

Intrusione salina nel delta del Fiume Tevere. Evoluzione del fenomeno nei primi anni del terzo millennio

Salt water intrusion into the Tiber river delta: evolution of the phenomenon in the early years of the third millennium

G. CAPELLI*, R. MAZZA*

RIASSUNTO - Con questo studio si tenta di colmare una grave lacuna nel quadro delle conoscenze idrogeologiche della regione. Lo schema idrogeologico del Delta del Fiume Tevere è stato definito attraverso un'accurata ricostruzione dei corpi sedimentari da cui consegue l'identificazione degli acquiferi e degli *aquiclude*. La geometria dei complessi idrogeologici che costituiscono il delta è stata rapportata alla morfologia del tetto del paesaggio argilloso plio-pleistocenico sul quale tali corpi sedimentari poggiano. Si è raggiunto così un livello di conoscenza dell'assetto stratigrafico e strutturale avanzato, che consente di capire quali siano i rapporti di circolazione con le adiacenti unità idrogeologiche. La superficie piezometrica delle falde deltizie è stata definita attraverso la misura dei livelli in circa 120 pozzi. Negli stessi acquiferi sono stati rilevati anche i valori di conducibilità elettrica, temperatura e pH.

Una particolare attenzione è stata dedicata all'idrologia delle acque di superficie gestite dalla bonifica ostiense mediante un sistema di canali e idrovore. Dopo un rilievo plano-altimetrico di precisione che ha riguardato una consistente maglia di punti distribuiti lungo il reticolo dei canali, sono state rilevate le caratteristiche chimico-fisiche delle acque. Tale approccio è stato applicato anche ai settori terminali del Tevere e del Canale dello Stagno.

Relativamente agli acquiferi dell'area della Pineta di Castel Fusano, è stata strutturata una rete di monitoraggio per il controllo degli acquiferi superficiale e profondo, che ha permesso di controllare nel tempo l'andamento dei valori di livello, temperatura e conducibilità elettrica delle acque sotterranee.

I rilievi di terreno hanno permesso di produrre cartografie tematiche molto importanti per definire il grado di penetrazione salina nella struttura del delta.

PAROLE CHIAVE: idrogeologia, idrologia, delta del Fiume Tevere, intrusione salina, chimico-fisica delle acque sotterranee, monitoraggio.

ABSTRACT - The purpose of this project was to define the hydrogeological model of the Tiber river delta by reconstructing sedimentary bodies and identifying aquifers and aquicludes. The geometry of the hydrogeological systems of the Tiber delta was correlated with the morphology of the Plio-Pleistocene clay deposits which underlie the sedimentary bodies. Greater insight was thus gained about the stratigraphic and structural setting of the area, permitting to understand the flowpaths of groundwater and its interactions with the nearby hydrogeological units. The piezometric surface of the deltaic aquifers was determined by measuring water levels in about 120 wells. In the same aquifers, also electrical conductivity, temperature and pH values were measured.

Particular emphasis was placed on the hydrological study of surface waters, whose management (channelling and pumping) falls under the responsibility of the Ostia water reclamation authorities. After conducting a detailed topographic survey of a large number of points distributed along the local network of canals, the physico-chemical characteristics of the waters were analysed. This approach was also applied to the terminal sectors of the Tiber river and of the Canale dello Stagno. Stations were installed to monitor the shallow and deep aquifers of the Pineta di Castelfusano pinewood area and to measure groundwater level, temperature and electrical conductivity.

Field surveys permitted to draw thematic maps, showing the extent of salt water intrusion into the delta.

KEY WORDS: hydrogeology, hydrology, Tiber River delta, salt water intrusion, physico-chemical characteristics of groundwater, monitoring.

* Laboratorio di Idrogeologia - Dip. di Scienze Geologiche - Università degli Studi "Roma Tre", Largo San Leonardo Murialdo, 1 - 00146 Roma

Gran parte dei contenuti del presente lavoro sono già stati pubblicati sul "Giornale di Geologia Applicata" nel 2007 (volume 5). La nota viene qui riproposta con l'integrazione di nuovi dati.

1 - GEOLOGIA

1.1 - INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il Delta del Fiume Tevere si estende con la parte emersa per oltre 150 km², e con la parte sommersa per circa 500 km². Essa presenta uno spessore massimo del corpo sedimentario di poco superiore a 80 m.

La piana deltizia occupa la parte mediana del settore costiero della Regione Lazio ed è delimitata verso ovest dalla costa compresa tra Palo a nord e Tor Paterno a sud. Verso l'interno il corpo deltizio è definito dall'isoipsa 5 m che corre a destra del Tevere, tra Palo e Ponte Galeria, al piede delle colline pleistoceniche (fig. 1) (BELLOTTI *et alii*, 1987). La progradazione della piana deltizia e l'attuale configurazione morfologica sono frutto dell'evoluzione avvenuta negli ultimi 4-5.000 anni, ovvero dalla stabilizzazione del livello del mare al termine dell'ultimo ciclo glacio-eustatico e sono controllate principalmente dagli apporti di sedimenti fluviali del Tevere e, in modo decisamente subordinato, da quello degli altri piccoli corsi d'acqua presenti nella piana.

Da un punto di vista morfologico la piana delti-

zia può essere divisa in due settori distinti, indicativamente definiti *piana deltizia superiore* e *piana deltizia inferiore* (BELLOTTI *et alii*, 1989).

La *piana deltizia superiore* si estende dal limite più interno del delta ai primi cordoni dunari; l'area risulta compresa tra l'allineamento "Palo - Ponte Galeria - Tor Paterno" e quello "Tor Paterno - Ostia Antica - Capo Due Rami - Palo". Essa è caratterizzata da una morfologia pianeggiante e monotona con quote massime non superiori ai 5 m e minime prossime ai -2 m. I terreni, di origine alluvionale e palustre, prevalentemente argillosi ed in parte torbosi, sono solcati da una fitta rete di canali di bonifica (Ostia e Maccarese). In quest'area è avvenuto lo sviluppo della laguna prima e degli stagni poi, come meglio sarà descritto nel seguito.

La *piana deltizia inferiore* è caratterizzata dall'ampia diffusione dei cordoni dunari, accresciutisi parallelamente alla linea di costa durante le varie fasi della progradazione. Essi conferiscono all'area una morfologia relativamente accidentata con altezze variabili, che nella parte meridionale raggiungono i 10-12 m s.l.m. Risulta inoltre evidente la dicotomia dell'asta fluviale tiberina (Canale di Fiumara Grande e Canale di Fiumicino).

