

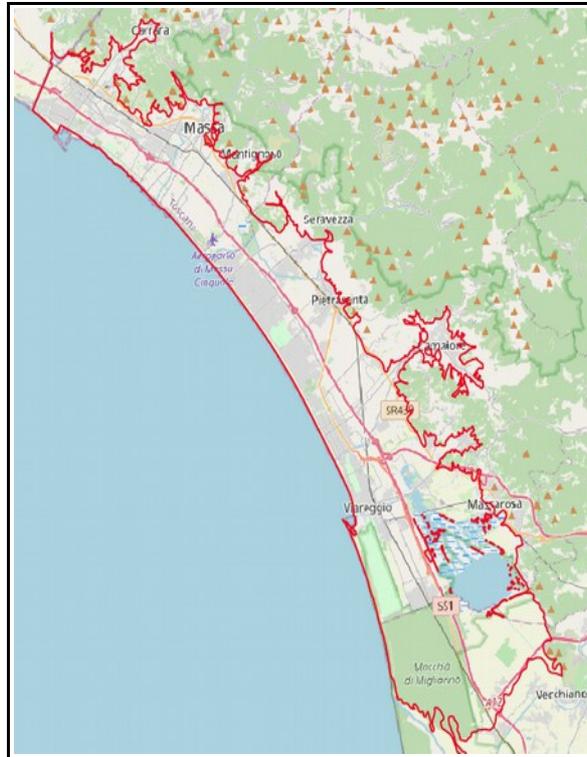


Autorità di Bacino Distrettuale
dell'Appennino Settentrionale

*AGGIORNAMENTO DEL BILANCIO DEL CORPO IDRICO
SOTTERRANEO DELLA VERSILIA E RIVIERA APUANA*

Premessa

In questo Report vengono illustrate le attività che hanno portato all'aggiornamento del bilancio idrico e quindi alla definizione delle disponibilità idriche del corpo idrico sotterraneo della Versilia e Riviera Apuana. Il quadro conoscitivo su prelievi esistenti, sul contesto idrogeologico e sulle altre pressioni significative ha portato a classificare, nel Piano di Gestione delle Acque, il corpo idrico in stato quantitativo NON BUONO per criticità di bilancio (prelievi) e intrusione salina.



Il corpo idrico coincide con il tratto di piana costiera delimitato dalle Alpi Apuane ad Est, e compreso tra la foce del F. Serchio a Sud e il confine regionale tra Toscana e Liguria a Nord.

Nel corso degli ultimi anni il quadro conoscitivo su questo corpo idrico è stato implementato con alcuni studi, in particolare quelli svolti dal CNR-IGG per conto di Regione Toscana (Caratterizzazione geologica, idrogeologica e idrogeochimica dei Corpi Idrici Sotterranei Significativi della Regione Toscana (CISS): 33TN010 "Acquifero della Versilia e Riviera Apuana" e per quanto riguarda il bilancio idrico il lavoro effettuato dall'Università degli Studi di Firenze "Valutazione delle risorse idriche di sottosuolo del territorio di competenza di GAIA " (2016) per conto del Gestore del SII GAIA Spa, nel quale viene effettuato un bilancio idrogeologico del corpo idrico in oggetto per l'anno medio 2010-2012.

Sulla base di tali studi, acquisiti all'interno del quadro conoscitivo per l'aggiornamento del Piano di Gestione delle Acque, nel corso del 2020 l'Autorità di Bacino Distrettuale Appennino Settentrionale, ha ritenuto utile e necessario effettuare un aggiornamento del bilancio UNIFI, integrandolo con dati più recenti e con considerazioni derivanti dagli altri studi pregressi. In particolare sono stati aggiornati i termini del bilancio nell'ambito di un tirocinio formativo dello studente Daniel Gialdini dell'Università degli Studi di Firenze. Ciò premesso sulla base degli studi sopra citati, dai quali deriva il modello idrogeologico concettuale adottato e il bilancio stazionario, sono state valutate le disponibilità idriche basandosi sul monitoraggio piezometrico disponibile per il corpo idrico.

Modello concettuale

Il sistema acquifero oggetto di studio è da ritenersi complessivamente un multistrato, per l'alternanza di livelli permeabili, costituiti principalmente da ghiaie e sabbie, e livelli impermeabili o di bassa permeabilità rappresentati da argille e limi-argillosi.

Nella porzione della Riviera Apuana le ghiaie presentano poche intercalazioni di materiale fine nella parte alta dei conoidi, mentre sottili lenti di limo sabbioso si trovano ai lati e nella parte distale. Questo potente

corpo sedimentario è un acquifero a buona permeabilità e, per il suo spessore, di elevata trasmissività. Si tratta di un acquifero libero nella fascia interna, dove le ghiaie giungono fino in superficie. L'acquifero è ampiamente sfruttato da numerosi pozzi, sia degli acquedotti pubblici (di Carrara e di Massa) che delle industrie. In una ristretta fascia alla base dei rilievi, sono presenti dei depositi detritico-colluviali in cui la frazione fine prevale su quella grossolana, per cui la permeabilità è complessivamente bassa. Scendendo verso il litorale, i depositi ciottolosi di conoide s'immergono al di sotto di un complesso di sedimenti marini, che possiedono una copertura alluvionale limo-sabbiosa di qualche metro di spessore, al cui interno si possono trovare livelli di ghiaia ma anche depositi torbosi. Questa copertura, e lo stesso conglomerato che localmente rappresenta un orizzonte impermeabile, fanno sì che la falda in ghiaia, libera nella fascia pedemontana, divenga localmente confinata nella fascia costiera, un tempo anche con carattere di artesianità. Le Sabbie marine ed eoliche della fascia costiera rappresentano un acquifero libero di discreta permeabilità, sovrastante quello costituito dai depositi alluvionali, che si trovano ad una profondità massima di 30-35 metri presso la costa. In alcune zone, dove non ci sono né il conglomerato di tetto delle ghiaie continentali né i livelli limosi, c'è un unico acquifero monostrato potente oltre 100 metri (ovviamente con variazioni di permeabilità dovuta alla granulometria). Le sabbie marine rappresentano l'acquifero sfruttato soprattutto da pozzi ad uso agricolo o domestico.

