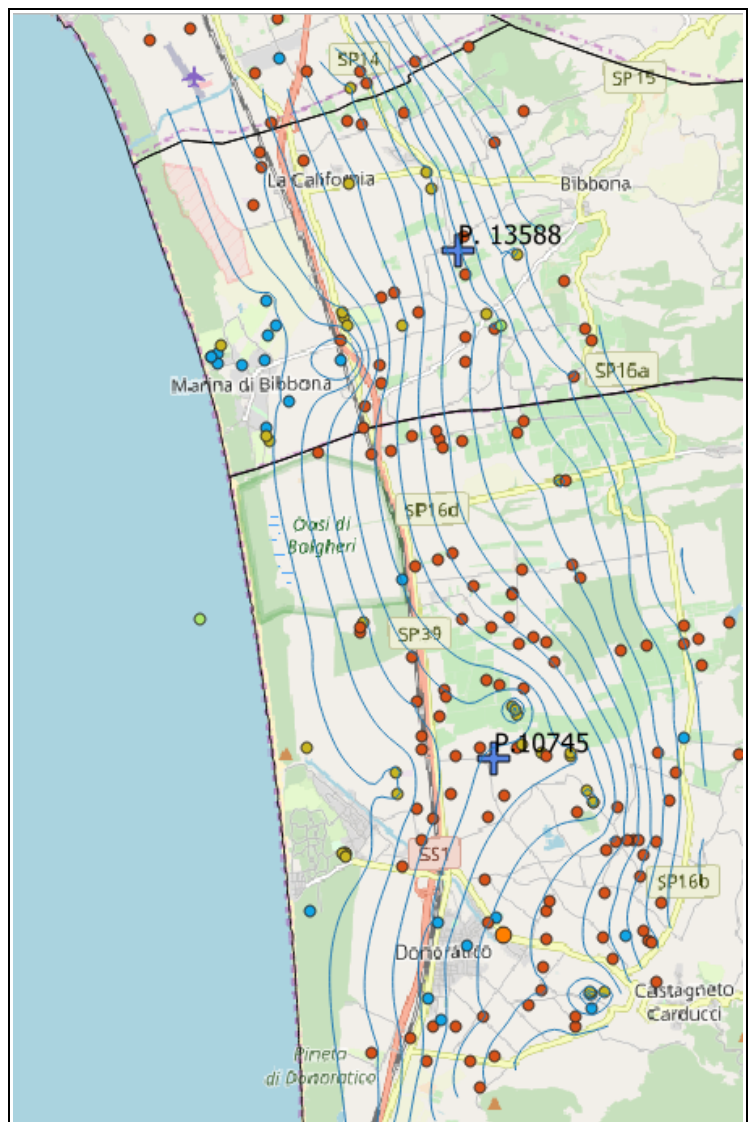




Autorità di Bacino Distrettuale
dell'Appennino Settentrionale

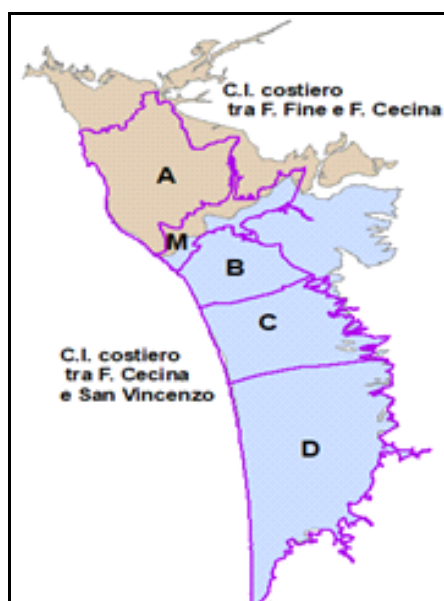
**MODELLISTICA
IDROGEOLOGICA
PER LA VALUTAZIONE
DELLE DISPONIBILITÀ
IDRICHE SOTTERRANEE
DELLA COSTA
LIVORNESE**

*Rapporto finale
Gennaio 2020*



In questo Report vengono illustrate le attività che hanno portato ad una prima definizione delle disponibilità idriche dei corpi idrici sotterranei della costa livornese, ovvero del tratto di pianura costiera compresa fra La California e Marina di Castagneto Carducci. Tale area è contraddistinta da un forte prelievo estivo soprattutto per le attività legate al turismo e in misura minore per l'agricoltura.

Più in generale la costa livornese è caratterizzata da due corpi idrici sotterranei costieri distinti, ciò nonostante, il bilancio è stato redatto per settori particolari di tali corpi idrici, non necessariamente coincidenti con i loro confini. Il motivo di tale scelta risiede nelle disposizioni normative dell'ex AdB regionale Toscana Costa che aveva suddiviso le acque sotterranee in settori specifici, funzionali alla gestione della risorsa. Nello studio del bilancio idrico si è ritenuto di mantenere tale suddivisione per continuità, ciò nonostante viene espresso anche alla scala del corpo idrico classificato. Il bilancio dei settori denominati A, B e M è stato fatto nel 2018 da Arpat per conto della Regione Toscana (Modellistica idrogeologica per la gestione delle disponibilità delle risorse idriche Arpat 2018) e nel corso del 2019 l'Autorità di Distretto ha esteso il bilancio anche ai settori C e D, in modo da completare il quadro sulle disponibilità idriche dei due corpi idrici classificati nel Piano di Gestione delle acque come Corpo idrico costiera tra F. Fine e F. Cecina e Corpo idrico costiero tra F. Cecina e San Vincenzo. Il metodo di redazione è stato di tipo modellistico.



I settori A e parte di M appartengono al Corpo idrico costiera tra F. Fine e F. Cecina, mentre B, C, D e parte di M appartengono al corpo idrico costiero tra F. Cecina e San Vincenzo.

Nel corso del 2018 Arpat ha redatto uno studio modellistico sulla bassa val di Cecina che ha riguardato i settori A, M e B. Al fine di estendere il bilancio anche al resto della costa livornese è stato implementato un modello esteso anche ai settori C e D ottenendo anche per tali settori il computo delle disponibilità idriche.

Caratteristiche dei corpi idrici

I due c.i. possono essere considerati dal punto di vista geologico-idrogeologico come un sistema acquifero unico, in quanto l'analisi delle stratigrafie mostra l'esistenza di livelli permeabili che ne suggeriscono la continuità fisica. Essi costituiscono una risorsa idrica indispensabile per rifornire di

acqua potabile, irrigua ed industriale un'importante area della Toscana meridionale. Varie problematiche quali, concorrenza di usi, ridotta disponibilità idrica, l'intrusione salina e la presenza di inquinamento diffuso da nitrati rendono tuttavia difficoltoso il prelievo idrico.

