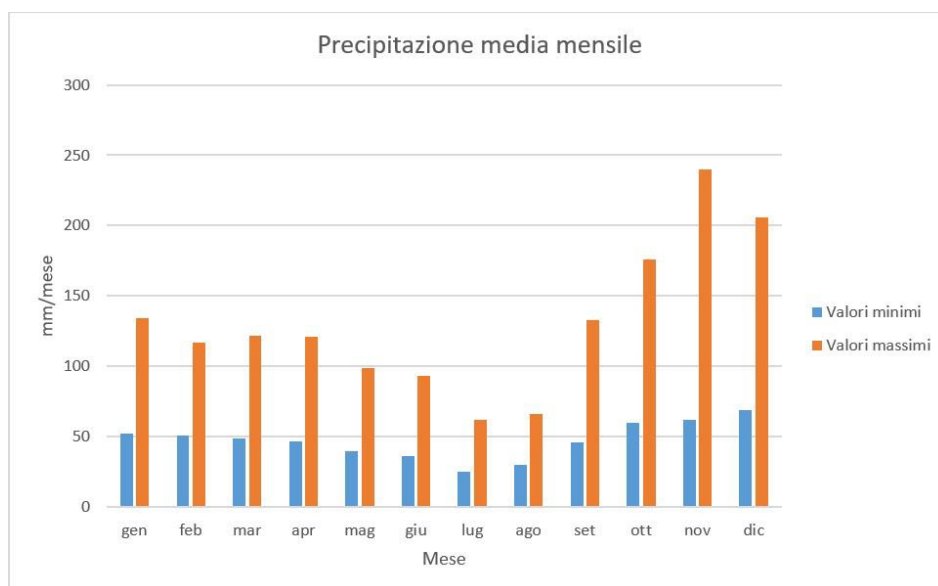


Figura 23. Istogramma che mostra i valori minimi e massimi delle precipitazioni medie mensili dell'area in esame.

6.4. Evapotraspirazione

L'evapotraspirazione è un fenomeno fisico che consiste nella perdita di acqua dal suolo sia per evaporazione dalla superficie stessa che per traspirazione delle foglie delle piante. I principali fattori che influenzano questo fenomeno sono la radiazione solare, la pressione di vapore atmosferico, la temperatura, il vento e l'umidità. Esistono diversi metodi e diverse equazioni che stimano la quantità d'acqua in uscita da un sistema per evapotraspirazione, in questo studio è stata utilizzata la formula di Turc (1961):

Equazione 4

$$ETR = P / (0.9 + P^2 / L^2)^{1/2}$$

dove:

ETR è l'evapotraspirazione

P è la precipitazione media annua, espressa in mm

L è il potere evaporante definito dalla formula:

$$L = 300 + 25T_P + 0.05T_P^3 \text{ nella quale } T_P = \sum (P_i \times T_i) / P$$

T_P è la temperatura fittizia media annua corretta in funzione di P, espressa in °C

P_i è la precipitazione media mensile relativa al mese i-esimo, espressa in mm

T_i è la temperatura media mensile relativa al mese i-esimo, espressa °C

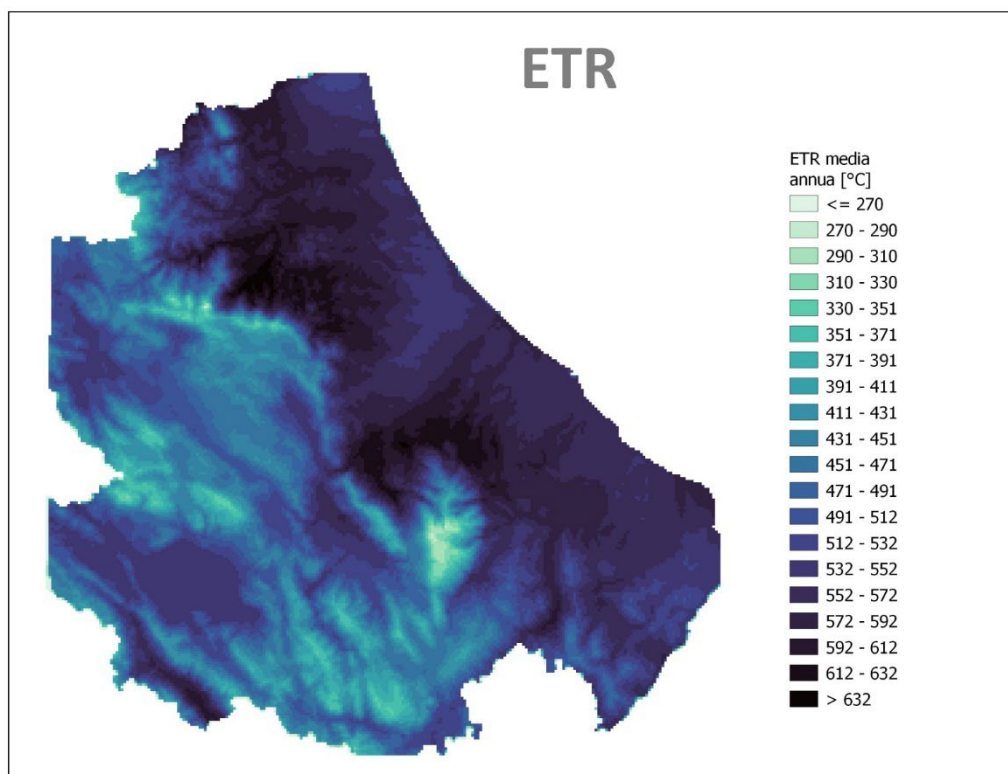


Figura 24. Mappa dei valori dell'evapotraspirazione calcolata per il territorio abruzzese.

Il calcolo dell'evapotraspirazione è stato effettuato in ambiente GIS, utilizzando come input il raster della temperatura media annua e della precipitazione media annua. La procedura è stata eseguita mediante un tool di raster calculation, che permette di sovrapporre i raster di input, di applicare la formula per ogni cella del raster (500 m di risoluzione) e di produrre il raster di output.

Il risultato dell'elaborazione è la mappa dell'evapotraspirazione media annua, espressa in mm (Fig.24), che rappresenta la lama d'acqua di evapotraspirazione ricavata da quella delle precipitazioni meteoriche. La distribuzione spaziale dell'evapotraspirazione segue perfettamente l'andamento della mappa delle temperature medie annue, con valori di evapotraspirazione minima in corrispondenza dei rilievi montuosi, con circa 290 mm di lama d'acqua evapotraspirata in corrispondenza della catena del Gran Sasso e del massiccio della Maiella, e valori massimi di evapotraspirazione (fino a 630 mm) a ridosso delle aree pedemontane esposte ad est/nord-est dei medesimi rilievi.

6.5. Infiltrazione

Per poter stimare l'infiltrazione, ossia la quantità di acqua che poi andrà a ricaricare gli acquiferi, è necessario avere l'informazione delle caratteristiche di permeabilità delle litologie che ricadono nell'area di interesse. A questo proposito, sono stati utilizzati i dati provenienti dal PTA e, in particolare, lo shapefile della carta dei complessi idrogeologici. Tale layer (Fig.25), costruito partendo dalla Carta Geologica dell'Abruzzo di Vezzani e Ghisetti (scala 1: 100.000 - 1998), permette di associare ad ogni litologia un coefficiente di infiltrazione potenziale (CIP, Celico, 1988). Il CIP è un parametro che indica la percentuale d'acqua disponibile che tenderà ad infiltrarsi a seconda della tipologia di complesso idrogeologico.

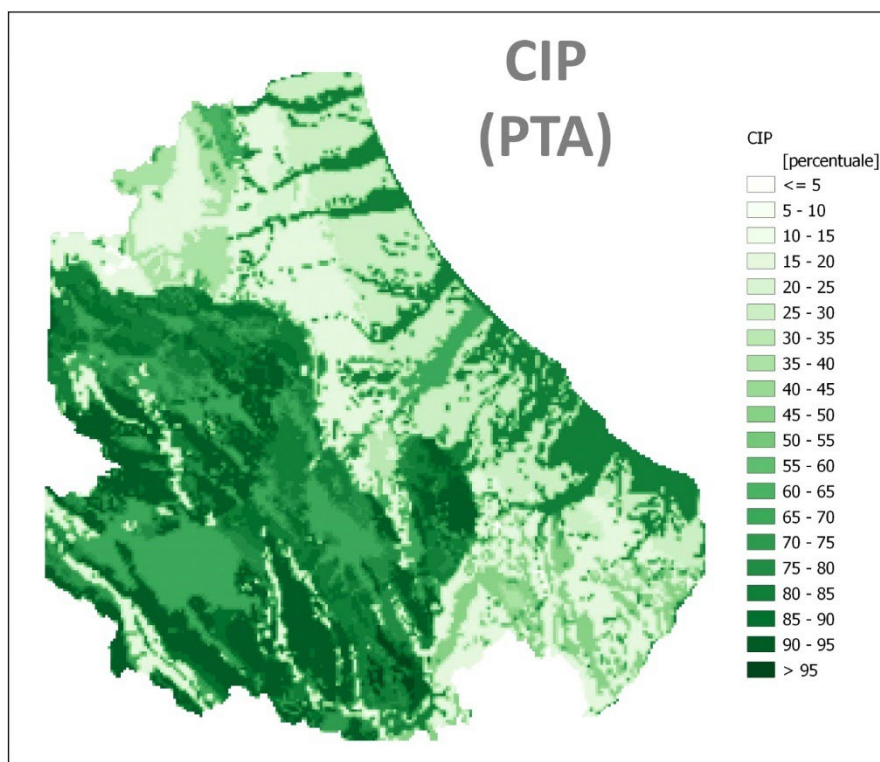


Figura 25. Mappa che rappresenta i valori del Coefficiente di Infiltrazione Potenziale delle litologie relative al territorio abruzzese. I valori di questa mappa sono stati tratti dallo studio del PTA).

Essendo noti i valori di precipitazione media annua (**P**) e di evapotraspirazione media annua (**ETR**), non considerando l'aliquota di stock dei volumi idrici (ΔV), è possibile ottenere la precipitazione efficace (**P_{EFF}**) che sarà data dalla somma dell'aliquota d'acqua d'infiltrazione (**I**) e dell'aliquota d'acqua di ruscellamento (**R**). Tale uguaglianza è descritta dall'equazione:

Equazione 5

$$P_{EFF} = P - ETR = R + I$$

Il calcolo dell'infiltrazione è stato fatto in ambiente GIS, partendo dalle mappe di precipitazione ed evapotraspirazione. Tramite il tool di raster calculation, invece, è stata ricavata la precipitazione efficace. Nota la precipitazione efficace, ogni pixel è stato moltiplicato per il coefficiente di infiltrazione potenziale, ottenendo così la mappa dell'infiltrazione (Fig.26). Dalla mappa si evince che i valori massimi di infiltrazione ricadono esattamente là dove si concentrano le maggiori quantità di acqua meteorica e dove sono presenti litologie di natura estremamente permeabile come i calcari fratturati. In particolare, queste condizioni si ritrovano nella zona del M. Marsicano, dove si osservano punte di oltre 1000 mm di infiltrazione annua, in corrispondenza del massiccio della Maiella (circa 850 mm di infiltrazione) e della catena del Gran Sasso (fino a circa 800 mm). L'infiltrazione è minore nella fascia adriatica prossima al litorale, dove si osserva una concomitanza di scarse precipitazioni annue e di litologie meno permeabili, dove sussistono i depositi di avanfossa pliocenica-quadernaria.

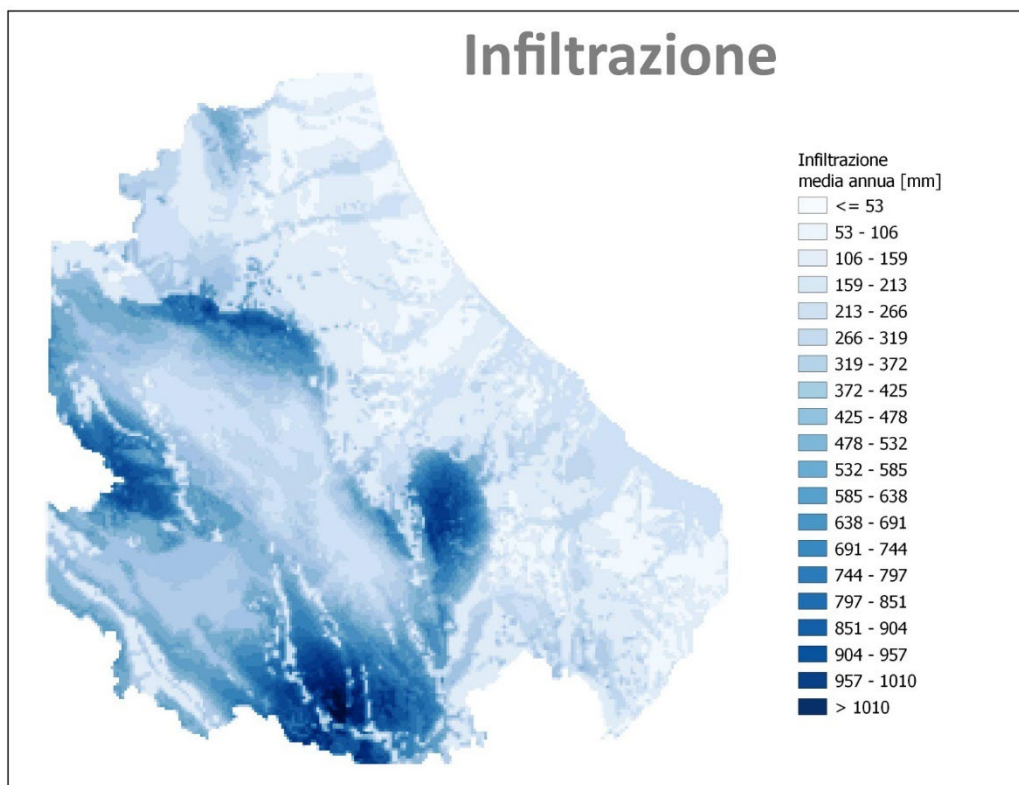


Figura 26. Mappa che rappresenta i valori di infiltrazione calcolata per il territorio abruzzese.

6.6. Ruscellamento

Il ruscellamento superficiale è generalmente costituito dai contributi degli apporti meteorici diretti e dai contributi sorgentizi che, di fatto, entrano a far parte del reticolo idrografico superficiale. Dal momento che in questa trattazione vengono considerati solo gli afflussi delle acque meteoriche, come

si può evincere anche dall'equazione 5, una volta che è nota la quantità di acqua infiltrata (**I**), basterà sottrarre questa aliquota alle precipitazioni efficaci (**P_{EFF}**) per ottenere l'acqua di ruscellamento (**R**):

Equazione 6

$$P_{EFF} - I = R$$

Anche in questo caso il calcolo è stato fatto applicando l'operazione di sottrazione tra raster (equazione 6), in modo da calcolare, cella per cella il valore del ruscellamento.

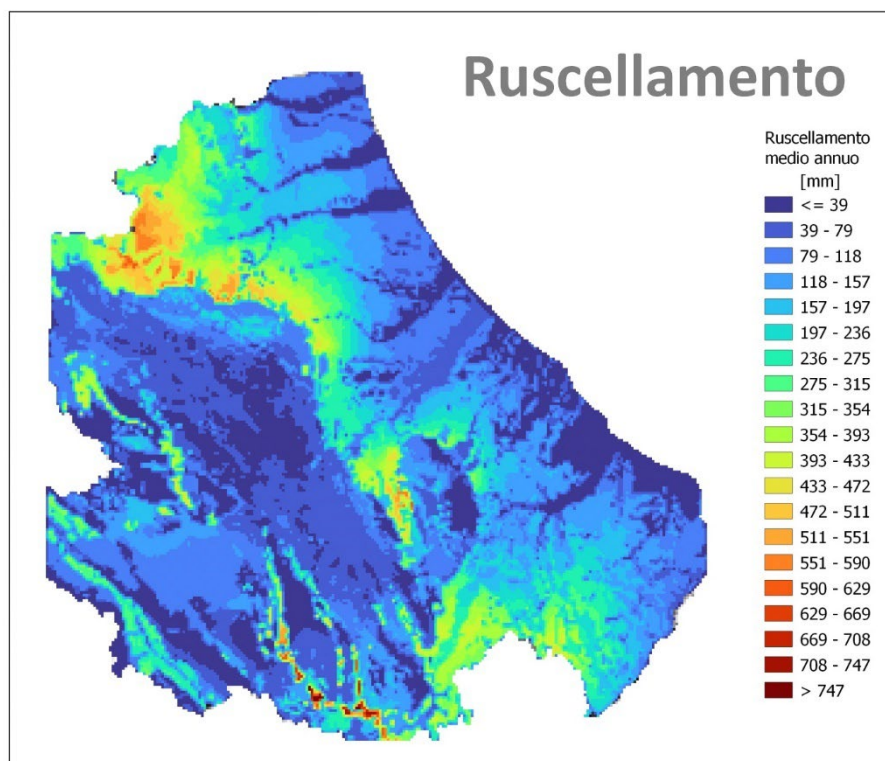


Figura 27. Mappa che rappresenta i valori del ruscellamento calcolata per il territorio abruzzese.