Le spiagge attuali presentano fenomeni di evi-

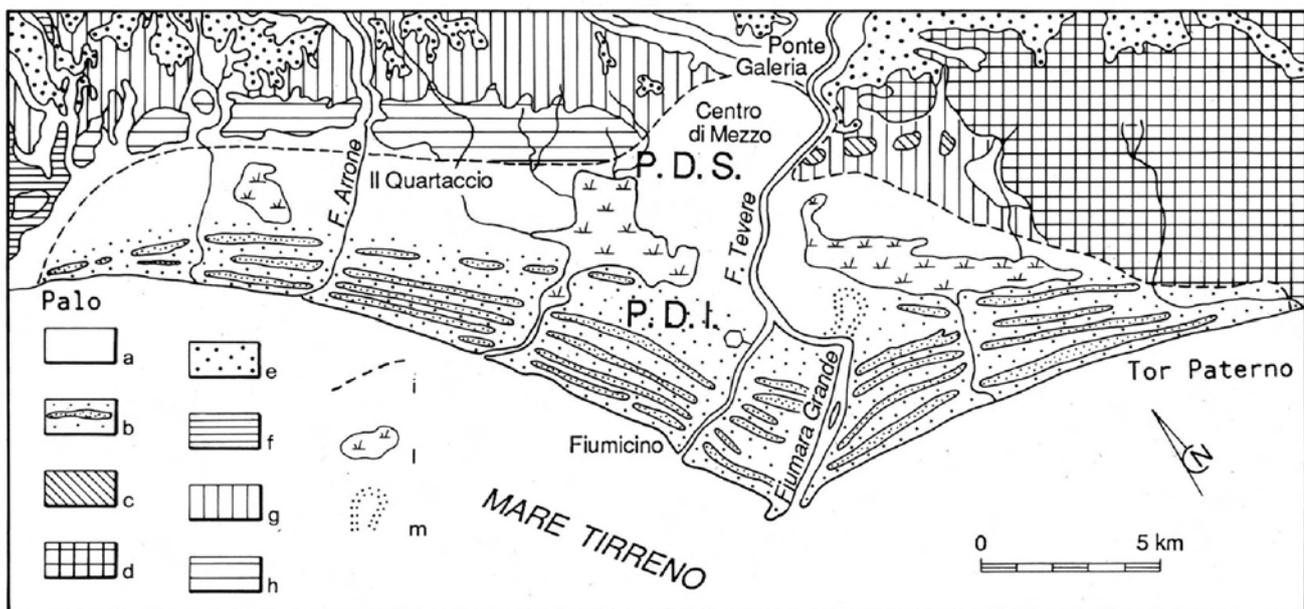


Fig. 1 - Distribuzione areale dei principali elementi morfologici della piana deltizia del Fiume Tevere e delle formazioni che affiorano sulle retrostanti colline pleistoceniche (BELLOTTI *et alii*, 1989). Legenda: a - alluvioni recenti; b - sedimenti dunari e interdunari recenti; c - alluvioni antiche; d - sabbie rossastre (dune antiche); e - piroclastiti pleistoceniche; f - travertini; g - argille, argille sabbiose, sabbie, lenti di ciottolame con abbondante malacofauna; h - ghiaie e ghiaie sabbiose poligeniche; i - limite interno del delta; l - antichi stagni bonificati; m - canali fluviali fossili.

- Map of the main morphological features of the Tiber delta plain and of the formations that are exposed on the backward hills of Pleistocene age (BELLOTTI *et alii*, 1989). Legend: a - recent alluvia; b - recent dunal and interdunal sediments; c - ancient alluvia; d - reddish sands (ancient dunes); e - Pleistocene pyroclastites; f - travertines; g - clays, sandy clays, sands, gravel lenses with shell fauna; h - gravels and polygenic sandy gravels; i - inner boundary of the delta; l - ancient ponds subsequently drained; m - fossil fluvial channels.





dente erosione in prossimità delle foci. I terreni superficiali sono essenzialmente sabbiosi, caratterizzati da sabbie quarzoso-feldspatiche da medio-fini a medio-grossolane, discretamente classate solo nelle aree dunari e nelle spiagge stabili a sud di Ostia, mentre sabbie medio-grossolane moderatamente o poco classate, prevalgono nella rimanente area litorale. Questo settore coincide con la parte del delta sviluppatasi negli ultimi 2.500 anni durante i quali l'incessante azione del moto ondoso ha ridistribuito lungo la spiaggia le sabbie portate dal Tevere.

I *cordoni dunari* sono elementi morfologici presenti su ambedue le ali del delta, ma appaiono meglio sviluppati nel settore meridionale dove talvolta raggiungono altezze di 10-12 m. I cordoni più interni presentano un andamento pressoché rettilineo circa NW-SE, limitando verso mare l'area degli antichi stagni; i cordoni più recenti presentano invece un andamento arcuato parallelo all'attuale linea di riva, cosicché questo ambiente si sviluppa per una fascia di 4 km all'interno della costa e si restringe a circa 500 m nelle aree più distali rispetto alle foci. Buona parte dei cordoni dunari è stata spianata con l'urbanizzazione e a seguito dell'uso agricolo del territorio; la restante parte è coperta da macchia mediterranea o da pinete di impianto artificiale (Parco di Castel Fusano).

Nelle *aree retrodunari*, fino a circa un secolo fa, ai lati del canale fluviale erano presenti ampie aree lagunari e palustri che hanno avuto nel tempo estensioni variabili e comunicazioni più o meno ampie col mare. Il bacino in riva destra del Tevere, detto Stagno di Ponente (o di Maccarese) era il più grande e si estendeva nell'area oggi occupata dall'Aeroporto di Fiumicino, fin quasi al Fosso Arrone, con uno o due collegamenti col mare. Il bacino in riva sinistra, detto Stagno di Levante (o di Ostia), era situato alle spalle di Ostia Antica, si estendeva verso sud per almeno 6 km ed aveva una comunicazione certa con il mare attraverso l'attuale Canale dello Stagno (o Canale dei Pescatori), senza escludere una possibile ulteriore comunicazione più meridionale. Entrambi i bacini sono stati parzialmente usati come saline durante il periodo romano e in periodi più recenti. Altri bacini più piccoli erano inoltre presenti a nord dell'Arrone.

Attualmente le aree retrodunari sono completamente bonificate e ai bacini lagunari si è sostituita una fitta rete di canali estesa fino ai confini interni della piana deltizia.

1.2 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'attuale conformazione del delta tiberino è il risultato di una serie di eventi che si sono succeduti nei millenni a partire dalla fine della massima espansione dei ghiacciai, avvenuta circa 18.000 anni fa. In conseguenza di ciò, l'assetto geologico di questo corpo sedimentario risulta assai complesso (BELLOTTI *et alii*, 1995).

Dopo il sollevamento regionale che pose fine ai bacini del Pliocene superiore, fenomeni di subsidenza consentirono la ripresa della sedimentazione in un bacino a occidente di Roma. Tale bacino, che si approfondì con un asse parallelo all'attuale linea di costa, divenne sede di una sedimentazione di argille a *Hyalinea baltica*. Fenomeni di sollevamento chiusero i bacini emiliani. Si instaurò successivamente la sedimentazione siciliana che, nell'area prossima al Delta del Tevere, è ben rappresentata dalla formazione di Ponte Galeria, in gran parte costituita da ghiaie e sabbie, chiusa alla sommità da *facies* lagunari con evidenti influssi fluviali attribuiti alla foce del paleo-Tevere. Questa formazione rappresenta un intero ciclo trasgressivo-regressivo la cui parte sommitale sembra già appartenere al Pleistocene medio ed è ricoperta dai primi prodotti del vulcanismo sabatino. Sempre nel Pleistocene medio sono stati riconosciuti altri due cicli trasgressivo-regressivi stratigraficamente ben definiti grazie alla intercalazione di prodotti vulcanici sabatini ed albanici. Al Tirreniano I sono invece ascritti i sedimenti costituenti il terrazzo presente tra Cerveteri e il corso del Fiume Tevere al di sotto dei 35 m s.l.m. Pur essendo stato riconosciuto nel glacio-eustatismo il principale responsabile della formazione dei cicli successivi al Pleistocene inferiore dell'area romana, va ricordato che fasi di sollevamento crostale sono state individuate nel Pleistocene medio e nel Tirreniano (GIORDANO *et alii*, 2003; MALATESTA & ZARLENGA, 1986).

Come già detto, la parte emersa del Delta del Tevere è compresa nel quadrilatero Ponte Galeria-Palo-Fiumicino-Tor Paterno. I dati stratigrafici utilizzati nello studio delle *facies* provengono dall'osservazione di terreno e dall'analisi di numerosissimi sondaggi effettuati nell'area indagata. Tali sondaggi, quasi sempre eseguiti per scopi geognostici e per ricerche idriche, non sono equamente distribuiti nell'area esaminata, ma risultano maggiormente addensati lungo i tratti autostradali, le linee ferroviarie e nell'area dell'Aeroporto di Fiumicino. I caratteri litologici sono stati ricavati da tutti i son-

daggi, parte dei quali sono anche corredati da informazioni sulla microfauna, sulla presenza di resti vegetali e sulle caratteristiche composizionali di alcuni livelli sabbiosi e pelitici. Nel delta si distinguono elementi stratigrafici e di *facies* relativamente alla (fig. 1):

- Piana Deltizia Superiore (P.D.S.), compresa tra Ponte Galeria, Palo, Lago di Traiano, Tor Paterno;
- Piana Deltizia Inferiore (P.D.I.), compresa tra la Piana Deltizia Superiore e la costa attuale;
- Complesso Deltizio del Fiume Tevere. Come tale si identifica l'insieme degli ambienti che si sono andati formando a seguito della risalita post glaciale del livello marino e del successivo stazionamento in una zona i cui limiti coincidono con quelli dell'attuale piana deltizia.