Dal punto di vista idrogeologico si tratta di un acquifero multistrato, esteso fino ai rilievi collinari sabbioso argillosi ed alimentato dalla ricarica zenitale e dal Fiume Cecina. All'interno di questo sistema acquifero sono stati incorporati, oltre ai depositi olocenici, le formazioni del Pleistocene medio-superiore, costituite da sabbie, ghiaie e conglomerati, alternate a livelli argilloso-limosi. I depositi pleistocenici in affioramento si estendono lungo il limite orientale della pianura olocenica, costituendo le aree terrazzate a debole inclinazione che si appoggiano alle zone collinari interne costituite da depositi neogenici e substrato pre-neogenico. In genere nella pianura costiera, al di fuori delle pianure alluvionali vere e proprie del Fine e del Cecina, siamo in presenza di una complessa situazione stratigrafica con sequenze detritiche, in genere marine, che si ripetono a più livelli e che, per la particolare geometria derivante dalla complessa storia del Pleistocene locale, con numerosi cicli trasgressivi – regressivi, fa sì che gli acquiferi contenuti nei livelli detritici grossolani vadano ad interferire tra loro. Tutto questo fa sì che la pianura costiera sia caratterizzata da un acquifero multistrato senza una vera e propria copertura verso la superficie e quindi generalmente freatico, con variazioni della trasmissività dovute allo spessore dei livelli a bassa permeabilità e alla permeabilità degli intervalli acquiferi. Soltanto alcuni livelli del Pleistocene inferiore – medio, nelle aree più prossime alla zona collinare, possono dar luogo ad acquiferi con un certo grado di artesianità essendo compresi tra acquitardi argilloso - sabbiosi. In sintesi, per il sistema acquifero multistrato della pianura costiera di Cecina è riconosciuto nel complesso un carattere monofalda con una base argillosa acquicluda di età variabile dal pliocene (argille azzurre) al pleistocene inferiore (argille ad artica).

La ricarica dell'acquifero avviene, oltre che per infiltrazione diretta delle precipitazioni, anche per apporto di acque che si infiltrano nella zona collinari e pedecollinari, in orizzonti permeabili connessi con quelli più profondi della pianura costiera. Il sistema acquifero è in collegamento con il Fiume Cecina, soprattutto nella parte apicale, mentre verso valle gli scambi sono progressivamente limitati da una copertura acquicluda o acquitarda che aumenta di spessore. Oltre gli apporti sopraddetti, gli acquiferi sovra sfruttati possono ricevere apporti di acqua marina o salmastra, essendo gli acquiferi della pianura costiera, direttamente od indirettamente connessi con queste acque.

La situazione idrogeologica è del tutto simile fra la parte settentrionale (c.i. tra F. Fine e F. Cecina) e la parte meridionale (c.i. tra F. Cecina e San Vincenzo), le differenze riguardano il maggiore spessore dei depositi pleistocenici e la minore produttività dei depositi alluvionali di quest'ultima.

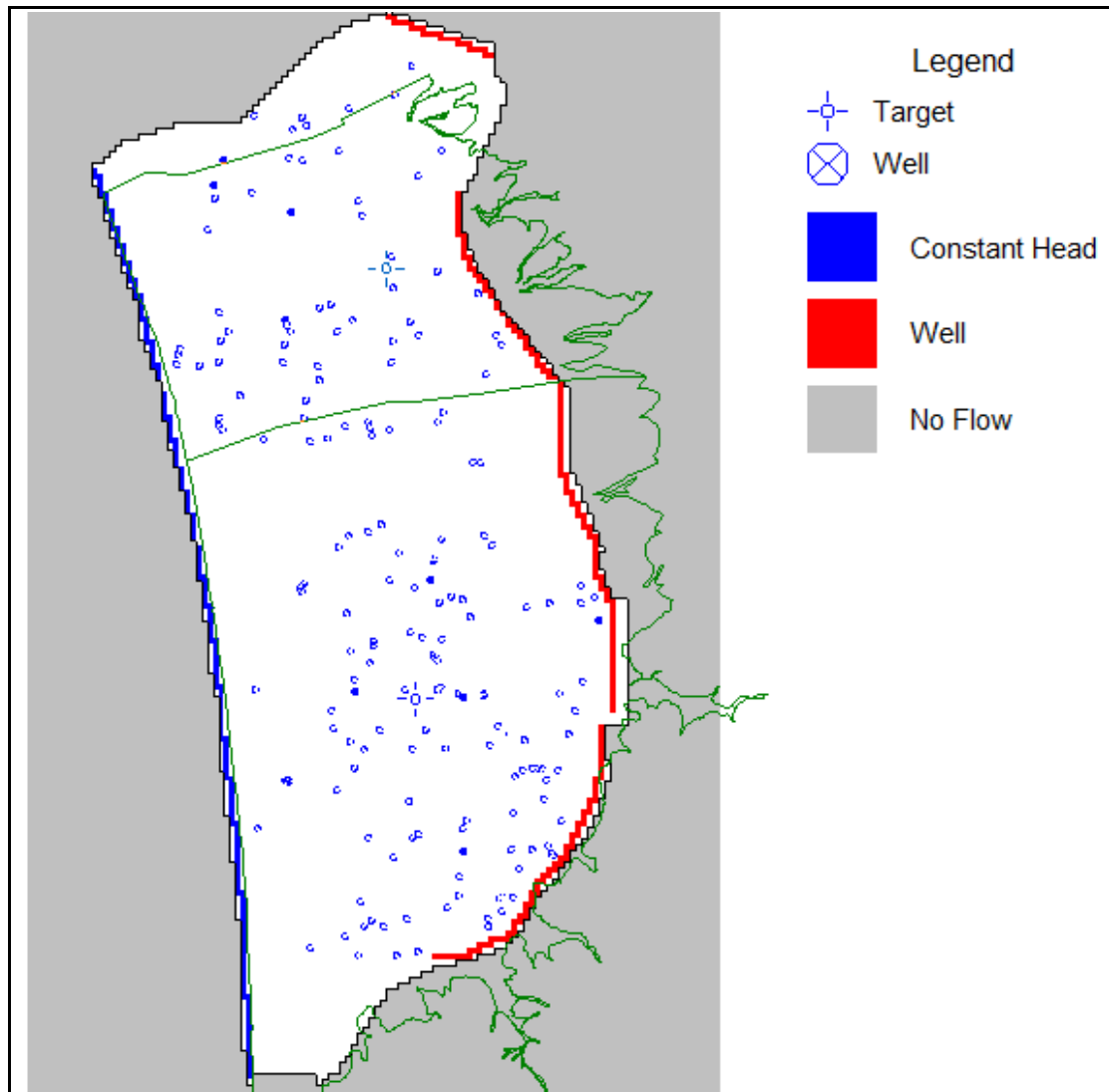
Modellazione idrogeologica

il modello concettuale è stato ripreso dal modello Arpat, ovvero il sistema acquifero della pianura costiera è stato riconosciuto come un acquifero monofalda. Come condizioni al contorno sono state considerate la ricarica areale da infiltrazione delle acque di pioggia e gli apporti dai versanti collinari, inoltre è stato considerato la linea di costa come un limite a carico costante alla quota 0 m slm. Non sono stati considerati scambi falda fiume, poiché a differenza della parte nord della pianura non abbiamo qui la presenza di corsi d'acqua di una certa importanza (come è il Cecina a nord), nonostante ciò non si esclude che ci possa essere una certa interazione con alcuni corsi minori presenti nell'area, ma dati in tal senso non sono ad oggi disponibili. I prelievi sono quelli forniti dal Genio Civile Toscana costa e sono stati stagionalizzati in base all'uso, ovvero si è considerato il prelievo esclusivamente d'estate ed in misura minore in primavera per l'uso

agricolo, ma anche per tutti gli usi riconducibili al turistico, come quelli per i campeggi ad esempio.