La mappa del ruscellamento ottenuta (Fig.27), a livello concettuale, è complementare alla mappa relativa all'infiltrazione (Fig.26), mostrando un elevato ruscellamento là dove si presenta una scarsa infiltrazione. I maggiori valori di ruscellamento, quindi, si osservano dove coesistono le condizioni di elevata quantità di afflusso meteorico e scarsa permeabilità della litologia affiorante; tale situazione è evidente, per esempio, dove affiora il flysh della Laga alle pendici settentrionali della catena del Gran Sasso (fino a circa 550 mm annui di ruscellamento), flysh della Maiella o flysh della Val Roveto (fino a 700 mm) o in corrispondenza delle unità alloctone molisane (fino a 400 mm).

7. ESEMPI DI UTILITÀ DEI DATI E DELLE ELABORAZIONI

In questo capitolo sono proposte alcune elaborazioni ottenute sfruttando i dati raccolti e rielaborati presenti nelle disponibilità dell'ufficio idrografico ed estrapolati dalla nuova piattaforma Datasphere. Pertanto, si tratta di semplici esempi che, sfruttando le serie temporali storiche e il lavoro svolto, hanno il solo scopo di illustrare le potenzialità e l'utilità di un sistema che preveda la centralizzazione della gestione dei dati inerenti alla risorsa idrica.

7.1. Bilancio di bacini campione

Nel capitolo 6 è stato proposto un calcolo del bilancio che esprime la quantità d'acqua presente non in termini volumetrici, ma in termini di lama d'acqua, in modo che il calcolo non dipenda dall'areale considerato. In questa parte del lavoro si propone un esempio di calcolo del bilancio includendo un'estensione territoriale che comprenda un confine significativo, come il perimetro di un bacino idrografico, e si propone di attuare anche un calcolo volumetrico degli afflussi meteorici e dei termini del bilancio. A questo proposito si sono scelti tre bacini idrografici rappresentativi, del Fiume Foro, del Fiume Sinello e del Fiume Vomano. Tali bacini sono stati scelti poiché:

- presentano una forma semplice, senza particolari complessità, e un andamento anti-appenninico;
- sussistono su aree di cui si dispone di un'ottima copertura dei dati termo-pluviometrici, non comprendendo le quote appenniniche più alte (ad eccezione del Vomano);
- non presentano particolari complicazioni orografiche;
- è possibile effettuare confronti con altri metodi di bilancio, essendo unità chiuse ben definite.

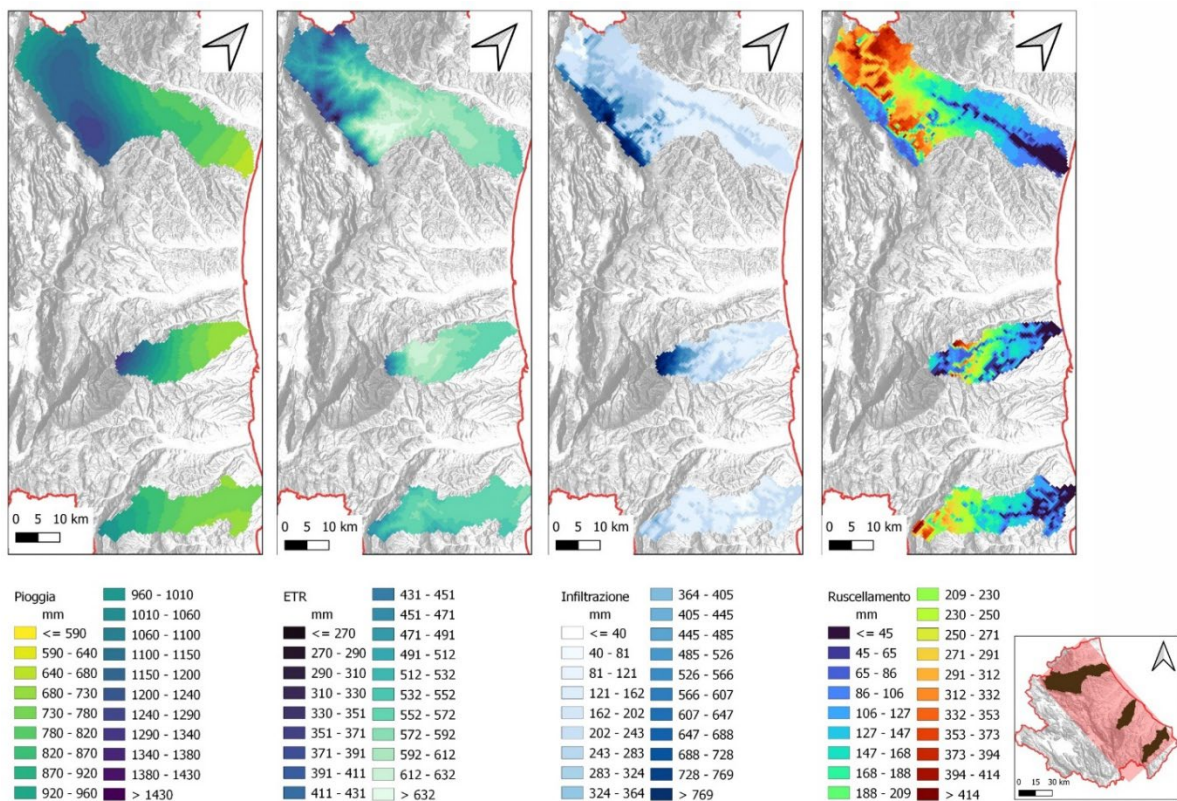


Figura 28. (Da sinistra a destra) Mappe della pioggia, dell'evapotraspirazione, dell'infiltrazione e del ruscellamento relative ai bacini del Fiume Vomano, Fiume Foro e Fiume Salinello.

Per ottenere le mappe relative ai termini del bilancio (afflussi meteorici, evapotraspirazione ecc.), si sono utilizzate le mappe precedentemente calcolate nel capitolo 6, effettuando un ritaglio con i poligoni dei bacini idrografici selezionati, ed ottenendo così le lame d'acqua equivalenti (Fig.28).

Il passaggio tra lame d'acqua e volumi, invece, è stato fatto moltiplicando l'area delle celle dei raster con valori uguali di lame d'acqua, per il numero di celle aventi quel preciso valore. In questo modo è stata creata una tabella con i valori volumetrici di tutti i termini del bilancio (Tab.2). Dalla sua analisi è possibile confrontare i risultanti, anche in relazione a quanto già noto dal PTA (Tab.3). La tabella 3 mostra, invece, nel riquadro di sinistra e quello centrale, le differenze sia in termini di lama d'acqua che in termini volumetrici tra il bilancio del PTA e quello di questo studio. Dal confronto volumetrico, con i dati suddivisi per bacini (riquadro centrale Tab.3), è evidente come i bacini del Foro e del Sinello presentino, in generale, differenze poco marcate rispetto al PTA, mentre il Vomano presenta differenze maggiori. Inoltre, quasi tutte le voci relative al bilancio dei vari bacini, nel confronto dei dati con il PTA, risultano essere negative (valori minori nello studio attuale), ad eccezione del valore di evapotraspirazione, che è maggiore in questa trattazione. Questo aspetto potrebbe dipendere dalle maggiori differenze, in termini di precipitazioni, tra le elaborazioni di questo studio e quelle del PTA. Il riquadro a destra della tabella 3, infine, mostra le portate medie annue, in metri al secondo, ottenute dividendo i metri cubi totali per il numero di secondi presenti in un anno. Tali portate, che si riferiscono approssimativamente alla chiusura reale dei bacini, risultano in linea con quelle indicate dal PTA.

Bacino	Studio								PTA							
	Pioggia		ETR		Infil.		Rusc.		Pioggia		ETR		Infil.		Rusc.	
	[mm]	Mmc	[mm]	Mmc	[mm]	Mmc	[mm]	Mmc	[mm]	Mmc	[mm]	Mmc	[mm]	Mmc	[mm]	Mmc
Foro	876	205	577	135	186	43	113	26	930	218	562	132	222	51	147	35
Sinello	808	232	552	158	95	27	160	46	769	242	503	158	96	30	169	53
Vomano	1006	794	540	426	183	144	282	223	1058	837	451	357	267	198	339	281

Tabella 2. La tabella mostra i valori di lama d'acqua (mm) e volumi (Mmc – Milioni di metri cubi) ottenuti calcolando i termini del bilancio idrologico (Pioggia, ETR – Evapotraspirazione, Infiltrazione e Ruscamento) per i bacini del F. Foro, F. Sinello e F. Vomano. I valori sotto la voce "studio" si riferiscono a quelli effettuati in questa trattazione, mentre quelli sotto la voce "PTA" si riferiscono ai quantitativi calcolati nello studio del PTA (Piano di Tutela delle Acque della Regione Abruzzo).

Bacino	Differenza (Studio - PTA)			
	Pioggia [mm]	ETR [mm]	Infil. [mm]	Rusc. [mm]
Foro	-54	15	-36	-34
Sinello	39	49	-1	-9
Vomano	-52	89	-84	-57

Bacino	Differenza (Studio - PTA)			
	Pioggia [Mmc]	ETR [Mmc]	Infil. [Mmc]	Rusc. [Mmc]
Foro	-13	3	-8	-9
Sinello	-10	0	-3	-7
Vomano	-43	69	-54	-58

Bacino	Portate medie annue (mc/s)	
	Studio	PTA
Foro	0,824455	1,109843
Sinello	1,45865	1,680619
Vomano	7,071284	8,910452

Tabella 3. Il riquadro a sinistra della tabella mostra la differenza, in termini di lama d'acqua, delle componenti del bilancio calcolate in questo studio e nello studio del PTA (Piano di Tutela delle Acque della Regione Abruzzo) per i bacini del F. Foro, del F. Sinello e del F. Vomano. Il riquadro centrale, analogamente al riquadro di sinistra, mostra le differenze in termini di volumi (Mmc - milioni di metri cubi). Il riquadro a destra mostra un confronto tra le portate calcolate a chiusura dei vari bacini, sia per questo studio che per lo studio del PTA.

7.2. Metodologia per il calcolo di altri tematismi: esempio delle pressioni antropiche

Come anticipato nel capitolo 4, per quello che concerne il reperimento e la rielaborazione dei dati nelle disponibilità dell'ufficio, le informazioni relative alla pressione antropica sui corpi idrici, per la Regione Abruzzo, sono ancora estremamente frammentati e carenti in termini di quantità di prelievi, sebbene siano state eseguite elaborazioni volte a determinare almeno i punti delle derivazioni. È di fondamentale importanza, anche ai fini dei calcoli dei bilanci, valutare la fruibilità della risorsa idrica in termini di pressioni antropiche, iniziando per esempio a censire i prelievi e le restituzioni. Per questi motivi, in questa parte del lavoro, si propone una metodologia che potrebbe essere sfruttata, allorquando si avranno dati più affidabili, per quantificare la pressione antropica sui corpi idrici e, in generale, per caratterizzare qualsiasi tematismo espresso attraverso una grandezza georiferita.

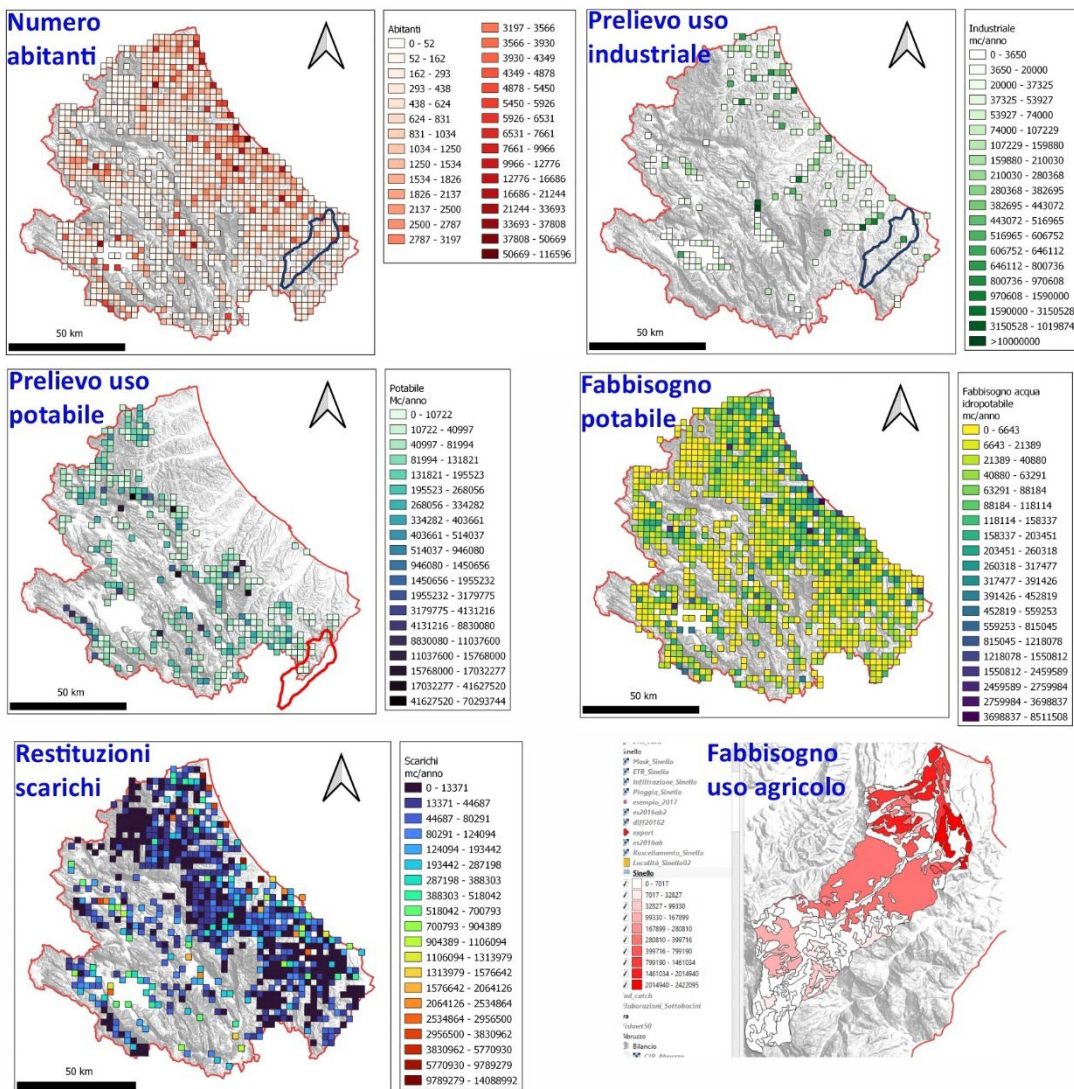


Figura 29. (In alto a sinistra) Mappa che rappresenta il numero di abitanti per cella calcolata. (In alto a destra) Mappa che rappresenta il quantitativo d'acqua prelevata ad uso industriale. (Al centro a sinistra) Mappa che rappresenta il quantitativo di acqua prelevata per scopi idropotabili. (Al centro a destra) Mappa che rappresenta il fabbisogno di risorsa idropotabile in termini volumetrici. (In basso a sinistra) Mappa che rappresenta il quantitativo di acqua restituita dagli scarichi. (In basso a destra) Mappa che rappresenta il fabbisogno idrico per soddisfare la richiesta ad uso agricolo all'interno del bacino del Sinello.