Dall'analisi delle stratigrafie delle perforazioni sono state riconosciute diverse litologie raggruppate in 6 *litofacies*, costituite da depositi fluviali, di laguna costiera e marini.

Correlazioni stratigrafiche nell'area deltizia tiberina.

I numerosi dati utilizzati nel corso degli ultimi vent'anni per la ricostruzione stratigrafica, sedimentologica e paleogeografica dell'evoluzione del delta tiberino provengono da più fonti e sono stati prodotti con finalità assai diverse tra loro.

Utilizzando informazioni provenienti da circa 100 sondaggi geognostici, acquisiti da enti e società pubbliche e private, sono stati realizzati dagli

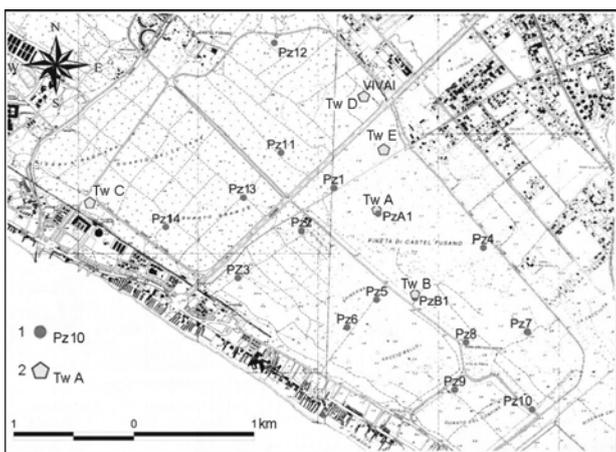


Fig. 2 - Ubicazione dei punti di monitoraggio nell'area del Parco di Castel Fusano. Legenda: 1 - piezometro superficiale, con numero di riferimento; 2 - sistema di piezometri superficiali e profondi, con numero di riferimento.

- Location of the monitoring stations in the Parco di Castel Fusano park. Legend: 1 - shallow piezometer, with reference code; 2 - shallow and deep piezometers, with reference code.

Autori 4 profili geologici schematici che si affiancano e ampliano le conoscenze del sottosuolo della piana deltizia del Tevere, a sud della foce, e consentono di correlarla con i settori più meridionali della piana costiera non coinvolti dall'evoluzione geologica del delta.

Nell'attuazione della fase sperimentale di questa ricerca, si è potuto usufruire dei dati scientifici prodotti dallo studio dell'ecosistema della Pineta di Castel Fusano, nell'ambito di uno studio finanziato dal Comune di Roma. In questa circostanza, nell'area del Parco di Castel Fusano (fig. 2), sono stati perforati 14 piezometri e 5 sondaggi profondi, con la tecnica del carotaggio continuo. I dati raccolti attraverso l'analisi dei campioni di terreno e delle acque sotterranee e l'esecuzione di test di pompaggio, hanno fornito fondamentali informazioni di carattere tecnico-scientifico. Nella stessa fase della ricerca è stata condotta una campagna di rilievi plano-altimetrici mediante GPS e geodimetro laser, che ha consentito di quotare ciascun boccaforo o punto di misura, al fine di correlare correttamente i dati raccolti.

Le informazioni stratigrafiche di tutti i sondaggi reperiti sono state validate, rese omogenee e confrontabili mediante la realizzazione di un database e la successiva ubicazione su cartografia digitale georeferenziata in ambiente GIS. Sono stati quindi costruiti 4 profili al fine di mostrare le caratteristiche geometriche e le relazioni tra il corpo deltizio tiberino e le unità sedimentarie adiacenti (fig. 3). Per la costruzione dei profili si è fatto riferimento alle *litofacies* che definiscono il corpo deltizio, mentre per il substrato plio-pleistocenico è stata utilizzata una differenziazione prettamente litologica, senza distinguere le formazioni e le unità stratigrafiche, in funzione di una lettura degli stessi profili in chiave idrogeologica.

Profilo A-A'

Il profilo A-A' ha origine dalla località Stella Polare, nei pressi della Foce del Canale dello Stagno, e raggiunge la località AXA-Malafede, sulla collina di Acilia, con un andamento SW-NE (fig. 4). In esso vengono riconosciuti tutti gli elementi principali dell'evoluzione geologica del delta, dalla trasgressione tardo-pleistocenica alle sabbie di duna attuali, mostrando le sue relazioni verticali e laterali con il substrato plio-pleistocenico.

Si osserva come i terreni limoso-argillosi plio-pleistocenici costituiscano un basamento comune esteso con continuità lungo tutta la sezione con quote prossime ai -40 m s.l.m. in corrispondenza



della costa; esso va poi innalzandosi verso l'entroterra fino a quote di +15 m s.l.m. in corrispondenza della dorsale Acilia - Castel Porziano (ALBERTI *et alii*, 1967).

Al di sopra di questo substrato poggia con analogia continuità un deposito ghiaioso-sabbioso riferibile alle *facies* grossolane della Formazione di Ponte Galeria; questi terreni subiscono variazioni litostratigrafiche e di spessore, passando da ghiaie e ciottoli in matrice sabbiosa grossolana nei settori elevati delle località AXA-Malafede (spessore 8-10 m), a sabbie grossolane con ghiaietto nelle zone costiere (spessore 3-5 m); i depositi presentano una giacitura degradante verso SW.

Nella Formazione di Ponte Galeria, in corrispondenza della dorsale di Acilia, si distinguono, dal basso verso l'alto, i seguenti litotipi: ghiaie incoerenti o in matrice sabbioso-limoso, argille

limose grigie e sabbie da fini a medio-fini rosso-brune ricche in femici. Questo rilievo è caratterizzato da morfologie terrazzate che possono essere riferite a superfici di erosione (GIORDANO *et alii*, 2003).

Nel profilo è riconoscibile una superficie di discordanza che è stata riferita alla fase di *low-stand* dell'ultimo periodo glaciale, sulla quale si imposta la successione sedimentaria olocenica del delta tibetano.

Tale successione olocenica è caratterizzata da depositi lenticolari che interessano le varie *facies* già descritte, con ripetuta alternanza di corpi pelitici e pefitici che, dal punto di vista idrogeologico, determinano delle condizioni di confinamento più o meno totale.

Profilo B-B'