Nella porzione della Versilia la situazione è molto simile se non che più complessa per la presenza di più livelli acquiferi, soprattutto nella parte meridionale. La situazione è diversa nei due tratti della costa, apuana e versiliese, in relazione alla diversa storia geologica, in particolare la maggiore subsidenza della seconda, dove nei primi 100 metri sono documentati due episodi trasgressivi invece dell'unico documentato dai sedimenti di sottosuolo nella Riviera Apuana. L'acquifero in Ghiaie e ciottoli di conoide ha caratteristiche freatiche solo nella parte settentrionale interna della pianura, dove il complesso sedimentario affiora, mentre nel resto della pianura diventa confinato (falda in pressione): infatti, procedendo verso il mare e verso la parte meridionale della pianura, sopra le ghiaie si trovano delle argille continentali con funzione di acquicludo. La falda presente nelle ghiaie continentali è sfruttata dai pozzi degli acquedotti (Pietrasanta, Forte dei Marmi, Seravezza) e dalle industrie di lavorazione dei marmi. Nella parte meridionale della Versilia diventano prevalenti i prelievi ad uso irriguo. Nella fascia più esterna si forma una successione praticamente continua di sabbie, che va dalle Sabbie superiori a quelle inferiori attraverso le sabbie di duna suddette, e che forma quindi un unico intervallo acquifero, con permeabilità decrescente verso il basso.

Un elemento che inevitabilmente condiziona lo stato delle risorse idriche sotterranee è il fenomeno dell'intrusione salina. Nella Riviera Apuo-Versiliese l'intrusione è favorita dalla situazione morfologica, specialmente in Versilia: ampie aree della fascia intermedia sono sotto il livello del mare, tanto da essere sottoposte alla bonifica tramite un sistema di idrovore che pompano l'acqua drenata dai "canali bassi" e la immettono nei "canali alti". Questo tipo di bonifica comporta inevitabilmente il richiamo e la risalita di acqua salmastra. Inoltre, il drenaggio dell'acqua della prima falda determina la compattazione dei terreni e la subsidenza, che aggrava la situazione.

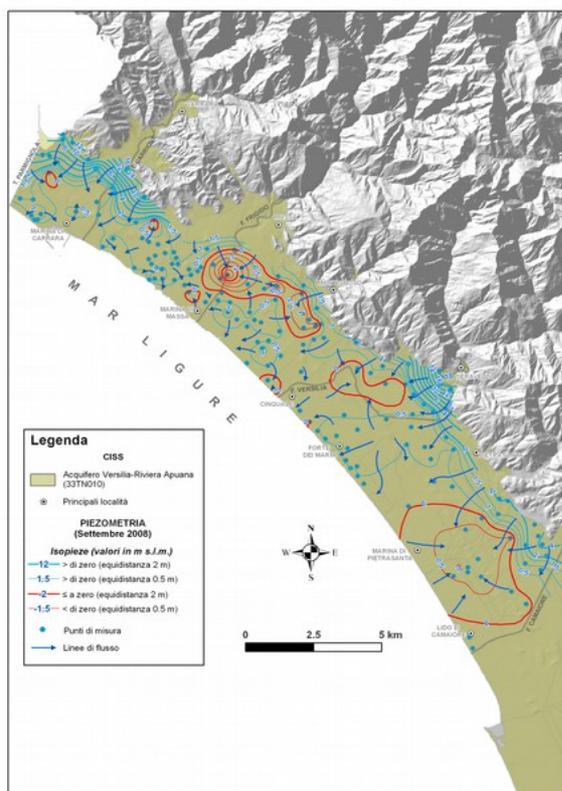
Un elemento positivo è invece l'alto piezometrico in corrispondenza della fascia esterna, dove l'infiltrazione diretta delle acque di pioggia alimenta la falda libera nelle sabbie di duna: esso tiene bassa l'interfaccia acqua dolce- acqua salata e riduce l'intrusione verso l'interno. Contribuiscono inoltre alla salinizzazione delle falde l'ingresso dell'acqua di mare nei canali di bonifica e nelle foci dei corsi d'acqua, soprattutto durante le mareggiate e il drenaggio di acqua salmastra connata nei depositi marini della pianura, soprattutto nelle aree di bonifica.

L'entità del fenomeno dell'intrusione salina è di difficile quantificazione in mancanza di indagini specifiche e condiziona i calcoli di bilancio e la valutazione delle disponibilità idriche.

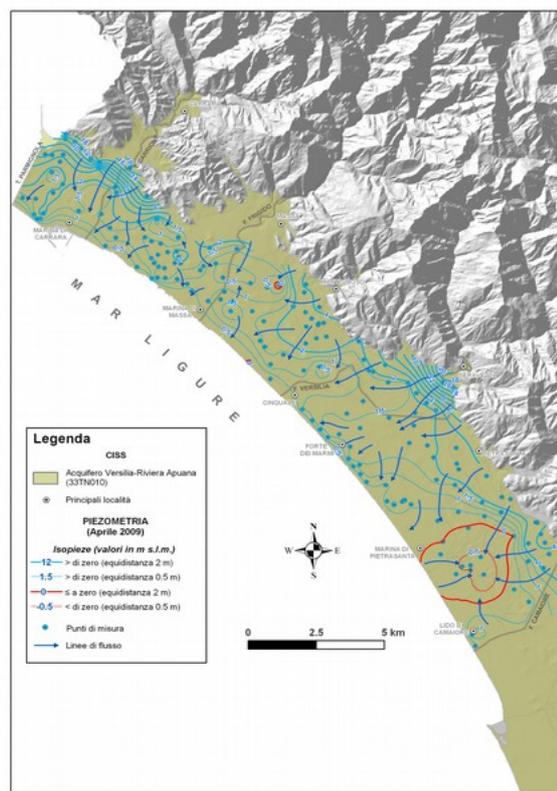
Piezometria

I dati più recenti circa una ricostruzione della superficie piezometrica estesa sono del 2008/2009 e solo su una porzione del corpo idrico; in precedenza, fino al 2009 l'ex Autorità di bacino regionale Toscana nord effettuava delle misurazioni sia piezometriche che chimiche su numerosi punti di prelievo; purtroppo questa pratica si è interrotta e per l'ultimo decennio non si hanno dati aggiornati.