Il procedimento utilizzato consiste nell'incrociare i dati puntuali dei layer a disposizione, trasponendo l'informazione su una matrice vettoriale costituita da poligoni quadrati ad area nota, o comunque, in

generale, su qualsiasi poligono che delimiti un'area definita, come potrebbe essere quella di un bacino idrografico. In questo caso, si è scelto di suddividere il territorio in una matrice formata da celle di 2.5 km di lato e di riportare i dati degli shapefile puntuali, con vari tematismi, sull'area di queste celle. Tale processo potrebbe essere riassunto descrivendolo come una rasterizzazione di un dato vettoriale.

Sono state quindi elaborate le mappe (Fig.29) per i seguenti tematismi, a partire dai dati ricavati nel capitolo 4:

- numero di abitanti, derivato dallo shapefile scaricabile dal sito della Regione Abruzzo;
- prelievo per uso industriale, derivato dai dati del database sulle derivazioni del genio civile (Database domande di concessione derivazione - fonte Genio Civile);
- prelievo per uso agricolo, derivato dalla mappa del Land Cover Corine 2018 e dai parametri di fabbisogno irriguo più noti in letteratura (FAO - Allen et al., 1998);
- fabbisogno d'acqua idropotabile, derivato a partire dallo shapefile del numero di abitanti e considerando un fabbisogno pro-capite di circa 200 l/giorno;
- restituzione degli scarichi, su base censimento del PTA.

7.3. Calcolo del WEI

Le precedenti elaborazioni, relative al capitolo 7.2 (Fig.29) e al capitolo 7.1, sono state utilizzate per simulare il calcolo di alcune grandezze utili alla quantificazione della pressione antropica. In particolare, è stato scelto di applicare questa metodologia al bacino del Sinello, avendo quest'ultimo delle caratteristiche, come per esempio il fatto di non avere apporti sorgivi, che lo rendono facilmente studiabile in fase di sperimentazione metodologica.

Per le valutazioni delle pressioni antropiche si è scelto di utilizzare l'indice WEI (Water Exploitation Index), nella sua formula semplice:

Equazione 7

$$WEI = \frac{\text{Prelievo idrico annuo}}{\text{Risorsa idrica rinnovabile annua media su lungo periodo}} \cdot 100 [\%]$$

dove il denominatore della frazione è costituito da:

Equazione 8

$$RWR = P - ETR + EI$$

dove:

RWR è la risorsa idrica rinnovabile;

P sono le precipitazioni, in termini di volume, affluite all'interno dell'area considerata;

ETR è l'evapotraspirazione, in termini di volume, relativa all'area considerata;

EI è l'External Inflow, ovvero il volume d'acqua che entra dall'esterno (tramite flussi e non precipitazioni) all'interno dell'area considerata.

Tutti i termini sopra elencati vanno calcolati utilizzando la media annuale di lungo termine, ossia con una media dove le serie storiche considerate per i calcoli superino almeno i 20 anni di durata.

In generale, il WEI è la domanda totale annua media di acqua dolce divisa per le risorse medie naturali di acqua dolce a lungo termine. Fornisce un'indicazione di come la domanda totale di acqua esercita pressione sulla risorsa idrica. Identifica anche quei bacini che hanno una forte domanda in relazione alle loro risorse e quindi sono inclini a soffrire di problemi di stress idrico (Agenzia Europea per l'ambiente).

Per questo indice sono stati stabiliti i seguenti valori di soglia per indicare i livelli di stress idrico:

- assenza di stress < 10%;
- stress basso da 10 a < 20%;
- stress idrico dal 20% a < 40%;
- grave stress idrico \geq 40%.

Quando l'indice di sfruttamento è superiore al 20%, sussistono le condizioni di stress idrico durante i periodi di siccità o di bassa portata dei corsi d'acqua.

Per l'esempio riportato del bacino idrico del Sinello, in base alle elaborazioni preventivamente effettuate, il Prelievo Idrico Annuo è stato quantificato in circa 26 milioni di metri cubi, considerando 3 milioni di metri cubi d'acqua per l'uso civile, 7 milioni di metri cubi d'acqua per l'uso agricolo e 16 milioni di metri cubi d'acqua per l'uso industriale. Il termine dell'External Inflow, invece, è stato considerato trascurabile, in ragione delle caratteristiche del bacino; quindi, la Risorsa Idrica Rinnovabile è stata quantificata in circa 76 milioni di metri cubi d'acqua, valore derivante dalla sottrazione tra i 232 milioni di metri cubi delle precipitazioni e 158 milioni di metri cubi di evapotraspirazione. Facendo il rapporto tra Prelievo Idrico Annuo e Risorsa Idrica Rinnovabile, si ottiene un valore dell'indice WEI di circa 35%, ponendo il bacino in questione nell'intervallo che rappresenta una situazione di stress idrico.

7.4. Curve di esaurimento delle sorgenti

I dati raccolti sulle sorgenti, come per esempio quelli provenienti dalle sorgenti del Fiume Tavo (M4, M5 ed M6), sono di grande aiuto anche nella comprensione della idrodinamica delle sorgenti ed in particolare delle caratteristiche delle curve di esaurimento. Nel dettaglio, i dati relativi alle risorgenze di "Mortaio D'Angri" e "Vitella D'Oro" (Fig.30 e Fig.32), si riferiscono a periodi di campionamento sufficientemente lunghi per poter comprendere almeno un ciclo di esaurimento delle sorgenti monitorate. Questo tipo di studio, inoltre, è di particolare importanza per poter comprendere la così detta risposta dell'acquifero, ossia il tempo che intercorre tra le precipitazioni meteoriche e l'innalzamento della portata delle sorgenti, fornendo informazioni sui tipi di circuito che alimentano le sorgenti in esame (Celico, 1988).

L'idrogramma di portata del gruppo sorgivo Mortaio D'Angri (Fig.30), il cui monitoraggio è iniziato il 29/06/2020, ci permette di individuare tre cicli principali e un ciclo secondario (incompleto), di esaurimento della sorgente, mentre si possono notare tre fasi di ricarica. Gli estremi di portata osservata variano nel seguente modo: i massimi registrati, sono stati osservati il 17/03/2021 (277 l/s), il 13/12/2021 (367 l/s) ed il 17/05/2022 (317 l/s), mentre le fasi di minimo si sono verificate il 19/11/2020 (134 l/s) ed il 7/10/2021 (143 l/s). Il periodo di ricarica della sorgente del 2020 è stato lento e graduale: infatti, ad eccezione della prima risalita abbastanza impulsiva a seguito delle cospicue precipitazioni autunnali, la risalita si è distribuita uniformemente nei mesi di dicembre, gennaio e febbraio (2020-2021). In questo lasso di tempo le precipitazioni giornaliere sono state diffuse, senza mai riportare valori eccessivamente elevati (generalmente < 40 mm). Il secondo

periodo di ricarica, relativo al 2021, invece, ha visto un rapidissimo incremento della portata, avvenuto interamente nella seconda metà di novembre, quando si sono susseguite precipitazioni sussistenti e abbastanza continuative nel tempo. Un altro rapido incremento della portata è avvenuto in risposta alle precipitazioni del maggio 2022. Inoltre, si osserva un certo periodo di ritardo tra il picco delle precipitazioni ed il picco della portata della sorgente; tale lag temporale è stato identificato con un lasso di tempo variabile tra circa 6 ed 8 giorni, a riprova della rapida circolazione dell'acquifero, tipica dei condotti carsici e degli acquiferi intensamente fratturati.

In generale, è quindi possibile suddividere un ciclo in una fase di ricarica ed una fase di esaurimento, quest'ultima approssimabile con diversi modelli analitici di svuotamento. In particolare, le curve di esaurimento di acquiferi caratterizzati da successioni carbonatiche fratturate, sono ben approssimabili con il modello ad esaurimento esponenziale di Maillet (1905; Celico, 1988 – Fig.31), che segue un'equazione del tipo:

Equazione 9

$$Q = Q_0 \cdot e^{-\alpha t}$$

dove:

Q è la portata della sorgente al tempo t , espressa in m^3/s

Q_0 è la portata della sorgente al tempo t_0 all'inizio del periodo di esaurimento, espressa in m^3/s

α è il coefficiente di esaurimento

t è il tempo trascorso dall'inizio dell'esaurimento, espresso in giorni

Considerando il grafico in Fig.31 e la serie di dati relativa, l'unica incognita è rappresentata dal coefficiente di esaurimento α , fermo restando che l'analisi di esaurimento è più valida ed efficace se le portate della sorgente in fase di scarica non sono influenzate dalla presenza di precipitazioni.

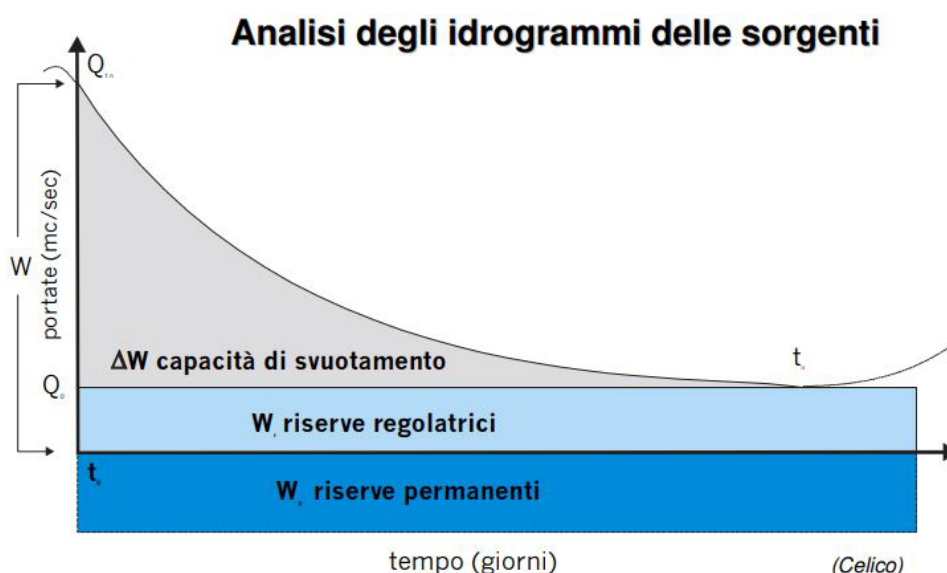


Figura 30. Schema generico dell'esaurimento di una sorgente, dove sono indicate le riserve permanenti, le riserve regolatrici e la capacità di svuotamento. Tratto da Celico, 1988.

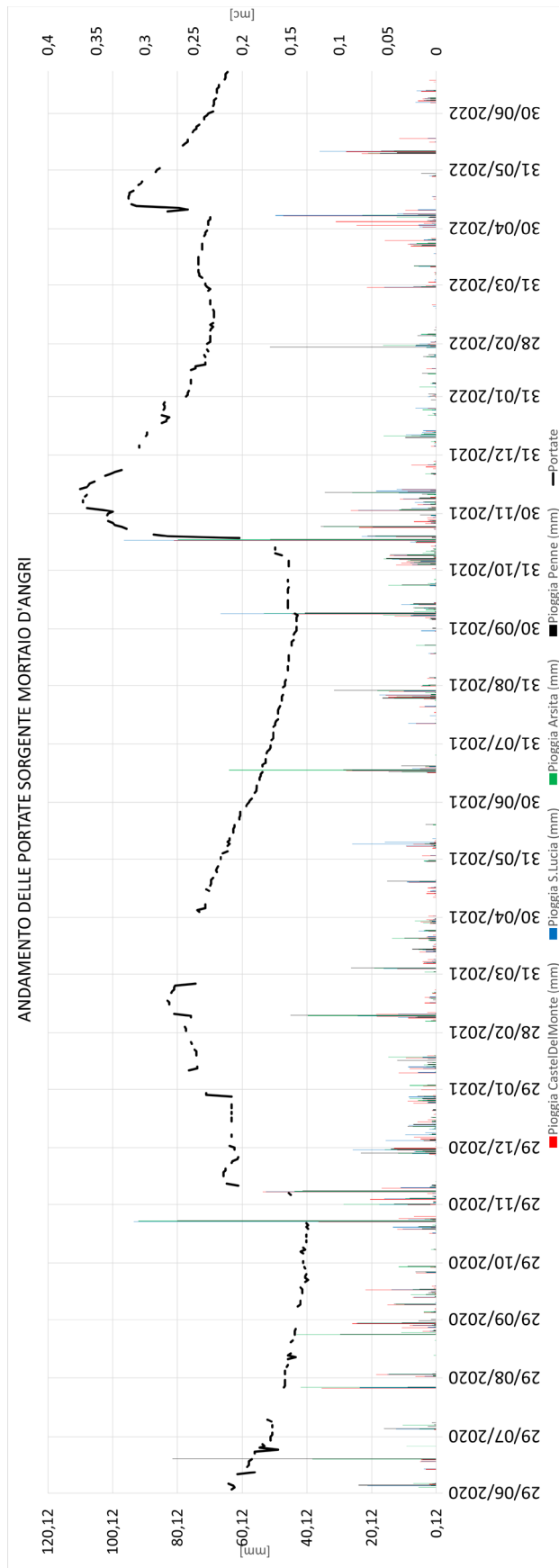


Figura 31. Idrogramma della sorgente Mortaio D'Angri che mostra le portate misurate dalla fine di giugno 2020 all'inizio luglio 2022.

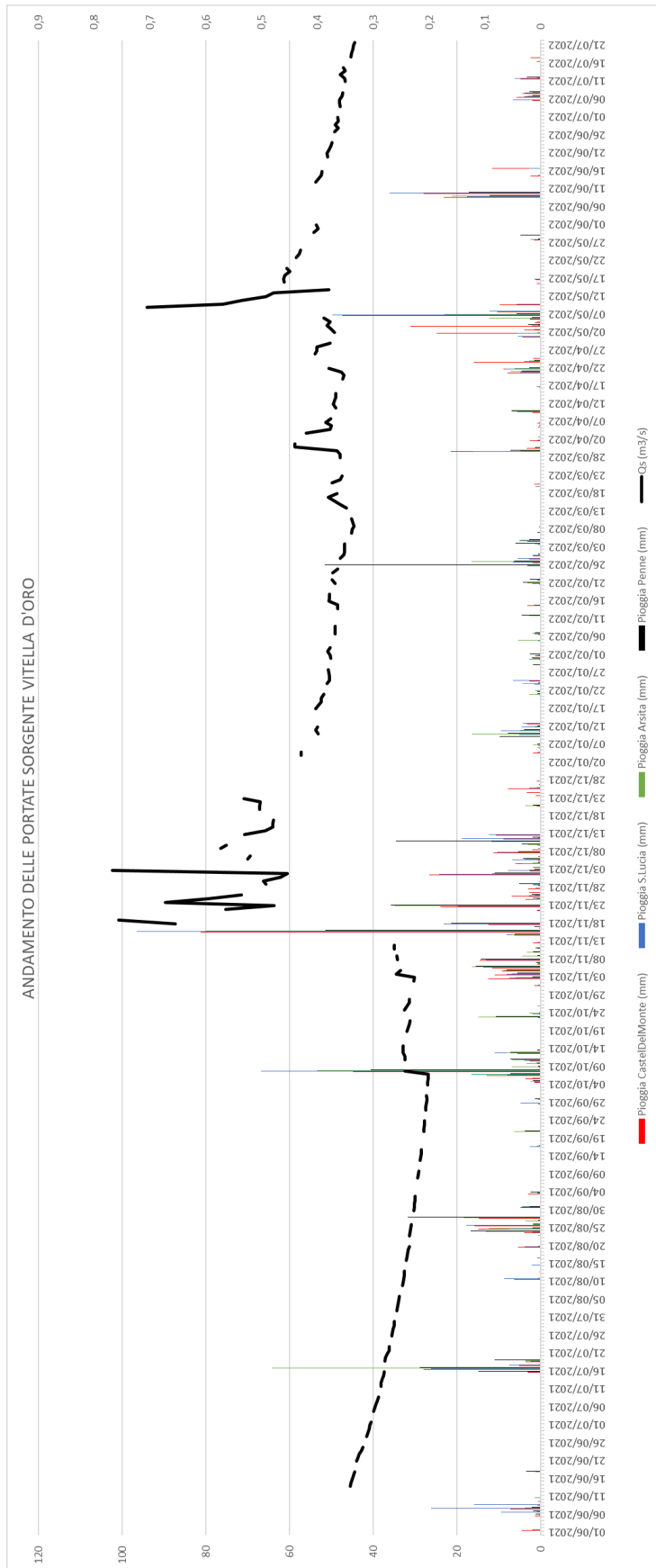


Figura 32. Idrogramma della sorgente Vitella D'Oro che mostra le portate misurate dall'inizio di giugno 2021 all'inizio luglio 2022.