Il profilo B-B' (fig. 5), parallelo al precedente e

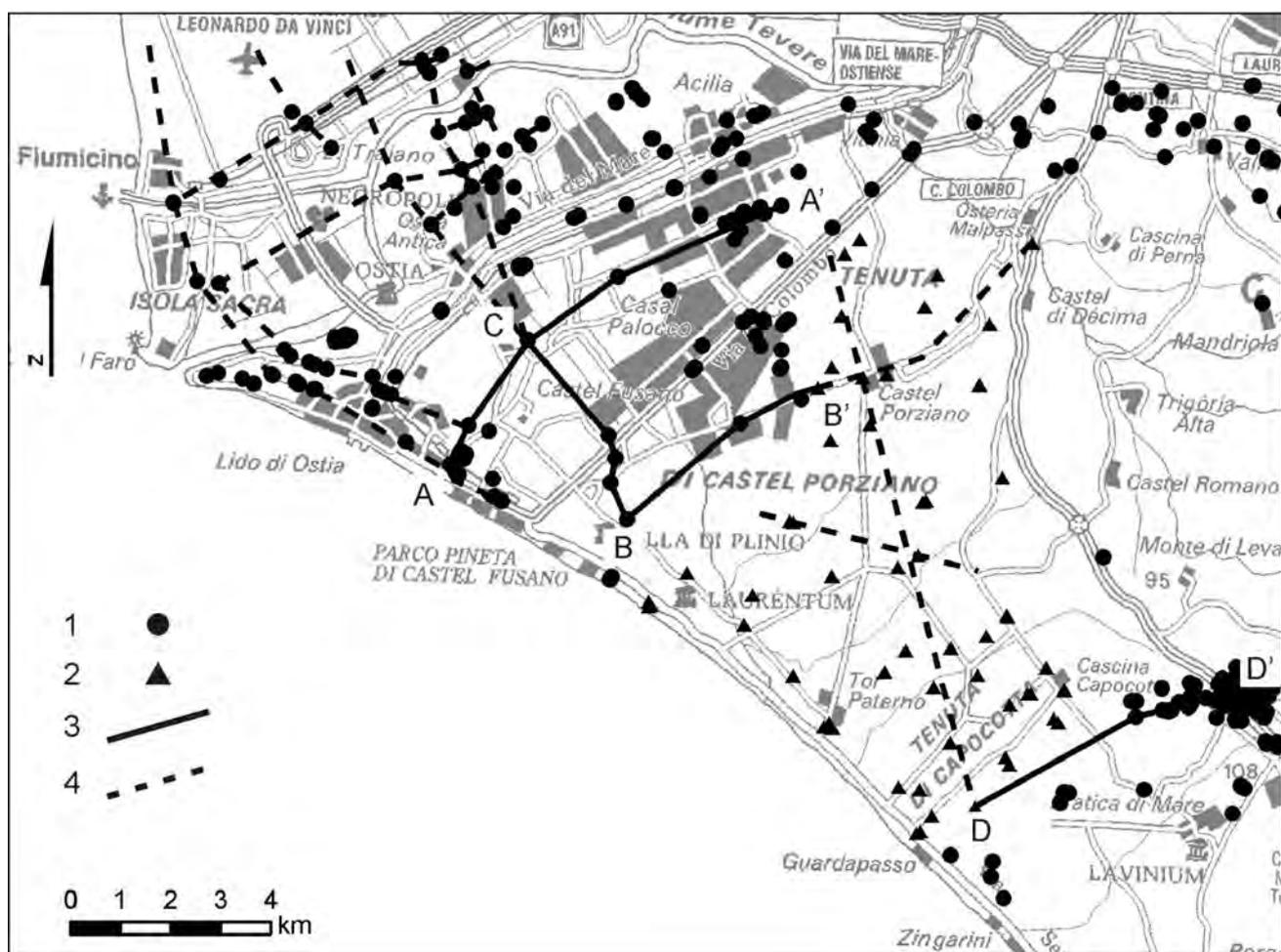


Fig. 3 - Ubicazione dei sondaggi di interesse stratigrafico e traccia delle sezioni geologiche. Legenda: 1 - sondaggio di interesse stratigrafico; 2 - sondaggio di interesse stratigrafico nella Tenuta di Castel Porziano estate; 3 - profili degli Autori; 4 - profili da letteratura.

- Location of stratigraphic boreholes and trace of geological sections. Legend: 1 - stratigraphic borehole; 2 - stratigraphic borehole in the Tenuta di Castel Porziano estate; 3 - geological profiles by the Authors; 4 - geological profiles from the literature.

situato più a sud, ricalca gli elementi geologici già individuati. La traccia parte dal confine della Tenuta di Castel Porziano, in località Infernetto, e procede verso SW fino alla Pineta di Castel Fusano, terminando in corrispondenza di uno dei fori piezometrici eseguiti dagli Autori nell'ambito della convenzione con il Comune di Roma per lo

studio dell'ecosistema del parco.

Anche qui si riconosce il basamento comune costituito dalle argille limose plio-pleistoceniche, con al tetto lo strato di ghiaie e sabbie appartenenti alla Formazione di Ponte Galeria, che in questo transetto è descritto come ghiaietto sabbioso, con spessore di circa 4 m.

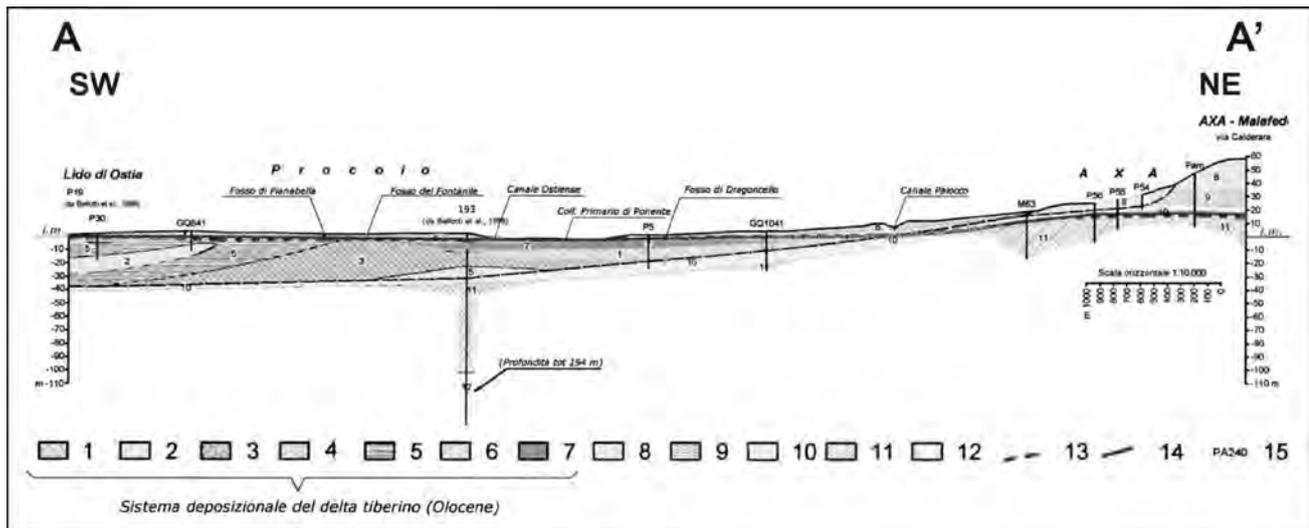


Fig. 4 - Profilo geologico A-A' (CAPELLI *et alii*, 2007). Legenda: 1 - Sabbie grigio-giallastre, da fini a grossolane, talora con lenti di ghiaie. Spessore variabile fino a circa 20 metri. Costituiscono depositi fluviali (*litofacies* 1/a in BELLOTTI *et alii*, 1989); 2 - Peliti sabbiose con frequenti intercalazioni di livelli bioclastici e resti vegetali, passanti verso il basso a silt argillosi e argille verdastre con faune marine. Spessore massimo non definito. Costituiscono un complesso di transizione-piattaforma (*litofacies* 3 in BELLOTTI *et alii*, 1989); 3 - Peliti grigie o grigio-azzurre, con frequenti sottili intercalazioni di sabbie fini, livelli di torba, lenti sabbiose. Spessore di qualche metro. Costituiscono un complesso di laguna costiera (*litofacies* 3 in BELLOTTI *et alii*, 1989); 4 - Sabbie giallo-rossastre fini o medio-fini, ricche in femici, con resti vegetali, costituenti i cordoni dunari recenti e attuali. Spessore di circa 3-4 m (fino a 15 m sui cordoni più elevati) (*litofacies* 4/a in BELLOTTI *et alii*, 1989); 5 - Sabbie grigie da medio-grossolane a medio-fini, ricche in femici, con conchiglie marine e resti vegetali. Costituiscono un complesso di barriera costiera. Spessore variabile da qualche metro a circa 10 m (*litofacies* 4/b in BELLOTTI *et alii*, 1989); 6 - Peliti da grigie a giallastre talora con ghiaie fini, strutture da essiccamento, concrezioni travertinose, materiale vulcanico alterato, livelli di torba e livelli conchigliari (depositi alluvionali *latu sensu*). Spessori variabili fino a 7-8 m (*litofacies* 2 in BELLOTTI *et alii*, 1989); 7 - Torbe, argille organiche nerastre, talvolta sabbie nerastre, con sostanza organica in decomposizione. Presenti in lenti e strati con spessori variabili da qualche decimetro a qualche metro; 8 - Sabbie da fini a grossolane e sabbie debolmente limose di colore bruno-rossastro o giallastro, terrazzate. Spessori variabili da pochi metri fino a 20-25 m (in parte "Duna antica" auct.). Pleistocene sup.; 9 - Argille limose grigie ("Formazione di Ponte Galeria" auct. p.p.). Pleistocene inf.-medio; 10 - Ghiaie incoerenti o in matrice sabbioso-limosa, più raramente sabbie da grossolane a fine o sabbie limose. Spessore variabile da qualche metro a circa 10 m ("Formazione di Ponte Galeria" auct. p.p.; *litofacies* 6 in BELLOTTI *et alii*, 1989). Pleistocene inf.-medio; 11 - Argille e argille limose grigio-azzurre, talvolta con intercalazioni di limi sabbiosi grigi. Pliocene sup.-Pleistocene p.p.; 12 - Argille e marne grigie. Pliocene (da Carta Geologica d'Italia, F° 149 "Cerveteri", 1967); 13 - Superficie della falda superficiale - anno 2004; 14 - Superficie della falda superficiale - anno 2002; 15 - Sondaggio geognostico e relativo codice database.