La geometria del corpo idrico modellato è stata ripresa dagli studi effettuati sull'area fra i quali (Studio idrogeologico sul tratto di costa compreso tra Rosignano e San Vincenzo – Pranzini, febbraio 2004. e Caratterizzazione geologica, idrogeologica e idrogeochimica dei Corpi Idrici Sotterranei Significativi della Regione Toscana (CISS) LaMMA – CNR 2009)

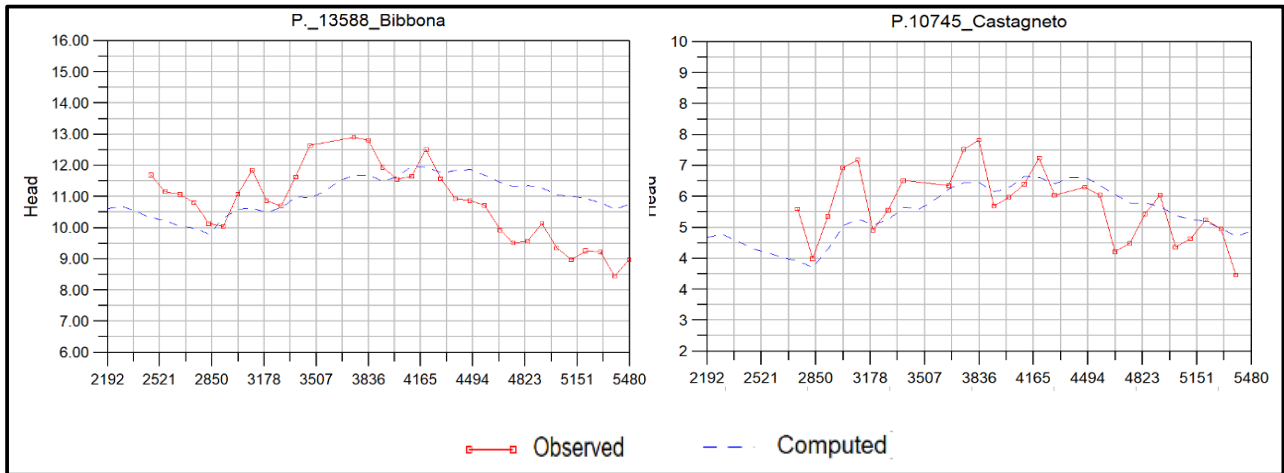
Purtroppo i dati relativi alla caratteristiche idrodinamiche (permeabilità e coefficiente di immagazzinamento) del sottosuolo sono pochi ed insufficienti a produrre una vera e propria cartografia tematica, pertanto in fase di modellazione tali caratteristiche sono state attribuite sulla base della geologia e sulla base del modello Arpat.



Condizioni al contorno del modello costa livornese

Il modello ha considerato 220 righe e 120 colonne per un totale di 26400 celle di 100 m di lato, di queste 10651 risultano attive. Il modello è stato calibrato sui due punti di rilevazione freaticometrica del Centro funzionale della regione Toscana. Il modello è stato implementato dunque per tutto il periodo 2011/2019, ovvero per 9 anni suddivisi in stress periods stagionali (trimestrali).

I targets per la calibrazione del modello sono solamente due, si tratta dei due punti di rilevazione freaticometrica del Centro Funzionale della regione Toscana, che hanno misure dal 2011. La calibrazione ha dato risultati accettabili, il modello riesce a simulare l'andamento generale della piezometria nel periodo considerato, pur con scostamenti che con l'attuale poca disposizione di dati non è possibile colmare.