Sfruttando l'equazione 9, è possibile ricavare il valore di α , a partire dalla relazione:

Equazione 10

$$\alpha = (\ln Q_0 - \log Q_{tn})/t_n$$

dove Q_0 è la portata all'inizio dell'esaurimento, Q_{tn} è la portata alla fine del periodo di esaurimento, mentre t_n è il tempo di esaurimento in giorni. Tendenzialmente un valore di α elevato rappresenta una risposta repentina della sorgente alle precipitazioni, una ridotta capacità di laminazione dell'acquifero e un rapido svuotamento della sorgente. Inoltre, dopo aver quantificato il coefficiente di esaurimento, è possibile stimare tutta una serie di parametri che descrivono, da un punto di vista idrodinamico, le caratteristiche della sorgente. Tali valori sono:

l'immagazzinamento dinamico, che è il volume di immagazzinamento al tempo zero, ed è definito dalla relazione:

Equazione 11

$$W = (Q_0 86400) / \alpha$$

l'immagazzinamento al tempo t , che è il volume di esaurimento, ossia la riserva regolatrice, definita dall'equazione:

Equazione 12

$$W_t = (Q_0 86400) / \alpha e^{\alpha t}$$

il volume d'acqua defluito durante l'evento

Equazione 13

$$\Delta W = W - W_t$$

Prendendo in considerazione la curva di svuotamento della sorgente, che va dal periodo del 17 marzo 2021 al 7 ottobre 2021 (204 giorni), e le portate di inizio esaurimento e fine esaurimento, per la sorgente Mortaio D'Angri, sono stati calcolati i seguenti parametri:

$$\alpha = 3.24 \cdot 10^{-3} \text{ 1/giorni}, W = 7384288 \text{ m}^3, W_t = 3812105 \text{ m}^3, \Delta W = 3572183 \text{ m}^3$$

L'idrogramma di portata della sorgente Vitella D'Oro (Fig.32), indica un periodo di monitoraggio minore, che va dal 1/06/2021 al 22/07/2022, inquadrando gran parte della fase di esaurimento della sorgente relativa all'anno 2021, il successivo periodo di ricarica e tutto il periodo di esaurimento relativo all'estate attuale. Per la serie storica di questa sorgente sono stati osservati tre massimi relativi, uno ad inizio delle misurazioni quando la portata misurata ammontava a 342 l/s, uno al culmine della ricarica con 767 l/s, osservata il giorno 3/12/2021 ed infine il massimo relativo del 9/05/2022, quando è stata osservata una portata di 706 l/s. La portata minima assoluta, invece, è stata misurata il 7/10/2021, con un valore di 202 l/s. Inoltre, l'anno attuale, seppur in un contesto di scarica della portata, non ha seguito il classico andamento di decremento esponenziale, essendo avvenuti diversi episodi precipitativi in corrispondenza dell'area di ricarica della sorgente. Per questi motivi non è stato possibile verificare tutti i parametri calcolati precedentemente per la sorgente Mortaio d'Angri in maniera altrettanto precisa e affidabile.

Una differenza che risalta tra le due sorgenti è che la sorgente della Vitella d'Oro ha tempi di risposta, per eventi precipitativi di una certa rilevanza, notevolmente più rapidi, nell'ordine di 1-2 giorni. Un ulteriore riscontro a questa osservazione può essere individuato nelle parti del grafico a cavallo delle

precipitazioni più importanti, dove si osservano picchi di portata che si esauriscono in un lasso di tempo molto breve (entro una settimana dall'evento), delineando tratti del tracciato molto ripidi. Tale comportamento è tipico delle sorgenti alimentate da circolazione carsica molto rapida, dove i condotti veicolano rapidamente l'acqua meteorica dalla superficie alla falda. È altresì evidente come la sorgente della Vitella d'Oro risponda, con aumenti di portata, anche ad eventi meteorici meno importanti.

7.5. Script per l'estrazione, il filtraggio e l'analisi dei dati

I primi dati raccolti dall'Ufficio relativamente alle serie meteorologiche ed idrografiche, risalgono generalmente ai primi anni del Novecento, con qualche eccezione relativa ad alcune stazioni meteorologiche, risalenti alla fine dell'Ottocento. I metodi di raccolta e registrazione dei dati sono variati molto nel tempo, seguendo le innovazioni tecnologiche disponibili e più all'avanguardia. Inizialmente i dati erano raccolti trascrivendoli a mano su carta e viaggiavano spesso per posta. A partire dagli anni 50 è iniziata la diffusione di sistemi di registrazione meccanici che automatizzavano di molto la raccolta dati, mentre il supporto di registrazione continuava ad essere cartaceo. Durante gli anni 80 e a ridosso degli anni 90, con la rivoluzione digitale, i dati iniziavano ad essere registrati su supporti magnetici e digitali ed erano spesso trasferiti mediante l'utilizzo dei ponti radio. Le tecnologie del nuovo millennio, invece, hanno favorito e consolidato la registrazione del dato su supporti digitali, mentre l'affermazione di internet ha permesso di integrare anche altre modalità di trasferimento a supporto dei vecchi ponti radio. Considerando tutta l'evoluzione storica effettuata dalle metodologie di raccolta e di trasferimento delle informazioni riguardanti le grandezze fisiche rilevate, è stato inevitabile che i dati venissero tramandati in maniera spesso incompleta e con formati, procedure di acquisizione e passi di campionamento differenti. Inoltre, l'avvento della tecnologia digitale ha marcato una graduale diminuzione del controllo umano sul dato, facendo acquisire notevole importanza al processo di validazione a posteriori dell'acquisizione. È di fondamentale importanza, inoltre, in tutte le attività che prevedono l'uso, l'elaborazione e la distribuzione di dati meteorologici e idrologici, poter interrogare i database utilizzando strumenti che permettano di effettuare filtri temporali, spaziali e dei valori stessi, garantendo allo stesso tempo anche un minimo di controllo qualità del dato.

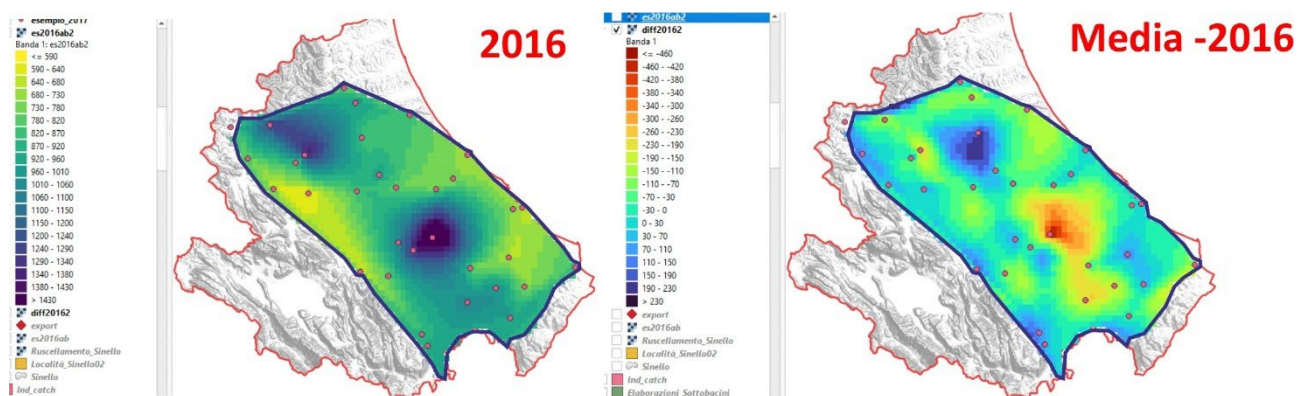


Figura 33. A sinistra una mappa che mostra la piovosità del 2016 calcolata in un'area del territorio abruzzese, mentre a destra mappa delle anomalie di piovosità calcolata tra l'anno 2016 e la piovosità media ottenuta nelle elaborazioni del bilancio idrico.

Per la serie di motivi sopra elencanti, è stato realizzato uno script in linguaggio Python, che aiutasse ad effettuare un filtraggio dei dati dal database, permettendo di selezionare serie storiche con

determinati criteri di continuità e di un range temporale definito, creando un file di output in formato CSV georeferenziato e pronto per essere caricato su un qualsiasi software GIS. Questo tipo di elaborazione permette di creare, in maniera agevole, un elaborato cartografico relativo ad una variabile georiferita, usando metodi d'interpolazione o sfruttando la geostatistica. Per esempio, è possibile creare rappresentazioni cartografiche di serie storiche molto brevi (es. perturbazioni, medie mensili) o di serie storiche più lunghe (medie climatiche), o ancora effettuare calcoli più complessi che potrebbero aiutare nella valutazione dei cambiamenti climatici, come determinare le anomalie termiche o pluviometriche rispetto ad un valore medio di riferimento. La figura 33, che è stata riportata come esempio, mostra le anomalie pluviometriche dell'anno 2016, utilizzando i dati di tutte le stazioni con serie continue in questo lasso di tempo e confrontandoli rispetto alla media delle precipitazioni già elaborata nella sezione del bilancio idrologico (cap.6). In questo caso è possibile osservare come si distribuiscono le anomalie pluviometriche dell'anno considerato, evidenziando un discreto surplus nell'area dei monti del Gran Sasso (fino a circa +200 mm) e un forte deficit nell'area del massiccio della Maiella (circa -450 mm).

7.6. Esempio di studio su serie storiche

Un altro grande vantaggio nell'utilizzo del linguaggio di programmazione Python per la trattazione e l'analisi dei dati, consiste nel fatto che tale linguaggio possiede una vasta gamma di librerie (tool precompilati per svolgere determinati compiti). Nell'esempio riportato in figura 34, infatti, è possibile osservare il confronto di un dato di precipitazione con un dato di un indice teleconnettivo effettuato tramite librerie Python (Pandas, Numpy, Matplotlib). In particolare, è stata calcolata la media mobile ad undici anni per la serie storiche delle precipitazioni medie mensili della stazione di Pagliaroli (TE), confrontandole con l'indice teleconnettivo NAO (North Atlantic Oscillation -Jones et al. 1997).

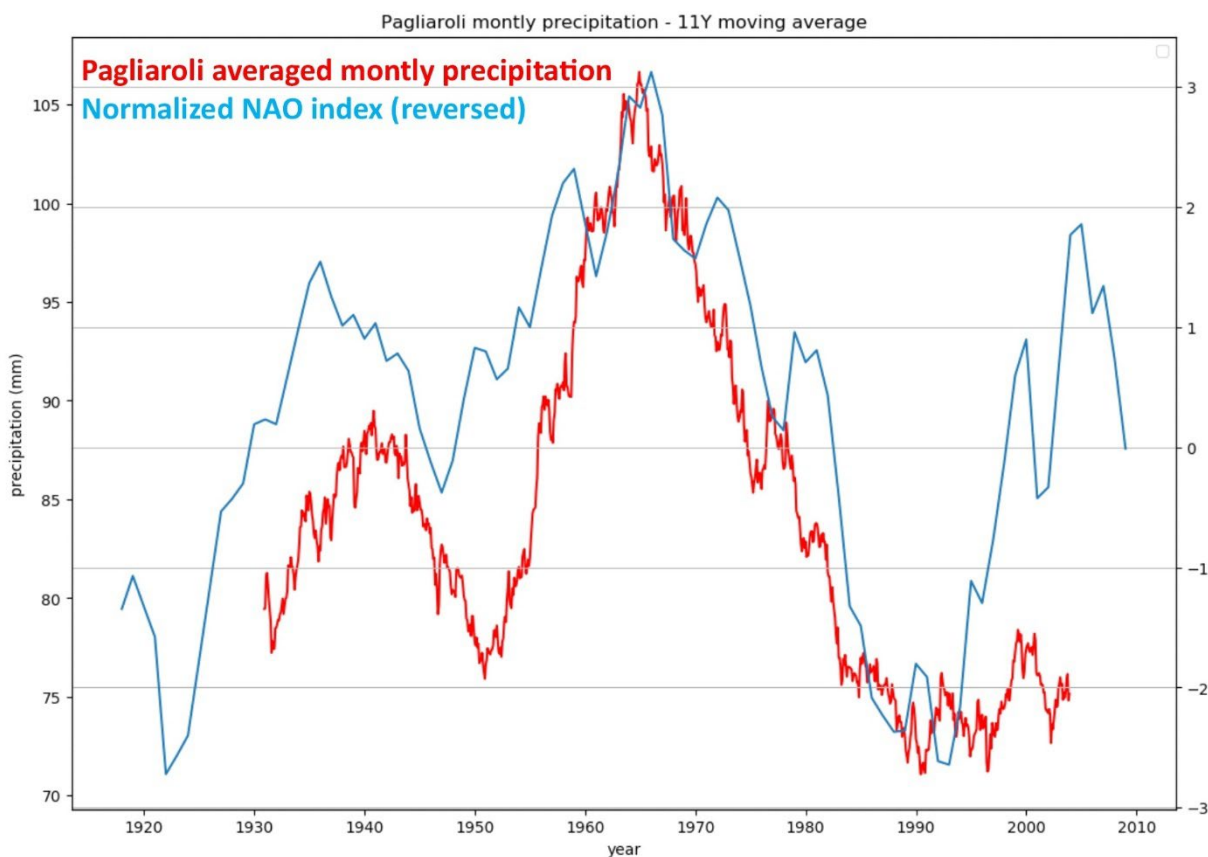


Figura 34. Grafico che mostra il confronto tra la media delle piogge mensili della stazione di Pagliaroli e l'inverso dell'indice NAO.

La NAO è un modello di circolazione atmosferica che descrive la fluttuazione ciclica della differenza di pressione a livello del mare tra l'Islanda e l'arcipelago delle Azzorre. L'indice, infatti, è calcolato come differenza tra le anomalie medie di pressione sulle Azzorre e le anomalie osservate in Islanda. Utilizzando i tool di Python è stato possibile calcolare il coefficiente di correlazione tra l'inverso dell'indice NAO e la media mobile a undici anni delle precipitazioni medie mensili della stazione considerata. In questo caso è possibile apprezzare un'elevata correlazione (82% circa) tra le due variabili (dato NAO fornito da NOAA). Tale confronto, come già suggerito in diversi studi (es. Vergni e Todisco, 2016; Fiorillo et al., 2015) potrebbe suggerire alcune considerazioni utili in tema di cambiamenti climatici, evidenziando, per esempio, la ciclicità sul lungo periodo delle precipitazioni e mostrando che valori dell'indice fortemente negativi possono essere associati a periodi a più alta piovosità nell'area della stazione considerata.