- Geological profile A-A' (CAPELLI *et alii*, 2007). Legend: 1 - Grey-yellowish, fine to coarse sands with occasional gravel lenses. Variable thickness of up to about 20 m. They represent fluvial deposits. (*lithofacies* 1/a in BELLOTTI *et alii*, 1989); 2 - Sandy pelites, frequently interbedded with bioclastic levels and vegetal remains, evolving downwards into clayey silts and greenish clays with marine fauna. Undefined maximum thickness. They represent a transition-platform complex (*lithofacies* 3 in BELLOTTI *et alii*, 1989); 3 - Grey or grey-blue pelites, frequently interbedded with thin sandy levels, peat levels and sandy lenses. Thickness of some metres. They represent a coastal lagoon complex (*lithofacies* 3 in BELLOTTI *et alii*, 1989); 4 - Yellow-reddish, fine or medium-fine sands rich in femic components and with vegetal remains. They represent the recent and present dunal systems. Thickness of about 3-4 m (up to 15 m on the higher dunal systems) (*lithofacies* 4/a in BELLOTTI *et alii*, 1989); 5 - Gray, medium-coarse to medium-fine sands, rich in femic components, with marine shells and vegetal remains. They represent a coastal barrier system. Thickness varying from a few metres to about 10 m (*lithofacies* 4/b in BELLOTTI *et alii*, 1989); 6 - Grey to yellow pelites, with occasional fine gravels, desiccation forms, travertine incrustations, altered volcanic material, peat and shell levels (*alluvia latu sensu*). Variable thickness of up to 7-8 m (*lithofacies* 2 in BELLOTTI *et alii*, 1989); 7 - Peats, blackish organic clays, at times blackish sands, with organic matter being decomposed. They appear as lenses and layers with thickness ranging from a few decimetres to some metres; 8 - Fine to coarse sands and weakly silty sands of brown-reddish or yellowish colour, terraced. Thickness ranging from a few metres to 20-25 m (in part "Duna Antica" auct.). Upper Pleistocene; 9 - Grey silty clays ("Formazione di Ponte Galeria" auct. p.p.). Lower-Middle Pleistocene; 10 - Gravels, loose or in sandy-silty matrix, more rarely coarse to fine sands or silty sands. Thickness ranging from a few metres to about 10 m ("Formazione di Ponte Galeria" auct. p.p., *lithofacies* 6 in BELLOTTI *et alii*, 1989). Lower-middle Pleistocene; 11 - Grey-blue clays and silty clays, in places interbedded with grey sandy silts. Upper Pliocene-Pleistocene p.p.; 12 - Grey clays and marls. Pliocene (from "Carta Geologica d'Italia, F° 149, Cerveteri", 1967); 13 - Surface of the shallow aquifer - year 2004; 14 - Surface of the shallow aquifer - year 2002; 15 - Geognostic hole and related database code.



In sequenza, nelle aree non interessate dal corpo sedimentario del delta, si succedono sabbie, sabbie fini e sabbie argillose, talvolta con lenti di torba, probabilmente interessate da superfici d'erosione dei terrazzi marini pleistocenici.

Nei pressi dei confini della zona residenziale dell'Infernetto, viene collocata la superficie di discontinuità che marca il corpo sedimentario del delta e che degrada con basso angolo fino alla quota di circa -35 m s.l.m. sotto la Pineta di Castel Fusano.

Su questa superficie poggia la successione sedi-

mentaria olocenica, qui costituita da una preponderante presenza dei terreni sabbiosi da grossolani a fini, talvolta con lenti di ghiaie, di origine fluviale, depositi in questo settore più probabilmente da corsi d'acqua minori che scendevano dalle colline retrostanti, piuttosto che dall'apparato di Foce del Tevere.

I sedimenti pelitici di laguna compaiono in un piccolo lembo nell'ultimo tratto del profilo, in ragione di una posizione terminale dell'apparato lagunare che probabilmente si spingeva appena più a sud.