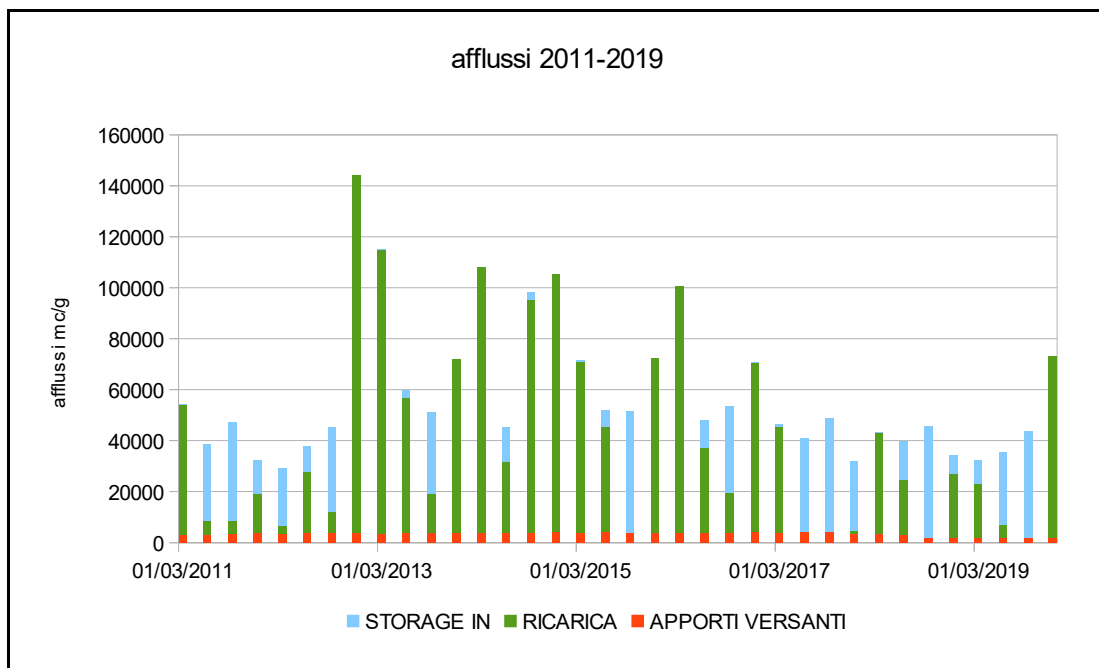
Grafici di calibrazione

Risultati

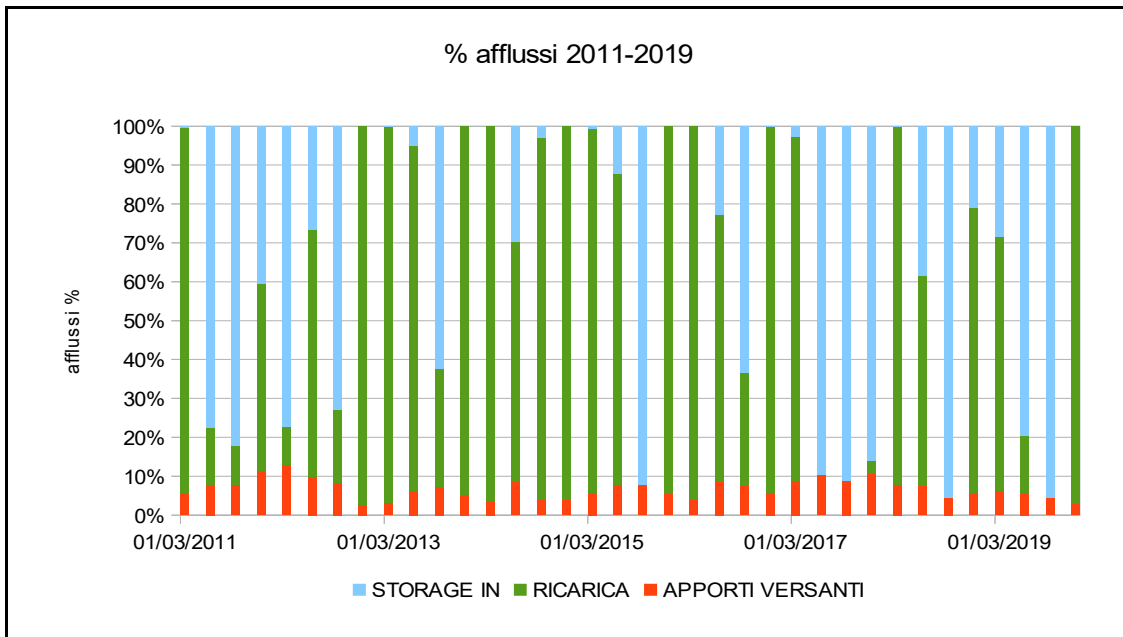
I dati di bilancio complessivi del modello transitorio basato sul periodo 201/2019 evidenzia come il sistema viene ricaricato in misura maggioritaria dalla ricarica areale per infiltrazione delle precipitazioni, mediamente, per circa 14,6 Mmc/anno ed in misura minore di un ordine di grandezza, dagli apporti dai versanti per circa 1,27 Mmc/anno medi.

Le uscite sono sostanzialmente i prelievi (per circa 6,8 Mmc/anno) e la discarica a mare per circa 7,7 Mmc/anno.

Il quadro che mediamente ne emerge è di sostanziale pareggio con un saldo leggermente positivo. Risulta però interessante l'analisi stagionale degli afflussi e dei deflussi dai quali si possono fare alcune considerazioni

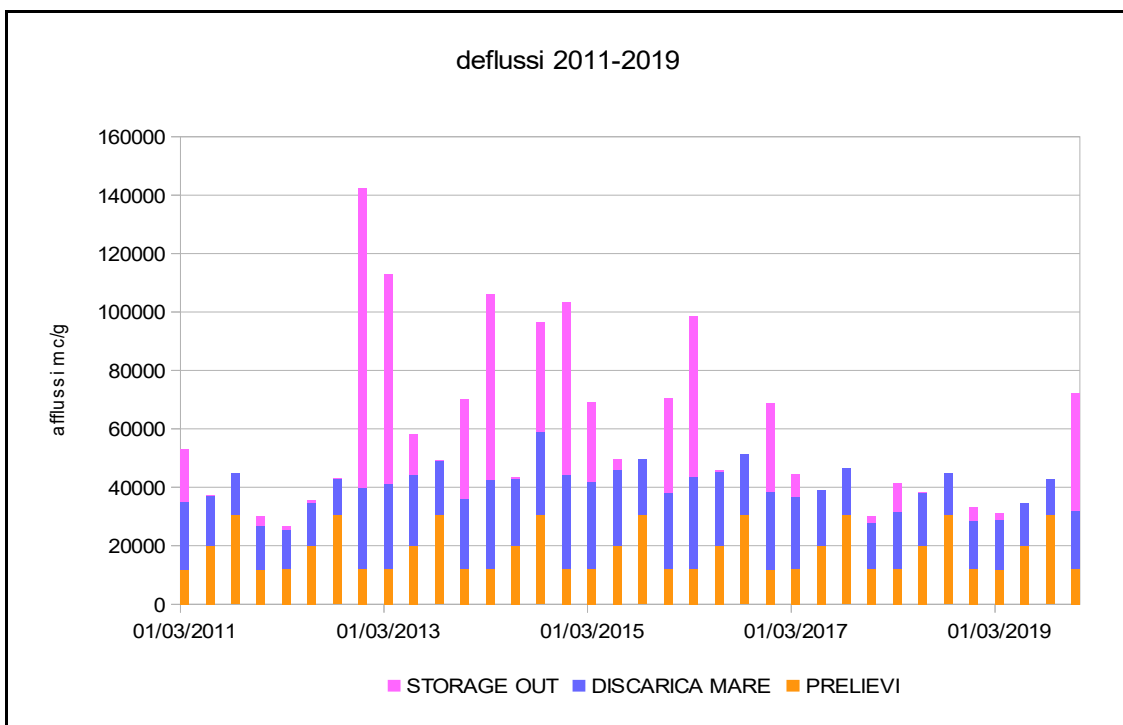


afflussi del modello in mc/g nel periodo 2011 - 2019

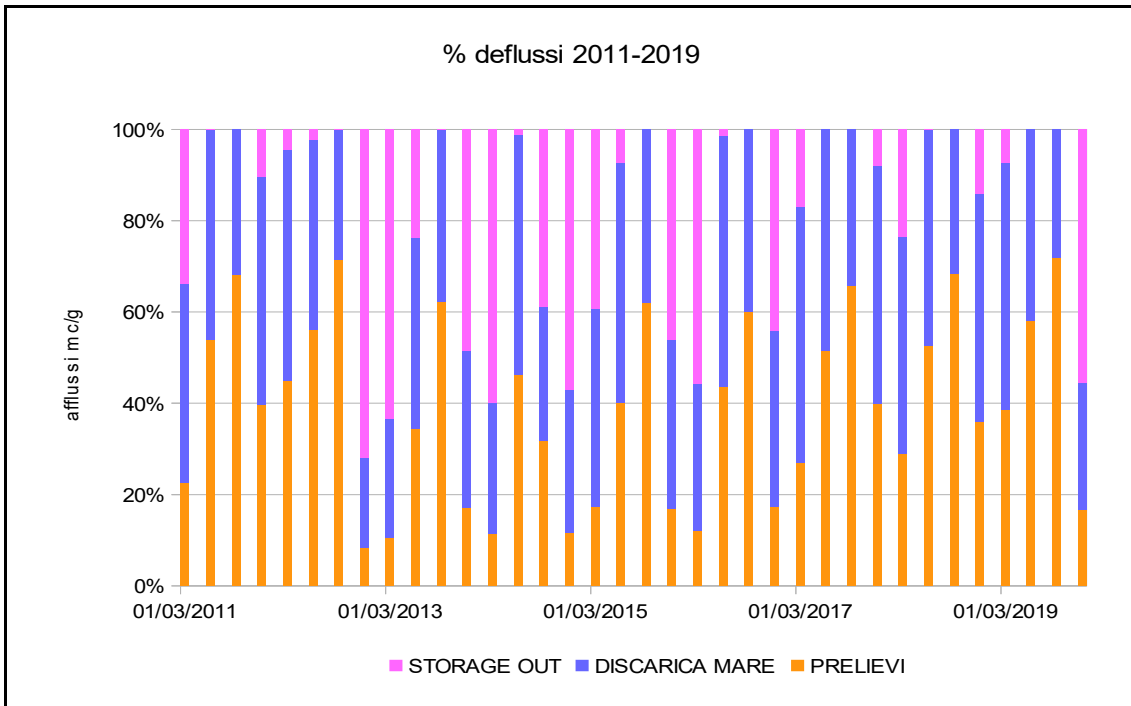


afflussi percentuali del modello nel periodo 2011 - 2019

Per quanto riguarda gli afflussi, gli elementi più caratteristici del periodo indicano che un primo decremento della ricarica nel 2012, anno particolarmente siccitoso, successivamente si ha una ripresa degli afflussi caratterizzata comunque da una spiccata stagionalità; successivamente dal 2017 si riscontra un netto decremento e soltanto negli ultimi trimestri del 2019 si nota una inversione di tendenza, che però andrà verificata nel corso del 2020. Il grafico rende evidente come a fronte di una riduzione della ricarica si attivano altre fonti di ingresso, come lo storage, ovvero lo svuotamento del serbatoio acquifero; questa è l'unica fonte di regolazione durante i periodi di bassa ricarica, in quanto, a differenza di quanto avviene nei settori più a nord, non si hanno scambi significativi con corsi d'acqua superficiali.

