

## **2 - L'area di riferimento**

I temi di ricerca affrontati presentano notevoli difficoltà derivanti dalla complessità dei fenomeni considerati (come anticipato nel capitolo precedente), ma anche dall'importanza delle interazioni che si instaurano con le condizioni ambientali presenti all'interno del comprensorio oggetto dello studio. È dunque necessario, anche al fine di chiarire per quanto possibile le dinamiche e i meccanismi che regolano i processi di interesse, ricostruire un quadro esauriente delle caratteristiche (fisiche, climatiche, idrologiche, pedologiche, ecc.) specifiche dell'area, così da poter valutare l'incidenza di quelle particolari condizioni che possono giocare, a livello locale, un ruolo significativo sull'evoluzione delle problematiche indagate.

Anche da questo punto di vista, però, l'acquisizione di conoscenze adeguatamente complete e sufficientemente approfondite si presenta tutt'altro che agevole. Infatti, se è vero che il bacino idrografico del lago di Massaciuccoli è stato oggetto sin dal primo dopoguerra di numerosi studi, che costituiscono senz'altro una preziosa e utile fonte di informazioni, è anche vero che le particolari caratteristiche di assetto del territorio che qui si riscontrano fanno, di questo comprensorio, una realtà particolarmente complessa e mutevole, in cui al normale evolversi delle condizioni naturali (soprattutto pedologiche ed idrologiche) si è sovrapposto il deciso operato dell'uomo nel modificare profondamente lo stato originario, contribuendo ad innescare "nuovi" equilibri significativamente più instabili e complessi.

In questo capitolo si riporta quindi una sintesi della letteratura più significativa ed affidabile sui principali aspetti che caratterizzano il territorio del bacino del Lago di Massaciuccoli la cui conoscenza potrà risultare funzionale anche per la discussione dei risultati riportati nei capitoli successivi; per maggiori dettagli sull'argomento si rimanda invece all'esame della bibliografia riportata alla fine del capitolo.

### **2.1 - L'organizzazione del comprensorio**

Il bacino del lago di Massaciuccoli si estende nell'area costiera compresa tra la foce del fiume Serchio a sud e quella del fiume Camaiore a nord, approssimativamente a 10 km dalla città di Pisa; il suo centro si trova a 43° 49' 59.5" di latitudine N e 10° 19' 50.7" di longitudine E.

Dal punto di vista amministrativo, il territorio del bacino ricade nelle province di Lucca (comuni di Massarosa, Viareggio, una piccola parte dei comuni di Lucca e Camaiore, comprendenti i centri abitati di Quiesa, Bozzano, Massaciuccoli, Piano del Quercione, Piano di Mommio, Montramito e Torre del Lago) e Pisa (comune di Vecchiano, con i centri abitati di

Vecchiano, Nodica e Migliarino). La popolazione residente si aggira intorno ai 46700 abitanti (Allegretti et al., 2002; Pagni et al., 2004).

La competenza amministrativa sul bacino idrogeologico del lago di Massaciuccoli è esclusiva dell'Autorità di Bacino del Fiume Serchio e larga parte di questo comprensorio è inclusa nel Parco Regionale Migliarino-San Rossore-Massaciuccoli, all'interno del quale si trovano diverse aree protette di valenza nazionale e internazionale (Autorità del Bacino del Fiume Serchio, 2007). In particolare, oltre allo specchio lacustre ed alle aree palustri contermini, sono quasi totalmente comprese nel territorio del Parco le bonifiche di Vecchiano, Massaciuccoli Pisano e Quiesa ed una parte della bonifica di Massarosa.

Sul bacino idrografico insistono due impianti di depurazione relativi agli abitati di Migliarino (ca. 4250 AE) e Vecchiano (ca. 8500 AE), che scaricano rispettivamente nel fosso Depuratore e nel canale Barra-Barretta. Gli scarichi degli impianti di depurazione dei comuni di Massarosa e Viareggio sono stati recentemente collettati fuori del bacino idrografico, rispettivamente nella Gora di Stiava e nel canale Burlamacca a valle delle porte Vinciane.

Oltre ai due impianti di depurazione delle acque, all'interno del bacino idrografico esistono tre discariche di RSU oggi dismesse: la discarica "Il Feo", che si trova a nord-ovest della zona industriale di Migliarino, la discarica detta "Le Carbonaie", situata a nord-ovest della cava SISA e a circa 1.5 km dal lago e la discarica di Pioppogatto, nei pressi dell'idrovora di Portovecchio. La prima è attualmente sotto monitoraggio da parte dell'ARPAT, Dipartimento provinciale di Pisa e, al momento, non è previsto alcun intervento di bonifica poiché si ritiene che il sito non costituisca più una sorgente di contaminazione. Per quanto riguarda la discarica "Le Carbonaie" è stato attuato recentemente il completamento del progetto di bonifica, in seguito al riscontro di elevate concentrazioni di cloruri, di COD e di alcuni metalli pesanti (ferro, nichel, ecc.) nelle acque sotterranee e superficiali in area limitrofa al sito. Nel caso della discarica di Pioppogatto la prevista bonifica è tuttora in atto.

Per quanto concerne lo sviluppo delle attività economiche nei pressi di Migliarino Pisano, è presente, sin dagli anni '60, un'area industriale di una certa rilevanza, attualmente in ulteriore espansione, situata tra l'autostrada e il confine del Parco, in cui sono presenti attività di tipo prevalentemente manifatturiero.

Per quanto riguarda l'esercizio dell'agricoltura oltre il 40% del comprensorio risulta continuativamente coltivato a testimonianza dell'importanza che tale l'attività riveste sul territorio; le maggiori informazioni disponibili interessano però le sole aziende ricadenti all'interno del Parco Regionale Migliarino - San Rossore - Massaciuccoli oggetto in un recente passato di diversi studi e ricerche svolti su commissione ed in collaborazione con lo stesso Ente.

Le aziende censite nelle differenti occasioni di indagine sono state circa una sessantina, per lo più di dimensioni medio-grandi, orientate verso ordinamenti produttivi cerealicolo-industriali, con una netta predominanza della coltivazione del mais, seguito dai cereali a paglia e dal girasole, pur essendo rilevabili realtà circoscritte, ma significative, in cui prevalgono invece l'orticoltura e l'olivicoltura.

Il bacino è attraversato da vie di comunicazione di interesse nazionale quali: l'autostrada Genova-Rosignano, l'autostrada Firenze-mare, l'autostrada Lucca-Viareggio, la statale Aurelia, le linee ferroviarie Genova-Pisa e Lucca-Viareggio, oltre che dalla viabilità minore e locale.

## **2.2 - Orografia, caratteri fisici e climatici**

Il bacino idrografico del Lago di Massaciucoli (così come delimitato dall'Autorità di Bacino del Fiume Serchio, 2007) si estende su una superficie pari a 114 km<sup>2</sup> ed è limitato a nord dal Canale Burlamacca-Gora di Stiava, ad est dai rilievi dei Monti d'Oltre Serchio-Monti di Massarosa, a sud dal Fiume Serchio e ad ovest dal Mar Ligure (Fig. 2.1). Dal punto di vista orografico si tratta di un dominio allungato in direzione N/NO-S/SE al centro del quale si trova il lago di Massaciucoli, pensile su di un'ampia depressione le cui quote della superficie topografica variano da circa 6 m a -3 m sul livello del medio mare. Un sistema arginale della lunghezza di circa 16 km e altezza compresa tra 0.5-0.6 m s.l.m, limita il lago e l'adiacente Padule di Massaciucoli, costituito da un'area umida residuale di circa 15 km<sup>2</sup> (Autorità di Bacino del Fiume Serchio, 2007). La presenza sui rilievi di litotipi calcarei alternati a marne e di litotipi arenacei con strutture tettoniche che favoriscono il drenaggio delle acque di infiltrazione verso il lago e l'inversione del deflusso delle acque sotterranee lungo la costa nel periodo estivo, comportano la non corrispondenza tra bacino idrografico e bacino idrogeologico, per cui quest'ultimo risulta esteso per circa 170 km<sup>2</sup> e limitato a nord dal Fiume Camaiole (Fig. 2.2; Autorità di Bacino del Fiume Serchio, 2007).

Il territorio adiacente al lago è stato oggetto di bonifica sin da tempi storici con interventi idraulici di maggiore rilevanza eseguiti tra gli anni '20 e '40 del secolo scorso, con la tecnica della bonifica per sollevamento sostanzialmente basata sull'impiego di un adeguato numero di pompe idrovore. Le aree bonificate ed i relativi impianti e manufatti sono gestiti, dal 1997, dal Consorzio di Bonifica Versilia-Massaciucoli (Tedesco, 2006).

Il processo di bonifica è stato ed è la causa sostanziale della subsidenza nelle aree limitrofe al lago caratterizzate da terreni particolarmente torbosi in cui sono stati registrati

abbassamenti del piano di campagna anche superiori a 3 m negli ultimi 65 anni (rispetto alle quote rilevate nel 1935), con una velocità media di abbassamento per alcune aree fino a 3.9 cm/anno. Il funzionamento della rete di scolo (primaria e secondaria) e degli impianti idrovori fu progettato in modo da garantire una soggiacenza delle acque della falda freatica pari ad 1.5 m dal piano di campagna (Giannecchini, comunicazione personale), onde consentire il normale svolgimento di tutte le principali operazioni agricole nelle aree bonificate.

Dal punto di vista fisiografico si possono distinguere, da ovest verso est, le seguenti unità morfologiche (Federici 1993; Autorità di Bacino del Fiume Serchio, 2007):

- una fascia litoranea, costituita da sabbie marine recenti, che giunge fino ad una larghezza di 700 m, e da una serie di cordoni dunari attestati su quote medie di 2 m s.l.m.;
- una fascia interna depressa, costituita da terreni di natura argilloso-torbosa, compresa tra le quote di 1 m e -3 m s.l.m., in cui ricadono il lago e le paludi circostanti;
- una fascia pedemontana, a quota media di circa 6 m s.l.m., costituita da depositi di conoide in eteropia con alluvioni recenti, sviluppata prevalentemente nella parte settentrionale del bacino;
- una fascia collinare e montana a NE, definita dalla terminazione meridionale delle Alpi Apuane, costituita da rocce prevalentemente calcaree, arenacee e argillitiche, la cui cima principale è rappresentata dal monte Ghilardona (465 m s.l.m.).

Secondo la classificazione climatica di Köppen il clima dell'area di studio è compreso nella categoria 'Csa', che indica un clima Mediterraneo con estate secca ed inverno mite. La temperatura media si aggira intorno ai 15 °C, con minime medie invernali di circa 7 °C (nei mesi di Dicembre e Gennaio) e massime medie estive intorno ai 22 °C (nel mese di Luglio), registrate nella stazione meteorologica di Viareggio del Servizio Idrologico Regionale, nel periodo di riferimento 1980-2002.

Le precipitazioni medie annuali raggiungono valori che variano da 1025 mm, per la già citata stazione di Viareggio, a 921 mm, per la stazione ARSIA di Metato, situata fuori dal bacino idrologico del lago, ma rappresentativa della porzione meridionale del bacino stesso; una situazione diversa si osserva sui Monti d'Oltre Serchio e Massarosa, dove le precipitazioni raggiungono anche i 2000 mm annui. La piovosità presenta l'andamento tipico del clima mediterraneo, con massimi di precipitazioni in autunno e in primavera; il mese più piovoso è quello di Novembre, mentre Luglio si segnala come il mese più siccitoso. Il diagramma di Walter & Lieth, mette in relazione le precipitazioni e le temperature medie mensili (queste ultime in scala doppia), evidenziando la durata e l'entità del periodo secco (Fig. 2.3), che si estende da Maggio ad Agosto, mentre l'intervallo più critico si verifica nel periodo compreso tra Luglio e Agosto.