Le elaborazioni effettuate da CNR nell'ambito dello studio sopra citato sono relative all'area compresa fra il T. Parmignola e F. Camaiole, al quale si rimanda per maggiori dettagli.



Piezometria Settembre 2008



Piezometria Aprile 2009

Dall'analisi delle superfici piezometriche si può osservare che parte preponderante dell'alimentazione alla circolazione idrica sotterranea della piana costiera proviene dalle zone pedecollinari ed in particolare da quelle in corrispondenza degli apparati conoidi impostati all'ingresso in pianura dei corsi d'acqua principali (T. Carrione, F. Frigido, C.le di Montignoso, F. Versilia e F. Camaioire); particolarmente importante sembra il ruolo del F. Versilia e del suo conoide, dal momento che in entrambe le stagioni nel loro settore di competenza si registra un alto piezometrico relativo che si spinge fino a ridosso della linea di costa.

In alcune zone l'andamento pressoché parallelo delle isopieze al limite inferiore dei rilievi indica inoltre la presenza di travasi sotterranei dai sistemi acquiferi dell'area collinare-montana verso quello della pianura. depressioni piezometriche risultano più accentuate durante la stagione di magra e si concentrano in corrispondenza dei principali campi pozzi della zona. Ciò in ragione di una combinazione fra un incremento delle idroesigenze nella stagione estiva, dovuto alla forte vocazione turistica dell'area in esame, ed una minore disponibilità idrica, legata all'assenza o ai minimi apporti di acque meteoriche nella stessa stagione. Una depressione piezometrica con livelli negativi, importante più per l'estensione che per i valori minimi raggiunti, è quella presente immediatamente a Nord del F. Camaioire, nella zona di Marina di Pietrasanta. In questa zona, che peraltro è l'unica a mantenere livelli piezometrici negativi su un'area relativamente ampia anche nella stagione di morbida, è l'attività di bonifica con sistemi di idrovore a favorire la persistenza di una depressione piezometrica. Ad eccezione di quest'ultima zona, nelle immediate vicinanze della costa non si registrano importanti depressioni piezometriche neanche sul finire della stagione estiva. Ciò, almeno al momento, sembra riuscire a garantire una relativa protezione dell'acquifero nei confronti dell'ingressione marina. E' tuttavia da sottolineare che nel corso della stagione estiva, le importanti depressioni piezometriche che insistono nei settori più interni tendono a progredire verso costa, e questo aspetto proiettato su un significativo periodo di anni potrebbe effettivamente favorire fenomeni non trascurabili di avanzamento del cuneo salino.