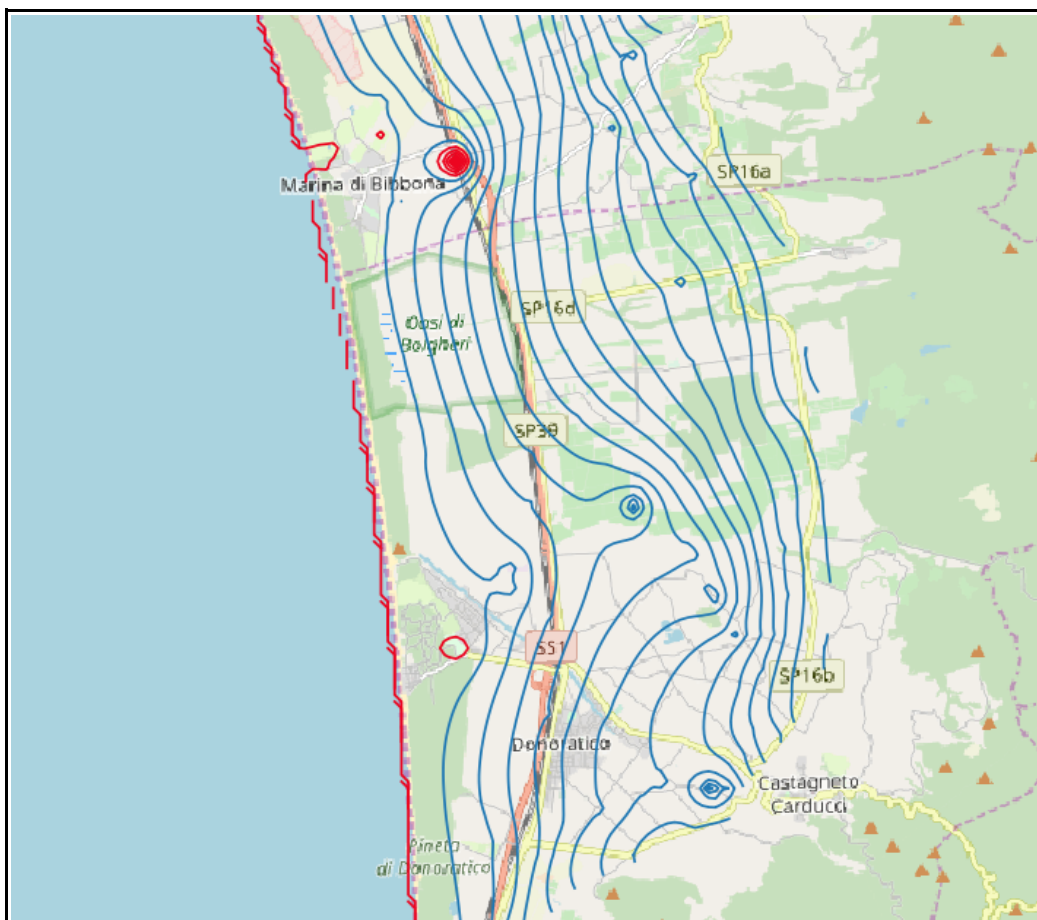


deflussi del modello in mc/g nel periodo 2011 - 2019



deflussi percentuali del modello nel periodo 2011 - 2019

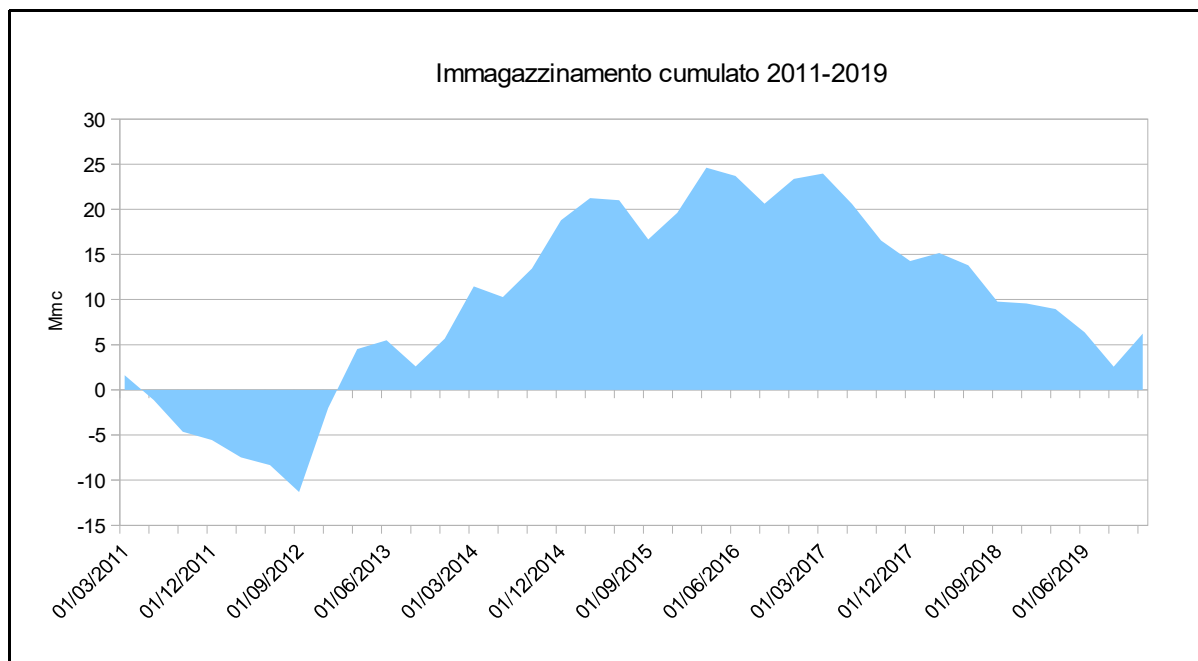
Dall'esame dei deflussi si evince sostanzialmente l'effetto stagionale dei prelievi nel periodo estivo, mentre la discarica a mare risulta nel suo complesso sempre positiva, anche nel 2012. Una verifica di quanto sopra è mostrata dalla mappa piezometrica simulata alla fine dell'estate 2012



simulazione della piezometria estiva alla fine dell'estate 2012 – in rosso le isopieze 0 m s.l.m.