7.7. WebGIS e progetti di gestione dei dati

Uno dei motivi per cui i GIS sono importanti nella pianificazione urbana e nella gestione delle risorse è la possibilità di comprendere meglio le esigenze attuali del territorio e quindi creare i presupposti per la progettazione a lungo periodo. Con la crescita della popolazione ed il progredire delle

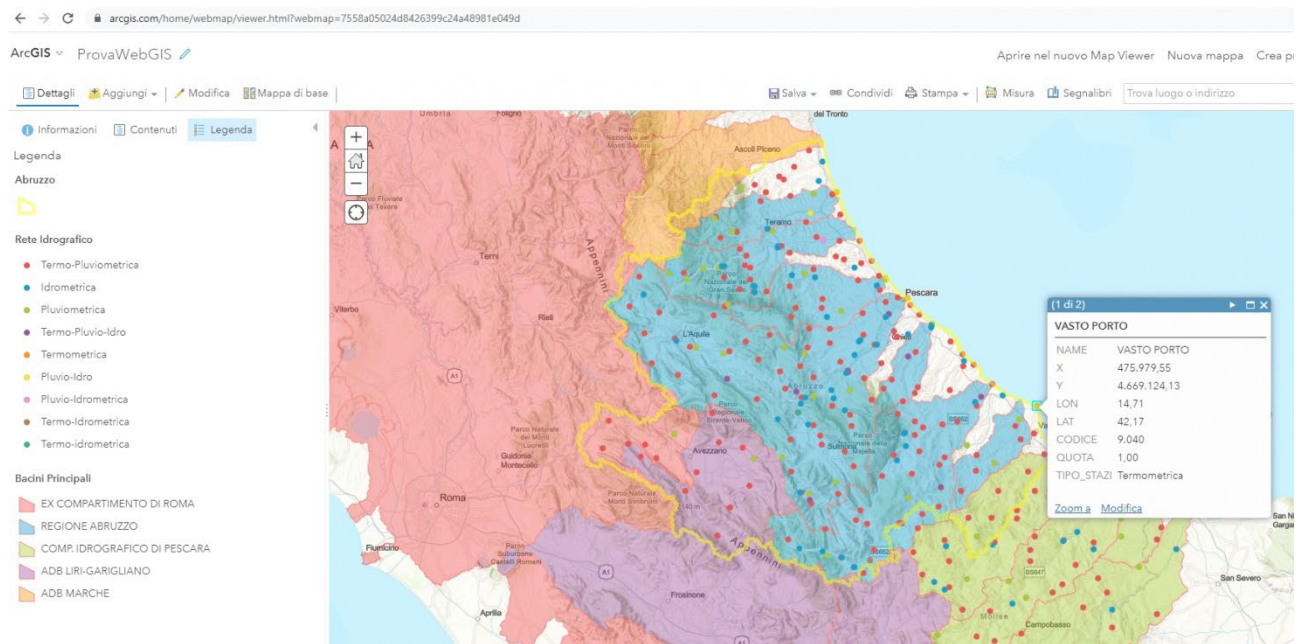


Figura 35. Immagine che mostra la sovrapposizione di alcuni layer utilizzando il webgis fornito dalla suite ESRI, software proprietario.

tecnologie, l'importanza del GIS emerge in maniera preponderante, offrendo la capacità di mettere insieme grandi quantità di informazioni necessarie (layer) per bilanciare priorità contrastanti e risolvere problemi complicati, come la gestione centralizzata e unificata della risorsa idrica. La potenza di questo strumento, inoltre, si manifesta anche nelle molteplicità delle sue utilità, permettendo di facilitare sia il lavoro dei tecnici, che l'utilizzo quotidiano degli utenti, migliorando notevolmente la così detta user experience. Inoltre, i GIS, aiutano coloro che pianificano a comprendere le esigenze delle aree densamente popolate, ma si adattano anche all'esame degli agglomerati urbani più piccoli o semplicemente alle aree rurali. La capacità di poter eseguire una varietà di query e analisi sui dati GIS significa che gli esperti possono valutare in che modo i nuovi dati a disposizione si adattano a quelli già esistenti, semplificando ed automatizzando notevolmente

le procedure di reperimento delle informazioni. D'altro canto, gli utenti potranno individuare opportunità per un migliore e più consapevole utilizzo delle risorse.

Per lo studio inerente a questa borsa di studio, si è pensato di creare un unico file di progetto che potesse raccogliere per intero tutti i flussi di dati provenienti dalle fonti più diversificate. Essendo di estrema importanza poter condividere le informazioni con gli altri uffici, o con altri enti collaboratori, è stato predisposto, ed in parte effettuato, anche il caricamento online dei layer ottenuti, andando a costituire un WebGIS caricato mediante un provider di servizi (Fig.35). Tale piattaforma potrebbe essere in futuro facilmente implementata con i dati in tempo reale delle stazioni di misura, ed essere anche aperta al pubblico, il quale potrebbe accedere in maniera selettiva ai dati messi a disposizione. Inoltre, è altresì possibile creare una piattaforma WebGIS, evitando di affidarsi a servizi di soluzioni geospaziali a pagamento, semplicemente utilizzando i linguaggi di programmazione. A scopo dimostrativo, è stata creato un progetto, facilmente trasponibile online, con le stazioni e le serie storiche termo-pluviometriche precedenti al 2020 (Fig.36). In questo caso è stato utilizzato il linguaggio Python e alcune librerie come Folium e Branca, per poter sfruttare anche altri linguaggi come l'HTML o il Java Script, i quali sono in grado di produrre soluzioni infografiche interattive che migliorano notevolmente la user experience.

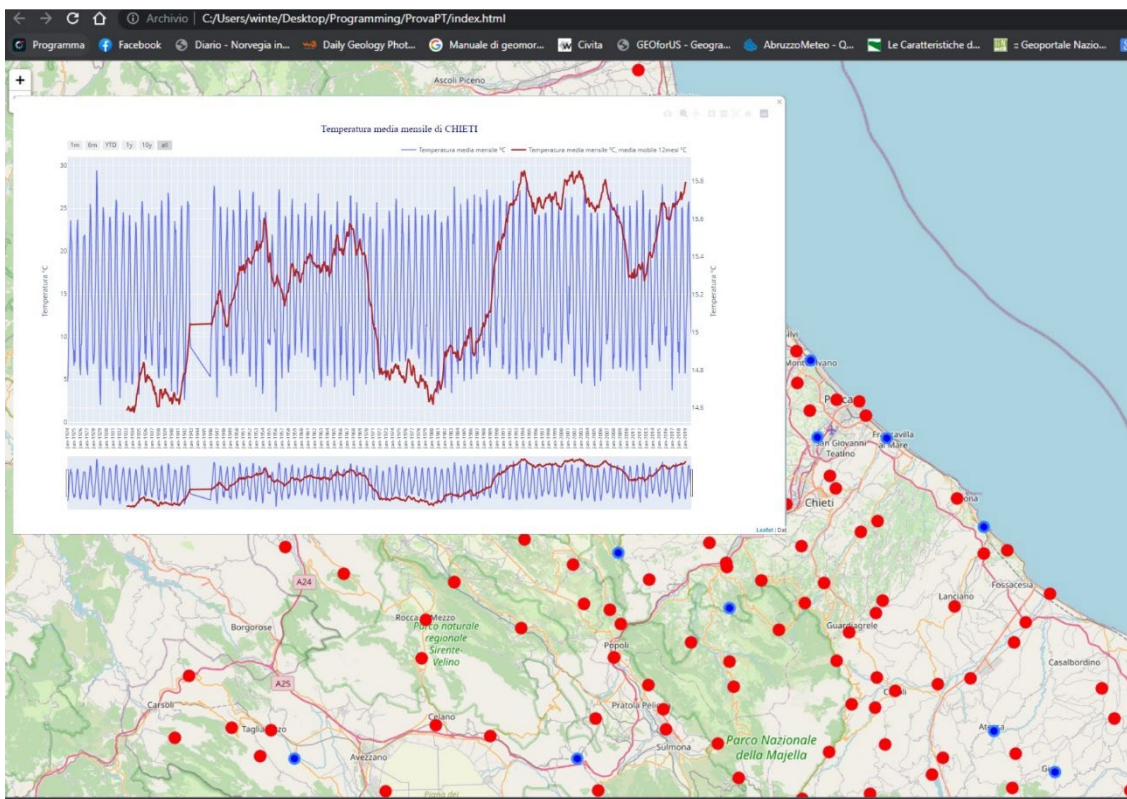


Figura 36. Immagine che mostra le potenzialità di un webgis creato appositamente per lo studio. Il risultato è stato ottenuto integrando diverse librerie di vari linguaggi di programmazione, come Python, HTML e Java Script.

8. CONCLUSIONI

Questo studio, della durata di 20 mesi, ha permesso di effettuare diversi progressi in ambito di gestione, conoscenza e centralizzazione della risorsa idrica, evidenziando, tuttavia, una serie di difficoltà riscontrate durante il perseguimento degli obiettivi ed, in particolare, in merito al reperimento dei dati quantitativi.

In primo luogo, è stato possibile raccogliere e unificare un'ingente mole di dati, che altrimenti sarebbero rimasti separati in diversi enti e diversi database. Tali dati sono stati catalogati, riorganizzati, omogeneizzati, digitalizzati e sfruttati per effettuare analisi e mettere a punto delle metodologie per lo studio della risorsa idrica e, più in particolare, anche per lo studio dei bilanci idrici. Grazie al processo di georeferenziazione, è stato possibile collocare spazialmente una grande quantità di dati riguardanti le concessioni per derivazione idriche e per gli scarichi, nonché ampliare, omogeneizzare ed organizzare i database relativi alle sorgenti. Questo ha permesso di creare un unico database, strutturato e centralizzato, che raccoglie tutti i dati a disposizioni riguardanti la risorsa idrica.

È stata avviata ed inaugurata, inoltre, la rete sperimentale di monitoraggio in tempo reale delle acque sotterranee e delle sorgenti che, come mostrato da alcune analisi preliminari dei dati prodotti, è di vitale importanza per la caratterizzazione e la gestione delle principali fonti di approvvigionamento idrico, nonché per la definizione sperimentale dei periodi di siccità. In questo frangente, è stato possibile maturare un'importante esperienza in ambito della progettazione delle reti, nonché portare alla luce le evidenti difficoltà di natura pratica e gestionale a cui si va incontro in questo tipo di attività. Alcuni dei dati prodotti dalla piattaforma, sono stati utilizzati, per esempio, per effettuare studi sulle curve di esaurimento delle sorgenti, in modo da conoscere meglio i segnali di un'eventuale carenza idrica. I dati che continuano a giungere all'ufficio da questa piattaforma, saranno estremamente importanti per l'individuazione e l'eventuale progettazione di programmi di sfruttamento sostenibile della risorsa idrica. In questo modo, infatti, qualora se ne presentasse il bisogno, sarà possibile la gestione analitica dei periodi di siccità e della conseguente maggiore richiesta di risorse spesso invocata dagli enti gestori.

Oltre a ciò, il lavoro svolto ha permesso di effettuare uno studio sperimentale sui bilanci idrologici, proponendo delle metodologie e delle elaborazioni in grado di poter aggiornare le conoscenze attualmente esistenti nello studio del PTA. Inoltre, sono state predisposte o affinate le metodologie per la quantificazione delle pressioni antropiche, nonché diverse procedure altamente automatizzate per le analisi delle serie temporali e del controllo qualità della rete e dei dati.

Sono stati fatti anche notevoli progressi nell'ambito della gestione dei dati utilizzando i sistemi informativi geografici. Infatti, è stata predisposta una raccolta di layer informativi pronta per essere resa pubblica attraverso un WebGIS, o comunque per essere utilizzata in condivisione dagli esperti degli enti che lavorano in questo settore.

Tutte le attività condotte durante lo svolgimento del programma hanno permesso di favorire e promuovere la comunicazione e la sinergia tra i diversi enti coinvolti, elemento di vitale importanza per lo scambio di informazioni e, in generale, per il raggiungimento degli obiettivi e per il miglioramento dell'efficienza.

In generale, lo studio ha permesso anche di evidenziare le criticità intrinseche riguardanti la gestione della risorsa idrica. Tali problematiche sono state individuate principalmente nella dispersione dei dati tra i diversi uffici e i diversi enti e nella loro disomogeneità. Tra le note critiche è emersa anche una scarsa comunicazione tra gli enti coinvolti, congiuntamente alla presenza di procedimenti

burocratici spesso necessari per formalizzare il trasferimento di informazioni. È stata inoltre evidenziata una forte carenza di dati quantitativi affidabili riguardanti i volumi idrici mobilitati nelle fasi di prelievo e restituzione della risorsa idrica (soprattutto per l'uso agricolo ed industriale) o, comunque, una reale impossibilità ad accedere a tali dati.

Infine, si è cercato di individuare possibili obiettivi e strategie attuabili sul medio-breve termine, cercando di garantire il perfezionamento e la continuità temporale del lavoro svolto. A tal proposito, sono stati individuati le seguenti azioni:

- continuare la raccolta, la catalogazione e l'organizzazione dei dati riguardanti la risorsa idrica, attraverso il potenziamento della rete di monitoraggio delle acque sotterranee e l'ulteriore ricerca di database nelle disponibilità degli enti coinvolti;
- introdurre il metodo geostatistico nel trattamento e nell'interpolazione dei dati georiferiti raccolti, in modo da poter quantificare anche gli errori associati alle stime calcolate;
- perfezionare gli studi sul bilancio idrico, utilizzando le metodologie proposte;
- ottenere dati quanto più affidabili in merito alla mobilitazione dei volumi idrici;
- introdurre l'utilizzo di software e codici di calcolo specializzati nei computi relativi al bilancio idrologico, effettuando anche simulazioni su diversi scenari meteo-climatici in modo da poter prevedere le scarsità idriche;
- proporre una gestione centralizzata del dato idrico, che esuli dal tipo di utilizzo della risorsa idrica.

Le risultanze del presente studio, dunque, potranno trovare continuità attraverso i programmi già finanziati nell'ambito del Piano Operativo Ambiente FSC 2014-2020 "Acquacentro – Interventi per il miglioramento della qualità dei corpi idrici", all'interno dei quali sono già previste risorse per l'esecuzione di monitoraggio e bilanci idrici.

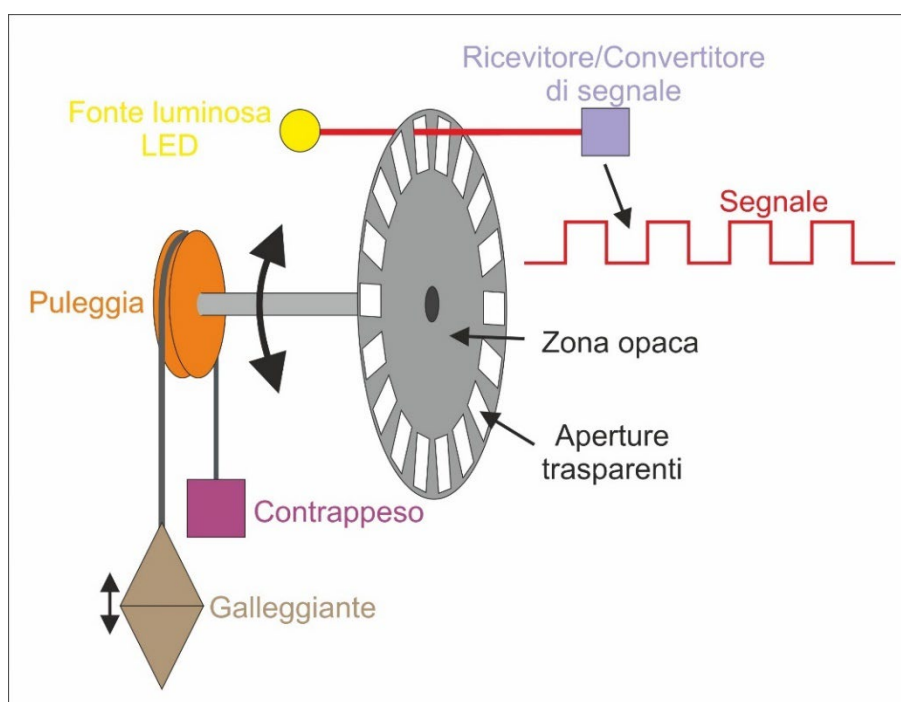
9. APPENDICE

9.1. Misure di portata e di livello idrometrico

La portata volumetrica è definita come volume di acqua che transita in una determinata sezione idraulica nell'unità di tempo (generalmente indicata in metri cubi al secondo – m^3/s - o litri al secondo -l/sec). Molte delle tecniche utilizzate per la misura della portata in continuo, consistono infatti nel misurare la velocità media del flusso attraverso l'area della sezione bagnata. In caso di presenza di uno stramazzo, invece, è possibile ottenere una stima della portata derivandola dall'altezza idrometrica più a monte e dalle caratteristiche dello stramazzo stesso. La portata può anche essere dedotta da una misurazione di altezza del livello idrometrico, avendo a disposizione una scala di deflusso affidabile e aggiornata (definita da diverse misure di portata spot). Nella rete di monitoraggio descritta in questo lavoro, vengono utilizzati diversi tipi di sensori per il monitoraggio della portata.

9.1.1. Stazione di misura M1

La stazione di misura M1, denominata anche stazione “Stramazzo SASI”, è gestita dalla società Geosphera, che ne ha curato anche gli studi di progettazione e realizzazione. La stazione è dotata di un sensore di rilevamento dell'altezza idrometrica, montato in una colonna di calma all'interno della vasca di sedimentazione della captazione. Il sensore è uno shaft encoder (o encoder a rotazione), prodotto dalla Hy Quest Solutions (Kisters Group), il cui principio di funzionamento consiste in un disco, dotato di sezioni trasparenti equispaziate, collegato ad un cavo alla cui estremità è situato un galleggiante. Un diodo ad emissione di luce (LED) trasmette la luce attraverso le sezioni trasparenti del disco, il quale gira in risposta di innalzamenti o abbassamenti del galleggiante e quindi del livello idrometrico. Ad ogni incremento di rotazione del disco (spazio tra due parti trasparenti attraversate dal fascio di luce) corrisponde una variazione del livello definita (Appendice Fig.1).