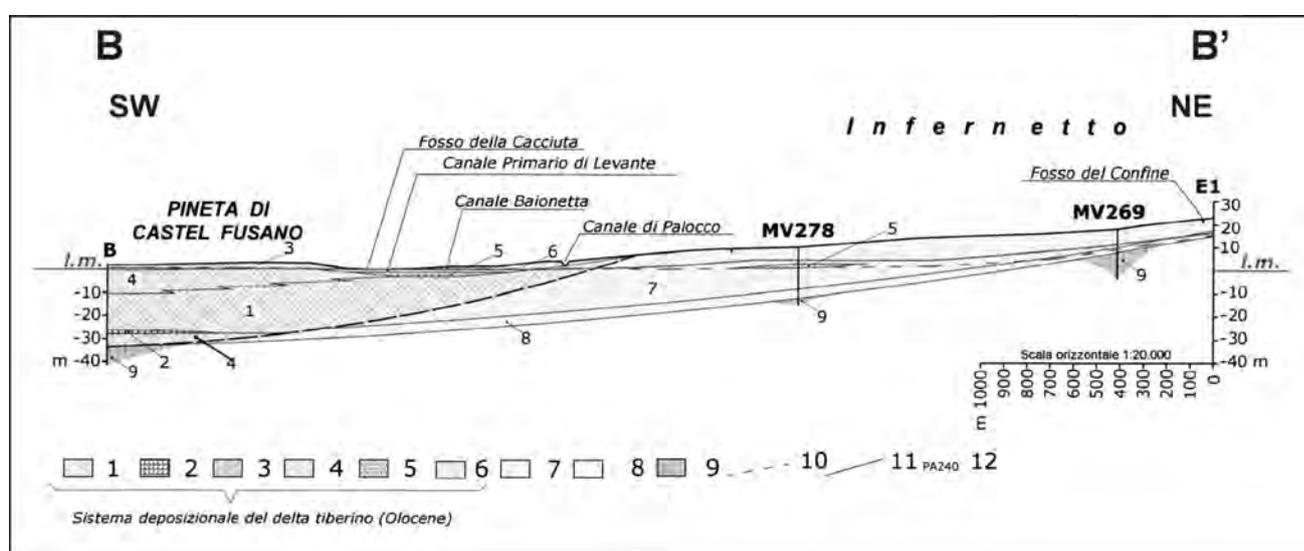


Fig. 5 - Profilo geologico B-B' (CAPELLI *et alii*, 2007). Legenda: 1 - Sabbie grigio-giallastre, da fini a grossolane, talora con lenti di ghiaie. Spessore variabile fino a circa 20 metri. Costituiscono depositi fluviali (*litofacies* 1/a in BELLOTTI *et alii*, 1989); 2 - Peliti grigie o grigio-azzurre, con frequenti sottili intercalazioni di sabbie fini, livelli di torba, lenti sabbiose. Spessore di qualche metro. Costituiscono un complesso di laguna costiera (*litofacies* 3 in Bellotti *et al.*, 1989); 3 - Sabbie giallo-rossastre fini o medio-fini, ricche in femici, con resti vegetali, costituenti i cordoni dunari recenti e attuali. Spessore di circa 3-4 m (fino a 15 m sui cordoni più elevati) (*litofacies* 4/a in BELLOTTI *et alii*, 1989); 4 - Sabbie grigie da medio-grossolane a medio-fini, ricche in femici, con conchiglie marine e resti vegetali. Costituiscono un complesso di barriera costiera. Spessore variabile da qualche metro a circa 10 m (*litofacies* 4/b in BELLOTTI *et alii*, 1989); 5 - Torbe, argille organiche nerastre, talvolta sabbie nerastre, con sostanza organica in decomposizione. Presenti in lenti e strati con spessori variabili da qualche decimetro a qualche metro; 6 - Peliti da grigie a giallastre talora con ghiaie fini, strutture da essiccamento, concrezioni travertinose, materiale vulcanico alterato, livelli di torba e livelli conchigliari (depositi alluvionali *latu sensu*). Spessori variabili fino a 7-8 m (*litofacies* 2 in BELLOTTI *et alii*, 1989); 7 - Sabbie e sabbie debolmente limose di colore bruno-rossastro o giallastro, terrazzate a più quote. Spessori variabili da 5-10 m alle quote più elevate, fino a 20-25 m nei settori terrazzati (in parte "Duna antica" auct.). Pleistocene sup.; 8 - Ghiaie incoerenti o in matrice sabbioso-limosa, più raramente sabbie da grossolane a fine o sabbie limose. Spessore variabile da qualche metro a circa 8 m ("Formazione di Ponte Galeria" auct.; *litofacies* 6 in BELLOTTI *et alii*, 1989). Pleistocene inf.-medio; 9 - Argille e argille limose grigio-azzurre, talvolta con intercalazioni di limi sabbiosi grigi. Pliocene sup. - Pleistocene p.p.; 10 - Superficie della falda superficiale - anno 2004; 11 - Superficie della falda superficiale - anno 2002; 12 - Sondaggio geognostico e relativo codice database.

- Geological profile B-B' (CAPELLI *et alii*, 2007). Legend: 1 - Grey-yellow, fine to coarse sands, with occasional gravel lenses. Variable thickness of up to about 20 m. They represent fluvial deposits. (*lithofacies* 1/a in BELLOTTI *et alii*, 1989); 2 - Grey or grey-blue pelites, frequently interbedded with fine sands, peat levels and sandy lenses. Thickness of a few metres. They represent a coastal lagoon system (*lithofacies* 3 in BELLOTTI *et alii*, 1989); 3 - Yellow-reddish, fine or medium-fine sands, rich in femic components and with vegetal remains; they represent recent and present dunal bars. Thickness of roughly 3-4 m (up to 15 m on the higher dunal systems) (*lithofacies* 4/a in BELLOTTI *et alii*, 1989); 4 - Grey medium-coarse to medium-fine sands, rich in femic components, with marine shells and vegetal remains. They represent a coastal barrier system. Thickness ranging from a few metres to about 10 m (*lithofacies* 4/b in BELLOTTI *et alii*, 1989); 5 - Peats, blackish organic clays, at times blackish sands with organic matter being decomposed. They appear as lenses and layers with thickness ranging from a few decimetres to a few metres; 6 - Grey to yellowish pelites, in places with fine gravels, desiccation forms, travertine incrustations, altered volcanic material, peat and shell levels (*alluvia latu sensu*). Variable thickness of up to 7-8 m (*lithofacies* 2 in BELLOTTI *et alii*, 1989); 7 - Sands and weakly silty sands of brown-reddish colour, terraced. Thickness ranging from 5-10 m at the higher elevations to 20-25 m in the terraced sectors (in part "Duna Antica" auct.). Upper Pleistocene; 8 - Gravels, loose or in a sandy-silty matrix, more rarely coarse to fine sands or silty sands. Thickness ranging from a few metres to about 8 m ("Formazione di Ponte Galeria" auct. p.p., *lithofacies* 6 in BELLOTTI *et alii*, 1989). Lower-middle Pleistocene; 9 - Grey-blue clays and silty clays, in places interbedded with grey sandy silts. Upper Pliocene-Pleistocene p.p.; 10 - Surface of the shallow aquifer - year 2004; 11 - Surface of the shallow aquifer - year 2002; 12 - Geognostic borehole and related database code.

I depositi sabbiosi di barra costiera che, al di sotto delle sabbie dunari recenti e attuali, poggiano in eteropia sulle sabbie fluviali, occupano diffusamente il sottosuolo di Castel Fusano, con spessori di una decina di metri.

In questo profilo non sono presenti le peliti di transizione-piattaforma in ragione dell'assottigliamento che porta alla scomparsa di questa *litofacies*

verso i margini della piana deltizia. Tuttavia, si riconoscono ugualmente i tratti di un'evoluzione sedimentologica della costa secondo cicli marini trasgressivi e regressivi, con il rinvenimento di depositi sabbiosi di barra costiera più in profondità, al di sopra della trasgressione pleistocenica.

Nell'area dei canali di bonifica è infine presente una lente di terreni limoso-torbosi di natura alluvio-