I valori di deflusso a mare si mantengono sempre in uscita, soltanto in alcune aree localizzate si ha invece ingressione di acqua salata. Questo avviene in area limitata di Marina di Bibbona, nella zona dei campeggi e nell'area di Marina di Castagneto Carducci. Una situazione simile, ma meno estesa, si presenta anche nella simulazione dell'estate 2017. Si evidenzia come questa ingressione di acqua marina viene riscontrata solo nelle simulazioni dei trimestri estivi del 2012 e del 2017. In tutti gli altri trimestri le simulazioni non mostrano tale fenomeno.

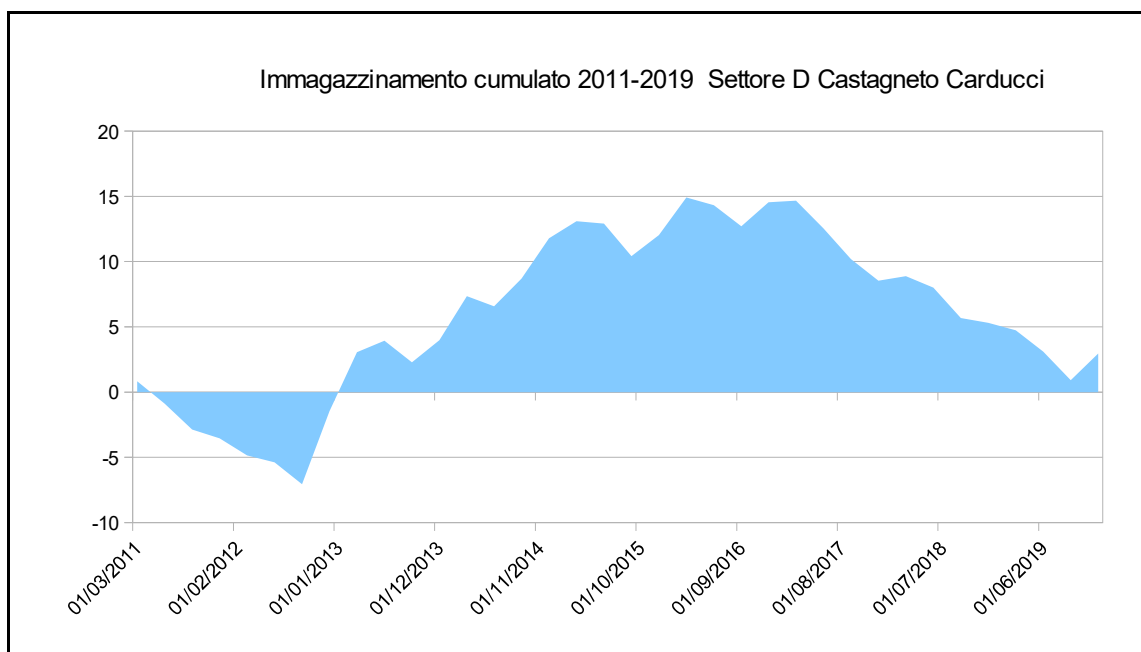
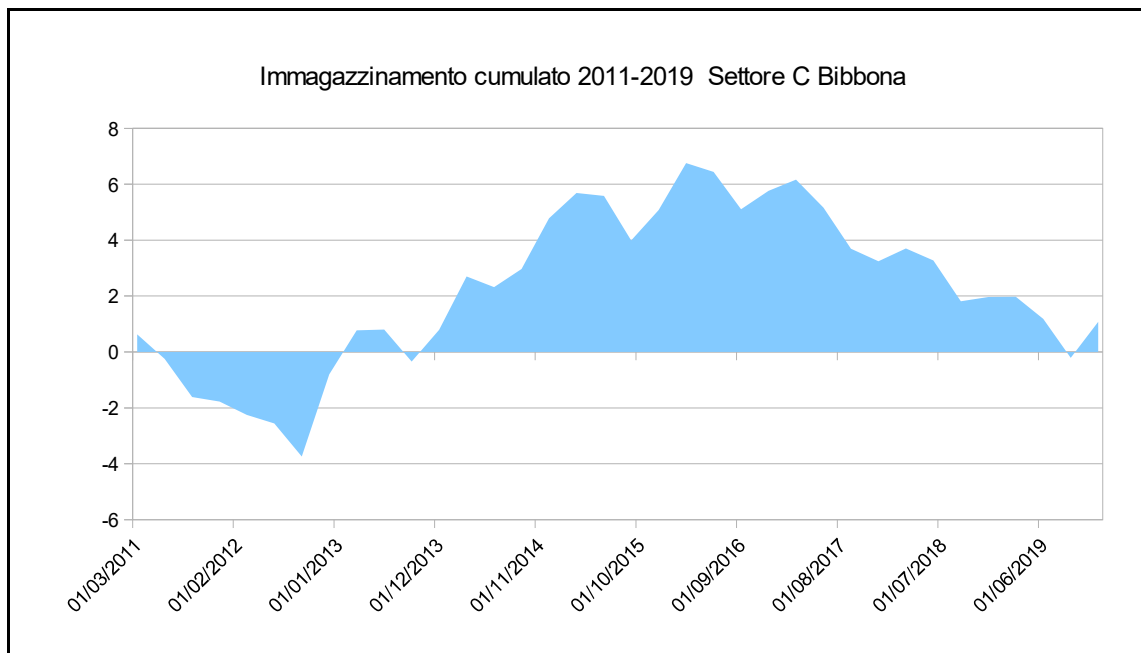
Per l'intero dominio studiato è stato inoltre calcolato l'idrogramma dell'immagazzinamento cumulato. Il grafico esprime il volume invasato nel corpo idrico dal 2011 al 2019.



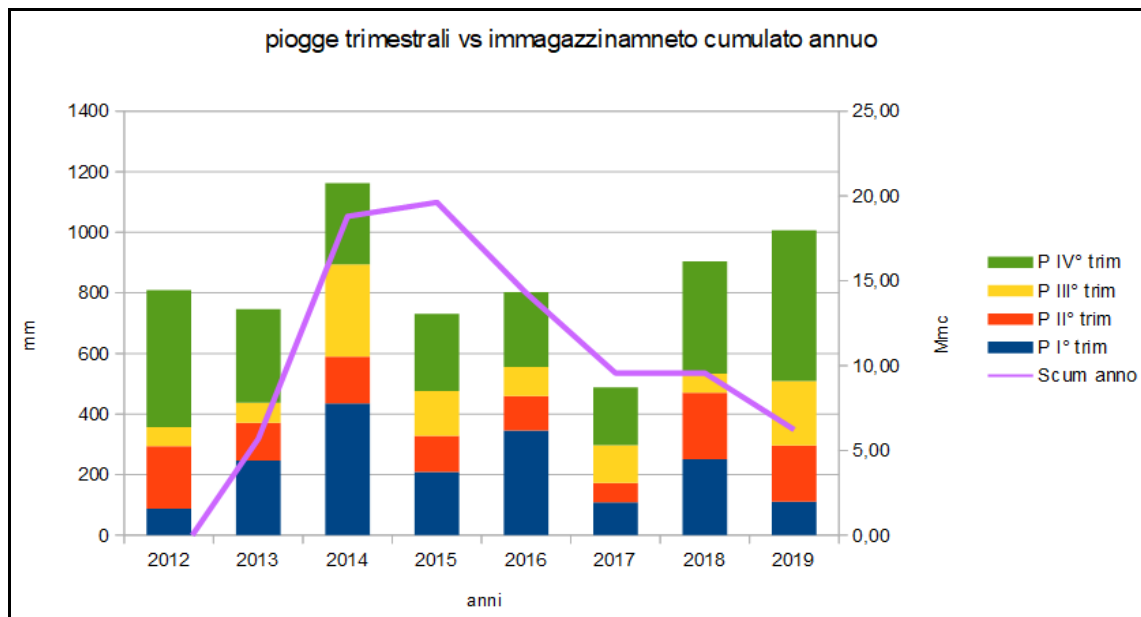
Nel grafico si nota bene i periodi nei quali si ha consumo di risorsa, ad esempio è ben visibile la crisi idrica del 2012. In assoluto si può vedere come dopo la sopra citata siccità del 2012 si è avuta una ripresa dell'immagazzinamento di risorsa, che pur con le escursioni stagionali, è proseguita fino alla metà del 2017. Il 2017 è stato l'altro anno critico dal punto di vista della scarsità idrica, da allora si assiste nel corpo idrico ad una diminuzione della risorsa immagazzinata, con una ripresa nell'ultimo periodo del 2019. Il bilancio, considerando il periodo si conclude con un + 6,22 Mmc, ma con un netto trend discendente dal 2017 ad oggi.

Lo stesso tipo di elaborazione (idrogramma degli immagazzinamenti cumulati) è possibile visualizzarla anche per distinti settori del corpo idrico. Tale distinzione è stata quindi effettuata per i settori C (Bibbona) e D (Castagneto Carducci), settori che corrispondono circa ai territori comunali compresi nella pianura costiera.

L'andamento nei due settori rispecchia quello generale, per il settore C si riscontra un + 1,08 Mmc, mentre per il settore D un +2,96 Mmc



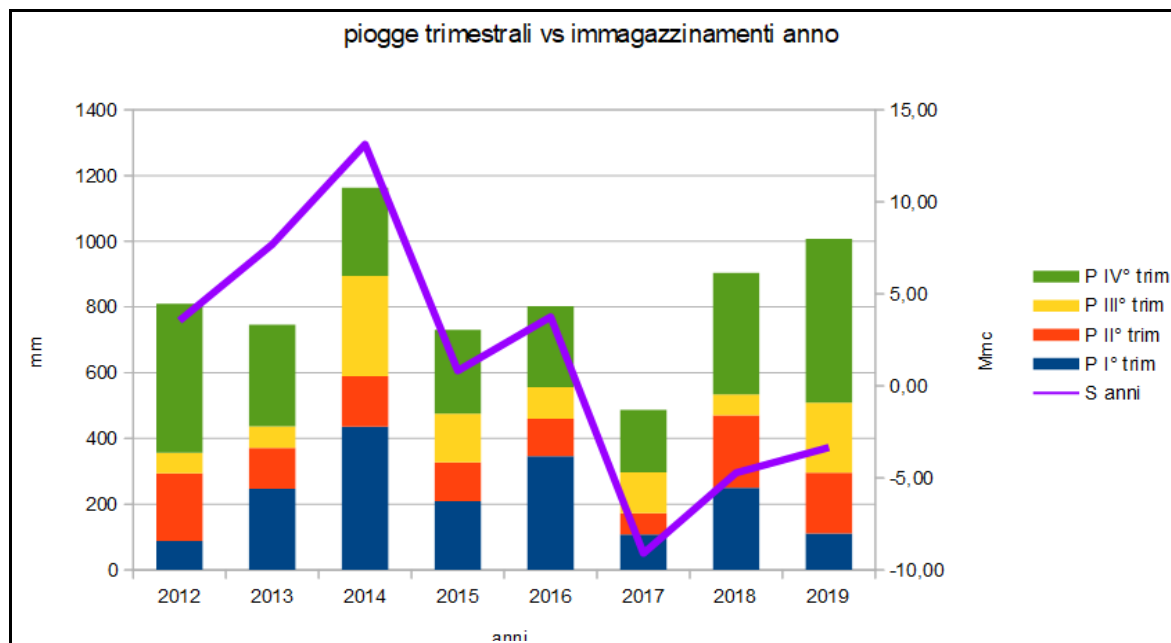
Nel commentare il grafico degli immagazzinamenti cumulati si può notare una netta discesa dalla fine del 2016 fino a tutto il 2017 ed in parte anche per il 2019. Risulta utile commentare esaminando gli andamenti delle precipitazioni cumulate.



Piogge trimestrali e storage cumulato annuo

Si può notare che dopo un primo tratto ascendente dal 2012 al 2014 dell'immagazzinamento (con l'anno 2014 caratterizzato da piogge sopra la media) si assiste ad una discesa, ovvero un consumo di risorsa immagazzinata, fino al 2017; gli anni più piovosi del 2018 e 2019 non riescono ancora a ripristinare la risorsa; per la l'ultimo trimestre 2019 mostra una inversione di tendenza positiva.

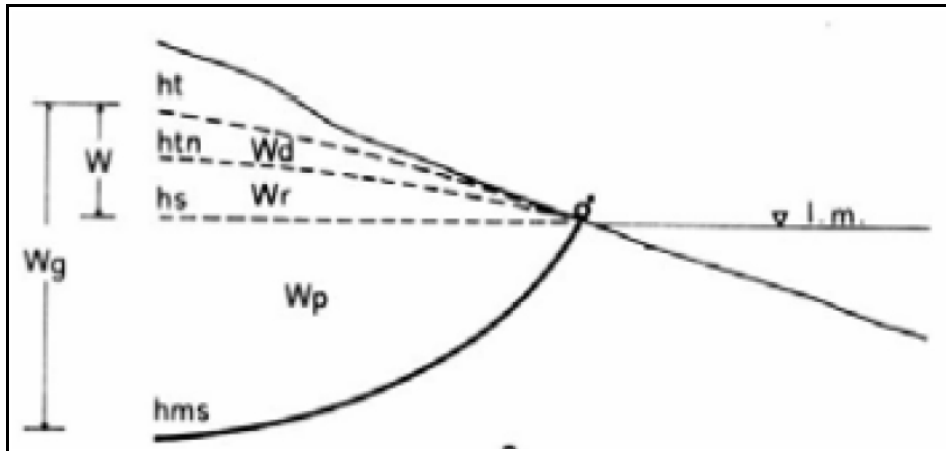
Per spiegare il fenomeno risulta utile confrontare le piogge con gli immagazzinamenti totali annui, ovvero quelli che si hanno sommando solamente i contributi all'interno della singola annualità.