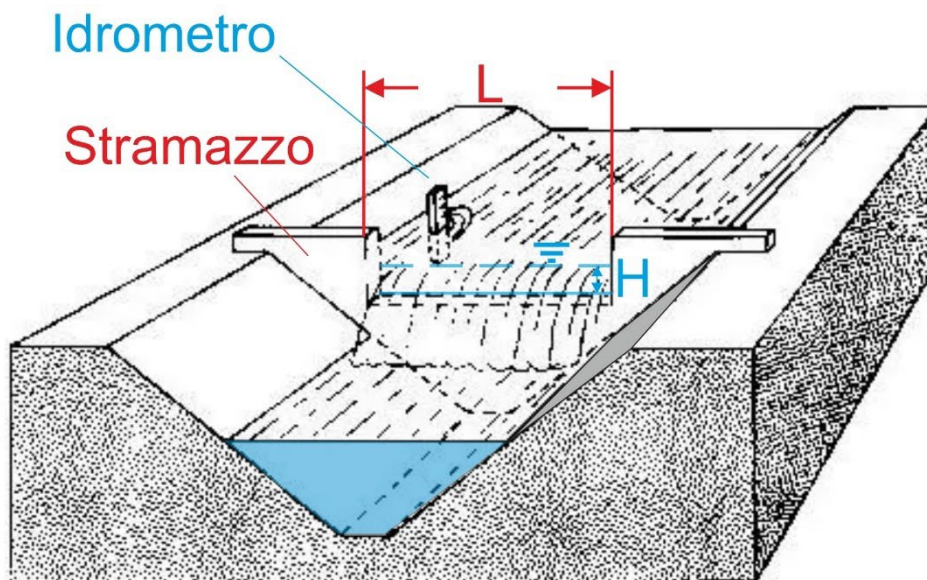
Appendice – Figura 1. (M1, M4). Schematizzazione di un sistema di misura Shaft Encoder ottico. La variazione del livello idrometrico è rilevata da un galleggiante collegato ad una puleggia. La rotazione del disco forato permette di creare un segnale caratterizzato da un'onda quadra. Ad ogni ciclo del segnale corrisponde un angolo di rotazione preciso, che a sua volta è correlato all'abbassamento e innalzamento del livello del fluido misurato.

In questo modo è nota l'altezza idrometrica nella vasca di sedimentazione rispetto ad un livello di riferimento, mentre l'acqua defluisce attraverso uno stramazzo rettangolare (di tipo Bazin – Appendice Fig.2) di dimensioni e caratteristiche note. Essendo conosciute le caratteristiche dello scarico a superficie libera ed essendo nota l'altezza idrometrica relativa, stimando alcuni altri parametri, è possibile ricavare la portata volumetrica. A tal proposito è stata scelta l'equazione di Kindsvater-Carter (Kindsvater e Carter, 1959):

Equazione Appendice 1

$$Q = 1.84(L - 0.2H) \cdot H^{3/2}$$

Il principale problema riscontrato in questa stazione di misura, si verifica nei mesi invernali, quando la portata della sorgente è molto elevata ed avviene sistematicamente un sormonto dello stramazzo, inficiando la validità dell'equazione utilizzata per ottenere la portata. La soluzione ipotizzata per la risoluzione di questa problematica prevede una modifica strutturale della vasca di sedimentazione, con un innalzamento dei bordi della vasca e la messa in opera di uno stramazzo con caratteristiche



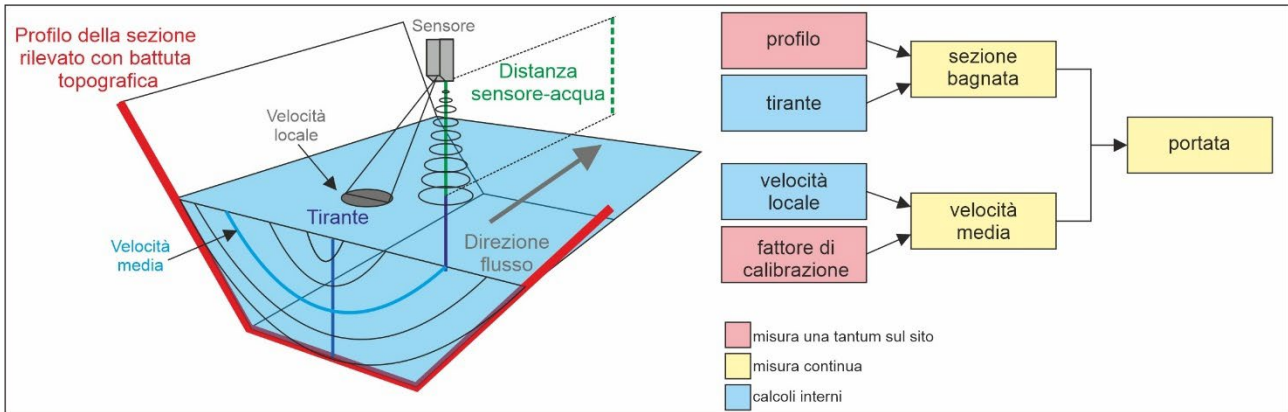
Appendice – Figura 2. (M1, M4). Schematizzazione del funzionamento di uno stramazzo con sistema di misura della portata a partire dall'altezza idrometrica. L'idrometro posto a monte dello stramazzo in una colonna di calma, misura l'altezza idrometrica rispetto alla base dell'apertura dello stramazzo. Nota la geometria dello stramazzo, e altri coefficienti idraulici, è possibile calcolare la portata utilizzando un'equazione.

differenti, nonché un adeguamento della strumentazione e della sensoristica preposta alla misura. Tuttavia, ai fini della misura della portata totale della sorgente Verde, la quantità che sormonta lo stramazzo giunge al troppo pieno della vasca di carico e dunque al trampolino di rilascio. Da qui l'acqua verrà misurata in M2 ed M3.

9.1.2. Stazione di misura M2

La stazione di misura M2, nota come stazione “Verde a Viscardi”, è gestita dalla società Geosphera, che ne ha curato anche gli studi di progettazione e realizzazione. La stazione è dotata di un sistema di misura della portata, montato su un piccolo ponte in calcestruzzo che attraversa l'alveo naturale

del Fiume Verde in prossimità della centrale idroelettrica in località Viscardi. Il sensore misura il DMV del fiume, che in questo punto è costituito dalle eccedenze rilasciate dalle captazioni più a monte. Il sistema di misura sfrutta la tecnologia radar (misuratore di portata RQ-30 della Sommer – Appendice Fig.3), adatta per il monitoraggio in continuo delle portate in alveo naturale o canalizzato. Lo strumento combina due metodi di misura in remoto, che determinano la velocità dell’acqua ed il livello idrometrico. Essendo il sistema non sommerso, esso non può essere danneggiato dai sedimenti



Appendice – Figura 3. (M2). Schema di funzionamento del misuratore di portata che sfrutta la tecnologia radar. Nota la sezione bagnata, attraverso misura del profilo dell’alveo e dell’altezza del tirante, e nota la velocità media, si ottiene il dato della portata.

o dai relitti trasportati dalle piene, e per questo, non necessita di grande manutenzione straordinaria. Il principio di funzionamento per la misura della velocità dell’acqua sfrutta l’effetto doppler, dove un segnale radar con una frequenza di 24 GHz è trasmesso verso la superficie dell’acqua. Il segnale, parzialmente riflesso, torna indietro con una frequenza diversa a causa del moto dell’acqua. Su questo stesso segnale viene effettuata un’analisi spettrale, che permette di calcolare la velocità dell’acqua in superficie, e da qui derivare la velocità media della sezione bagnata. Il livello dell’acqua, invece, è calcolato inviando degli impulsi perpendicolari al pelo dell’acqua e calcolandone i tempi di transito. La portata è quindi determinata utilizzando l’equazione di continuità:

Equazione Appendice 2

$$Q = V_m \cdot A(h)$$

La sezione bagnata $A(h)$, dove h è il livello idrometrico, è determinata sfruttando il profilo dell’alveo, che deve essere misurato in precedenza mediante battuta topografica. La velocità media V_m , è derivata dalla velocità superficiale V_s , misurata dal sensore. Per ottenere la velocità media occorre considerare un fattore di conversione K .

Equazione Appendice 3

$$V_m = V_s \cdot k$$

Il fattore k può essere determinato misurando direttamente un profilo verticale della velocità o attraverso un software di modellazione in dotazione al misuratore (Sommer brochure).

9.1.3. Stazione di misura M3

La stazione di misura M3, nominata “Canale Centrale Viscardi”, è posta nel canale di scarico della centrale idroelettrica in località Viscardi in prossimità della stazione “Verde a Viscardi” ed è stata

installata e gestita dalla società Geosphera. Il misuratore di portata è posizionato in un tratto canalizzato con argini di calcestruzzo, ed il sensore lavora in immersione, non essendo presenti sedimenti grossolani o oggetti in sospensione che potrebbero danneggiarlo. La tecnologia utilizzata è quella ADCP (Acoustic Doppler Current Profilers), che sfrutta l'effetto doppler per stimare la velocità della corrente. Per poter funzionare al meglio, questa tecnologia, necessita della presenza di particolato in sospensione, poiché un'acqua completamente trasparente non permetterebbe la riflessione necessaria dell'energia acustica. Al contrario un'acqua troppo ricca in sedimento, tipica degli eventi di piena, potrebbe causare problemi sia nella stima del tirante, sia nella stima della velocità, a causa dell'attenuazione del segnale. Questa caratteristica dipende fortemente dalla frequenza di funzionamento dello strumento, in quanto le basse frequenze sono più penetranti, ma perdono in risoluzione, mentre le alte frequenze sono meno penetranti, ma hanno una risoluzione maggiore. Temperatura e salinità dell'acqua sono invece molto importanti per la calibrazione della velocità di propagazione delle onde acustiche. (USGS, 2009).

Il misuratore installato è il modello SonTek IQ standard, ancorato sul fondo del canale, e possiede 4 misuratori doppler della velocità a 3.0 MHz, orientati con angoli diversi per ottenere maggiori informazioni sul profilo della velocità. Il software dello strumento ricrea una matrice composta da celle di flusso, la cui dimensione dipende dalla frequenza degli impulsi e per ogni cella viene stimata una velocità media. Lo strumento è dotato anche di un doppio misuratore del tirante, uno che funziona con i tempi di transito degli impulsi sonori ed un altro che funziona tramite sensore di pressione. In questo modo, nota la geometria dell'alveo e l'altezza del tirante, è possibile ottenere l'area della sezione bagnata (SonTek brochure). Noti questi parametri, analogamente a quanto indicato nell'equazione appendice 2, è possibile ricavare la portata volumetrica della sezione presa in considerazione.

9.1.4. Stazione di misura M4

La stazione di misura M4, nota come "Mortaio D'Angri", è gestita dalla società Geosphera, che ne ha curato anche gli studi di progettazione e realizzazione. Il sistema di misura comprende un misuratore di livello idrometrico (Shaft Encoder), montato all'interno di un tubo di calma nella vasca di sedimentazione, a monte di uno stramazzo trapezoidale (di tipo Cipolletti). Gli strumenti di misura, e quindi i principi di funzionamento, sono identici a quelli descritti per la stazione M1, ad eccezione dell'equazione utilizzata che è quella adatta agli stramazzi trapezoidali (USGS):

Equazione Appendice 4

$$Q = 1.86(L - 0.2H) \cdot H^{3/2}$$

dove **Q** è la portata, **L** è la larghezza della base minore del trapezio dello stramazzo e **H** è il carico dell'acqua rispetto alla base dell'apertura

Attualmente tale presidio di misurazione non è collegato alla rete principale; quindi, non è possibile vedere i dati in tempo reale, che sono inviati quotidianamente dal personale di ACA che effettua le letture direttamente sul display della strumentazione. Il problema di comunicazione con la rete è relativo al fatto che le sorgenti distano dal cablaggio fisico delle reti telefoniche e internet e, essendo posizionate all'interno di una forra profonda, si hanno problemi di ricezione anche nell'utilizzo della rete mobile telefonica e dei più tradizionali ponti radio. Al momento sono comunque in fase di studio alcune soluzioni che permetterebbero di risolvere il problema di trasmissione dei dati attraverso la

costruzione di un'antenna ripetitore di segnale, che permetterebbe di fare da ponte con il ripetitore principale, oppure mediante l'utilizzo della tecnologia satellitare.

9.1.5. Stazione di misura M5

La stazione di misura M5, nota come "Cascata Vitella D'Oro", monitora direttamente l'aliquota della portata della sorgente che non viene captata e che viene quindi convogliata, attraverso un canale artificiale, verso l'alveo del Fiume Tavo. Nel periodo antecedente alla captazione la cascata era di origine naturale e sgorgava dal versante roccioso con una portata maggiore. Attualmente, prima di rimettersi nell'alveo del fiume, la quantità d'acqua deve coprire il dislivello topografico tra lo sbocco della galleria e l'alveo sottostante, creando così una cascata dell'altezza di circa 28 metri che, stando alle ultime misurazioni, raggiunge portate di circa 350 l/s.

La strumentazione per la misura della portata, nonché i principi di funzionamento, sono identici a quelli della stazione M3, dove si sfrutta la tecnologia di misura sound doppler.

Per questa stazione di misura valgono gli stessi problemi di trasmissione dati descritti nella parte relativa alla stazione di misura M4.

9.1.6. Stazione di misura M6

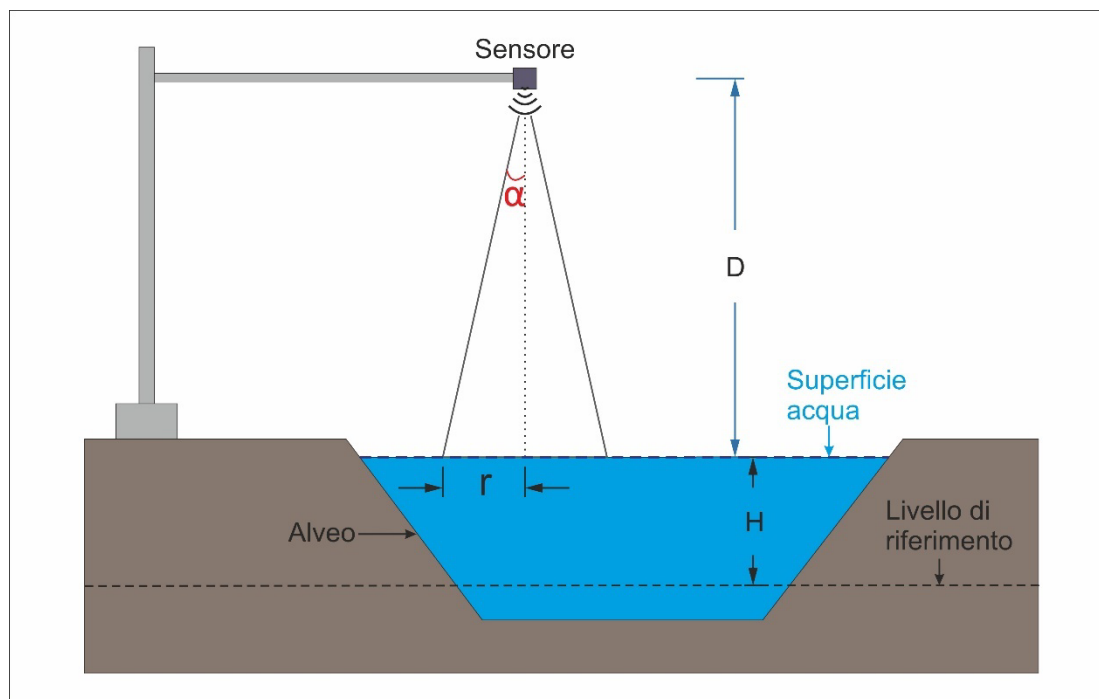
La stazione di misura M6, non fa ufficialmente parte della rete di monitoraggio afferente alla piattaforma DATASPHERE, in quanto ricade sotto la gestione dell'azienda acquedottistica ACA. A partire dalla vasca di sedimentazione, un'aliquota dell'acqua della sorgente della Vitella D'Oro viene derivata e portata nella condotta che servirà l'acquedotto. Poco a valle della captazione è installato un venturimetro digitale, uno strumento che sfrutta l'effetto Venturi per la stima della portata. L'effetto Venturi prevede di calcolare la velocità media del fluido partendo dalla relazione esistente tra questa grandezza e la pressione; ad un restringimento della sezione di una tubatura, infatti, a parità di portata, corrisponde un aumento della velocità del fluido, correlato ad una diminuzione di pressione. Noto il diametro della tubatura (sezione bagnata) e la velocità del fluido, è possibile calcolare la portata volumetrica.