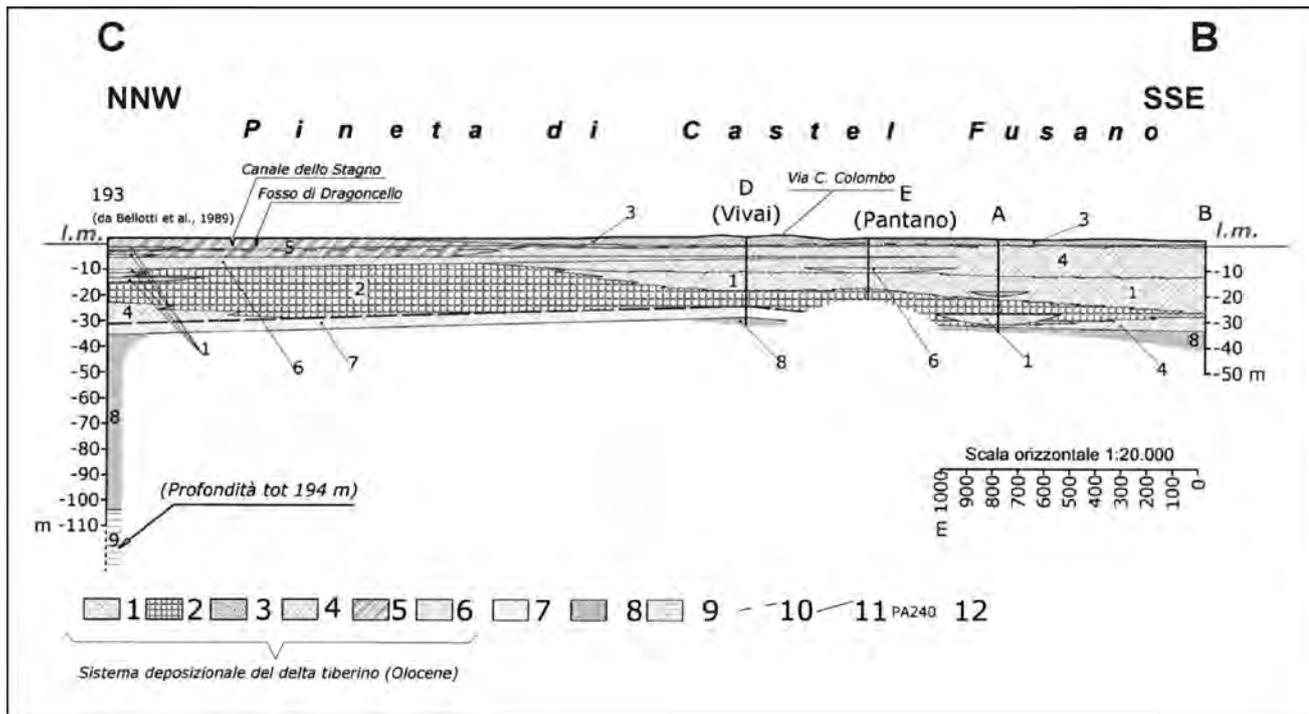


Fig. 6 - Profilo geologico C-B (CAPELLI *et alii*, 2007). Legenda: 1 - Sabbie grigio-giallastre, da fini a grossolane, talora con lenti di ghiaie. Spessore variabile fino a circa 15 m. Costituiscono depositi fluviali (*litofacies* 1/a in BELLOTTI *et alii*, 1989); 2 - Peliti grigie o grigio-azzurre, con frequenti sottili intercalazioni di sabbie fini, livelli di torba, lenti sabbiose. Spessore da qualche metro a circa 20 m. Costituiscono un complesso di laguna costiera (*litofacies* 3 in BELLOTTI *et alii*, 1989); 3 - Sabbie giallo-rossastre fini o medio-fini, ricche in femici, con resti vegetali, costituenti i cordoni dunari recenti e attuali. Spessore di circa 3-4 m (fino a 15 m sui cordoni più elevati) (*litofacies* 4/a in BELLOTTI *et alii*, 1989); 4 - Sabbie grigie da medio-grossolane a medio-fini, ricche in femici, con conchiglie marine e resti vegetali. Costituiscono un complesso di barriera costiera. Spessore variabile da qualche metro a circa 12 m (*litofacies* 4/b in BELLOTTI *et alii*, 1989); 5 - Peliti da grigie a giallastre talora con ghiaie fini, strutture da essiccamento, concrezioni travertinose, materiale vulcanico alterato, livelli di torba e livelli conchigliari (depositi alluvionali *latu sensu*). Spessori variabili fino a 7-8 m (*litofacies* 2 in BELLOTTI *et alii*, 1989); 6 - Torbe, argille organiche nerastre, talvolta sabbie nerastre, con sostanza organica in decomposizione. Presenti in lenti e strati con spessori variabili da qualche decimetro a qualche metro; 7 - Ghiaie incoerenti o in matrice sabbioso-limosa, più raramente sabbie da grossolane a fine o sabbie limose. Spessore variabile da qualche metro a circa 10 m ("Formazione di Ponte Galeria" *auct. p.p.*; *litofacies* 6 in BELLOTTI *et alii*, 1989). Pleistocene inf.-medio; 8 - Argille e argille limose grigio-azzurre, talvolta con intercalazioni di limi sabbiosi grigi. Pliocene sup. - Pleistocene *p.p.*; 9 - Argille e marne grigie. Pliocene (da Carta Geologica d'Italia, F°149 "Cerveteri", 1967); 10 - Superficie della falda superficiale - anno 2004; 11 - Superficie della falda superficiale - anno 2002; 12 - Sondaggio geognostico e relativo codice database.

- Geological profile C-B (CAPELLI *et alii*, 2007). Legend: 1 - Grey-yellowish, fine to coarse sands with sporadic gravel lenses. Variable thickness of up to about 15 m. They represent fluvial deposits (*litofacies* 1/a in BELLOTTI *et alii*, 1989); 2 - Grey or grey-blue pelites, frequently interbedded with fine sands, peat levels and sandy lenses. Thickness from a few metres to about 20 m. They represent a coastal lagoon system (*litofacies* 3 in BELLOTTI *et alii*, 1989); 3 - Yellow-reddish, fine or medium-fine sands, rich in femic components, with vegetal remains. They represent recent and present dunal systems. Thickness of approximately 3-4 m (up to 15 m at the higher elevations) (*litofacies* 4/a in BELLOTTI *et alii*, 1989); 4 - Grey, medium-coarse to medium-fine sands, rich in femic components, with marine shells and vegetal remains. They represent a coastal barrier system. Thickness from a few metres to about 12 m (*litofacies* 4/b in BELLOTTI *et alii*, 1989); 5 - Grey to yellowish pelites, in places with fine gravels, desiccation forms, travertine incrustations, weathered (altered?) volcanic material, peat and shell levels (*alluvia latu sensu*). Variable thickness of up to 7-8 m (*litofacies* 2 in Bellotti *et alii*, 1989); 6 - Peats, blackish organic clays, in places blackish sands with organic matter being decomposed. They appear as lenses and layers whose thickness ranges from a few decimetres to some metres; 7 - Gravels, loose or in a sandy-silty matrix, more rarely coarse to fine or silty sands. Thickness ranging from a few metres to about 10 m ("Formazione di Ponte Galeria" *auct. p.p.*; *litofacies* 6 in BELLOTTI *et alii*, 1989). Lower-middle Pleistocene; 8 - Grey-blue clays and silty clays, with occasional intercalations of grey sandy silts. Upper Pliocene-Pleistocene *p.p.*; 9 - Grey clays and marls. Pliocene (from "Carta Geologica d'Italia, F° 149, Cerveteri", 1967); 10 - Surface of the shallow aquifer - year 2004; 11 - Surface of the shallow aquifer - year 2002; 12 - Geognostic borehole and related database code.



nale con strati e lenti di torba di 1-2 m di spessore.

Profilo C-B

Il profilo C-B (fig. 6) unisce quattro dei cinque sondaggi eseguiti nel Parco di Castel Fusano e raccorda i due profili precedenti.

Al di sopra della trasgressione pleistocenica si riconosce un esteso corpo pelitico di laguna che si assottiglia sensibilmente verso SE, probabilmente in ragione di uno spostamento verso settori marginali della laguna stessa e secondariamente per un avvicinamento della traccia del profilo verso una zona più vicina alla costa.

Spostandoci verso SSE, l'ambiente lagunare viene sostituito, in successione eteropica verticale, prima da depositi sabbiosi fluviali, talvolta con lenti ghiaiose, e poi dalle sabbie di barra costiera con spessori di 10-12 m, fino ai confini occidentali della pineta, dove esse chiudono in eteropia laterale contro le affioranti alluvioni limoso-torbose e i livelli di torba sottostanti.

In questo profilo si identifica un complesso costituito da due litoformazioni del delta (torbe e peliti di laguna) che fungono da *aquiclude* nei confronti dell'acquifero ghiaioso basale.