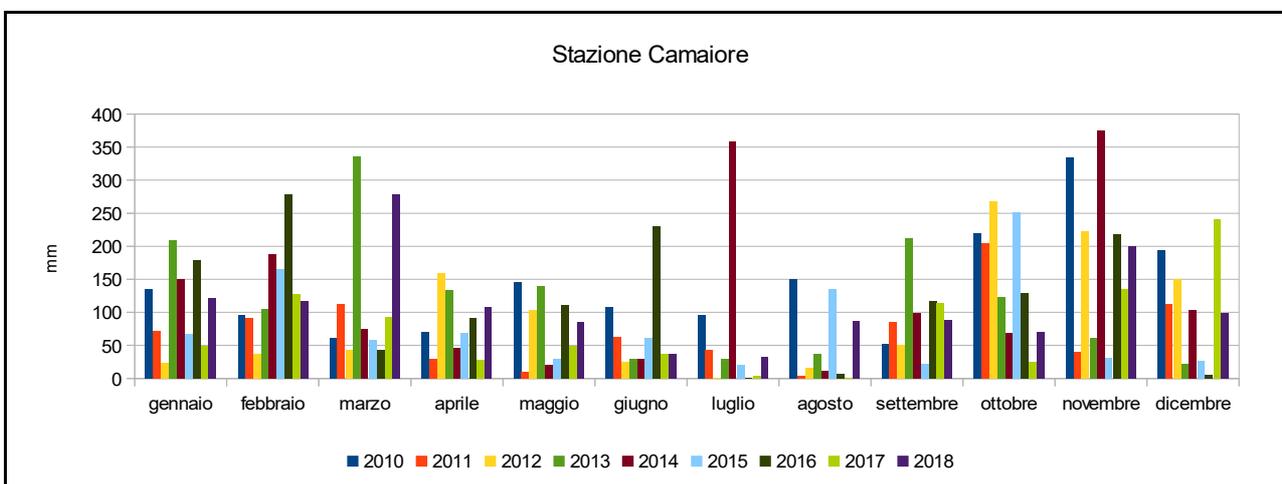
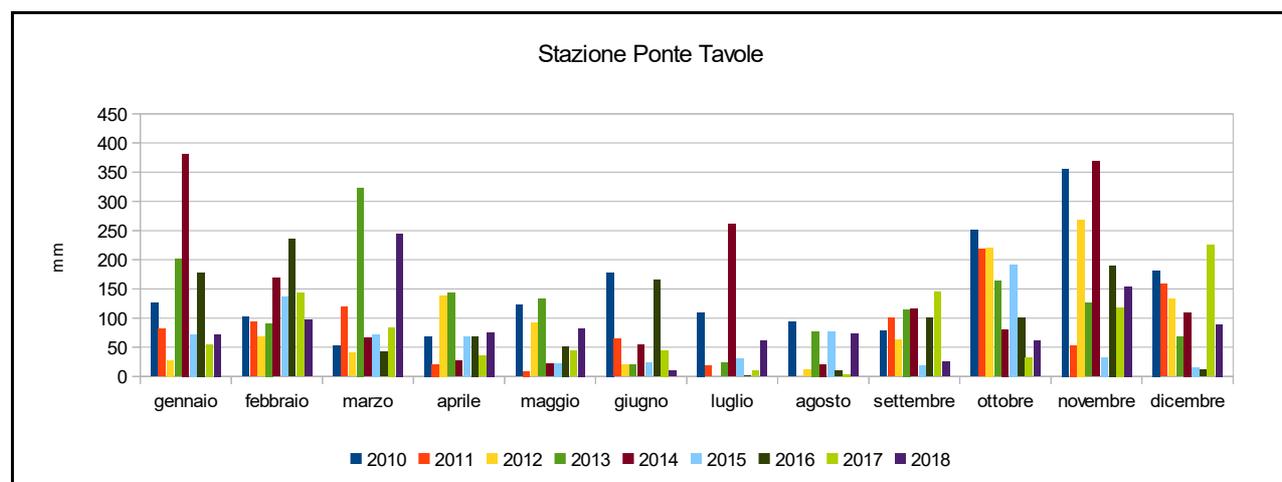
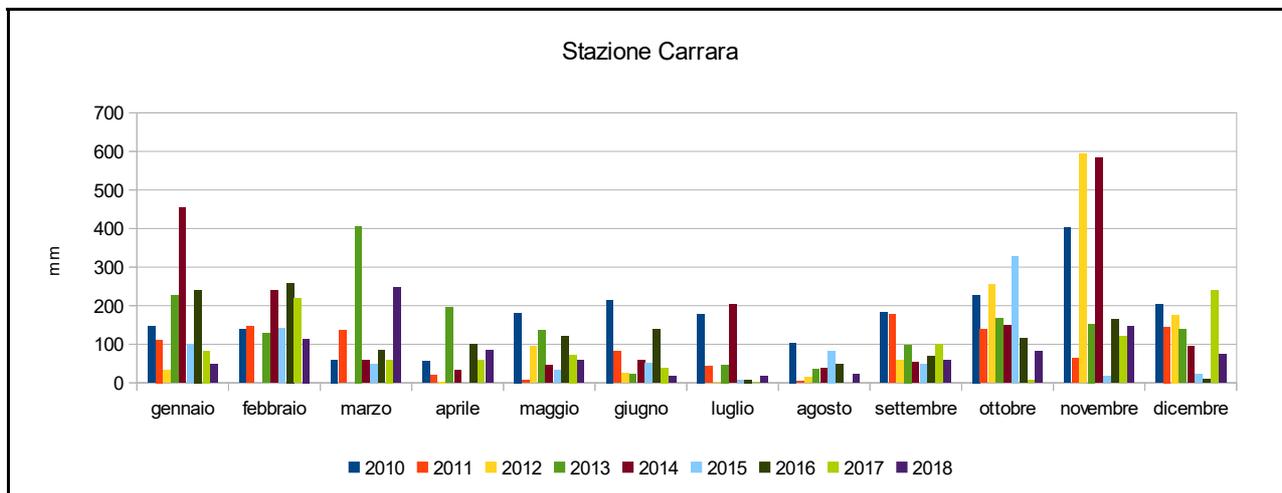
L'assetto piezometrico si ritiene non sia variato di molto in questo ultimo decennio, anche se l'influenza dei con di depressione sull'intrusione salina andrebbe maggiormente monitorata; l'importanza che riveste questo corpo idrico per le attività umane ed economiche dell'area suggerisce di attuare in futuro un maggiore controllo.

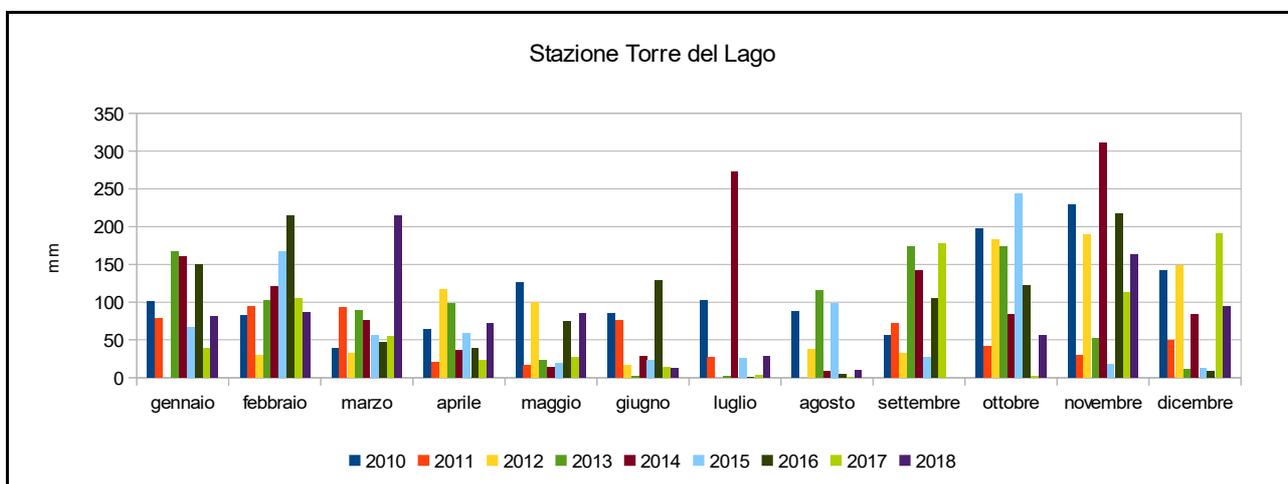
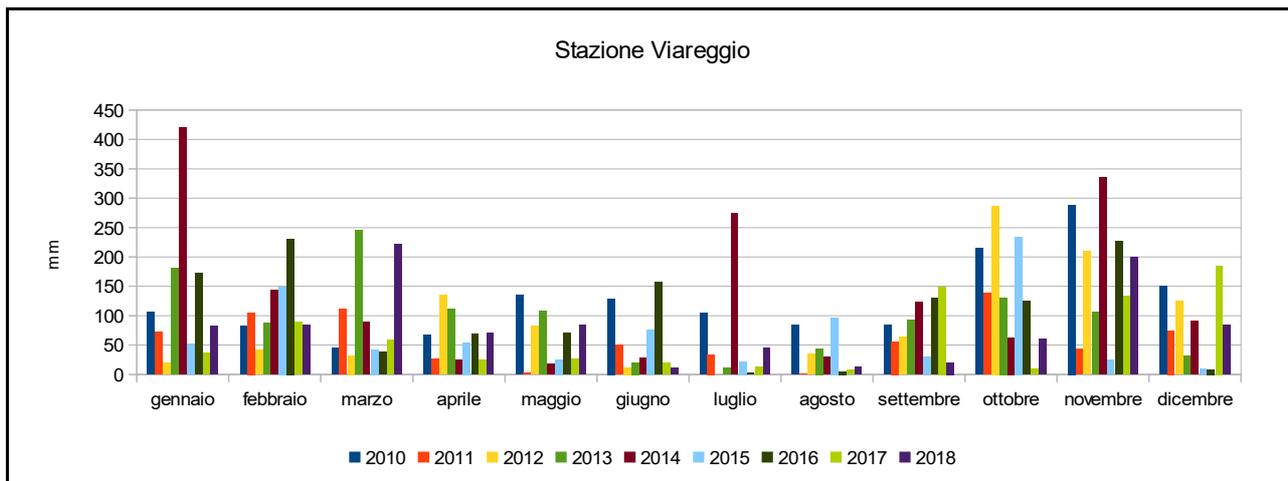
L'altra zona di cui si dispone di piezometrie estese è quella compresa fra il Canale Burlamacca e il Fosso

della Bufalina con dati che però risalgono al 2005; in tale area si riscontrano dei minimi piezometrici soprattutto estivi, ma meno pronunciati di quelli più a nord.

Precipitazioni

L'analisi statistica di precipitazioni e temperatura ha riguardato le cinque stazioni meteorologiche del Centro Funzionale Regionale della Regione Toscana (Viareggio, Forte dei Marmi, Camaiore, Ponte Tavole e Carrara). Di seguito vengono mostrati i grafici relativi alle precipitazioni.





Bilancio idrogeologico

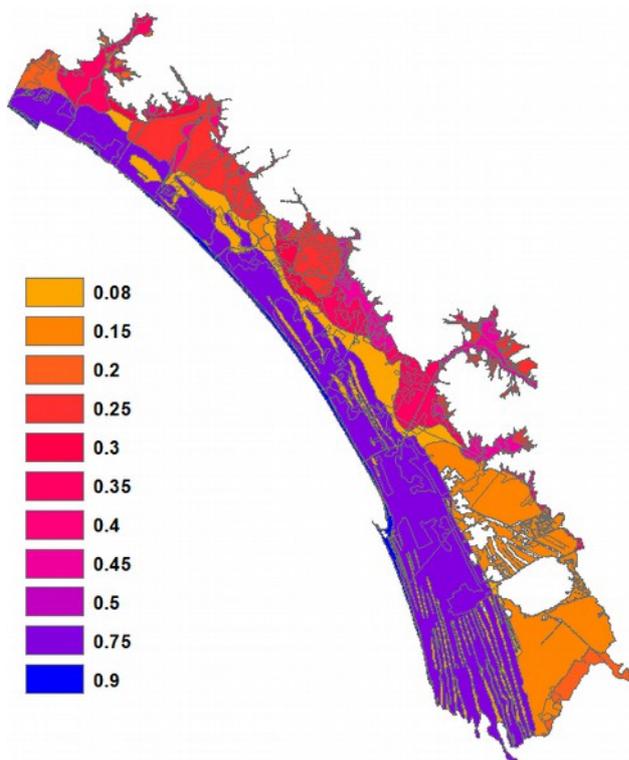
L'intervallo temporale di riferimento per l'aggiornamento del bilancio è quello dal 2010 al 2018.

L'analisi è stata condotta effettuando calcoli di bilancio annuale e stagionale, per tutti gli anni compresi nell'intervallo considerato. L'ambito spaziale è quello della Riviera Apuano – versiliese, è stata esclusa dai calcoli di bilancio l'area del Lago di Massacciuccoli, che per la sua peculiarità necessita di studi di dettaglio.

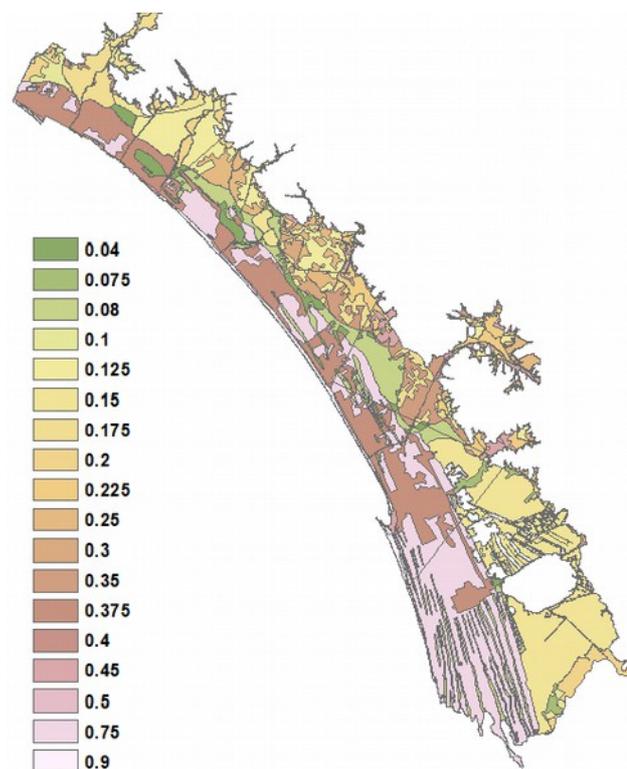
Per il calcolo del water surplus (WS), è stata utilizzata l'equazione di Thornthwaite per ogni area associata alla stazione meteorologica di riferimento. Questo ha permesso di determinare il volume di acqua infiltrato, utilizzando i coefficienti di infiltrazione efficace associati alla litologia e uso del suolo.