Il dato proveniente da questa stazione di misura viene comunicato con cadenza giornaliera dal personale ACA agli addetti alla gestione della piattaforma DATASPHERE.

9.1.7. Stazione di misura M7

La stazione di misura M7 è nota anche come "Tavo a Farindola" ed è gestita dalla società CAE. Essendo un misuratore per l'altezza idrometrica, per derivare la portata è necessario avere a disposizione una scala di deflusso, che mette in relazione altezza idrometrica e portata.

La strumentazione è posta sul ponte della SP 72 che attraversa il Fiume Tavo poco a valle dell'abitato di Farindola. L'idrometro, prodotto direttamente dalla CAEtech, è un modello WLR/S (short range); l'apparecchio trasmette un segnale radar a 80 GHz che viene riflesso dal liquido sottostante e ricaptato dall'antenna ricevitrice con una frequenza alterata. Confrontando la frequenza trasmessa e quella



Appendice – Figura 4. (M7, M8, M9). Schema di funzionamento di un sensore idrometrico generico. Tale metodo di misura sfrutta in genere il principio di riflessione delle onde radio (RADAR) o acustiche.

ricevuta è possibile risalire alla distanza dalla superficie liquida e conoscendo le altezze relative è possibile risalire al livello idrometrico. Questo tipo di sensore, inoltre, a differenza dei sensori ad ultrasuoni, è indipendente rispetto alle variazioni di temperatura e umidità. Il trasmettitore di impulsi è di tipo direzionale (Appendice Fig.4), ossia indirizza il segnale in un volume conico, il cui apice è costituito da un'apertura angolare nota. Maggiore sarà la distanza tra trasmettitore e fluido, più grande sarà la superficie di interazione (base del cono) tra radiazione e fluido. Per questo motivo, in periodi di magra del fiume (generalmente nei mesi estivi), accade che la base del cono vada ad interagire non solo col fluido, ma anche con il substrato dell'alveo, creando segnali non affidabili dal punto di vista della validazione.

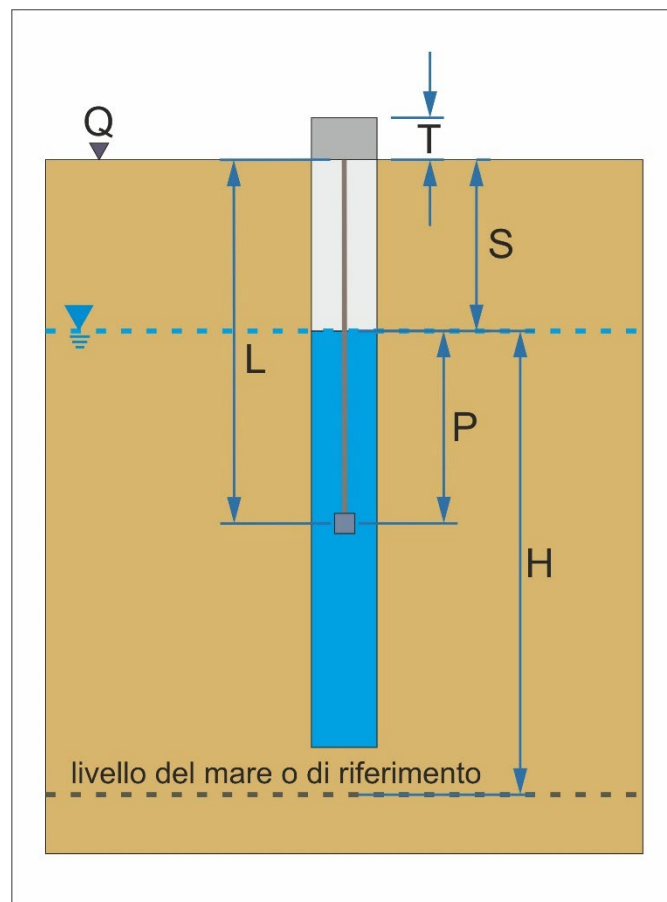
9.1.8. Stazioni di misura M8 e M9

La stazione di misura M8, “Tirino a Madonnina”, è gestita dalla società CAE e non fa parte della rete di monitoraggio DATASPHERE. Il sistema di misura è costituito da un idrometro ad ultrasuoni che fornisce dati di altezze idrometriche, i quali vengono convertiti in portate attraverso le scale di deflusso. Il presidio si trova sopra un ponticello all'interno dell'abitato di Bussi sul Tirino, mentre il problema maggiore che si riscontra per questa sezione idraulica è la proliferazione algale che, senza un'adeguata manutenzione di sfalcio, ostacola e compromette la bontà delle misure spot di portata. La stazione di misura M9, nota come “Tirino a Bussi Officine”, è gestita dalla CAE e misura la portata complessiva del bacino del Fiume Tirino. Anche in questo caso il sistema di misura è costituito da un idrometro radar, dello stesso modello della stazione di misura M7. Il misuratore è posto su un piccolo ponte, nei pressi del ponte ferroviario, poco a monte della confluenza con il Fiume Pescara. Essendo la stazione di recente installazione, non è ancora disponibile la scala di deflusso.

9.2. Misura del livello di falda

Facendo riferimento alla figura 5 dell'appendice, la misura in continuo del livello di falda è generalmente eseguita mediante l'uso di sensori che misurano il livello della superficie della falda, essendo immersi in essa, e misurando la pressione della colonna d'acqua sovrastante (P). In questi casi è necessario conoscere la lunghezza del cavo che sorregge ed alimenta il sensore (L) e la quota topografica esatta della testa del pozzo (Q+T).

Note queste misure, attraverso semplici calcoli, è possibile risalire alla quota della superficie della falda rispetto al livello di riferimento (H). Basta sottrarre dal valore della lunghezza del cavo (L) il valore di altezza di fluido (P) che sovrasta il sensore di misura, in modo da ottenere la soggiacenza (S), la quale sarà a sua volta sottratta dal valore della quota del piano campagna (Q).



Appendice – Figura 5. (M10, M11). Schema di funzionamento di un sensore di pressione in pozzo per misurare il livello della falda. Per ottenere una misura assoluta delle quote rispetto al livello del mare, occorre una battuta topografica accurata della quota della bocca-pozzo.

9.2.1. Stazioni di misura M10 ed M11

La stazione M10, denominata “Tirino 3 o Tirino Capodacqua”, è gestita dalla società CAE, ed è allestita all'interno di un pozzo dell'ex CASMEZ (Cassa del mezzogiorno), in prossimità delle sorgenti di Capodacqua del F. Tirino, sulla piana alluvionale dell'omonimo corso d'acqua. La stratigrafia del pozzo, che misura circa 100m, non è disponibile; tuttavia, è noto che essa comprende rocce carbonatiche alla base e depositi alluvionali, nella parte superficiale. La soggiacenza della falda si aggira intorno a -55 m rispetto al piano campagna.

Il sensore di misura è una sonda multi-parametrica ad immersione, dotata di pressometro e termometro, modello Keller PR-36XiW. La pressione può essere letta come un livello (profondità d'acqua) che si basa sulla seguente formula:

Equazione 14

$$h = f \cdot \frac{p}{\rho \cdot g}$$

dove:

p è la pressione misurata dal sensore

ρ densità dell'acqua alla temperatura di 3.98°C

g è l'accelerazione di gravità (che di default è configurata a 9,80665 m/s²)

f fattore di conversione per l'unità dell'altezza.

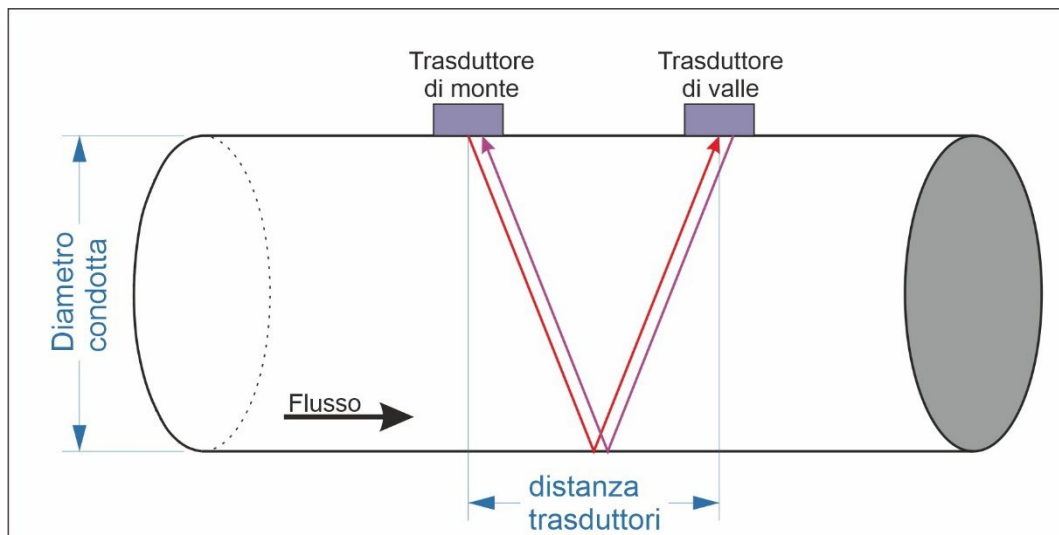
Il misuratore di pressione è inoltre tarato rispetto al livello della pressione atmosferica (Keller brochure).

Analogamente alla stazione M10, la stazione di misura M11, nota anche come “Tirino 1 o Madonna di Cartignano”, comprende la medesima strumentazione. La manutenzione, così come l'allestimento e la progettazione, sono state curate da CAE. Gli strumenti si trovano in un pozzo dell'ex CASMEZ situato in prossimità della chiesa di Madonna di Cartignano. Il pozzo, di cui non è nota la stratigrafia, attraversa principalmente rocce carbonatiche (nella parte più profonda) e depositi di versante (nella parte più superficiale). La soggiacenza della falda si aggira intorno a -24 m rispetto al piano campagna.

9.3. Misure di portata in condotta stazioni di misura M12 ed M13

9.3.1. Stazioni di misura M12 ed M13

La stazione M12, nota anche come “Tocco Zero Stazione”, è gestita dalla società Geosphera, e si trova in un piccolo capanno situato in un piazzale a lato della Tiburtina Valeria (direzione Pescara), nel comune di Tocco Da Casauria, all'imbocco delle gole di Popoli. La stazione è costituita da due sensori clamp-on, che monitorano la portata volumetrica che transita all'interno delle due condotte principali dell'acquedotto Giardino, il quale alimenta le utenze della val Pescara. Le due condotte, dal diametro di 900 e 1000 mm, trasportano la somma delle aliquote d'acqua captate dalla sorgente Giardino, situata a Popoli, e del campo pozzi S. Rocco, situato a Bussi sul Tirino. I sensori di misura, uno per ogni condotta, sono due misuratori di portata ad ultrasuoni e tempo di transito, prodotti dalla AsitGE (DN900 e DN1000).



Appendice – Figura 6. (M12, M13). Schema di funzionamento di una misura di portata in condotta tramite trasduttori clamp-on. La configurazione mostrata in figura rappresenta la più comune geometria utilizzata in questo ambito.

La stazione M13, invece, chiamata anche “Pozzi San Rocco”, è gestita dalla società Geosphaera, e si trova in prossimità della stazione di misura M9 (“Tirino a Bussi Officine”). La strumentazione, del tutto analoga a quella della stazione M13 essendo fabbricata dalla stessa azienda (AsitGe DN700), è montata su una condotta da 700 mm, che porta le acque dal campo pozzi San Rocco, all’adduttrice principale dell’acquedotto Giardino. Tale presidio di misura, che si trova più a monte rispetto alla stazione M12, permette infatti di conoscere l’aliquota direttamente prelevata dal campo pozzi S. Rocco; sottraendo questa aliquota dal totale delle portate misurato alla stazione M12, infatti, è possibile ottenere la portata prelevata dall’opera di captazione della sorgente Giardino.

Il misuratore di portata a tempo di transito utilizza due trasduttori ad ultrasuoni che funzionano sia da trasmettitori che da ricevitori (Appendice Fig.6). Essi vengono bloccati all’esterno di un tubo chiuso ad una specifica distanza uno dall’altro. Possono essere montati in posizione V (il suono attraversa il tubo 2 volte), in posizione W (il suono attraversa il tubo quattro volte) o in posizione Z, (sui lati opposti del tubo in modo che il suono attraversi il tubo una sola volta).

La scelta della posizione di montaggio dipende dal tubo e dalle caratteristiche del liquido. Lo strumento funziona trasmettendo e ricevendo alternativamente una sequenza di frequenze modulate di energia sonora attraverso i due trasduttori e misurando il tempo di transito che il suono impiega a viaggiare da un trasduttore all’altro. La differenza nel tempo di transito misurato è direttamente correlata alla velocità del liquido nel tubo (AsitGE brochure).

9.4. Misura degli eventi grandinigeni

9.4.1. Stazioni di misura M14 ed M15

Per la misura degli eventi grandinigeni sono state predisposte due stazioni di misura, M14 ed M15, rispettivamente situate a Pescara (tetto della sede dell’Ufficio Idrografico) e L’Aquila (località Sant’Elia). Questo tipo di sensore, facendone un utilizzo prettamente sperimentale, permette di individuare se sono in corso eventi grandinigeni, fornendo anche una stima della dimensione e della massa del chicco di grandine. L’utilizzo di questo tipo di sistema di monitoraggio, potrebbe

permettere un sistema di allertamento in tempo reale, nonché una serie di informazioni particolarmente utili dal punto di vista della ricerca scientifica. Le serie storiche, inoltre, permetterebbero di avere un record sui fenomeni avvenuti in una determinata area e questo potrebbe essere utile per quantificare il rischio di un fenomeno di questo tipo, anche in ambito di definizione di polizze assicurative per le calamità naturali.

I due sensori montati, gestiti dalla società Geosphera, sono prodotti dalla HyQuest Solutions, del gruppo Kisters, e sfruttano l'energia cinetica sprigionata dagli impatti dei chicchi di grandine. In particolare, il sistema sfrutta una piastra di una dimensione nota, la quale vibra in relazione all'energia legata agli impatti causati dai chicchi di grandine (HyQuest Brochure). L'energia cinetica è strettamente legata alla massa, quindi conoscendo la densità del ghiaccio, è possibile risalire anche al volume (e quindi il diametro) dei chicchi di grandine. Il software collegato al misuratore, infine, effettua anche un'analisi statistica degli impatti e delle caratteristiche dell'evento.

LISTA DELLE FIGURE E DELLE TABELLE

Figura 1 – Rete di monitoraggio dell’Ufficio Idrografico. Rete di monitoraggio in tempo reale all’inizio del progetto. A sinistra sono indicate le stazioni idrometriche (simboli verdi), al centro le stazioni pluviometriche (simboli blu) e a destra le stazioni termometriche (simboli in arancio).

Figura 2 – Mappa dell’uso Industriale. Mappa dei punti di derivazione a scopo industriale ricostruita a partire dai database delle richieste di derivazione dei geni civili abruzzesi.

Figura 3 – Mappa degli enti irrigui. Mappa delle derivazioni irrigue e della rete di distribuzione tratta dal database SIGRIAN.

Figura 4 – Mappa captazioni ERSI. Mappa delle principali sorgenti di captazione a scopo idropotabile costruita a partire dal database ERSI delle sorgenti.

Figura 5 – Mappa dell’uso idroelettrico. Mappa delle derivazioni ad uso idroelettrico creata a partire dai dati dello studio Enel e Abruzzo Progetti.

Figura 6 – Mappa sorgenti Abruzzo pt1. Mappa delle sorgenti abruzzesi, ad eccezione dell’area marsicana, tratta dal database digitale ZEUS (Servizio Idrografico).

Figura 7 – Mappa sorgenti Abruzzo pt2. Mappa delle sorgenti marsicane, ricostruita utilizzando i dati della campagna di censimento svolta da Abruzzo Progetti.

Figura 8 – Schema di funzionamento stazione. Schema di funzionamento generale di una stazione di monitoraggio in tempo reale. I principali sistemi di una stazione di monitoraggio sono: l’alimentazione, la ricezione/trasmissione dati, l’ancoraggio/protezione e l’acquisizione.