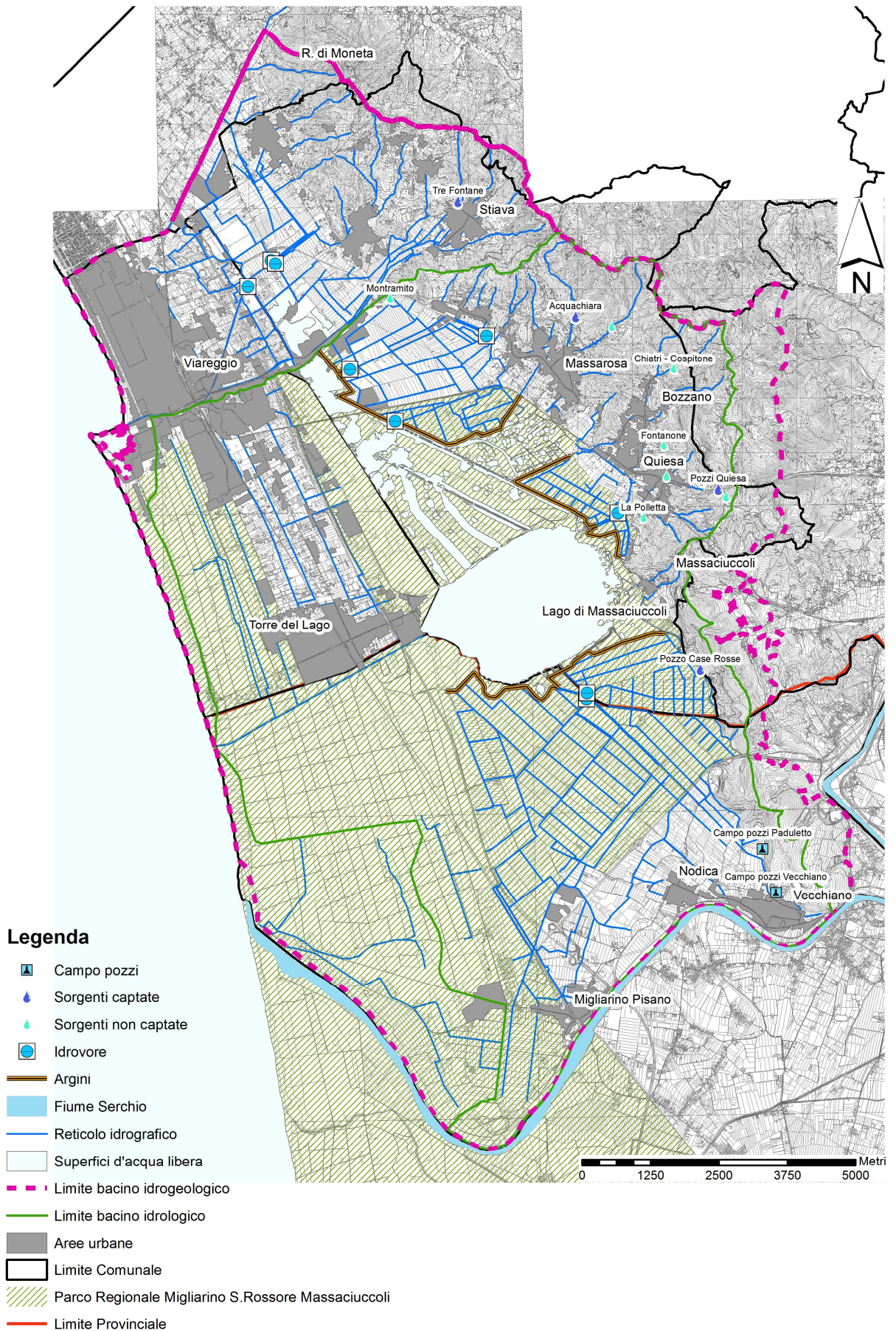


Fig. 2.1 - Bacino del Lago di Massaciuccoli.

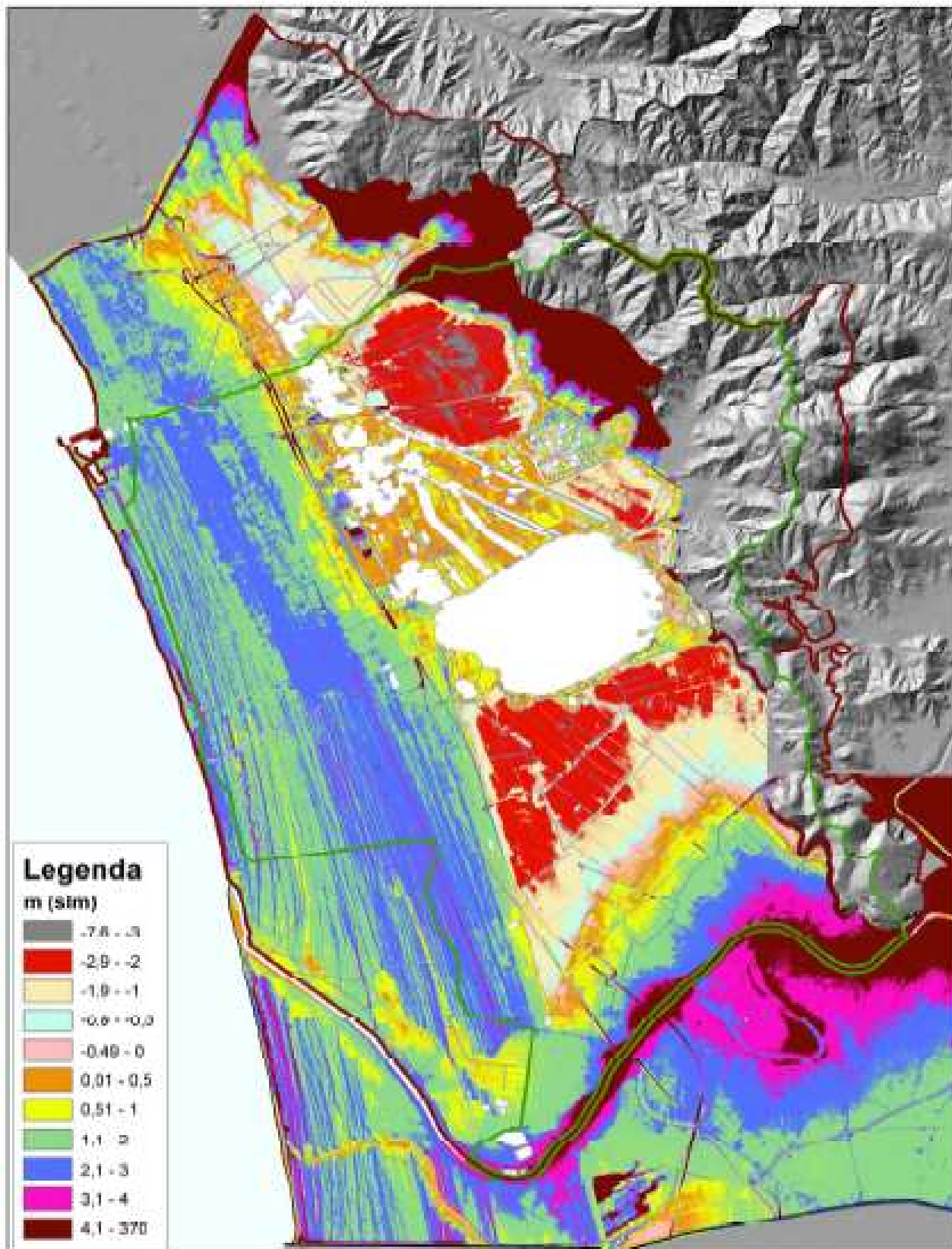


Fig. 2.2 - Modello digitale del terreno derivante dal rilievo LIDAR (il bacino idrografico è delimitato dalla linea verde, quello idrogeologico dalla linea rossa; da Autorità di Bacino del Fiume Serchio, 2007).

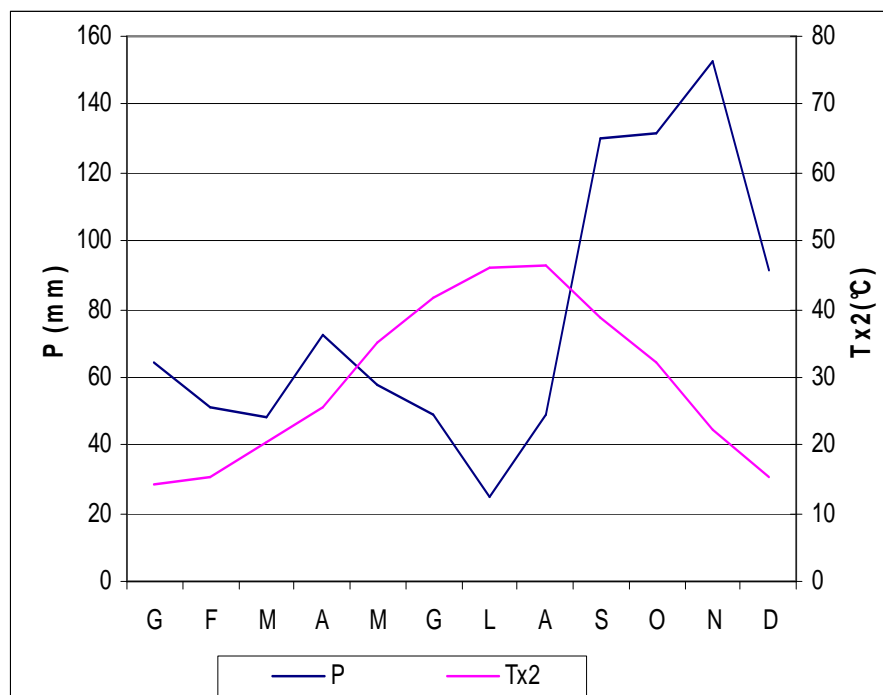


Fig. 2.3 - Diagramma di Walter & Lieth per la stazione meteo ARSIA di Metato (periodo 1989-2007).

Per una migliore caratterizzazione del bacino idrologico dell'area di studio, sono state acquisite ed elaborate le serie temporali relative ai dati pluviometrici delle stazioni di Torre del Lago e di Viareggio del Servizio Idrologico della Regione Toscana (Fig. 2.4 e Tab. 2.1) che costituiscono le serie temporali più lunghe presenti nel dominio di studio (Autorità di Bacino del Fiume Serchio, 2007). I dati disponibili, consistenti nelle precipitazioni e nei giorni di pioggia mensili, per la stazione di Viareggio sono riferiti al periodo 1921-1941 e 1951-2009, mentre quelli della stazione di Torre del Lago al periodo 1954-2009. I *dataset* in questione sono incompleti per alcuni mesi o addirittura anni (per la stazione di Viareggio mancano completamente gli anni dal 1942 al 1950): è stato quindi necessario ricostruire le serie temporali attraverso processi di analisi statistica seguendo i metodi descritti in Allen et al. (1998) e utilizzando anche i dati della stazione di Metato.

Tale analisi statistica permette di ricavare i valori di precipitazione mancanti di una stazione mediante l'ausilio di una seconda stazione di riferimento, che possiede l'intera serie di dati, una volta verificata l'omogeneità delle serie appartenenti alle due stazioni, applicando un'appropriata analisi di regressione. Per le serie storiche di dati pluviometrici mensili così ricostruite si è effettuata l'analisi statistica descrittiva al fine di caratterizzare l'andamento delle precipitazioni nell'intervallo temporale investigato. Si è inoltre valutata l'intensità della pioggia definita come il rapporto fra la pioggia caduta nel periodo e il numero di giorni piovosi. Il dettaglio delle elaborazioni effettuate è riportato nell'Allegato 1.

In sintesi, le precipitazioni cumulate annue misurate alla stazione di Viareggio sono superiori rispetto a quelle della stazione di Torre del Lago. Le medie delle precipitazioni annue, per entrambe le stazioni, mostrano il minimo a Luglio (25.6 mm e 19.0 mm di precipitazione media rispettivamente per la stazione di Viareggio e di Torre del Lago) e il massimo tra Ottobre e Novembre (con una media di 130 mm e 120 mm rispettivamente per la stazione di Viareggio e di Torre del Lago). Luglio è il mese con il minor numero di giorni piovosi (con un valore medio di 2 giorni, misurato in entrambe le stazioni) mentre Novembre è statisticamente il mese con più giorni di pioggia (con una media di 10 giorni di precipitazione in entrambe le stazioni). La media annua dei giorni piovosi per tutta la serie dei dati è maggiore alla stazione di Viareggio (86.2 giorni/anno) rispetto a quella di Torre del Lago (83.9 giorni di pioggia/anno). L'intensità di pioggia media annua è maggiore per la stazione di Viareggio: 11.2 mm/giorno contro 10.7 mm/giorno di Torre del Lago.

Per la stazione di Viareggio è rilevabile una diminuzione della cumulata annua delle precipitazioni a partire dal 1966, che si fa più marcata dal 1976; tale diminuzione è massima per la media 1980-2009 e pari a circa 65.6 mm/anno rispetto alla media 1921-1959 scelta come valore di riferimento. La stazione di Torre del Lago non mostra invece un evidente trend discendente, per cui è sostanzialmente stabile. L'intensità annua di pioggia mostra invece una stabilità temporale per la stazione di Viareggio e un lieve incremento per quella di Torre del Lago (dal valore medio di 10.4 mm/giorno relativo alla serie 1954 – 1983 al valore 10.8 mm/giorno per la media 1980-2009).

Esaminando invece i trend per il solo periodo estivo (Giugno, Luglio, Agosto e Settembre), per la stazione di Viareggio è evidente un aumento delle precipitazioni estive (compreso tra 35 e 58 mm), mentre relativamente alla stazione di Torre del Lago anche in questo caso siamo in presenza di una sostanziale stabilità. Per quanto riguarda l'intensità di pioggia nel periodo estivo, gli ultimi trenta anni vedono un aumento di circa 1 mm/giorno per entrambe le stazioni.

Nella Tabella 2.2 e nel grafico di Figura 2.5 è riportato l'andamento delle pluviometrie alla stazione di Torre del Lago e di Vecchiano nel periodo di interesse del presente progetto. Riguardo alla serie temporale disponibile (costituita da 56 dati) le cumulate annue relative al 2008 ed al 2009 per la stazione di Torre del Lago si posizionano rispettivamente al 5° ed al 16° posto degli anni più umidi. Di contro le cumulate relative al periodo estivo si posizionano rispettivamente al 18° e 17° posto nella serie.



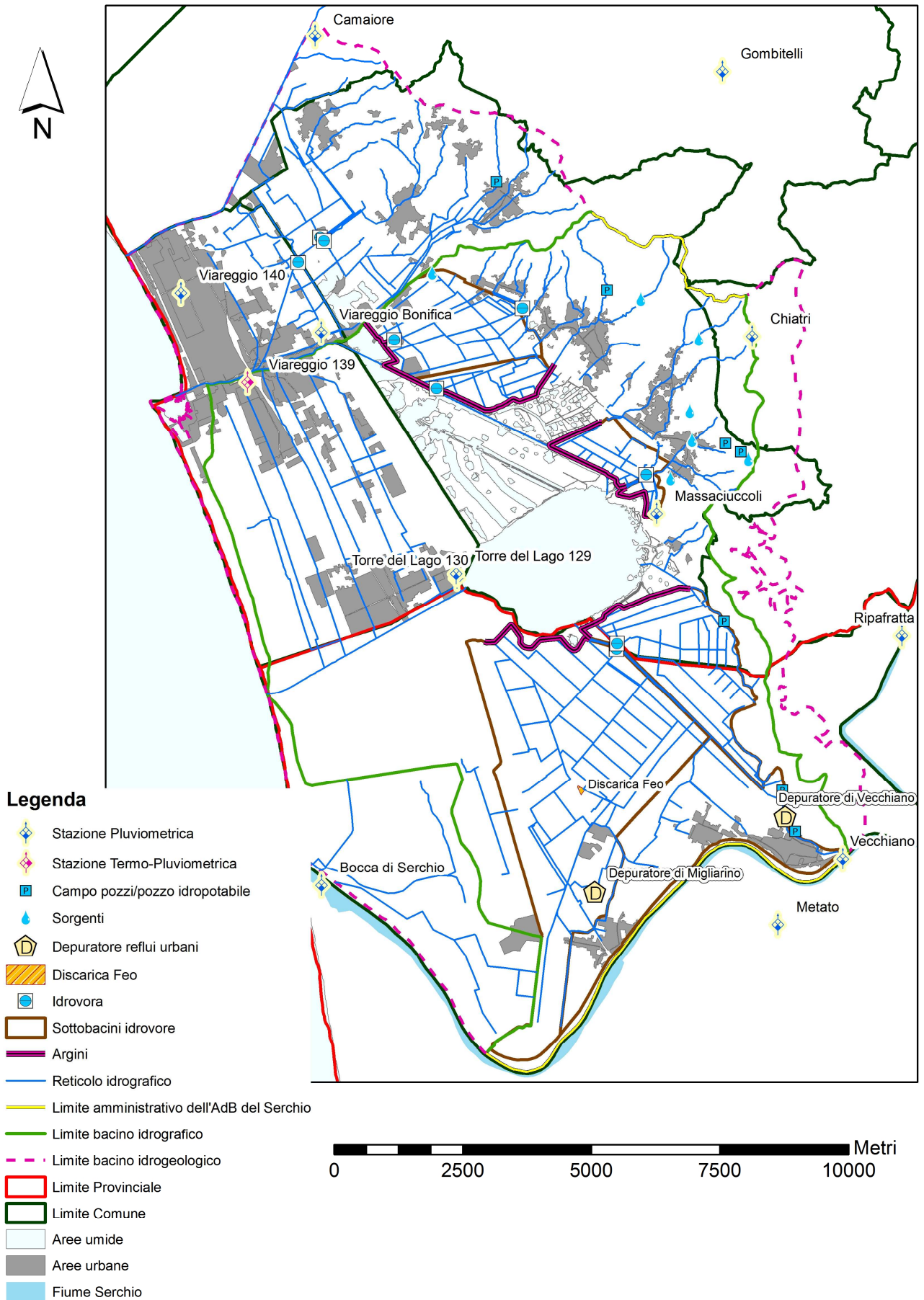


Fig. 2.4 - Stazioni meteorologiche nel dominio di studio e nelle aree contermini.

Caratteristiche delle stazioni pluviometriche							
Codice	TOS11000001	130	129	123	138	139	140
Nome	Metato	Torre del Lago	Torre del Lago	Vecchiano	Viareggio Bonifica	Viareggio	Viareggio
Comune	S. Giuliano Terme	Torre del Lago	Torre del Lago	Vecchiano	Viareggio	Viareggio	Viareggio
E GB (m)	1611317	1605067	1605085	1612578	1602442	1601073	1599717
N GB (m)	4847183	4854000	4853916	4848477	4858689	4857711	4859450
Quota m s.l.m.	4.32	2	1.52	0.27	6	0	2.25
Bacino	Serchio	Lago di Massaciuccoli	Lago di Massaciuccoli	Serchio	Lago di Massaciuccoli	Lago di Massaciuccoli	Lago di Massaciuccoli
Provincia	Pisa	Lucca	Lucca	Pisa	Lucca	Lucca	Lucca

Tab. 2.1 - Caratteristiche delle stazioni pluviometriche nel dominio di studio.

Precipitazioni (mm)	Torre del Lago	Vecchiano
Cumulata 2008	1166	911
Cumulata 2009	1019	920

Tab. 2.2 - Precipitazioni cumulate annue nel 2008 e nel 2009 alle stazioni di Vecchiano e Torre del Lago.

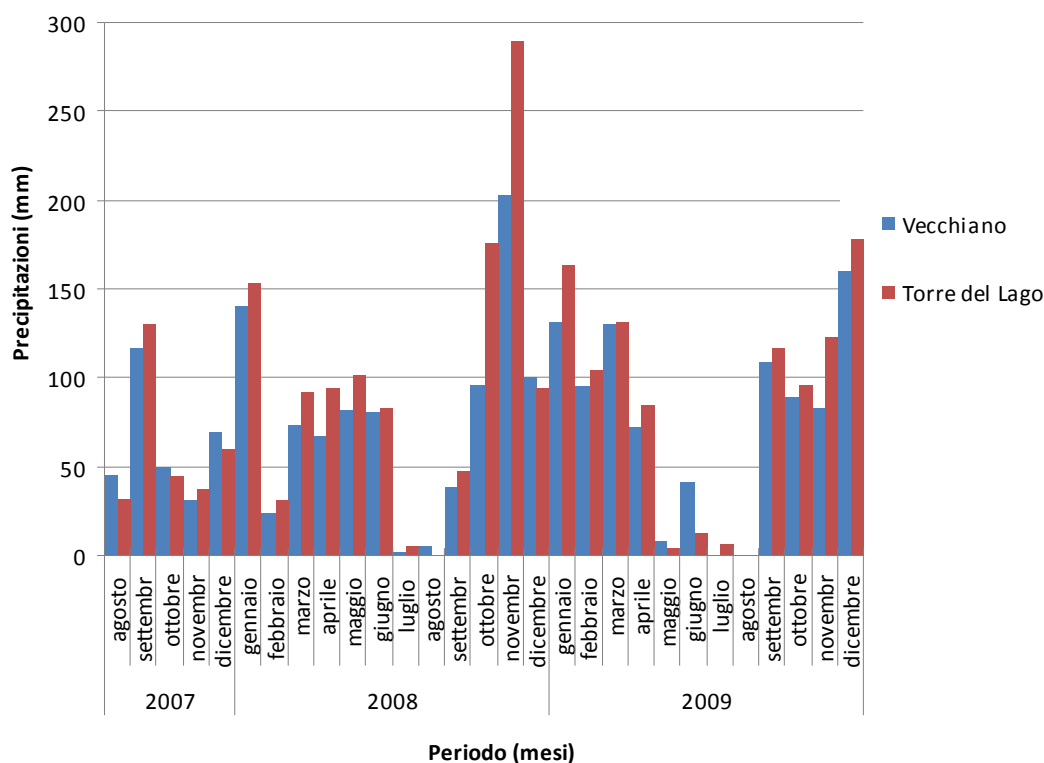


Fig. 2.5 - Precipitazioni cumulate mensili alla stazione di Vecchiano e di Torre del Lago.

### 2.3 - Inquadramento geologico e geomorfologico

Sotto il profilo geologico l'area su cui insiste il bacino è parte del *graben* di Viareggio la cui formazione e riempimento hanno inizio nel Miocene superiore (Pascucci, 2005). Tralasciando la descrizione della evoluzione geologica, non oggetto di questo studio e per la cui trattazione si rimanda a Pascucci (2005), Antonioli et al. (2000), Federici e Mazzanti (1995),

Federici (1993), Bossio et al. (1993), Blanc (1953), ecc., nel presente capitolo si vuole fornire una sintesi dell'assetto geomorfologico e stratigrafico del dominio di studio, che, per semplicità, può essere suddiviso in un settore collinare/montuoso ed in un settore di pianura.

Nel primo settore (Fig. 2.6) affiorano le formazioni della Falda Toscana, delle Unità Liguri e Subliguri, la Successione Toscana Metamorfica e l'Unità di Massa, mentre il settore di pianura è costituito da sedimenti alluvionali e lacustri, che, spostandosi verso il mare, sono limitati da depositi sabbiosi. I rilievi possono esser ulteriormente distinti in un settore meridionale, dove affiorano prevalentemente formazioni carbonatiche della Falda Toscana (costituite da Calcere Massiccio, Calcari Selciferi, Maiolica, etc.), ed in un settore settentrionale, dove sono predominanti le formazioni argillitiche e marnose delle Successioni Liguri e Subliguri, che poggiano con un contatto per faglia a basso angolo sopra la formazione arenacea del Macigno. Nella parte settentrionale del bacino idrogeologico i termini basali della Falda Toscana poggiano sulle formazioni dell'Unità di Massa, rappresentate dal Verrucano *Auct.*

Per quanto riguarda la pianura, il *graben* di Viareggio è riempito da circa 2500 m di sedimenti: a partire dal Pleistocene le variazioni eustatiche del livello del mare in combinazione con l'attività tettonica hanno portato a alterne fasi a prevalente sedimentazione continentale e marina che hanno favorito la progradazione della pianura e definito l'assetto morfologico dell'area così come conosciuto in epoca storica. Nella Figura 6 è riportata una sezione schematica est-ovest attraverso il bacino del lago di Massaciuccoli. Sulla base della geologia di superficie è possibile individuare una zona di raccordo tra la pianura ed i rilievi definita da una serie di coni di deiezione fluviale olocenici-pleistocenici ( $bn_b$ ). Questi depositi alluvionali sono granulometricamente eterogenei e sono costituiti da alternanze di argille, limi, limi sabbiosi, sabbie e ghiaie. La zona di raccordo passa verso ovest ad una fascia interna depressa, estesa all'incirca fino all'altezza dell'asse autostradale Genova-Rosignano. Rispetto alla posizione del lago di Massaciuccoli (che occupa pressappoco la parte centrale del bacino nella quale sono in deposizione sedimenti lacustri) la distribuzione dei sedimenti sull'asse nord-sud presenta un andamento simmetrico (Fig. 2.7). Dai depositi alluvionali della conoide del Fiume Serchio al limite sud del bacino, si passa verso nord a depositi argilloso-torbosi, quindi, nelle parti più depresse, a torbe ed ai depositi lacustri. Allo stesso modo, a nord del lago si passa dai depositi lacustri nuovamente a depositi torbosi, quindi argilloso-torbosi ed infine alle alluvioni della conoide del fiume Camaiore. A limitare la parte centrale depressa si trova la fascia dei cordoni sabbiosi, allineati lungo la linea di costa, che termina con depositi di spiaggia attuali di estensione piuttosto limitata.

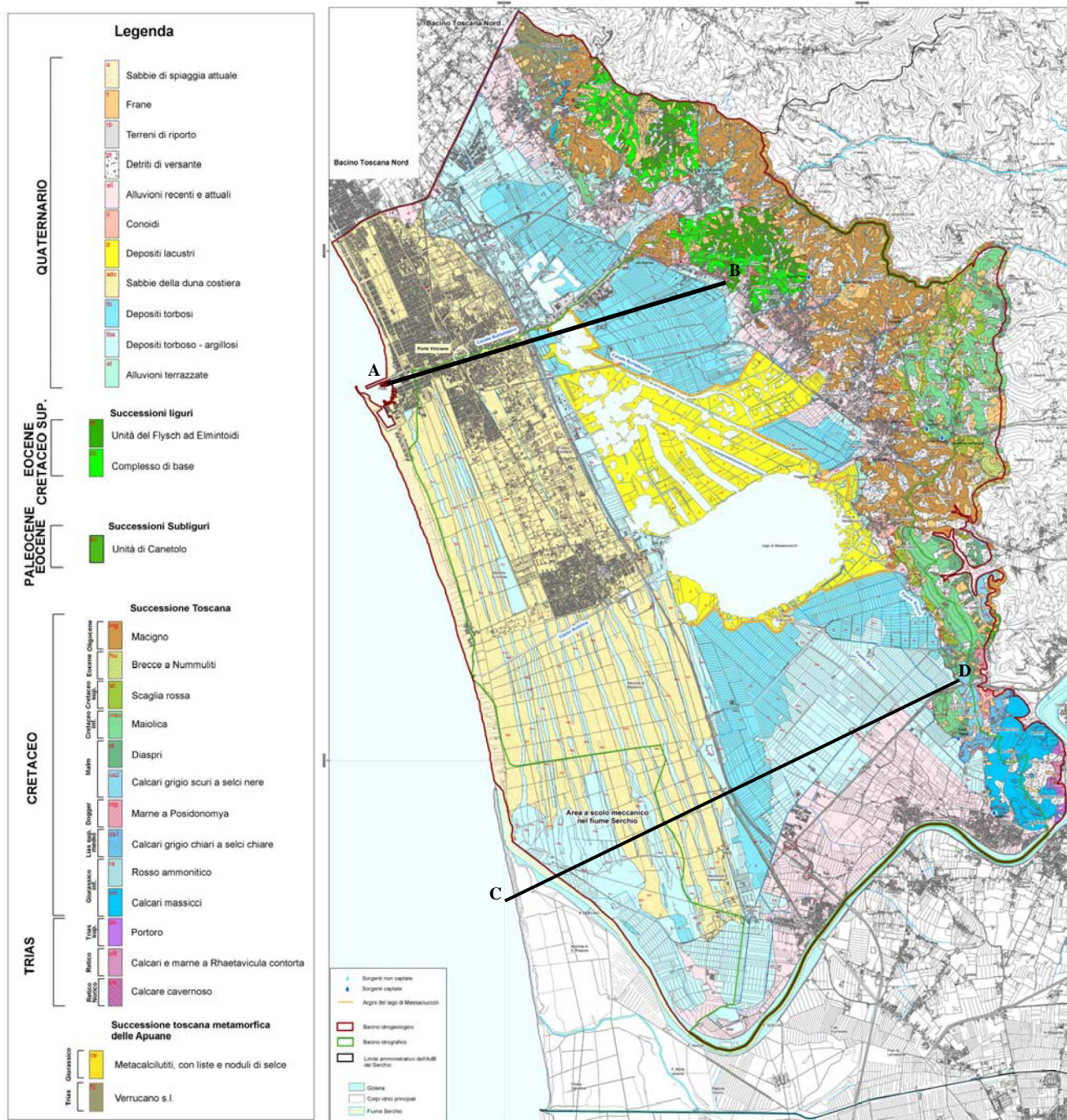


Fig. 2.6 - *Inquadramento geologico del dominio di studio (da Autorità di Bacino del Fiume Serchio, 2007).*

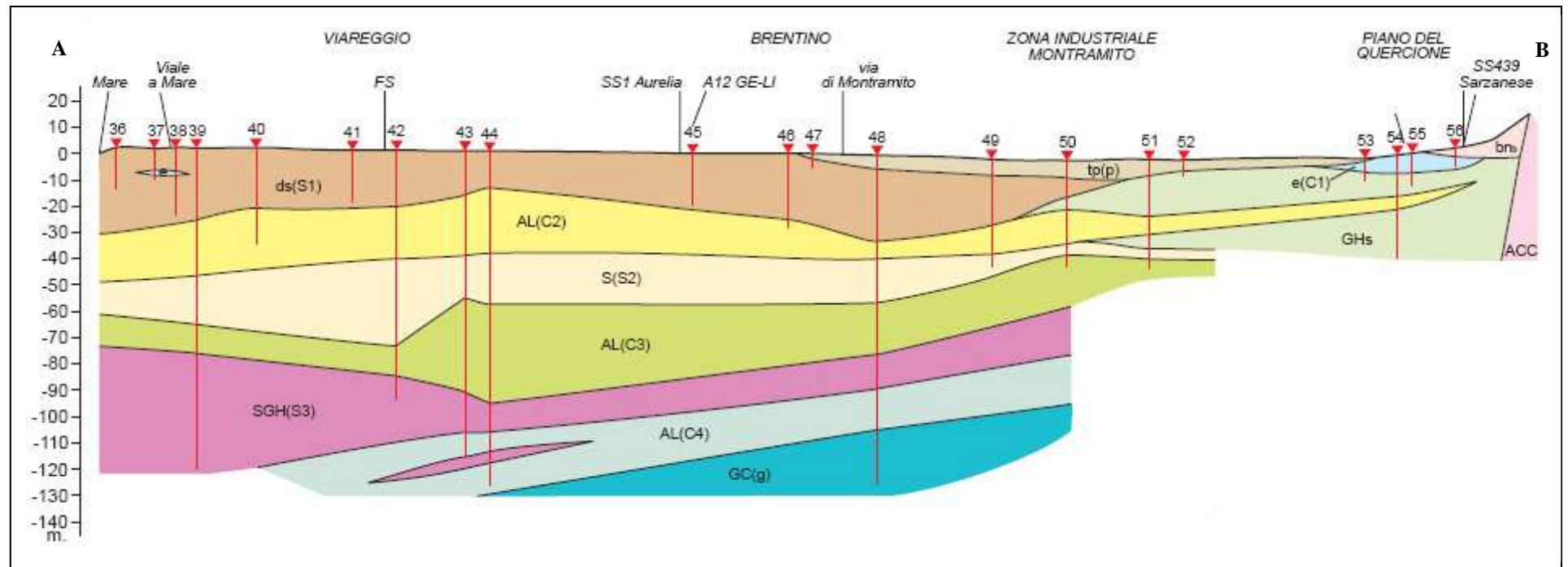


Fig. 2.7 - Sezione schematica est-ovest del bacino del Lago di Massaciuccoli. ACC: Unità di Canetolo (Argille e Calcari); ds(S1): sabbie di dune costiere; e(C1): depositi lacustri e palustri; tb(p): torbe e terreni di colmata; bn<sub>p</sub>: depositi alluvionali sabbiosi prevalenti; AL(C2): limi ed argille; GHs: ghiaie e sabbie; S(S2): sabbie e sabbie limose; AL(C3): limi ed argille; SGH(S3): sabbie e ghiaie; AL(C4): limi ed argille; GC(g): ghiaie e conglomerati (da Carmignani et al., in stampa).

Di particolare interesse è la ricostruzione della stratigrafia del sottosuolo della pianura costituita, nella parte centrale del dominio di studio, da un'alternanza di livelli sabbiosi e argillosi che passano, verso nord, a un orizzonte indifferenziato di ghiaie di origine alluvionale, base degli stessi sedimenti argillosi e sabbiosi. In dettaglio dall'alto verso il basso stratigrafico, al di sotto del terreno agrario, si individuano (Autorità di Bacino del Fiume Serchio, 2007; Spandre e Meriggi, 1997; Federici e Mazzanti, 1995; Federici, 1993):

- torbe "superiori" in eteropia con argille torbose. Costituiscono il deposito superficiale della parte centrale del bacino ed hanno uno spessore variabile da 1-2 m in corrispondenza di Torre del Lago, fino ad un massimo di 10 m nella parte orientale del bacino;
- sabbie silicee. Formano un livello continuo, costituito da sabbie con grado di addensamento variabile nelle quali sono presenti locali intercalazioni di depositi continentali limoso-argillosi, fino alla profondità di circa 25-30 m. Lo spessore è massimo a partire dal depocentro del bacino verso la linea di costa, mentre si riduce a circa 3 m ai piedi dei rilievi. Le sabbie silicee sono separate dai depositi superficiali da un livello di sabbie eoliche alle quali si interpone, localmente, un livello calcareo (Spandre e Meriggi, 1997);
- argille lacustri e torbe "inferiori". Si ritrovano nei sondaggi da -27 m a -61 m s.l.m. nella parte centrale della pianura, mentre nella parte orientale sono presenti da -13 a -70 m s.l.m.;
- nella parte centrale del bacino a queste segue un modesto livello di sabbie (4-6 m tra -61 e -84 m s.l.m) denominato sabbie marine inferiori, che poggiano sulle argille continentali inferiori (-75 e -86 m s.l.m. nei pressi di Viareggio e tra -75 e -90 m s.l.m. a Massarosa), alla cui base si trovano sabbie, ciottoli e ghiaie marine;
- chiude la successione conosciuta direttamente un livello di argille cineree alla cui base (circa -130/150 m dal piano campagna) si trovano ciottoli, ghiaie e conglomerati.

## **2.4 - Inquadramento idrologico ed idrogeologico**

L'assetto idrologico ed idrogeologico del bacino è stato profondamente modificato dalla realizzazione di numerose attività antropiche (tra cui si ricordano le escavazioni di torba e di sabbia silicea) e dalla ricordata bonifica idraulica, che, generando subsidenza, ha reso pensile il lago e le aree palustri contermini rispetto alle aree bonificate; in sintesi, la circolazione delle acque superficiali è prevalentemente regolata dalle sistemazioni idrauliche realizzate nel bacino.

*Assetto idrologico.* Dei corsi d'acqua fluenti dai rilievi (Fig. 2.8) solo due giungono direttamente nel lago, mentre i restanti recapitano o nell'area palustre o nei sottobacini di bonifica dove le

acque sono convogliate attraverso il reticolo di drenaggio agli impianti idrovori e quindi sollevate nel lago o nell'area palustre. Il recapito delle acque del lago in mare è infine complicato dalla conformazione e dalla funzionalità del sistema mare-laguna costiera. La suddivisione fisiografica citata nel capitolo 2.1 ben si adatta anche alla discussione di dettaglio dell'assetto idrologico/idrogeologico del dominio di studio.

La parte settentrionale del settore dei rilievi è caratterizzata dalla presenza di numerosi corsi d'acqua, legata all'affioramento di rocce a bassa permeabilità prevalentemente arenacee ed argillitiche della Formazione del Macigno e delle Unità Liguri e Subliguri, che scendono verso la pianura. Tuttavia, le portate di questi corsi d'acqua, a regime torrentizio, sono generalmente modeste e legate alle precipitazioni o alla presenza di emergenze sorgive con portate spesso limitate. I torrenti Farabola e Gora di Stiava, raccolgono la gran parte delle acque di questi corsi d'acqua e le convogliano al mare una volta defluiti nel Canale Burlamacca. A sud della Gora di Stiava, i torrenti, che scendendo dai rilievi non confluiscono in essa, ma recapitano nell'area palustre direttamente o attraverso l'Idrovora Beatrice. Tra questi il principale è il Rio di Bozzano alimentato dalla sorgente Fontana. Gli unici corsi d'acqua che confluiscono direttamente nel lago sono il Rio delle Tre Gore ed il Bagnaia 2.

La zona meridionale dei rilievi è invece caratterizzata dall'assenza di un reticolo idrografico sviluppato, per la presenza di rocce carbonatiche. Ai piedi dei rilievi corrono la Fossa Nuova (o Allacciante di Massaciuccoli), la Fossa di Radicata e l'Allacciante di Vecchiano che raccolgono il modesto ruscellamento superficiale conferendolo, rispettivamente nel lago la prima e nel Canale Barra-Barretta le altre due (Autorità di Bacino del Fiume Serchio, 2007).

Come più volte ricordato, l'elemento idrologico principale dell'area di studio è quindi costituito dal lago di Massaciuccoli, esteso per circa  $7 \text{ km}^2$  e con profondità variabili tra 1.0 e 2.5 m (Amos et al., 2004). Fanno eccezione, nella zona a NNO del lago, aree a profondità variabile tra i 20 e 25 metri, che in passato venivano utilizzate per l'estrazione di torba e sabbia silicea, attività cessate ormai da circa 20 anni. Considerando quindi una massa d'acqua di spessore variabile tra 1.5 e 2 m ed una estensione di  $7 \text{ km}^2$ , nel lago è immagazzinato un volume d'acqua compreso tra 10.5 e  $14.0 \text{ Mm}^3$ .

Il Canale Burlamacca è il principale emissario naturale del lago: in esso si immettono inoltre, prima della confluenza con la Gora di Stiava, i canali Malfante, Le Venti e Le Quindici. Il Canale Burlamacca recapita nel porto di Viareggio un volume medio annuo di acqua stimato in circa  $35 \text{ Mm}^3/\text{anno}$  (Autorità di Bacino del Fiume Serchio, 2007). L'altro emissario, il Canale della Bufalina, è stato recentemente riattivato ed il suo funzionamento, legato all'accensione di una idrovora, è intermittente in dipendenza del superamento del battente idraulico del lago della

quota +0.40 m s.l.m. (Autorità di Bacino del Fiume Serchio, 2007). Escludendo eventi estremi, il battente idraulico del lago oscilla nel corso dell'anno idrologico medio tra quote comprese tra +0.7 m s.l.m. e -0.5 m s.l.m., minimo che può essere raggiunto alla fine del periodo estivo (Fig. 2.9). Studiati (1957) riporta la variazione del livello idrometrico del lago compresa tra +0.7 m e -0.25 m s.l.m.m.

Dalle Figure 2.10 e 2.11 è possibile osservare che il bacino lacustre non risente direttamente delle variazioni legate alle oscillazioni mareali; di contro, ne risente il deflusso dal lago verso il mare, essendo regolato dalle differenze di quota tra il battente idraulico del lago e il livello del mare. In generale, il battente idraulico del lago è governato dalle precipitazioni e dai volumi di acqua immessi nel lago dalle bonifiche (Spandre e Meriggi, 1997). Il fatto che, come è possibile osservare anche dai grafici di Figura 9 relativi ai diversi mesi dell'anno 2008, il battente idraulico del lago sia per lunghi periodi dell'anno a quote inferiori al livello del medio mare comporta l'ingressione di acqua salina verso il lago, sicuramente attraverso il Canale Burlamacca (Autorità di Bacino, 2007; Conti, 2006; Spandre e Meriggi, 1997). Per tale motivo nel XVIII secolo furono realizzate le Porte Vinciane, il cui obiettivo era quello di impedire l'ingresso di acqua di mare nel bacino. L'ingressione di acque salse è riportata anche in Tedesco (2006), dove si cita un evento di ingressione verificatosi nel 1921 a causa di un malfunzionamento delle Porte Vinciane. Essendo il funzionamento di tale opera idraulica insoddisfacente, è stata progettata una nuova barriera posta poco a monte dell'esistente, attualmente in fase di ultimazione (Autorità di Bacino del Fiume Serchio, 2009).

Di particolare interesse è lo studio di Spandre e Meriggi (1997) sulle vie di circolazione preferenziali seguite dalle acque all'interno del sistema palustre, il quale riporta alcune tra le rare misure quantitative/semi-quantitative effettuate in passato nell'area; gli autori suddividono l'intervallo di osservazione in un periodo umido (Dicembre '94 - Maggio '95) ed in un periodo secco (Giugno '95 - Agosto '95).

Nel primo periodo individuano due sistemi di circolazione: il Canale Burlamacca ed il Canale Le Venti convogliano verso S. Rocchino le acque della parte orientale del lago, delle bonifiche e del reticolo a nord del lago; il Fosso Le Quindici convoglia invece verso mare le acque provenienti dal bordo occidentale del lago e dalle bonifiche di Vecchiano e Massaciuccoli. Parte delle acque derivanti da queste ultime bonifiche defluisce inoltre attraverso il Canale Le Venti. Sempre nel primo periodo, in assenza di precipitazioni, individuano una risalita di acque salate dal mare attraverso il Canale Burlamacca fino al laghetto di San Rocchino, mentre la risalita attraverso il Fosso Le Quindici è ritenuta trascurabile per la presenza di una soglia idraulica. Secondo questo schema il laghetto di San Rocchino, la cui profondità raggiunge circa



25 m (Autorità di Bacino del Fiume Serchio, 2007) costituisce il serbatoio in cui si stratificano e immagazzinano le acque salmastre, più dense e pesanti delle acque del lago. Le osservazioni compiute trovano conferma nel successivo periodo secco, ad eccezione del deflusso dal lago verso il mare attraverso il Canale Burlamacca ed il Fosso Le Venti che risulta praticamente assente.

In sintesi, il Fosso Le Venti è individuato quale principale vettore di massa dal lago verso il mare e viceversa nei due periodi considerati. L'esistenza delle opere di bonifica condiziona notevolmente l'assetto idrografico nell'area contermina al lago, assetto che può essere schematizzato attraverso la definizione di tre elementi:

- il bacino lacustre pensile;
- la rete di canali di acque alte, dove il battente idraulico è circa alla stessa quota di quello del lago;
- la rete di canali di acque basse, posti a quote più basse del lago, che costituiscono il sistema di drenaggio delle bonifiche, le cui acque defluiscono verso gli impianti idrovori e da questi sono sollevate nei canali di acque alte.

Ciascuna bonifica è identificata da un sottobacino alla cui chiusura è sempre presente un impianto idrovoro (Fig. 2.8): compresi tra la Gora di Stiava ed il lago sono i sottobacini di Massarosa (Idrovore Beatrice e Pioppogatto), Portovecchio (Idrovora di Portovecchio) e Quiesa (Idrovora di Quiesa); a sud si trovano invece i sottobacini di Vecchiano (Idrovora di Vecchiano) e del Massaciuccoli Pisano (Idrovora di Massaciuccoli). Al limite meridionale del bacino è presente invece un'area a scolo naturale (comprendente gli abitati di Vecchiano, Nodica e Migliarino) che, attraverso il Canale Separatore, recapita le acque nel Canale Barra-Barretta; contermina a quest'area si trova un ulteriore sottobacino a scolo meccanico direttamente verso il Fiume Serchio. Il Canale Barra-Barretta drena l'estrema parte meridionale del bacino sino all'altezza della confluenza con il Canale Separatore, e, correndo poi pensile e arginato sulla campagna, raccoglie le acque delle idrovore di Vecchiano e Massaciuccoli per poi defluire nel lago.

Il Canale Barra-Barretta è ritenuto il principale percorso che le sorgenti di contaminazione organica e di particolato sospeso seguono per raggiungere il lago.

Nell'area della duna costiera la circolazione delle acque superficiali è regolata da una fitta rete di canali che convogliano le acque verso il Canale Burlamacca, il Canale della Bufalina, o direttamente nel padule a ridosso degli abitati di Torre del Lago e di Viareggio.

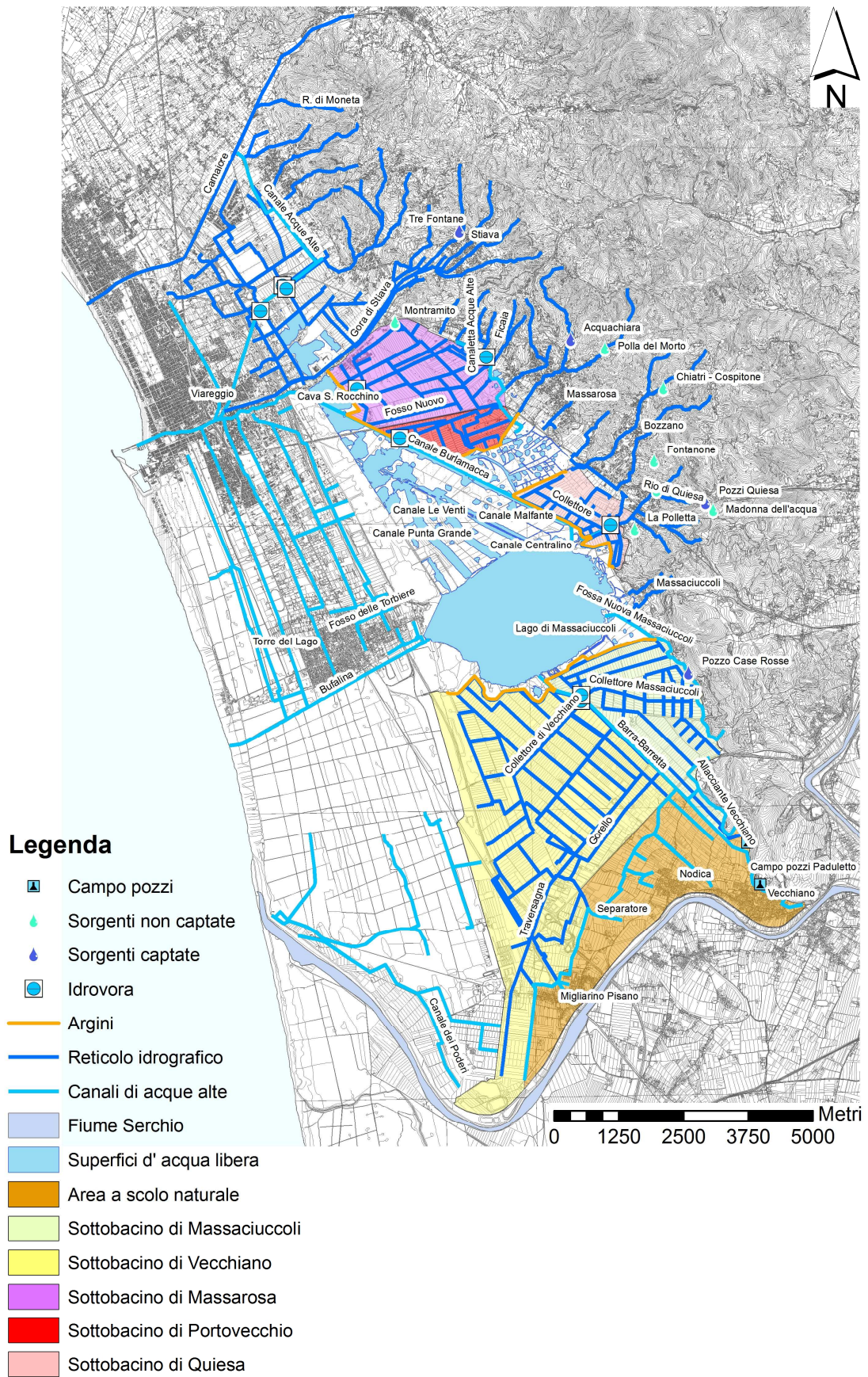


Fig. 2.8 - Andamento del reticolo idrografico principale.

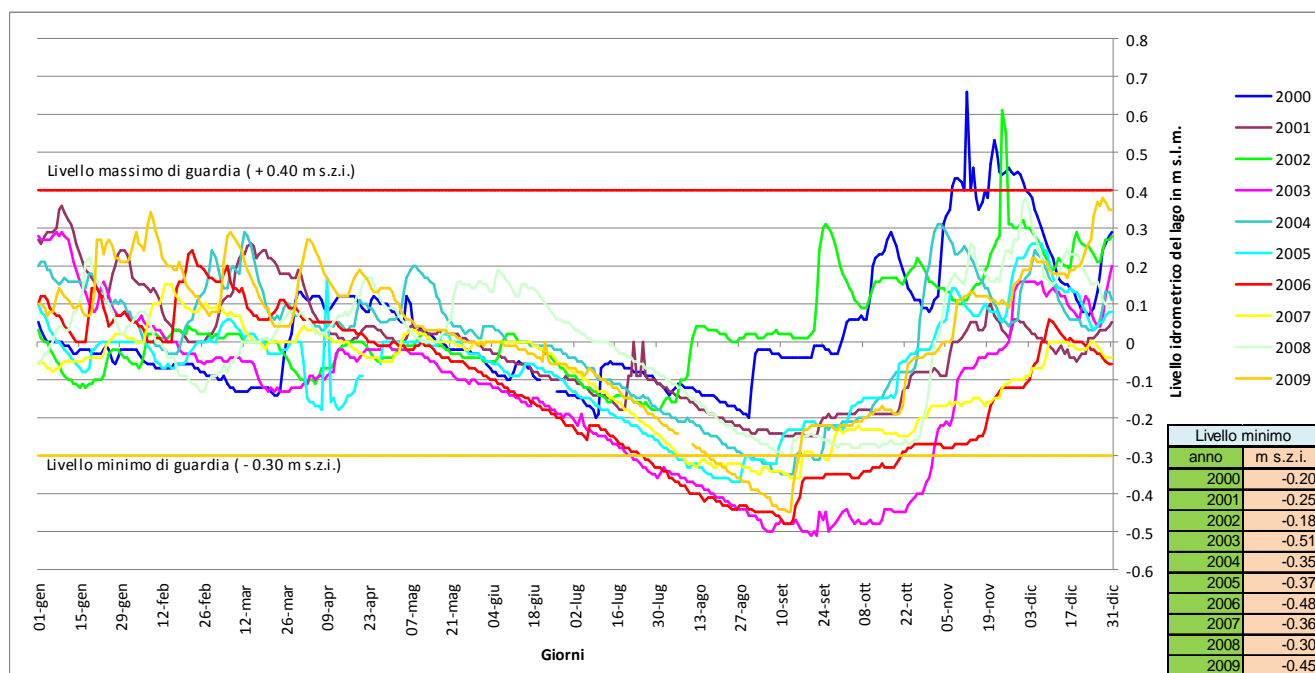


Fig. 2.9 - Livelli idrometrici rilevati alla stazione di Torre del Lago per il periodo 2000-2009.

Infine, Franceschi (1997) stima il volume medio annuo sollevato dalle idrovore a sud della Gora di Stiava, nel periodo 1991-1995, in circa 55 Mm<sup>3</sup>/anno sulla base di calcoli che tengono conto delle ore di funzionamento delle pompe alla portata nominale. Attualmente il Consorzio di Bonifica della Versilia-Massaciuccoli sta effettuando un'analisi dei consumi elettrici delle pompe per giungere ad una stima più affidabile della precedente (Giannecchini, comunicazione personale).

Nel periodo estivo, alla necessità di drenaggio delle acque sotterranee si aggiunge l'esigenza di irrigare le aree coltivate per cui gli stessi dreni (canali di acque basse) sono utilizzati per l'esercizio dell'irrigazione. In particolare, esiste una concessione per il prelievo di 325 l/s, per otto ore al giorno per cinque mesi l'anno, dal canale Barra-Barretta per l'irrigazione della parte meridionale del bacino del lago. A nord del lago, in assenza di concessioni regolate, alcune derivazioni a carattere "consuetudinario" servono le colture irrigue dei sottobacini di Massarosa, Portovecchio e Quiesa. Nella zona della duna costiera, sono assenti derivazioni di acque superficiali e l'area è servita da prelievi di acque sotterranee.

Al fine di ridurre il deficit idrico del lago, la Provincia di Pisa ha posto in essere nel 1996 una derivazione dal Fiume Serchio, all'altezza del Ponte di Pontasserchio (nel Comune di Vecchiano), pari a 250 l/s, il cui esercizio è attivo nella stagione estiva dalle ore 14 alle ore 22 (D'Aiuto, comunicazione personale).

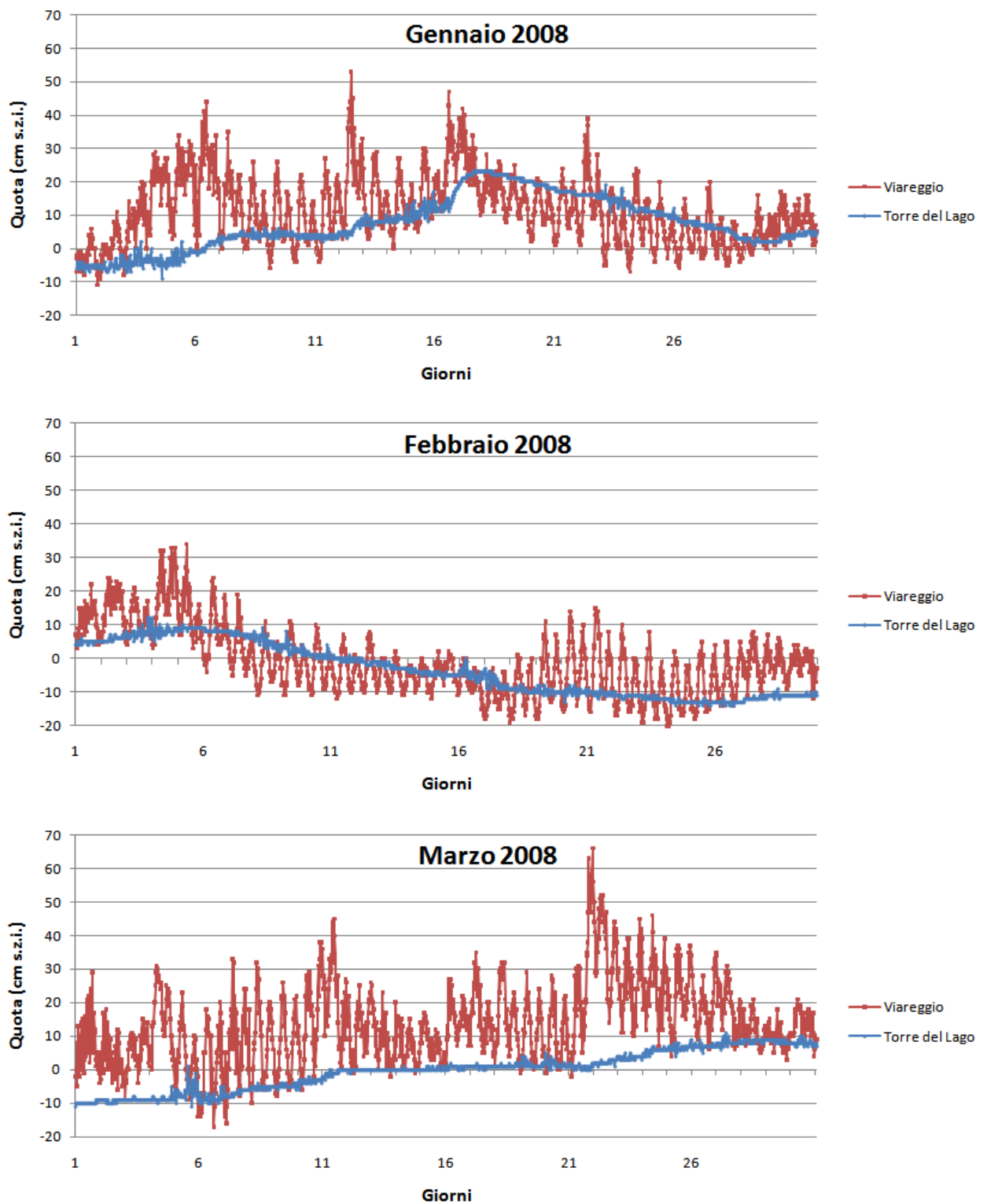


Fig. 2.10 - Andamento mensile del battente idraulico del lago (Torre del Lago) rispetto al battente idraulico misurato alla stazione Viareggio 2 nei mesi di Gennaio, Febbraio e Marzo.

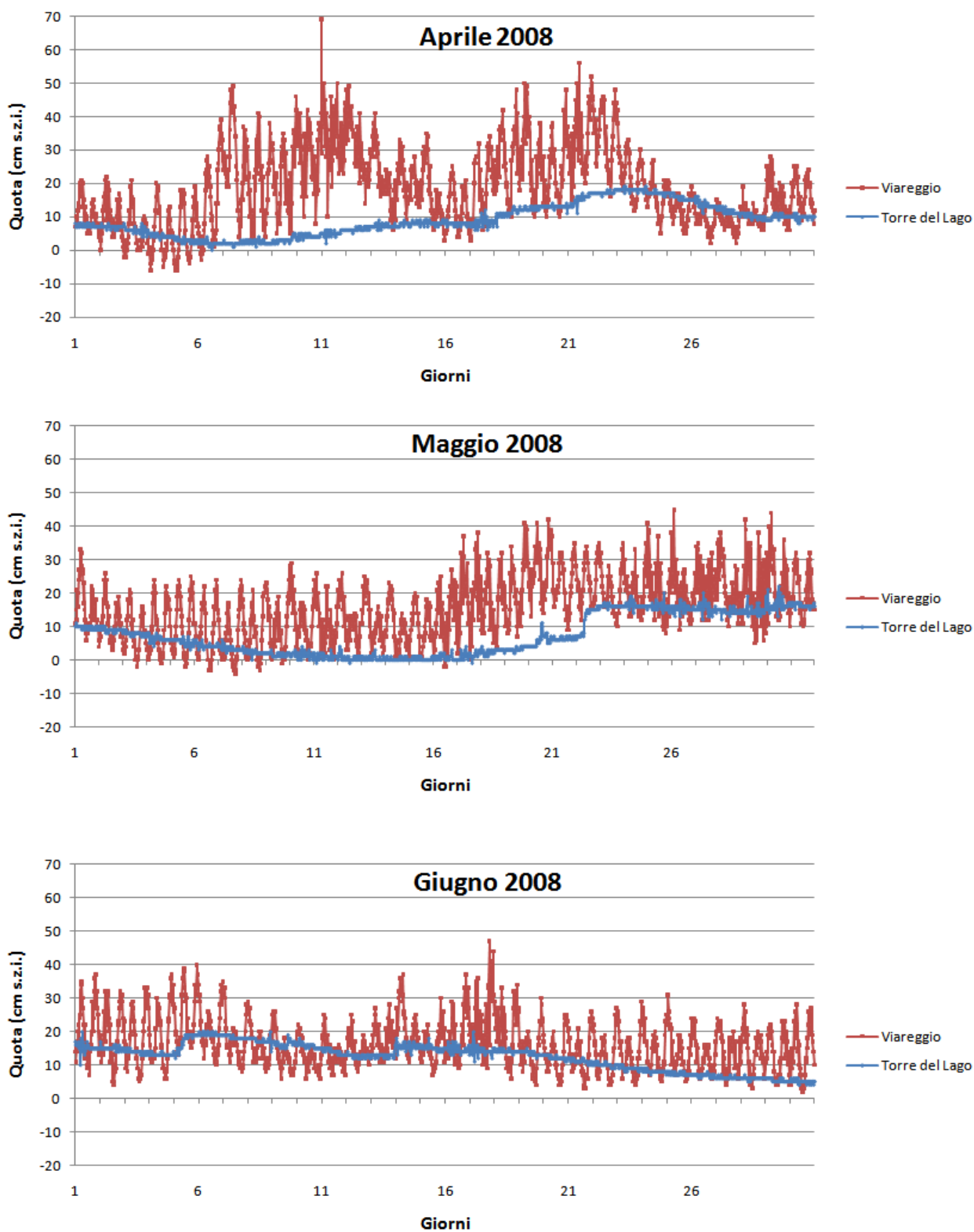


Fig. 2.11 - Andamento mensile del battente idraulico del lago (Torre del Lago) rispetto al battente idraulico misurato alla stazione Viareggio 2 nei mesi di Aprile, Maggio e Giugno.

La Provincia di Pisa nel Novembre 2005 ha verificato il funzionamento della stessa valutando una funzionalità dell'opera ridotta del 25% rispetto alla data di inizio esercizio; gli stessi tecnici della Provincia riportano interessanti valutazioni sull'andamento dei deflussi nei

canali Barra-Barretta, Separatore e Allacciante di Vecchiano del sistema della bonifica a sud del bacino di Massaciuccoli. In particolare pongono in relazione il battente idraulico di tali canali alle portate immesse dalle bonifiche di Vecchiano e Massaciuccoli nel Canale Barra-Barretta: parte del volume idrico sollevato andrebbe ad invasare i canali sopra citati per poi defluire in direzione lago all'abbassarsi del battente idraulico.

*Assetto idrogeologico.* La caratterizzazione idrogeologica del dominio di studio assume notevole importanza per la definizione delle relazioni idrauliche e delle interazioni tra acque superficiali ed acque sotterranee. Anche in questo caso per la discussione del quadro conoscitivo può essere utilizzata la suddivisione dell'area di studio in un settore collinare-montuoso ed in uno pianeggiante.

Dal punto di vista idrogeologico la Regione Toscana ha ricompreso la parte dei rilievi presenti nel bacino in studio in cui affiorano formazioni carbonatiche nel Corpo Idrico Sotterraneo Significativo delle Alpi Apuane e dei Monti d'Oltre Serchio. Sulla base di considerazioni strutturali ed idrogeologiche queste formazioni sono in continuità idraulica anche con area di ricarica al di fuori del bacino idrogeologico in s.s. (Masini, 1960; Centro di Geotecnologie, 2007). Questa continuità idraulica si manifesta, ad es., nelle importanti portate delle sorgenti di Montramito (circa 180 l/s) e, in passato, Bottaccio di Stiava (portate variabili tra 432 e 33 l/s; Studio Nolledi, 2003), la cui area di alimentazione è ritenuta trovarsi a est del bacino tra M. Vallimona, Loppeggia, S. Martino in Freddana e M. Rondinaio. Inoltre, la presenza di estese formazioni carbonatiche ad elevata permeabilità, situate al margine meridionale, permette scambi tra il bacino del Fiume Serchio ed il bacino in esame. Lo schema idrogeologico generale in questo settore è quello ipotizzato già in Baldacci et al. (1994) e prevede la presenza di un *aquiclude* definito dalle formazioni a bassa permeabilità dell'Unità di Massa (Verrucano *Auct.*) che limita a letto un acquifero basale costituito dalle formazioni carbonatiche Triassiche e Giurassiche della Falda Toscana. Questo è confinato da un livello a bassa permeabilità costituito dalle formazioni delle Marne a *Posydonomia* e dei Diaspri, sulle quali si imposta l'acquifero costituito dalla Maiolica e dai membri più permeabili della Scaglia. Un ulteriore livello confinante a tetto della idrostruttura lo definiscono le formazioni delle Unità Liguri e Subliguri. Per maggiori dettagli sull'assetto idrostrutturale dei rilievi si rimanda a Centro di Geotecnologie (2007).