In sostanza per il calcolo della ricarica areale sono state trasformate le altezze di pioggia prima in pioggia efficace attraverso il calcolo dell'evapotraspirazione reale, per ogni mese dell'anno considerato. Il passaggio da pioggia efficace a infiltrazione avviene utilizzando i coefficienti di infiltrazione efficace associati alla litologia e uso del suolo. I dati sono stati aggregati sulle stagioni, ovvero su quattro trimestri: Gennaio, Febbraio e Marzo per la stagione invernale, Aprile, Maggio e Giugno per la primavera, Luglio, Agosto e Settembre per l'estate e Ottobre, Novembre e Dicembre per l'autunno.

Si ottiene così il dato di ricarica areale stagionale per gli anni dal 2010 al 2018, sulla base di questo parametro è stata fatta la correlazione Infiltrazione e livello piezometrico, per la verifica della correttezza delle assunzioni effettuate, solo successivamente sono stati considerati anche gli altri termini del bilancio.

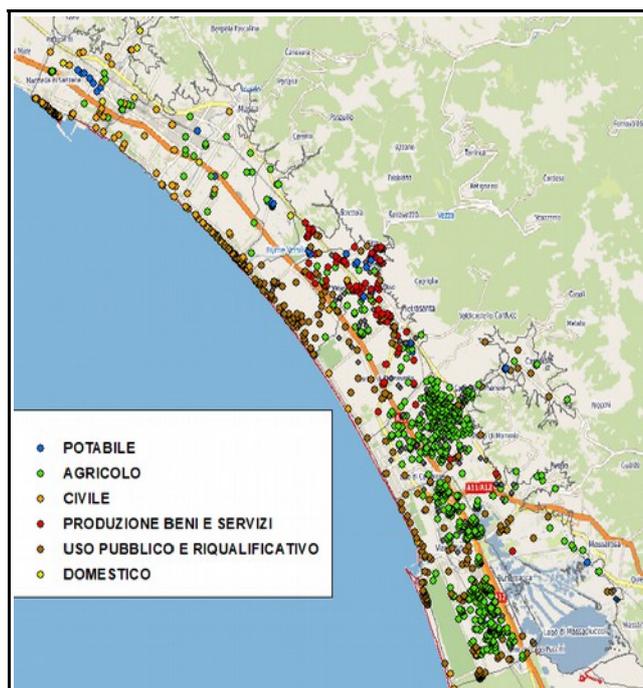


Coefficienti di infiltrazione dovuti a litologia

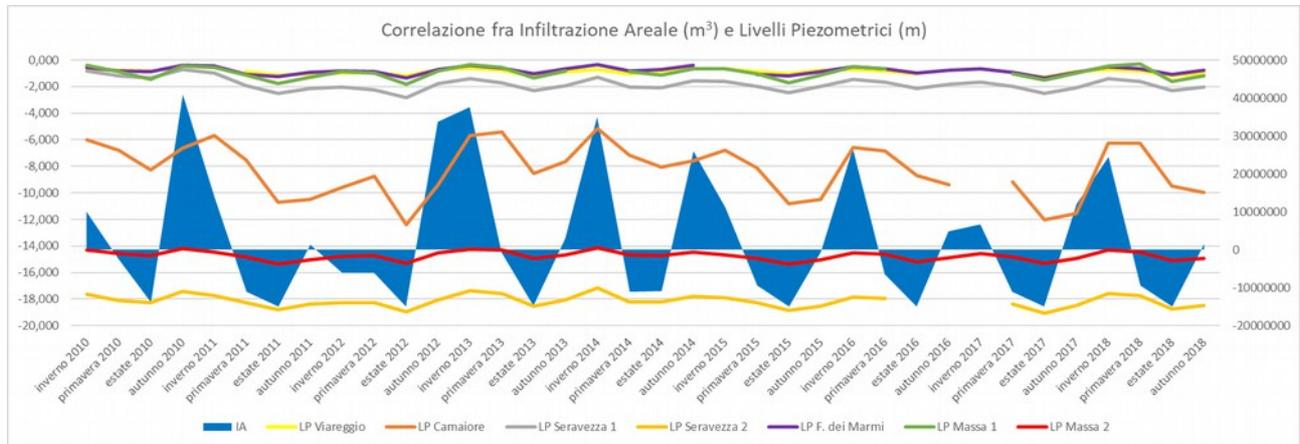


Coefficienti di infiltrazione dovuti a uso del suolo

Successivamente sono stati analizzati i prelievi di acqua annuali e stagionali dai pozzi. Sono stati presi in esame 1338 pozzi, derivanti dalle banche dati regionali. I dati ottenuti sono suddivisi per utilizzo (agricolo, civile, domestico, ittiogenico, potabile, produzione di beni e servizi, uso privato da acque superficiali, uso pubblico e riqualificativo oltre ad eventuali usi non specificati). Ad ogni pozzo è stato assegnato un valore di prelievo derivante da stime statistiche, laddove il dato risultava mancante nei database di riferimento. All'uso agricolo e per gli usi riferibili ad un utilizzo "turistico - stagionale" il valore di prelievo è stato inoltre differenziato secondo la stagione. L'analisi statistica dei prelievi è stata poi condotta sia alla scala del corpo idrico che alla scala dei singoli Comuni.