Figura 9 – Mappa stazioni Datasphere. Mappa dell’ubicazione delle stazioni di monitoraggio relative alla piattaforma Datasphere. In basso, tabella che indica il tipo di sensore ed il rispettivo sub-ambito di appartenenza.

Figura 10 – Sezione Maiella (Sorgenti Verde). Sezione idrogeologica che attraversa il sistema di sorgenti del Fiume Verde nell’area di Fara San Martino (tratto da Nanni e Rusi, 2003).

Figura 11 – Schema idrico sorgenti F. Verde. Schema idrico del sistema sorgivo del Fiume Verde. Le acque di queste sorgenti sono derivate per soddisfare molti dei bisogni idropotabili e industriali dell’area circostante. Le sorgenti del Verde sono monitorate attraverso 3 stazioni di misura in tempo reale (M1, M2 ed M3).

Figura 12 – Sezioni Gran Sasso (Mortaio D’Angri e Vitella D’Oro). Sezioni geologiche e idrogeologiche che attraversano il sistema di sorgenti del Fiume Tavo (Vitella d’Oro sopra e Mortaio D’Angri sotto) nell’area a ridosso del sovrascorrimento del Gran Sasso (tratto da Ferracuti et al., 2006).

Figura 13 – Schema idrico sorgenti F. Tavo. Schema idrico delle sorgenti del Fiume Tavo. Tale sistema, che permette l’approvvigionamento idrico anche dell’area di Montesilvano e Pescara Nord, è monitorato da 4 stazioni di misura (M4, M5, M6 e M7).

Figura 14 – Schema idrico sorgenti F. Tirino. Schema idrico del Fiume Tirino, dalle sorgenti all’immissione nel Fiume Pescara. Il Fiume Tirino e le sue sorgenti sono monitorati attraverso i sensori di misura M8 e M9.

Figura 15 – Mappa idrogeologica del Gran Sasso. Mappa dell'unità idrogeologica del Gran Sasso (tratta da Celico et al., 2005). E' possibile notare le numerose sorgenti a ridosso del sovrascorrimento del Gran Sasso che pone in contatto le unità carbonatiche e le unità terrigene torbiditiche.

Figura 16 – Monitoraggio idropotabile. Diagramma che schematizza il monitoraggio quantitativo della risorsa idropotabile nel Subambito Pescara e nel Subambito Chietino. Nella piattaforma Datasphere è monitorato l'approvvigionamento equivalente di circa 550 mila abitanti serviti.

Figura 17 – Interfaccia grafica controllo. Interfaccia grafica dell'applicativo sperimentale realizzato per il controllo giornaliero delle reti di monitoraggio.

Figura 18 - Rette di calibrazione temperature. Retta di calibrazione quota-temperatura relativa all'intero periodo annuale (sopra) e insieme delle rette di calibrazione quota-temperatura mensili (sotto).

Figura 19 – Temperature medie annue. Mappa delle temperature medie annue del territorio abruzzese.

Figura 20 – Temperature medie mensili. Mappe delle temperature medie mensili del territorio abruzzese.

Figura 21 – Piovosità media annua. Mappa della piovosità media annua relativa al territorio abruzzese.

Figura 22 – Piovosità media mensile. Mappe delle precipitazioni medie mensili relative al territorio abruzzese.

Figura 23 – Istogramma precipitazioni. Istogramma che mostra i valori minimi e massimi delle precipitazioni medie mensili dell'area in esame.

Figura 24 – Mappa dell'evapotraspirazione. Mappa dei valori dell'evapotraspirazione calcolata per il territorio abruzzese.

Figura 25 – Mappa del CIP. Mappa che rappresenta i valori del Coefficiente di Infiltrazione Potenziale delle litologie relative al territorio abruzzese. I valori di questa mappa sono stati tratti dallo studio del PTA).

Figura 26- Mappa dell'infiltrazione. Mappa che rappresenta i valori di infiltrazione calcolata per il territorio abruzzese.

Figura 27 – Mappa del ruscellamento. Mappa che rappresenta i valori del ruscellamento calcolata per il territorio abruzzese.

Figura 28 – Mappe dei bacini. (Da sinistra a destra) Mappe della pioggia, dell'evapotraspirazione, dell'infiltrazione e del ruscellamento relative ai bacini del Fiume Vomano, Fiume Foro e Fiume Salinello.

Figura 29 – Mappe con esempi di tematismi. (In alto a sinistra) Mappa che rappresenta il numero di abitanti per cella calcolata. (In alto a destra) Mappa che rappresenta il quantitativo d'acqua prelevata ad uso industriale. (Al centro a sinistra) Mappa che rappresenta il quantitativo di acqua prelevata per scopi idropotabili. (Al centro a destra) Mappa che rappresenta il fabbisogno di risorsa idropotabile in termini volumetrici. (In basso a sinistra) Mappa che rappresenta il quantitativo di acqua restituita dagli scarichi. (In basso a destra) Mappa che rappresenta il fabbisogno idrico per soddisfare la richiesta ad uso agricolo all'interno del bacino del Sinello.

Figura 30 – Idrogramma Mortaio D’Angri. Idrogramma della sorgente Mortaio D’Angri che mostra le portate misurate dalla fine di giugno 2020 all’inizio luglio 2022.

Figura 31 – Schema idrogramma. Schema generico dell’esaurimento di una sorgente, dove sono indicate le riserve permanenti, le riserve regolatrici e la capacità di svuotamento. Tratto da Celico, 1988.

Figura 32 – Idrogramma Vitella D’Oro. Idrogramma della sorgente Vitella D’Oro che mostra le portate misurate dall’inizio di giugno 2021 all’inizio luglio 2022.

Figura 33 – Confronto piovosità. A sinistra una mappa che mostra la piovosità del 2016 calcolata in un’area del territorio abruzzese, mentre a destra mappa delle anomalie di piovosità calcolata tra l’anno 2016 e la piovosità media ottenuta nelle elaborazioni del bilancio idrico.

Figura 34 – Confronto NAO-piovosità. Grafico che mostra il confronto tra la media delle piogge mensili della stazione di Pagliaroli e l’inverso dell’indice NAO.

Figura 35 – Webgis ERSI. Immagine che mostra la sovrapposizione di alcuni layer utilizzando il webgis fornito dalla suite ESRI, software proprietario.

Figura 36 – Webgis creato. Immagine che mostra le potenzialità di un webgis creato appositamente per lo studio. Il risultato è stato ottenuto integrando diverse librerie di vari linguaggi di programmazione, come Python, HTML e Java Script.

LISTA DELLE TABELLE

Tabella 1 – Efficienza rete Datasphere. Elenco delle stazioni presenti nella piattaforma Datasphere con l’indicazione della resa effettiva (IP) delle singole stazioni in termini di trasmissione dati.

Tabella 2 – Bilancio bacini. La tabella mostra i valori di lama d’acqua (mm) e volumi (Mmc – Milioni di metri cubi) ottenuti calcolando i termini del bilancio idrologico (Pioggia, ETR – Evapotraspirazione, Infiltrazione e Ruscellamento) per i bacini del F. Foro, F. Sinello e F. Vomano. I valori sotto la voce “studio” si riferiscono a quelli effettuati in questa trattazione, mentre quelli sotto la voce “PTA” si riferiscono ai quantitativi calcolati nello studio del PTA (Piano di Tutela delle Acque della Regione Abruzzo).

Tabella 3 – Confronto bacini. Il riquadro a sinistra della tabella mostra la differenza, in termini di lama d’acqua, delle componenti del bilancio calcolate in questo studio e nello studio del PTA (Piano di Tutela delle Acque della Regione Abruzzo) per i bacini del F. Foro, del F. Sinello e del F. Vomano. Il riquadro centrale, analogamente al riquadro di sinistra, mostra le differenze in termini di volumi (Mmc - milioni di metri cubi). Il riquadro a destra mostra un confronto tra le portate calcolate a chiusura dei vari bacini, sia per questo studio che per lo studio del PTA.

LISTA DELLE FIGURE IN APPENDICE

Appendice – Figura 1 – Shaft Encode (M1, M4). Schematizzazione di un sistema di misura Shaft Encoder ottico. La variazione del livello idrometrico è rilevata da un galleggiante collegato ad una puleggia. La rotazione del disco forato permette di creare un segnale caratterizzato da un’onda quadra. Ad ogni ciclo del segnale corrisponde un angolo di rotazione preciso, che a sua volta è correlato all’abbassamento e innalzamento del livello del fluido misurato.

Appendice – Figura 2 – Stramazzo rettangolare o trapezoidale (M1, M4). Schematizzazione del funzionamento di uno stramazzo con sistema di misura della portata a partire dall'altezza idrometrica. L'idrometro posto a monte dello stramazzo in una colonna di calma, misura l'altezza idrometrica rispetto alla base dell'apertura dello stramazzo. Nota la geometria dello stramazzo, e altri coefficienti idraulici, è possibile calcolare la portata utilizzando un'equazione.

Appendice – Figura 3 – Portata radar (M2). Schema di funzionamento del misuratore di portata che sfrutta la tecnologia radar. Nota la sezione bagnata, attraverso misura del profilo dell'alveo e dell'altezza del tirante, e nota la velocità media, si ottiene il dato della portata.

Appendice – Figura 4 – Idrometro (M7, M8, M9). Schema di funzionamento di un sensore idrometrico generico. Tale metodo di misura sfrutta in genere il principio di riflessione delle onde radio (RADAR) o acustiche.

Appendice – Figura 5 – Piezometro elettrico a pressione (M10, M11). Schema di funzionamento di un sensore di pressione in pozzo per misurare il livello della falda. Per ottenere una misura assoluta delle quote rispetto al livello del mare, occorre una battuta topografica accurata della quota del boccapozzo.

Appendice – Figura 6 – Clamp-on (M12, M13). Schema di funzionamento di una misura di portata in condotta tramite trasduttori clamp-on. La configurazione mostrata in figura rappresenta la più comune geometria utilizzata in questo ambito.

BIBLIOGRAFIA

Abruzzo Progetti, 2008. Studio a supporto della programmazione regionale in materia di risorse idriche destinabili alla produzione di energia idroelettrica.

Abruzzo Progetti, 2008. Campagna Censimento Disponibilità Idriche da Sorgenti nell'Area Marsicana.

ACA S.p.A., 2021 – Report sui prelievi idrici

Allen R.G., Pereira L.S., Raes D. e Smith M., 1998 Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Food Agricult. Organisation (FAO) – Irrigation and Drainage Paper 56; <http://www.fao.org/docrep/x0490e/x0490e00.html>

Aruffo E., Boscaino G., Cerasoli M.A. e Di Carlo P. (Ufficio Idrografico), 2020. Omogeneizzazione di serie storiche di temperatura registrata in Abruzzo. Tipografia La Stampa - Pescara

Boni C, Pianelli A., Pierdomenici S. e Ruisi M., 2002. Le grandi sorgenti del fiume Tirino (Abruzzo). Nota Bollettino della Società Geologica Italiana, 121, 411-431.

Boscaino G. e Memmo A. (Ufficio Idrografico), 2020. Rapporto preliminare sulle precipitazioni negli ultimi 100 anni in Abruzzo. Tipografia La Stampa – Pescara.

Celico P., 1978. Schema idrogeologico dell'Appennino carbonatico. Mem. e Note dell'Istituto di Geologia Applicata dell'Università di Napoli, 14, 1-97.

Celico P., 1988: Prospezioni Idrogeologiche II, Liguori Ed.

Celico P., Fabbrocino S., Petitta M. e Tallini M, 2005. Hydrogeologica impact of the Gran Sasso motor-wat tunnels (Central Italy). Giornale di Geologia Applicata 1, 157-165. doi: 10.1474/GGA.2005-01.0-16.0016.

Chiaudani A., Di Curzio D. e Rusi S., 2019. The snow and rainfall impact on the Verde spring behavior: A statistical approach on hydrodynamic and hydrochemical daily time-series. Science of the Total Environment, 689, 481-493. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.06.433

Corine Land Cover (CLC), 2018. Mappa dell'uso del suolo. COPERNICUS pan-European landcover data series

D.lgs. n. 152/2006 (T.U. ambiente) - Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152. Norme in materia ambientale (G.U. n. 88 del 14 aprile 2006).

Decreto Ministeriale 28 Luglio 2011.

Direttiva del presidente del consiglio dei ministri 27 febbraio 2004

ENEL, 2007. Dichiarazione ambientale Anno 2007. Impianti idroelettrici della UB Montorio -Nucleo Montorio (TE) Aste Vomano, Pescara, Sangro, Tavo e del Nucleo Ascoli (AP) - Asta Tronto

ERSI – Database delle sorgenti

Ferracuti L., Marinelli G. e Rusi S., 2006. Idrogeologia e monitoraggio delle sorgenti carsiche del Tavo (massiccio carbonatico del Gran Sasso) e loro implicazioni nella gestione dell'emergenza torbidità. Giornale di Geologia Applicata, 3, 42-52. <https://doi.org/10.1474/GGA.2006-03.0-06.0099>

Fiorillo F., Petitta M., Preziosi E., Rusi S., Esposito L. e Tallini M., 2015. Long-term trend and fluctuations of karst spring discharge in a Mediterranean area (central-southern Italy). *Environmental Earth Sciences* volume 74, 153–172. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3946-6>

Genio Civile delle province della Regione Abruzzo, 2020. Database delle domande di concessione di derivazione.

Ghisetti F. e Vezzani L., 1983. Deformazioni pellicolari mioceniche e plioceniche nei domini strutturali esterni dell'Appennino centromeridionale (Maiella ed arco Morrone Gran Sasso). *Mem. Soc. Geol. It.*, 26.

European Environment Agency. Water Exploitation Index

HyQuest Brochure

ISTAT, 2019 – Shapefile e database con dati territoriali

Jones P.D., Jónsson T. e Wheeler D., 1997: Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and South-West Iceland. *Int. J. Climatol.* 17, 1433-1450. doi: 10.1002/(SICI)1097-0088(19971115)17

Kindsvater C.E. e R.W. Carter, 1959. Discharge Characteristics of Rectangular Thin-Plate Weirs, Paper No. 3001, Transactions, American Society of Civil Engineers, vol. 124.

Maillet E., 1905. *Essais d'hydraulique souterraine et fluviale*. Librairie Sci., A. Hermann, Paris

Nanni T. e Rusi R., 2003. Idrogeologia del massiccio carbonatico della montagna della Majella (Appennino Centrale). *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 122, 173-202.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2021. NAO index data.

Nucci M., 2008. Il monitoraggio continuo dei livelli di falda in Umbria. Arpa Umbria.

Petitta M. e Tallini M., 2002. Idrodinamica sotterranea del massiccio del Gran Sasso (Abruzzo): indagini idrologiche, idrogeologiche e idrochimiche (1994–2001). *Boll Soc Geol It* 121:343–363

PRGA, 2011. Piano Regolatore Generale degli Acquedotti.

PTA – Piano di Tutela delle Acque della Regione Abruzzo e aggiornamenti, 2006.

Ruzzo Reti S.p.A., 2021 – Report sui consumi idrici.

SASI S.p.A., 2021 – Report sui consumi idrici.

Sibson R., 1981. A brief description of natural neighbor interpolation (Chapter 2). In V. Barnett (ed.). *Interpreting Multivariate Data*. Chichester: John Wiley. pp. 21–36.

SIGRIAN, 2021. Database.

Sommer Brochure

SonTech Brochure

Tarquini S., Isola I., Favalli M. e Battistini A., 2007. TINITALY, a digital elevation model of Italy with a 10 meters cell size (Version 1.0). Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/TINITALY/1.0>.

Turc L., 1961. Estimation of irrigation water requirements, potential evapotranspiration: a simple climatic formula evolved up to date. *Annals of Agronomy* 12: 13-49.

USGS -Mueller, D.S., e Wagner, C.R., 2009. Measuring discharge with acoustic Doppler current profilers from a moving boat: *U.S. Geological Survey Techniques and Methods* 3A-22, 72.

Vergni L. e Todisco F., 2016. Effect of the North Atlantic Oscillation on winter daily rainfall and runoff in the Abruzzo region (Central Italy). *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 30, 1901–1915. <https://doi.org/10.1007/s00477-015-1194-2>.

Vezzani F. e Ghisetti L., 1998. *Carta Geologica dell’Abruzzo (Scala 1:100000)*.

Water Framework Directive e Reporting guidance, 2000, 2016, 2020. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy.