

studio, corredata dei risultati di due campagne di rilevamento.

Queste attività sperimentali sono state svolte in riferimento ad una rete di monitoraggio, denominata esecutiva, scaturita dall'integrazione fattuale fra le attività conoscitive di terreno e di laboratorio sui punti d'acqua e lo studio dell'assetto del territorio, e individuata mediante una procedura empirica.

Nella fase conclusiva della ricerca si è individuata una seconda distribuzione di punti d'acqua, denominata rete ottimizzata, non coincidente completamente con la prima, frutto dell'implementazione di una procedura originale sviluppata in ambiente GIS, che ha consentito di considerare in modo quantitativo il peso di aspetti specifici della vulnerabilità e delle caratteristiche dei punti d'acqua. La procedura costituisce una significativa innovazione poiché permette di ottimizzare la rete partendo da un numero elevato di punti d'acqua noti, in modo rapido e più oggettivo rispetto alle selezioni effettuate tradizionalmente con procedure empiriche.

3. - QUADRO IDROGEOLOGICO DI RIFERIMENTO

Il modello idrogeologico di riferimento descritto nel seguito scaturisce prevalentemente dalle informazioni ricavate su base documentale che peraltro sono state integrate con quelle

raccolte nel corso delle indagini sperimentali svolte nell'intera ricerca

3.1. - STUDI PREGRESSI

Il materiale bibliografico di cui si dispone sull'assetto idrogeologico dell'area viene di seguito brevemente discusso. Si tratta di lavori che risultano tuttavia oramai un pò datati, sia perché si basano su dati idrologici non sufficientemente aggiornati (portate e livelli piezometrici) sia per la scala di osservazione (da 1:50.000 a 1:500.000). La maggior parte sono esclusivamente cartografici e schematizzano gli acquiferi secondo un modello bidimensionale, considerandoli alla scala regionale come un monostrato a falda libera. Gli studi considerati si differenziano per le finalità e in parte per i metodi di indagine.

Procedendo in ordine cronologico, CAMPONESCHI & LOMBARDI (1969) in "Idrogeologia dell'area vulcanica sabatina" presentano una carta idrogeologica della regione sabatina in scala 1:100.000 relativa all'area di Bracciano, realizzata tramite censimento di circa 2000 punti d'acqua. Lo schema di deflusso mostra un andamento generale delle acque sotterranee da Nord verso Sud, in cui il lago di Bracciano rappresenta una sorta di sfioro della falda, ricevendone le acque da Nord e rialimentando la falda verso Sud.

Uno schema idrogeologico che costituisce tuttora un quadro di riferimento importante alla scala regionale 1:500.000, è quello presentato da

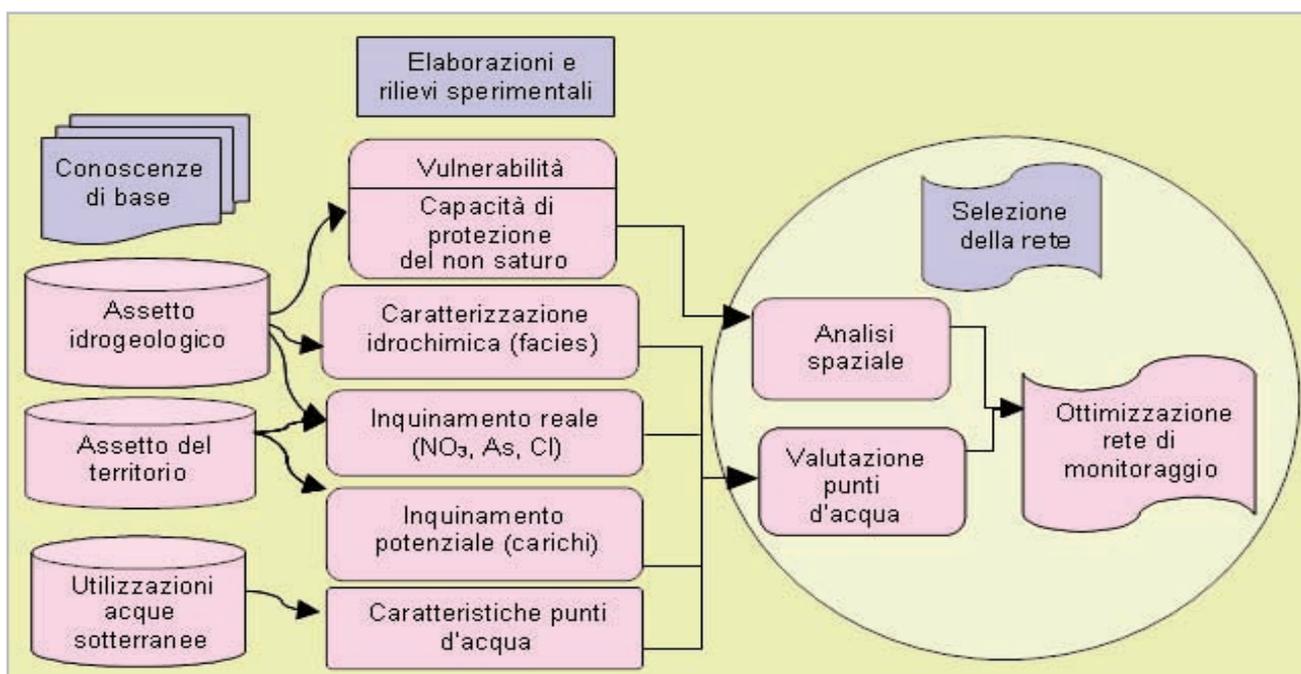


Fig. 3 - Organizzazione dello studio. - *Study planning.*

BONI *et alii* (1986). Gli Autori distinguono un'unica idrostruttura che si estende per 3550 km², ben oltre l'area in studio, costituita dai prodotti degli apparati vulcanici Vulsini, Sabatini e Vicani. L'affioramento di queste rocce vulcaniche costituisce una vasta area di infiltrazione per le acque meteoriche, che raggiungono una falda alimentante il flusso di base dei corsi d'acqua che incidono l'idrostruttura.

La capacità di infiltrazione risulta pari a 280 mm/a, calcolata come rapporto fra la portata erogata dalle numerosissime sorgenti puntuali e lineari (31,5 m³/s, di cui misurati 19,6 m³/s e i restanti stimati dagli Autori) e l'area di ricarica.

Il restante territorio è coperto da complessi idrogeologici a cui si attribuisce minore importanza nel quadro delle risorse regionali: il complesso dei flysch argilloso-calcarei, delle argille marine (che tuttavia comprende anche le formazioni sabbioso-conglomeratiche del versante meridionale dei Sabatini) e dei depositi detritici di limitato spessore (alluvioni fluviali e depositi marino-costieri).

L'idrostruttura corrispondente agli apparati vulcanici viene in questo modello considerata come unitaria e idraulicamente chiusa rispetto ai circostanti complessi. Il lago di Bracciano viene descritto come una sorgente che eroga una portata di 1 m³/s (portata dell'Arrone all'incile).

Il fiume Mignone sarebbe alimentato in periodo di magra unicamente dall'apparato sabatino a monte di Rota (0,8 m³/s).

Lo schema sopradescritto è stato successivamente aggiornato dagli stessi Autori (1988) con un dettaglio maggiore (scala 1:250.000) riportando anche l'andamento della possibile superficie piezometrica del complesso delle vulcaniti. In grande lo schema di circolazione prevede un deflusso da Nord verso Sud e Sud-Est ad alimentare il reticolo idrografico con sorgenti di tipo lineare. Un alto piezometrico a Nord del lago di Bracciano (400 m s.l.m.), degrada verso SE affiorando in corrispondenza del lago (164 m) e lungo l'Arrone ed altri corsi d'acqua.

Un contributo significativo alla conoscenza dell'area in esame è fornito dalla descrizione dettagliata dell'idrogeologia della Provincia di Roma di VENTRIGLIA (1988-1990). La cartografia idrogeologica in scala 1:50.000 allegata in tasca di copertina, relativa alle regioni Sabatina, Albana e Tolfetana riporta l'andamento della piezometria, l'ubicazione di numerosi pozzi e sorgenti, i limiti dei complessi idrogeologici. I dati quantitativi (livelli statici, portate delle sorgenti) sono oramai relativamente datati poiché i rilievi sperimentali sui punti d'acqua sono precedenti agli anni '80.

Tuttavia questo lavoro costituisce tutt'ora un importante punto di riferimento per gli studi a carattere idrogeologico.

Un ulteriore schema (1:200.000) in cui le litofacies vengono caratterizzate in 6 complessi idrogeologici in funzione della permeabilità, a loro volta suddivisi in 2 o 3 gruppi a seconda della modalità di circolazione idrica è quello proposto da BRUNAMONTE *et alii* (1986). La carta riporta in modo schematico l'andamento della superficie piezometrica, le direttrici di deflusso, i limiti fra i sistemi con indicazioni sugli scambi idrici (limiti chiusi o aperti).

Una sintesi acritica dell'andamento della freaticità degli acquiferi del Lazio settentrionale ripreso da varie fonti, pubblicate e non, fra cui il già citato VENTRIGLIA (1988-90) è rappresentata nella Carta delle isofreatiche del Lazio settentrionale a scala 1:125.000 (in: Autorità dei Bacini Regionali del Lazio, 2000, "Piano stralcio per la tutela quantitativa dei corpi idrici regionali del Lazio"). Pur trattandosi di informazioni non omogenee per modalità di elaborazione, densità dei dati, anno dell'osservazione ed a volte non coerenti fra di loro, questa carta è, al momento della stesura del presente lavoro, il documento disponibile con maggiore quantità e densità di informazione per quello che riguarda l'andamento della superficie piezometrica degli acquiferi principali di quest'area.

Nuovi studi tematici riguardanti in particolare l'assetto idrogeologico dell'area di studio sono stati promossi da parte di enti pubblici (Autorità di bacino del Tevere, Autorità dei bacini regionali del Lazio) e si sono recentemente conclusi nell'ambito di una convenzione con l'Università degli Studi "Roma Tre". Si deve osservare che, se i risultati, anche parziali, fossero stati resi disponibili in tempi utili ai fini di questa ricerca, avrebbero certamente contribuito ad un sostanziale e tempestivo miglioramento dei prodotti finali.

3.2. - SCHEMA IDROGEOLOGICO DELL'AREA DI STUDIO

Sulla base dell'informazione documentale integrata da quella desunta dai controlli di campo specifici è stato elaborato uno schema idrogeologico di lavoro finalizzato alla valutazione della vulnerabilità, nel quale l'area è stata suddivisa in quattro settori con caratteristiche idrogeologiche differenti (fig. 4). Si considera l'esistenza di alcune falde principali (acquifero basale dei Sabatini, acquiferi degli apparati vulcanici della Tolfa e dei Ceriti, falde dei depositi quaternari della valle del Tevere e del litorale) alle quali si farà riferimento per le valutazioni di vulnerabilità successive.

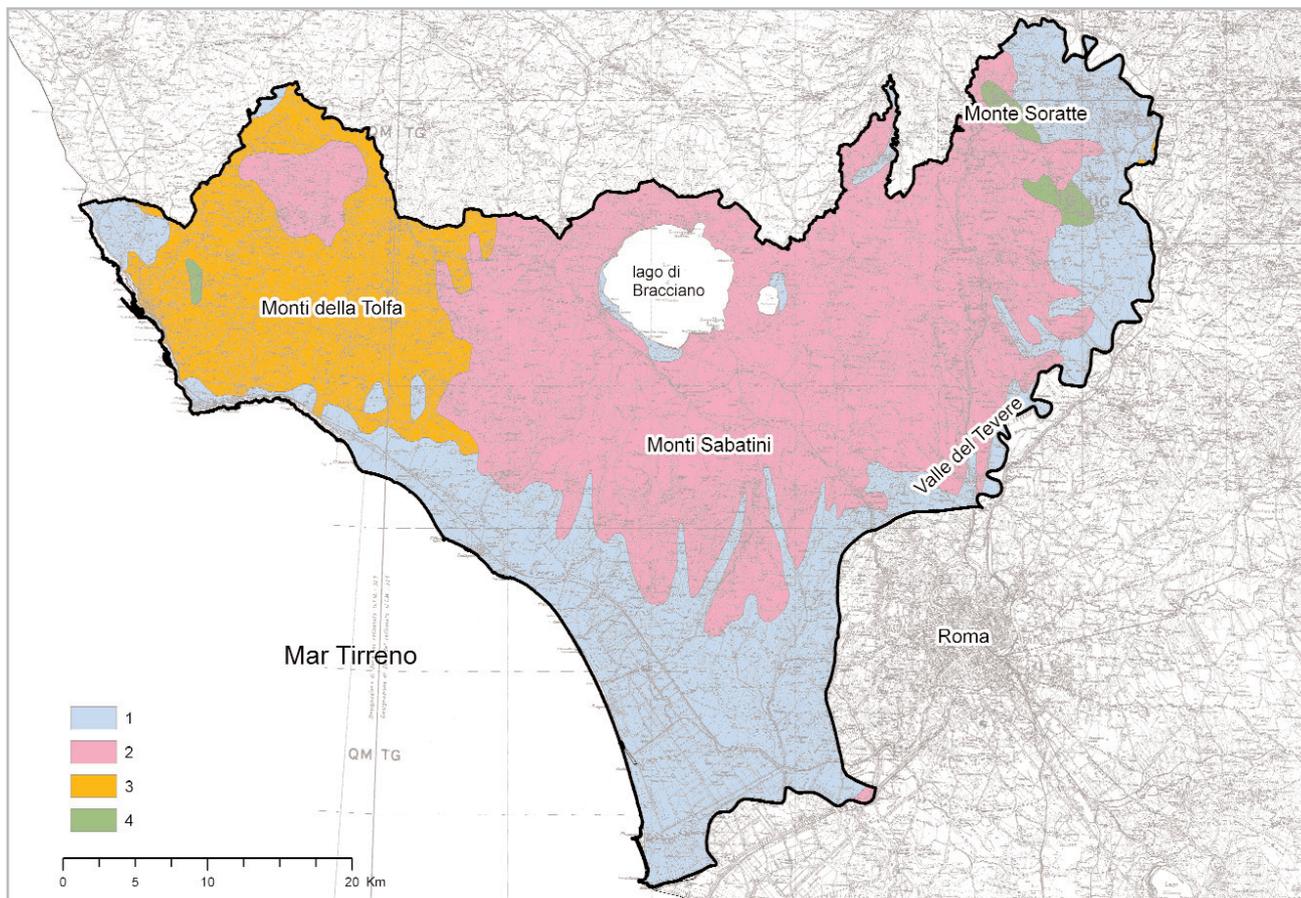


Fig. 4 - Schema geolitologico dell'area di studio: 1 = formazioni sedimentarie plio-quadernarie; 2 = vulcaniti plio-quadernarie; 3 = complesso dei flysch; 4 = formazioni carbonatiche meso-cenozoiche.

- Simplified geolithological sketch of the study area: 1 = Plio-Quaternary sedimentary formations; 2 = Plio-Quaternary volcanites; 3 = flysch complex; 4 = Meso-Cenozoic calcareous formations.

In generale, si evidenzia come l'informazione riguardante l'area sabatina e quella vulcanica tolfetana sia relativamente dettagliata, benché obsoleta. Molto carenti sono invece gli studi riguardanti le falde contenute nei depositi quaternari e la piccola struttura del Monte Soratte.

Acquifero dell'apparato vulcanico sabatino

Nell'area in esame si individua un esteso acquifero che ha sede nei prodotti vulcanici dell'apparato sabatino, occupa il settore centro-settentrionale dell'area in studio e prosegue a nord nell'area vicina. VENTRIGLIA (1988-90) ne individua la base in corrispondenza delle argille plioceniche e lo pone in continuità con i terreni sedimentari pleistocenici ed olocenici. Tutti gli studi consultati concordano nell'individuare una superficie piezometrica che degrada generalmente da Nord verso Sud, con deviazioni locali verso Nord, Est e Ovest. Le falde alimentano prevalentemente il flusso di base di numerosi corsi d'acqua perenni, a regime alquanto regolare che solcano gli apparati dalle zone centrali più rilevate verso la perife-

ria; le sorgenti con portata elevata sarebbero alimentate preferenzialmente dalle colate laviche (BONI *et alii*, 1986).

L'acquifero alimenta il lago di Bracciano, che a sua volta defluisce nell'Arrone, con una portata di 700 l/s (BONI *et alii*, 1988) ed il lago di Martignano; i laghi rialimentano a loro volta la falda nella parte meridionale (VENTRIGLIA, 1988-90). La falda è inoltre drenata da numerosi corsi d'acqua che defluiscono nel Tirreno (fra cui l'Arrone e il Mignone) e nel Tevere (fosso Galeria ed altri) e da numerose sorgenti con portata generalmente modesta. La falda di base delle vulcaniti alimenterebbe lateralmente le alluvioni della valle del Tevere, i sedimenti quaternari del litorale e del Paleo-Tevere (BRUNAMONTE *et alii* 1986). Il tetto della falda libera è situato generalmente a profondità medio-elevata; le captazioni per uso idropotabile sono numerose ed alimentano, totalmente o parzialmente, buona parte dei Comuni interessati dall'indagine.

Nella zona collinare sabatina si evidenzia la presenza di una falda basale, di rilevanza regiona-

le, che circola nelle vulcaniti sabatine nella zona settentrionale e nelle formazioni sedimentarie quaternarie nella parte meridionale (complesso vulcanico-sedimentario). È stata considerata generalmente libera, anche se è nota la presenza di modeste localizzate falde sospese soprattutto nei livelli vulcanici (che aumenterebbero il grado di protezione della falda di base).

Area tolfetano-cerite

Nella zona tolfetano-cerite, all'estremità nord-orientale dell'area affiorano formazioni riferibili al complesso flyschoidale, con permeabilità d'insieme molto bassa. I termini carbonatici ed arenacei possono essere permeabili per fratturazione ed essere sede di modeste circolazioni idriche discontinue e di interesse locale, che rappresentano quindi un obiettivo secondario ai fini di questo studio. Sul complesso flyschoidale poggiano le vulcaniti acide degli apparati tolfetano e cerite, che ospitano le falde principali della zona. Il deflusso avviene ai margini delle strutture al contatto con i sottostanti flysch, ma le sorgenti sarebbero in buona parte mascherate dai detriti che circondano la base dei rilievi. L'acquifero tolfetano drena verso NE ad alimentare sorgenti nel bacino del Mignone; la zona di emergenza di quello Cerite sarebbe in corrispondenza del bordo orientale dell'apparato (VENTRIGLIA, 1988-90).

Acquiferi dei depositi sedimentari plio-quaternari

All'estremità meridionale dell'area i depositi vulcanici sabatini si rastremano e l'erosione mette in affioramento nei talweg le formazioni quaternarie del Paleo-Tevere che, nei livelli più permeabili delle sabbie e ghiaie, contengono delle falde con profondità generalmente non elevata, utilizzate a scopo prevalentemente irriguo, ma anche potabile, domestico e zootecnico.

La fascia occidentale del territorio che affaccia sul litorale tirrenico può essere divisa in due parti:

- il settore a Nord di S. Severa, in cui i rilievi flyschoidali della Tolfa si spingono fino quasi alla linea di riva e i depositi quaternari sono poco rappresentati;
- il settore fra Fiumicino e S. Severa dove si individua una vasta area colmata dai depositi olocenici e pleistocenici.

Il settore settentrionale costituisce un'estensione dell'area della Tolfa già descritta in precedenza, di modesto interesse ai fini dell'idrogeologia regionale.

Il settore compreso fra Fiumicino e S. Severa è al contrario sede di falde fortemente utilizzate, particolarmente per scopo irriguo, ma anche potabile. L'idrodinamica di quest'area è relativamente complessa, a causa delle forti modifiche subite

a seguito dell'opera di bonifica condotta nelle pianure di Pagliete e Maccarese, a Sud di Ladispoli, per cui il bilancio idrico risente delle adduzioni dal Tevere effettuate per scopo irriguo.

Si distinguono gli affioramenti dei depositi sabbioso-ghiaiosi pleistocenici con permeabilità medio-alta che possono essere sede di falde di un certo interesse, e i depositi argilloso-limosi con intercalazione di sabbie, ghiaie e torbe di tipo fluvio-deltizio, che nonostante la bassa permeabilità possono ospitare modeste riserve in pressione (BRUNAMONTE *et alii*, 1986) con facies idrochimiche riducenti. In corrispondenza della duna costiera si identifica una falda freatica di buona qualità ma con scarsa o nulla capacità di protezione.

Acquifero carbonatico del Monte Soratte

Il Monte Soratte costituisce l'unico affioramento delle formazioni carbonatiche meso-cenozoiche di facies umbro-sabina che si estendono al di sotto delle coperture vulcaniche e flyschoidali. Non sono note sorgenti importanti (VENTRIGLIA, 1988-90). BRUNAMONTE *et alii*, (1986) indicano un deflusso delle acque sotterranee verso SE, parallelamente all'asse dell'idrostruttura, con quote della superficie freatica di poco superiori ai 100 m s.l.m., mentre la freaticimetria proposta da Ventriglia è compresa fra i 150 e 200 m s.l.m.

4. - ASSETTO DEL TERRITORIO E FONTI POTENZIALI DI INQUINAMENTO

4.1. - GENERALITÀ

L'area oggetto dello studio comprende 30 comuni con una superficie territoriale di circa 2000 km² (tab. 1) ed una popolazione residente di oltre 810.000 abitanti, prevalentemente localizzata nei centri urbani, litorali e periacquatici.

La superficie agricola utilizzata (SAU) rappresenta oltre il 37% dell'intera superficie territoriale con presenza di una relativamente intensa zootecnia, riferita prevalentemente ai settori degli ovini e del pollame.

L'industria idroesigente occupa circa 11.000 addetti concentrati nelle attività economiche della produzione di energia, degli alimentari e bevande e della fabbricazione di prodotti in metallo.

Le pressioni antropiche sul territorio, di diretto interesse per l'apprezzamento del livello di contaminazione al quale sono potenzialmente esposte le acque sotterranee, sono state valutate mediante il metodo indiretto dei carichi inquinanti potenziali (di tipo organico ed eutrofizzante) che prevede la trasformazione in unità o indici di carico (kg/a per l'azoto e n° ab equivalenti per i