Piogge trimestrali e storage annuo

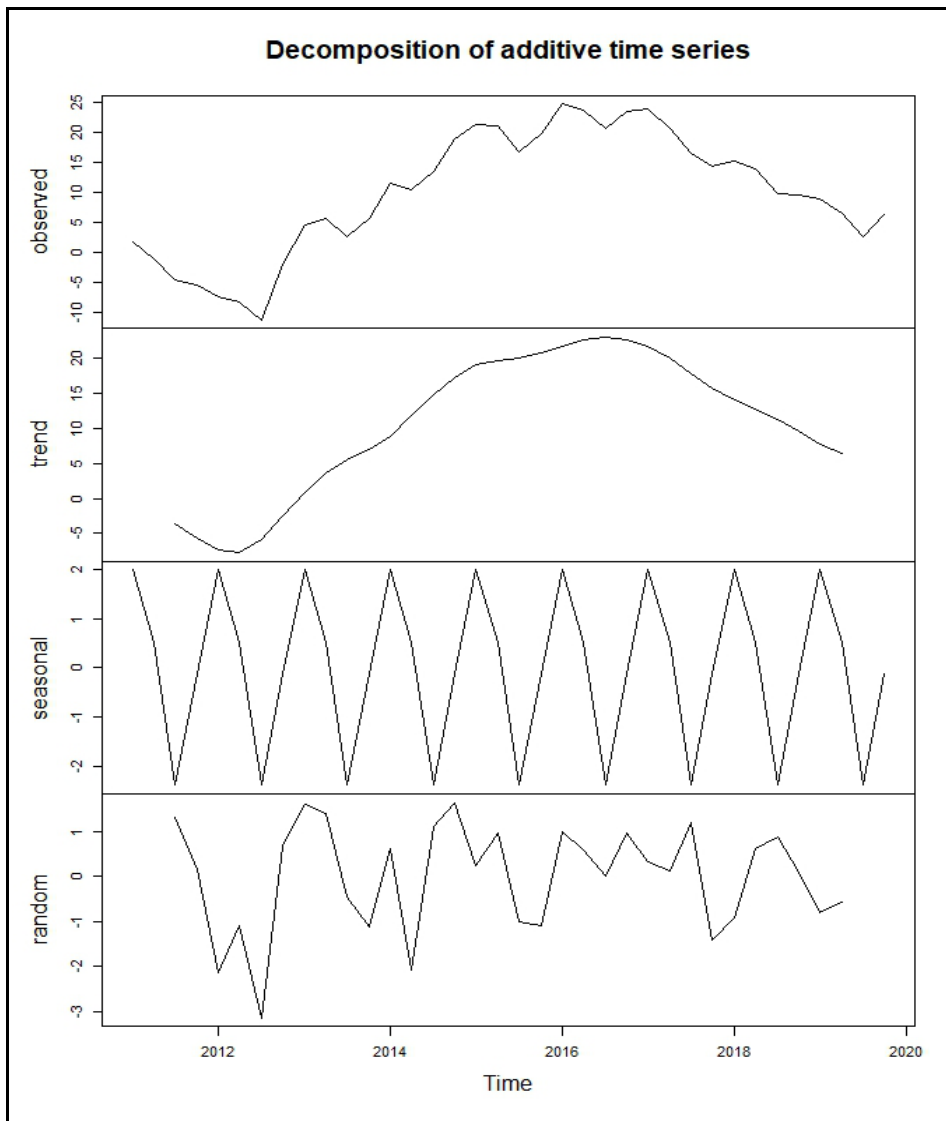
Come si può vedere l'andamento degli immagazzinamenti annui sono correlati con le piogge, ciò sta a significare, oltre alla buona correlazione del modello con gli input meteorologici, che dopo una crisi idrica come quella del 2017 per ripristinare la riserva occorre più annualità di piogge per lo meno nella media.

A tale proposito può essere utile applicare alla serie temporale dell'immagazzinamento netto cumulato la tecnica di decomposizione analitica delle componenti "trend" e "stagionalità" che rappresentano rispettivamente, la riserva regolatrice W_r con le sue oscillazioni pluriennali e la risorsa dinamica W_d a carattere stagionale.



Riserve permanenti (W_p), riserve regolatrici (W_r), risorse dinamiche (W_d) e immagazzinamento globale (W_g)

La decomposizione della serie temporale è stata effettuata tramite il software di statistica R ed ha dato i seguenti risultati.



Le escursioni dei due termini valutate attraverso la tecnica di decomposizione temporale sono risultate:

Wd risorsa dinamica = 4 Mmc

Wr riserva regolatrice = 25 Mmc

Tali valori possono essere confrontati con il prelievo dai pozzi (P) che risulta di 6,8 Mmc anno

risulta pertanto che $Wd < P < Wr/2$

Ciò significa che mediamente i prelievi eccedono la risorsa dinamica, indicando che su scala pluriennale si possa avere una condizione di potenziale stress idrico del corpo idrico. Comunque i volumi di prelievo medi non sembrano eccedere la riserva regolatrice, quindi è presumibile che su cicli pluriennali i deficit temporanei possano essere riassorbiti.

In particolari condizioni avverse con ripetuti trend meteorologici negativi, è comunque necessario monitorare la riserva idrica regolatrice, intervenendo con anticipo sulla gestione dei prelievi. Il tempo di esaurimento è infatti ($Wr/2/Q$) di circa due anni.

Conclusioni

Il modello di flusso, pur con tutte le sue incertezze dovute alla scarsità di dati, ha permesso la valutazione dello stato quantitativo della risorsa nella zona di pianura costiera livornese fra La California e Marina di Castagneto Carducci. Dall'esame dei risultati, confermati dalle freatimetrie registrate dai punti del CFR, si evince che il corpo idrico ha una discreta capacità di immagazzinamento della risorsa, ma è sottoposto a notevoli stress durante le stagioni estive (nelle quali i prelievi sono massimi e gli afflussi minimi) e durante i periodi di crisi idrica, durante i quali manca in questa area la presenza regolatrice di corsi d'acqua superficiale capaci di fornire riserva attraverso lo scambi falda fiume, come avviene nei settori più a nord. Dal 2017 si è assistito ad una discesa dei livelli di volume invasati, siamo comunque ancora lontani dai minimi del 2012. Il 2012 essendo stato un anno particolarmente siccitoso e problematico per l'approvvigionamento idrico in Toscana, viene preso come riferimento di un livello di minimo da non raggiungere. Il modello ha mostrato inoltre una forte correlazione dello storage con le piogge, come è logico aspettarsi, ma anche che il corpo idrico necessita di più tempo per ripristinare la riserva anche in presenza di piogge nella media; ciò è probabilmente da imputare sia alle caratteristiche intrinseche del corpo idrico (acquifero multifalda, permeabilità non elevate dei livelli acquiferi, coefficienti di immagazzinamento bassi) sia al fatto che, a differenza dei settori più a nord, non ha corsi d'acqua capaci di fornire alimentazione, anche indotta dai prelievi di subalveo.

I saldi sono di poco positivi nei due settori C e D, la situazione per quanto riguarda l'intrusione salina sembra confortante, in quanto si riscontrano criticità estive localizzate solo in anni particolarmente siccitosi. I due settori risultano arrivati al limite dello sfruttabile, il saldo di bilancio rilevato alla fine del periodo considerato è risultato di 4,04 Mmc complessivi per la sommatoria dei due settori. Il prelievo esistente è sostenibile, nell'arco pluriennale, ma si ritiene, considerando quanto sopra asserito, che i volumi ancora concedibili per il territorio compreso nei settori C e D non debbano superare la metà del saldo di bilancio, ovvero di circa 2 Mc. Risulta anche opportuno limitare temporalmente le nuove concessioni ed i rinnovi (3/5 anni).

Per ultimo viene posto in evidenza che il modello qui implementato è da ritenersi valido come riferimento generale, ma ci sono lacune su alcuni dati fondamentali, come ad esempio quelli relativi ai coefficienti di permeabilità, oltre che alla mancanza di una piezometria generale di riferimento per tutta la pianura costiera.