L'Autorità di Bacino del Fiume Serchio (2007) riporta la presenza di circa 66 sorgenti, gran parte delle quali captate per l'alimentazione del servizio idrico pubblico (Tab. 2.3). Di queste, solo cinque attualmente hanno portata superiore ai 10 l/s (Il Fontanone di Bozzano, Villa

Spinola e le emergenze di Montramito) per una portata complessiva pari a circa 380 l/s. E' comunque da rilevare che le acque di gran parte di queste sorgenti, ad eccezione delle sorgenti di Quiesa (che alimentano vari corsi d'acqua che confluiscono nel Rio delle Tre Gore) e del Paduletto (Vecchiano), oggi non defluirebbero direttamente nel lago, ma nelle zone di bonifica. Circa l'area sorgiva del Paduletto, in una nota dell'Ufficio Speciale del Genio Civile per il Servizio Idrografico – Pisa (1963) si cita la presenza di tre emergenze, delle quali la sorgente Fontanaccia alimentava i Fossi Barra e Barretta; la portata di quest'ultima, misurata in data 21 Ottobre 1962, quindi in un periodo a ridosso della magra estiva, fu determinata in circa 16 l/s, ovvero 1/10 di quanto derivante dalla captazione, realizzata dal Comune di Pisa, della Sorgente Barretta per mezzo di due pozzi. Ne deriva che se, secondo i dati di letteratura, attualmente i volumi sorgivi fluenti nello specchio lacustre sono pari a 150 l/s (sorgente di Villa Spinola), quelli potenzialmente defluenti nello specchio lacustre ammonterebbero a circa 400 l/s, ovvero 12 Mm<sup>3</sup>/anno.

Stato antecedente alle captazioni				Stato conseguente alle captazioni			Fonte del dato
Comune	località	sorgente	portata naturale [l/s]	stato attuale	captazione [l/s]	portata attuale [l/s]	
Massarosa	Bozzano	Il Fontanone	50	intatta	0	50	Piano strutturale del Comune di Massarosa (Studio Chines-Nolledi)
	Massarosa	Acqua Chiara	4	non più affiorante	4	0	
		Crociale - Cimitero	<1	intatta	0	<1	
		Polla del Morto	<1	intatta	0	<1	
	Chiatri	Cospitone	<1	intatta	0	<1	IdroPisa
	Quiesa	Villa Spinola	199	parzialmente affiorante	50	149	
		La Polletta	<1	intatta	0	<1	
		Le Fontanelle	<1	intatta	0	<1	
	Montramito	Madonna dell'Acqua	<1	intatta	0	<1	
		Sorgente principale	65	intatta	0	65	
Scaturigini laghetto		101	intatta	0	101		
	Sub laghetto	15	intatta	0	15	(Tonelli, 1999)	
Vecchiano	Paduletto	Paduletto	200	non più affiorante	104	0	Acque s.p.a.
<b>totale</b>			<b>[l/s] 634</b>	<b>totale [l/s] 158 380</b>			
pari a			<b>[mc/anno] 19.993.824</b>	pari a [mc/anno] <b>4.982.688 11.983.680</b>			

Tab. 2.3 - Emergenze sorgive nel bacino idrogeologico di Massaciuccoli (da Autorità di Bacino del Fiume Serchio, 2007).

Circa l'assetto idrostratigrafico della pianura, in letteratura (Autorità di Bacino del Fiume Serchio, 2007; Cortopassi, 2002; Spandre e Meriggi, 1997; AQUATER, 1980) è ben nota la presenza di un acquifero superficiale localizzato nelle sabbie marine affioranti o sottostanti i livelli argilloso-torbosi, di spessore da pochi metri lungo il limite pedemontano a 30-35 m procedendo verso la linea di costa, con caratteristiche di permeabilità relativa da media a elevata

(Fig. 2.7). Questo acquifero, è limitato a letto da un livello continuo di argille e limi a bassa permeabilità relativa, che, ragionevolmente, ne costituisce l'*aquiclude*. Al di sotto del predetto livello argilloso si ritrova un acquifero confinato in ghiaie. Laddove le torbe presentano uno spessore rilevante Spandre e Meriggi (1997) riportano caratteristiche di quasi artesianità per l'acquifero; gli stessi Autori ritengono che un sottile strato di limi e argille intercalato in alcune zone del bacino e soprattutto al di sotto del lago possa isolare le acque superficiali da quelle sotterranee.

In Autorità di Bacino del Fiume Serchio (2007) è riportato l'andamento del campo di moto delle acque sotterranee rilevato in due periodi di magra (Agosto 2003 e Settembre 2004) ed in un periodo di morbida (Aprile 2004). Gli elementi caratterizzanti il campo di moto delle acque sotterranee rilevato sono costituiti da:

- la presenza di un alto freaticometrico, che origina uno spartiacque sotterraneo in corrispondenza della fascia costituita dai cordoni dunali sabbiosi, rappresentando pertanto una barriera idraulica nei confronti dell'ingressione di acqua marina nella falda (Studio Nolledi, 2003);
- la ricarica dell'acquifero freatico effettuata lungo l'area pedemontana;
- la ricarica effettuata dal Fiume Serchio, soprattutto nel periodo di morbida, nel tratto compreso tra Nodica e Migliarino;
- la presenza di un limite a flusso nullo in corrispondenza del Fiume Camaiore, che sembra indicare l'assenza di scambi tra questo e l'acquifero freatico;
- la presenza di limitati emungimenti concentrati in determinate aree del bacino.

Il Fiume Serchio, che limita il bacino a sud, pur non interagendo direttamente con il reticolo idrografico superficiale, è in connessione con le acque della falda freatica drenandola e ricaricandola in diversi periodi dell'anno in diverse porzioni dell'asta fluviale, e costituisce un ulteriore elemento idrologico del sistema in studio.

Di contro, le suddette cartografie non hanno dettaglio sufficiente a delineare i rapporti tra le acque superficiali del bacino lacustre e le acque sotterranee della falda freatica. Studio Nolledi (2003) sostiene che nelle aree di bonifica il sistema converge verso alcune depressioni piezometriche connesse con il funzionamento delle idrovore; in conseguenza di ciò si determina un richiamo di acque sotterranee dai corpi idrici di acque alte (lago e canali di acque alte). In AQUATER (1980), invece, si ritiene che la presenza di una barriera impermeabile artificiale, presumibilmente l'arginatura, impedisca gli scambi tra lago e falda. È da rilevare infine che in letteratura sono quasi assenti, ad eccezione di quelle citate, informazioni sulle relazioni tra le acque superficiali del bacino lacustre e del reticolo di bonifica e le acque sotterranee della falda freatica.



L'acquifero freatico è nelle zone contermini al lago soggetto a salinizzazione. Se già in AQUATER (1980), Marchisio e D'Onofrio (1997) e Autorità di Bacino del Fiume Serchio (2007) si riteneva poco probabile una comunicazione specchio lacustre e mare attraverso la falda, Spandre e Meriggi (1997) riferiscono questa salinizzazione alla risalita delle acque salmastre attraverso il Canale Burlamacca e quindi ad un loro passaggio nell'acquifero dal laghetto di San Rocchino. Di contro, escludono un passaggio diretto di acque salmastre dal fondo del lago all'acquifero. Geotecno (1975), AQUATER (1980) e Studio Nolledi (2003) non escludono comunque la presenza di corpi idrici sotterranei relitti a salinità più elevata, legati alla genesi del sistema in analisi, con parziale miscelazione con acque dolci.

La carta della conducibilità elettrica delle acque superficiali e sotterranee (Fig. 2.12) presentata dall'Autorità di Bacino del Fiume Serchio (2007), oltre a suggerire le relazioni esistenti tra le acque superficiali del bacino lacustre e le acque sotterranee dell'acquifero freatico, pone in evidenza l'importanza delle ex-cave di sabbia silicea ad ovest di Viareggio quali punti di immagazzinamento e distribuzione di acque a salinità elevata.

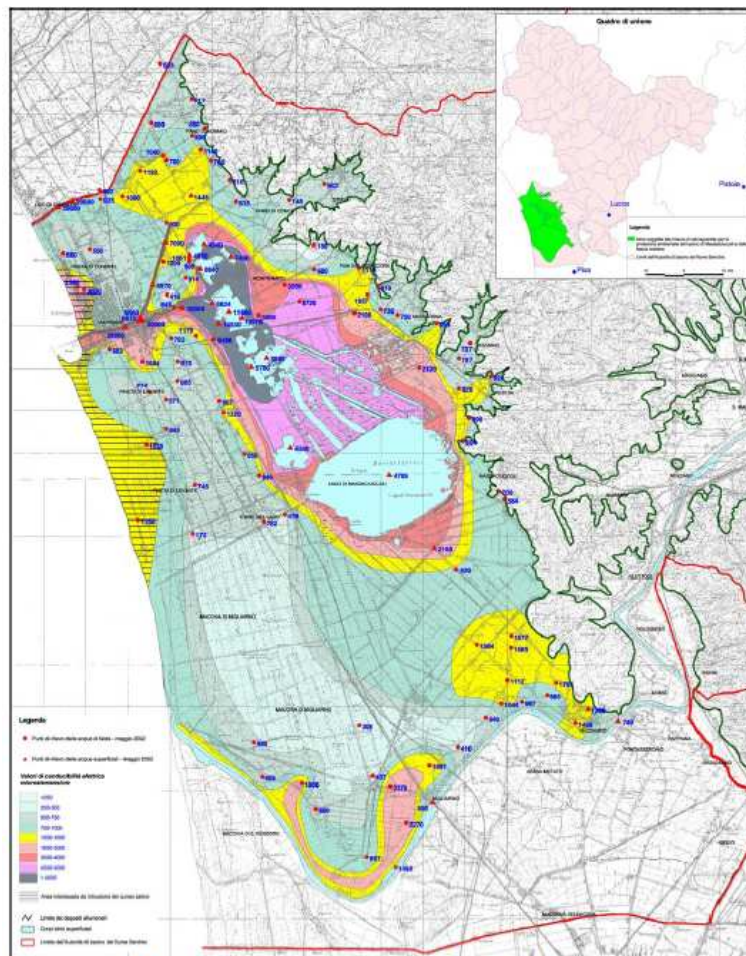


Fig. 2.12 - Carta della conducibilità elettrica delle acque superficiali e sotterranee (da Autorità di Bacino del Fiume Serchio, 2007).

E' documentata la presenza del cuneo salino lungo la costa solo nelle aree comprese tra Torre del Lago e Lido di Camaiore; è quindi evidente come l'acquifero presente nella duna costiera sia limitato a ovest da un potenziale fronte salino e ad est da una salinizzazione in atto, che è anche causa di salinizzazione dell'acquifero nell'entroterra. Già in AQUATER (1980) si evidenzia come sia assolutamente da evitare il pompaggio in zona dunale per non compromettere la funzione di barriera idraulica esercitata dalla lente di acqua dolce nella duna costiera. In Studio Nollodi (2003) si riporta infine la possibilità che l'aumento di salinità nel lago vada ad ostacolare la flocculazione dei colloidi sospesi, aggravando i processi di eutrofizzazione in corso ed il caso dell'Idrovora della Sassaia, a nord della Gora di Stiava, che, favorendo la risalita di acque salmastre lungo i canali, fin dagli anni '70 fu identificata come una delle cause principali dell'area di crisi della bonifica di Viareggio – Massarosa.

*Il bilancio idrico del Bacino del Lago di Massaciuccoli.* Analizzando la letteratura sull'argomento di cui all'oggetto, appare evidente l'assenza di dati quantitativi affidabili e recenti circa le portate delle sorgenti, le portate emunte dai sistemi di bonifica, le portate in transito attraverso sezioni di torrenti o canali verso il lago e/o verso il mare nei diversi periodi dell'anno. Se spesso sono reperibili numerosi dati per il periodo precedente la seconda guerra mondiale e immediatamente successivo, a partire dagli anni '70-'80, nonostante i numerosi studi effettuati, gran parte dei dati reperibili è a carattere squisitamente qualitativo. Disponendo solo di dati relativi ad un intervallo temporale non adeguatamente esteso, o in completa assenza degli stessi, è praticamente impossibile validare il bilancio idrico/idrologico del bacino in studio con margini di sufficiente attendibilità, qualunque sia la metodologia con cui questo venga realizzato.

I bilanci realizzati in passato sono infatti alquanto variabili a seconda della metodologia e dell'epoca dello studio effettuato: in Franceschi (1997) si riportano i risultati di quattro studi effettuati tra il 1973 ed il 1990 in cui si evidenziano valori variabili tra 56 Mm<sup>3</sup>/anno (Regione Toscana, 1973) e 41.6 Mm<sup>3</sup>/anno (Duchi et al., 1990); AQUATER (1980) presenta i risultati di uno studio di modellistica numerica al fine della definizione del bilancio idrico effettuato sul bacino di Massaciuccoli in stato stazionario dividendo l'anno idrologico in un periodo di morbida ed in un periodo di magra. I risultati di tale studio sono riportati in Tabella 2.4 e riferiti ai termini di ricarica e recapito dell'acquifero freatico. E' evidente che i dati presentati, seppure offrano una modalità innovativa, per il tempo, di determinazione dei termini di ingresso e uscita del bilancio, appaiono parziali e di scarso utilizzo, quando anche non discutibili nei valori proposti. In Autorità di Bacino del Fiume Serchio (2007) è riportato in dettaglio lo studio per la definizione del bilancio idrico. Gli Autori di tale studio concludono che il deficit idrico attuale

del bacino del Lago di Massaciuccoli corrisponde ad un valore compreso tra 30 e 35 Mm<sup>3</sup>/anno. Definiscono inoltre il volume d'acqua minimo vitale per il bacino in circa 69.7 Mm<sup>3</sup>/anno.