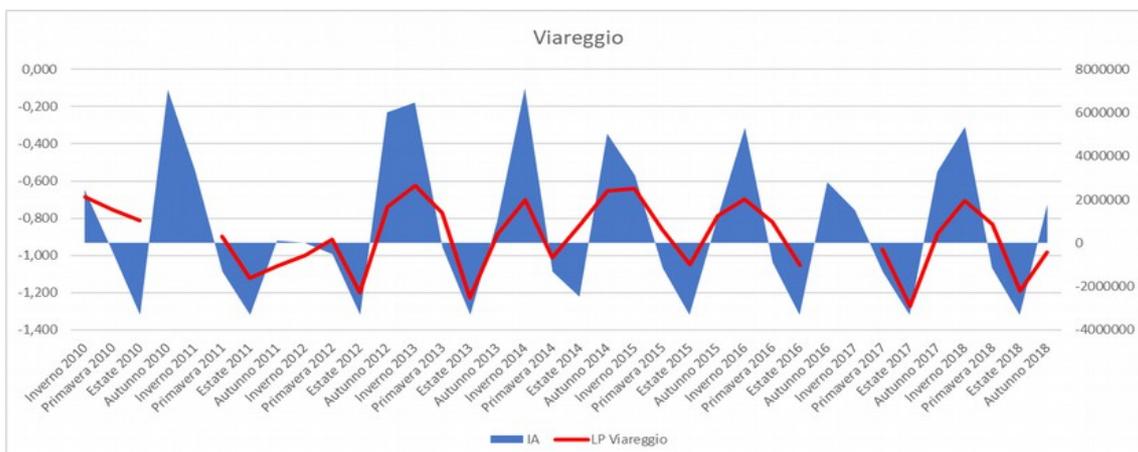
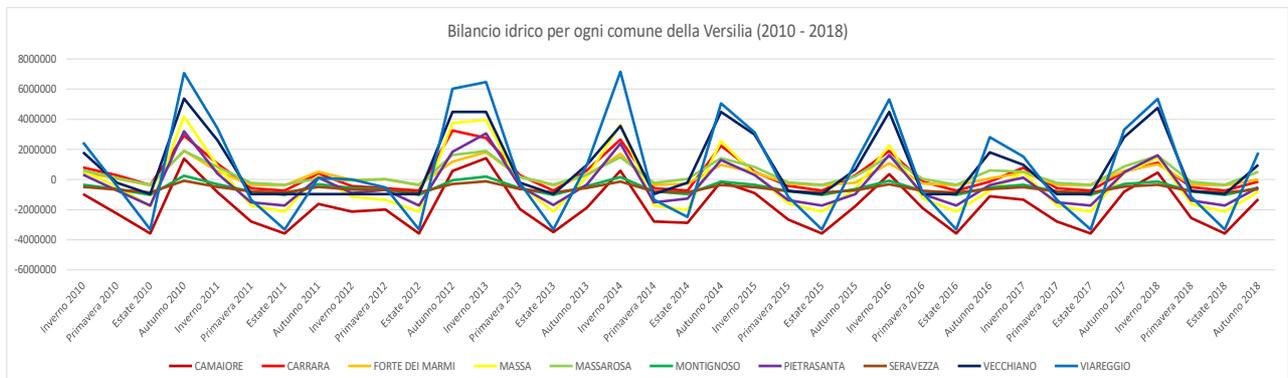


Infine si è giunti alla valutazione di un bilancio idrico provvisorio, derivante dal calcolo della differenza fra i volumi di acqua infiltrati e quelli prelevati per ogni stagione, di ogni annualità considerata. Per la verifica della correttezza delle elaborazioni sono stati successivamente estrapolati i dati piezometrici relativi alle stazioni presenti nell'area (Seravezza, Massa, Forte dei Marmi, Camaiore e Viareggio) e correlati a quelli dei volumi di acqua infiltrati per la valutazione della correttezza delle assunzioni fatte e nel contempo valutare eventuali anomalie.

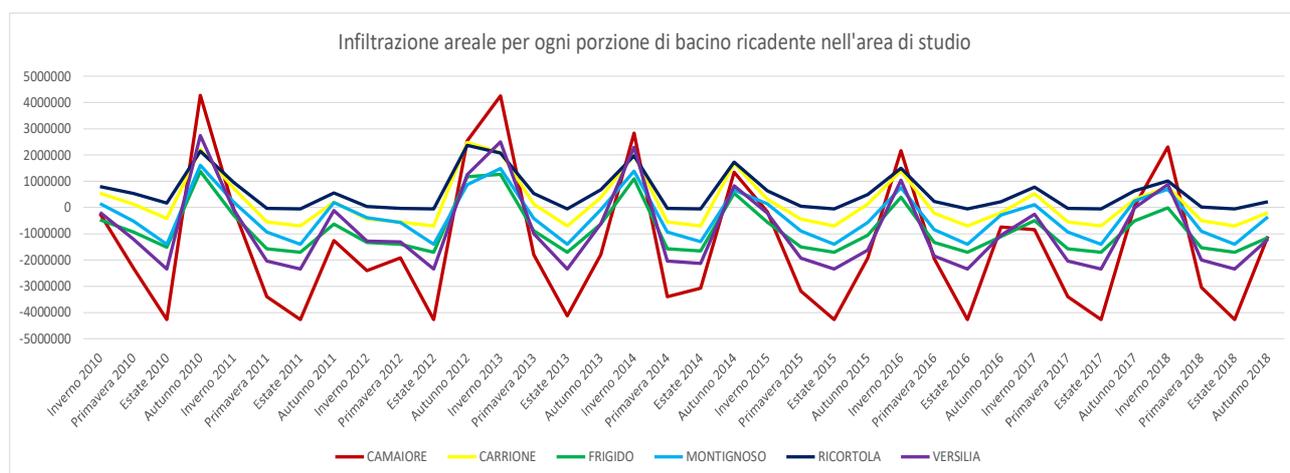


Come si può vedere dal grafico esiste una discreta correlazione fra altezze piezometriche e volumi idrici stagionali, le differenze piezometriche sono meno pronunciate in quei piezometri che sono di falde più superficiali.

La valutazione è stata fatta sia per l'intera area, sia per ogni comune inserito nell'area di studio (Camaiore, Carrara, Forte dei Marmi, Massa, Massarosa, Montignoso, Pietrasanta, Seravezza, Vecchiano e Viareggio che viene mostrato come esempio).



L'analisi è stata condotta anche per ogni porzione di bacino idrografico afferente all'area in oggetto (Camaiole, Carrione, Frigido, Montignoso, Ricortola, Versilia).



Le correlazione sopra riportate sono relative al solo termine Infiltrazione areale, mentre per un'analisi più approfondita e complessiva del bilancio sono stati considerati anche altri termini di afflusso e deflusso (infiltrazione delle acque che scendono sui versanti ed alimentano le falde nella fascia pedecollinare, apporti dai calcari confinanti con la pianura, infiltrazione negli alvei dei corsi d'acqua, drenaggio da parte dei corsi d'acqua, prelievi delle idrovore della bonifica e drenaggio da parte della rete fognaria). Tali termini risultano in alcuni casi molto rilevanti, come i rapporti falda fiumi. Tali valori sono stati ripresi da bibliografia (Valutazione delle risorse idriche di sottosuolo del territorio di competenza di GAIA – UNIFI 2016) e aggiornati per il periodo di riferimento, rapportandoli alle precipitazioni e infiltrazione efficace, per i termini dipendenti da questi parametri, per altri (idrovoce e perdite rete sono stati ripresi tal quali).

ANNO	Entrate					Uscite					bilancio
	Ricarica areale	Apporti versanti	Apporti dai Calcari	Infiltrazione dai Fiumi	TOTALE	Drenaggio Fiumi	Idrovore	Pozzi	Perdite nella rete	TOTALE	
ANNO	23,0	7,7	6,6	48,1	85,5	16,2	15,1	35,2	7,7	74,2	11,2
INVERNO	11,4	2,1	1,8	13,0	28,3	4,0	3,8	7,8	1,9	17,6	10,7
PRIMAVERA	1,8	1,8	1,6	11,5	16,8	4,0	3,8	8,8	1,9	18,6	-1,8
ESTATE	0,3	1,7	1,5	10,6	14,0	4,0	3,8	10,7	1,9	20,5	-6,5
AUTUNNO	9,6	2,0	1,7	12,5	25,8	4,0	3,8	7,8	1,9	17,6	8,2



Come logico aspettarsi la ricarica avviene nelle stagioni autunno e inverno, dove si assiste ad un immagazzinamento, che viene utilizzato nelle stagioni primaverili e soprattutto estive.

Come si vede dai risultati ottenuti il bilancio si chiude con un surplus notevole alla scala annuale (+ 11,2 Mmc). Analizzando i bilanci stagionali si nota come la stagione estiva ed in parte quella primaverile si chiudono con bilancio negativo, dovuto ai minori apporti e ai maggiori prelievi.

Il forte surplus non è giustificato dall'esame dei livelli piezometrici riscontrati nei punti di misura; infatti i livelli si mantengono pressoché costanti nell'arco pluriennale considerato, ovviamente al netto delle normali variazioni stagionali. Pertanto il risultato di bilancio si traduce in deflusso a mare (in realtà differenza fra il deflusso a mare e l'intrusione marina).

Risulta interessante confrontare questo valore di "discarica netta" a mare con la lunghezza della costa, calcolando la discarica media giornaliera nelle varie stagioni.

	discarica mc/g	discarica cumulata mc/g
inverno	4512	4512
primavera	-760	3752
estate	-2742	1010
inverno	3472	4482

Come logico aspettarsi nella stagione estiva ed in misura minore in quella primaverile si assiste ad una maggiore intrusione salina, anche se il cumulato risulta sempre mediamente positivo.

Conclusioni

Dall'analisi effettuata, pur tenendo conto dell'approssimazione nel calcolo di alcune variabili di bilancio, emerge un sostanziale equilibrio di bilancio nel periodo considerato, testimoniato anche da un sostanziale equilibrio dei livelli piezometrici misurati nei freatimetri del CFR della Regione Toscana.

Il saldo di bilancio ottenuto è da considerarsi la somma algebrica della discarica a mare e dell'intrusione salina, risulta difficile discriminare in termini numerici l'uno dall'altro, si può però asserire che la discarica sia molto maggiore dell'intrusione. Tutto ciò, se risulta valido alla scala media annua, può non esserlo alla scala stagionale; infatti è nella stagione estiva, quando gli apporti sono al minimo ed i prelievi al massimo, che si possono avere squilibri. Anche le piezometrie, seppure non siano recenti, testimoniano l'esistenza di coni di depressione locali più sviluppati nella stagione di magra.

L'equilibrio di bilancio alla scala del corpo idrico si mantiene se vengono mitigati gli effetti dell'intrusione salina, ovvero fintanto che la ricarica invernale e autunnale riesce a ripristinare l'equilibrio che i prelievi estivi in assenza di entrate rilevanti, può essere compromesso localmente.

L'aggiornamento qui fatto permette anche di asserire che ulteriori prelievi dal corpo idrico sono possibili a patto di non compromettere l'equilibrio locale circa gli effetti sull'interfaccia acqua dolce acqua salata, ovvero, come detto sopra, minimizzare i rischi di intrusioni saline.

In prima analisi risulta quindi necessario integrare questo studio con una indagine estesa sullo stato dell'intrusione salina, con una campagna di rilevamento di due piezometrie (di magra e di morbida) al fine di aggiornare l'assetto idrodinamica della pianura costiera e nel contempo effettuare analisi chimiche su campioni prelevati dai pozzi. Questi dati potranno inoltre essere la base sulla quale impostare un modello di flusso (ed anche di trasporto densità variabile per modellare l'interazione acqua marina e acqua di falda). Un modello potrebbe anche riuscire a valutare in maniera più precisa i rapporti falda fiumi che talvolta risulta essere un termine molto rilevante nel bilancio idrogeologico di questa area.

In definitiva si ritiene allo stato attuale che le disponibilità idriche per ulteriori prelievi per l'area del corpo idrico sotterraneo della Versilia e Riviera Apuana siano dell'ordine dei 5,5 Mmc (ovvero la metà del saldo di bilancio) condizionati però dall'accertamento della sostenibilità locale circa il fenomeno dell'intrusione salina, ovvero i nuovi prelievi dovranno essere condizionati ad uno studio dettagliato del loro impatto sull'equilibrio interfaccia acqua dolce – acqua salata. Ulteriori approfondimenti, sia di tipo modellistico, ma soprattutto inerenti indagini di dettaglio sull'intrusione salina potranno portare a modifiche delle disponibilità di cui sopra.