Periodo	Magra (l/s)	Morbida (l/s)
Ricarica pedemontana	873	873
Ricarica legata alle precipitazioni	0	673
Ricarica irrigua	31	0
Da Lago di Massaciuccoli verso Burlamacca	50	30
Drenaggio acquifero da parte del Serchio	138	224
Alimentazione acquifero da parte del Serchio	40	7
Infiltrazione lungo Canale Burlamacca	82	57
Recapito a mare dell'acquifero costiero	40	208
Prelievi civili	170	170
Prelievi industriali	49.5	49.5
Scambi connessi con la bonifica	754	1057

Tab. 2.4 - Valori di ricarica e recapito per l'acquifero freatico del bacino di Massaciuccoli (da AQUATER, 1980).

## 2.5 - La pedologia e i terreni agrari

Da un punto di vista pedologico, il comprensorio di studio appare disomogeneo, risentendo, nella porzione meridionale e settentrionale, rispettivamente dell'influenza delle alluvioni del Serchio e del fiume Camaiole, mentre nella sua porzione centrale soprattutto dell'influenza del sistema lacustre. Negli estremi nord e sud del bacino i terreni sono infatti di natura alluvionale, a tessitura franco-sabbiosa, mentre allontanandosi dall'asse fluviale ed avvicinandosi al lago diminuisce la componente sabbiosa e si ritrovano terreni a tessitura franco-argillosa e progressivamente idromorfi e torbosi, originatisi in seno al sistema lacustre stesso, nelle epoche precedenti alla bonifica.

Per la descrizione delle principali caratteristiche agronomiche si è fatto riferimento in parte al lavoro di Scagnozzi e Levi-Minzi, (1997) e principalmente allo studio di Silvestri et al. (2003), entrambi consistiti in estensive campagne di campionamento dei terreni agrari, il primo relativo ai sotto-bacini di bonifica di Vecchiano e Massaciuccoli ed il secondo ad un'area più ampia comprendente le Tenute Storiche del Parco di S. Rossore-Migliarino-Massaciuccoli. Tuttavia la superficie complessiva investita dai due studi, non copre l'intero bacino del lago; dalle indagini rimangono infatti esclusi il sottobacino di Massarosa e parte del sottobacino a drenaggio naturale (esclusa l'area agricola di Migliarino) che si trova lungo il fiume Serchio.

Nella porzione sud del bacino (sotto-bacini di bonifica di Vecchiano e Massaciuccoli e area agricola di Migliarino), secondo gli studi citati, la maggior parte dei terreni più meridionali, risulta di tessitura sabbioso-franca, limoso-franca o franca; si tratta quindi di terreni

tendenzialmente sciolti. Decisamente meno rappresentati risultano i terreni più pesanti, limo-argilloso-franchi ed argilloso-franchi; la reazione è generalmente da neutra a sub-alcina. Avvicinandosi al lago, il contenuto di argilla progressivamente aumenta e si incontrano terreni alluvionali profondi e piuttosto eterogenei, con prevalenza, dapprima, di terreni franchi, seguiti da terreni limo-argilloso-franchi ed argilloso-franchi e, quindi, da terreni tipicamente torbosi, in cui il contenuto di argilla diminuisce di nuovo all'aumentare del contenuto di sostanza organica evidenziando tessiture apparentemente più sciolte (sabbioso-franca e franco-sabbiosa). Questi terreni hanno una reazione da sub-alcina a sub-acida, con una discreta presenza di terreni acidi laddove la concentrazione di sostanza organica è più elevata.

Esiste quindi un netto gradiente di concentrazione di sostanza organica, crescente in direzione sud-nord: si passa infatti da dotazioni del tutto usuali, collocate nell'intervallo 1.5-3%, nelle alluvioni lungo il Serchio a percentuali intorno al 5-10% nella porzione centrale del comprensorio ed a valori superiori al 10%, nella fascia limitrofa al lago, che consentono di collocare a pieno titolo questi ultimi suoli nella categoria degli organici (Fig. 2.13). Tali valori sono tipici di terreni sviluppati su torbe eutrofiche di pianura evolute in condizioni di clima temperato-mediterraneo.

Dal punto di vista della dotazione in elementi nutritivi si nota che il contenuto di azoto totale è sostanzialmente legato alla dotazione di sostanza organica, ed inevitabilmente mostra lo stesso andamento spaziale, con valori da elevati (1-5‰) a decisamente elevati (>5‰), nell'area caratterizzata dai suoli torbosi e dotazioni nella norma (1-1.5‰) o anche deficitarie (0.5-1‰) nell'area più meridionale.

Per quanto riguarda il fosforo, si registra in generale una insufficienza ( $P < 10$  ppm) o limitata disponibilità ( $10 \text{ ppm} < P < 20$  ppm) dell'elemento nei suoli acidi (metodo Bray-Kurtz), mentre nei terreni neutri o sub-alcini (metodo Olsen) le concentrazioni diventano più elevate facendo segnare, in diversi casi, valori corrispondenti a classi di soddisfacente dotazione ( $20 \text{ ppm} < P < 25$  ppm) a addirittura superiori ( $P > 25$  ppm).

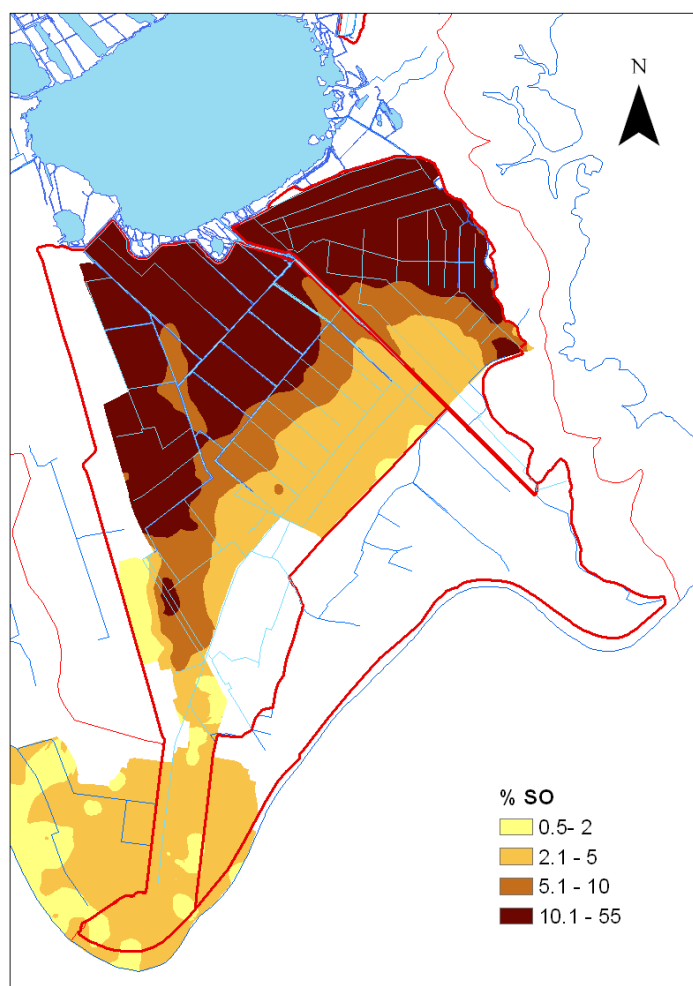


Fig. 2.13 - Distribuzione spaziale della sostanza organica nei suoli dei sottobacini a sud del lago.

Circa invece il territorio della porzione nord del bacino, lo studio di Silvestri et al. (2003) ha indagato l'area agricola dei sottobacini di Portovecchio e Quiesa per una superficie pari a 317 ha. In entrambi i suddetti comprensori i suoli presentano una sostanziale omogenità delle classi di granulometria con una forte prevalenza di suoli sabbioso-franchi (ed in secondo luogo franchi) e solo in minima parte di franchi-sabbioso-argillosi. Anche in questo caso, per quanto riguarda la sostanza organica del terreno si osserva un gradiente crescente avvicinandosi al lago, fino a raggiungere valori paragonabili a quelli riscontrati in precedenza (Fig. 2.14).

La reazione dei suoli segue lo stesso trend passando da alcalina a sub-acida e ad acida nelle immediate prossimità del lago ed anche per quanto riguarda le dotazioni di azoto sono valide le stesse considerazioni fatte per i suoli collocati immediatamente a sud del lago. Relativamente al fosforo nei suoli acidi e sub-acidi (metodo Bray-Kurtz) si registrano ancora condizioni di scarsa ( $P < 10$  ppm) o limitata dotazione ( $10 \text{ ppm} < P < 20$  ppm), mentre nei terreni neutri o sub-alcalini l'elemento risulta più disponibile in relazione proprio diversa reazione del terreno (metodo Olsen).

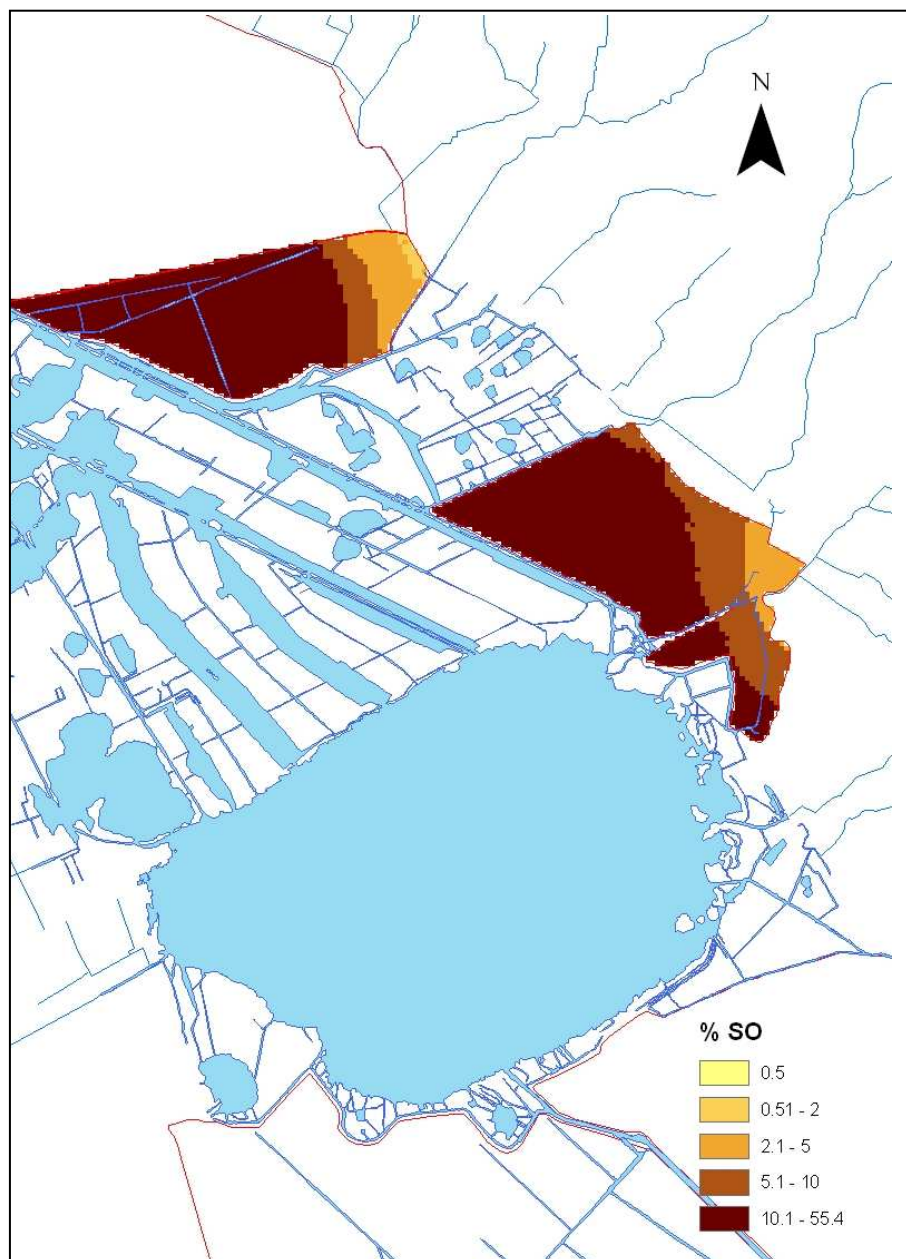


Fig. 2.14 - *Distribuzione spaziale della sostanza organica nei suoli dei sottobacini di Portovecchio e Quiesa.*