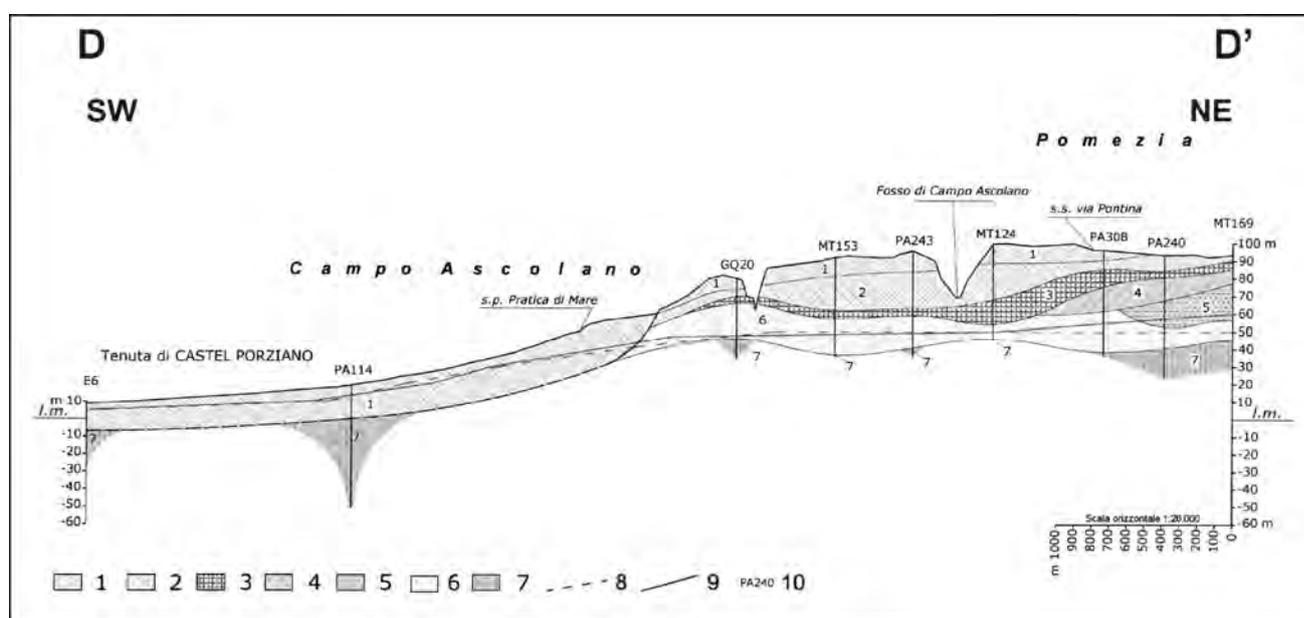


Fig. 7 - Profilo geologico D-D' (CAPELLI *et alii*, 2007). Legenda: 1 - Sabbie e sabbie debolmente limose di colore bruno-rossastro o giallastro, terrazzate a più quote. Spessori variabili da 5-10 m alle quote più elevate, fino a 25-30 m nei settori terrazzati (in parte "Duna antica" auct.). Pleistocene sup. - Attuale; 2 - Piroclastiti pozzolanacee prevalentemente incoerenti, talora argillificate talora cementate, costituite da scorie giallastre, rossastre o nerastre in una matrice scoriacea da rossa a grigia. Spessore variabile fino a circa 20-25 m ("Pozzolanelle" auct.). Pleistocene p.p.; 3 - Piroclastiti tuffacee massive e litoidi, di colore variabile dal giallo al caratteristico rosso fulvo, costituite da scorie grigiastre e pomice disperse in una matrice cineritica. Spessore variabile da qualche metro a circa 15 m ("Tufo litoide" o "Tufo lionato" auct.). Pleistocene p.p.; 4 - Piroclastiti pozzolanacee nerastre, costituite da scorie nere disperse in una matrice di lapilli scoriacei neri. Spessore variabile fino a circa 15 m ("Pozzolane nere" auct.). Pleistocene p.p.; 5 - Tufi e tufi terrosi per lo più incoerenti, a matrice cineritico-pomicia, ricchi in litici sedimentari e lavici. Al tetto è presente una *facies* cineritico-pomicia con lapilli accrezionari. Nel complesso rappresentano più unità eruttive intervallate da fasi di quiete con formazione di paleosuoli. Spessore variabile da pochi metri a circa 20 m ("Tufo pisolitico", "Tufi inferiori" auct.). Pleistocene p.p. (0,6 Ma); 6 - Ghiaie incoerenti o in matrice sabbioso-limosa, sabbie da grossolane a fine, sabbie limose. Spessore variabile da qualche metro a circa 20 m ("Formazione di Ponte Galeria" auct.). Pleistocene inf.-medio; 7 - Argille e argille limose grigio-azzurre, talvolta con intercalazioni di limi sabbiosi grigi. Pliocene sup. - Pleistocene p.p.; 8 - Superficie della falda superficiale - anno 2004; 9 - Superficie della falda superficiale - anno 2002; 10 - Sondaggio geognostico e relativo codice database.

- Geological profile D-D' (CAPELLI *et alii*, 2007). Legend: 1 - Brown-reddish or yellowish sands and weakly silty sands, terraced at different elevations. Thickness from 5-10 m at the higher elevations to 25-30 m in the terraced sectors (in part "Duna Antica" auct.). Upper Pleistocene - Present; 2 - Dominantly loose pozzolanic pyroclastites, at times argillified or cemented, composed of yellowish, reddish or blackish scoriae in a red to grey scoriaceous groundmass. Thickness of up to about 20-25 m ("Pozzolanelle" auct.). Pleistocene p.p.; 3 - Massive and lithoid tuffaceous pyroclastites, of a colour varying from yellow to typical tawny red, consisting of greyish scoriae and pumices dispersed in a cineritic matrix. Thickness from some metres to about 15 m ("Tufo litoide" or "Tufo lionato" auct.). Pleistocene p.p.; 4 - Blackish pozzolanic pyroclastites, composed of black scoriae dispersed in a matrix of black scoriaceous lapilli. Variable thickness of up to 15 m ("Pozzolane nere" auct.). Pleistocene p.p.; 5 - Tuffs and earthy tuffs, mostly loose, in a cineritic-pumiceous matrix, rich in sedimentary and lavic lithics. At their roof, a cineritic-pumiceous *facies* with accretionary lapilli is observed. As a whole, they represent multiple eruptive units intercalated with stages of quiescence and formation of palaeosols. Thickness ranging from a few metres to about 20 m ("Tufo pisolitico", "Tufi inferiori" auct.). Pleistocene p.p. (0.6 Ma); 6 - Gravels, loose or in a sandy-silty matrix, coarse to fine sands, silty sands. Thickness ranging from a few metres to roughly 20 m ("Formazione di Ponte Galeria" auct.). Lower-middle Pleistocene; 7 - Grey-blue clays and silty clays, in places interbedded with grey sandy silts. Upper Pliocene - Pleistocene p.p.; 8 - Surface of the shallow aquifer - year 2004; 9 - Surface of the shallow aquifer - year 2002; 10 - Geognostic borehole and related database code.

Profilo D-D'

Per confrontare il panorama geologico della Piana del Tevere con quelli adiacenti non coinvolti nell'evoluzione olocenica dell'apparato deltizio è stato eseguito il profilo geologico D-D' (fig. 7), perpendicolare alla costa, che interessa una porzione meridionale dell'area di studio, mettendo in relazione le aree più rilevate della dorsale plio-pleistocenica Acilia-Castel Porziano-Pomezia con la piana costiera.

Nell'alto di Pomezia (zona industriale) è presente una successione stratigrafica simile a quella riconosciuta da studi precedenti (fig. 8 - ANSELMINI *et alii*, 1995). In particolare si distinguono: argille limose plio-pleistoceniche; depositi ghiaiosi, sabbioso-ghiaiosi e sabbioso-limosi della Formazione di Ponte Galeria; tufi e tufi terrosi per lo più incoerenti, a matrice cineritico pomicea, ricchi in litici sedimentari e lavici; piroclastiti pozzolanacee nerastre, costituite da scorie nere disperse in una matrice di lapilli scoriacei neri; piroclastiti tufacee massive e litoidi, di colore variabile dal giallo al rosso fulvo (tufo Lionato o Litoide VSN₁, *auct.*); piroclastiti pozzolanacee prevalentemente incoerenti, talora argillificate o cementate (Pozzolanelle VSN₂, *auct.*); sabbie rossastre debolmente limose appartenenti alla formazione della Duna Antica, che ricoprono con spessori di 6-10 m le zone più elevate della dorsale che raggiunge quote intorno agli 80-100 m s.l.m.

Procedendo verso SW, i depositi sedimentari sabbiosi e le sovrastanti formazioni piroclastiche appaiono troncate da una prima superficie d'erosione marina, riferita al primo e più elevato dei terrazzi che si succedono verso mare con superfici erosive immergenti con basso angolo verso la costa. Questa sequenza di terrazzi (fig. 7) coinvolge i depositi sabbiosi che da quote di circa 60 m s.l.m. interessano il sottosuolo fino alla costa, con spessori considerevoli di 15-30 m. Le superfici d'erosione raggiungono la superficie di discordanza al tetto del substrato argilloso-limoso plio-pleistocenico.

2 - IDROGRAFIA, IDROLOGIA E IDROGEOLOGIA

2.1 - LA BONIFICA E IL NUOVO ASSETTO DEL TERRITORIO.

Nel 1884 iniziò la bonifica degli Stagni di Ostia e di Maccarese. L'intervento iniziò con l'arginatura del Tevere che nei periodi di piena invadeva le zone depresse e proseguì con la separazione delle acque alte provenienti dalle colline adiacenti mediante la realizzazione dei Canali Palocco, Dragoncello e Lingua, al fine di isolare completamente lo Stagno Ostiense dalle acque di ruscellamento superficiale e far defluire queste verso il mare con pendenza naturale, senza ristagni.

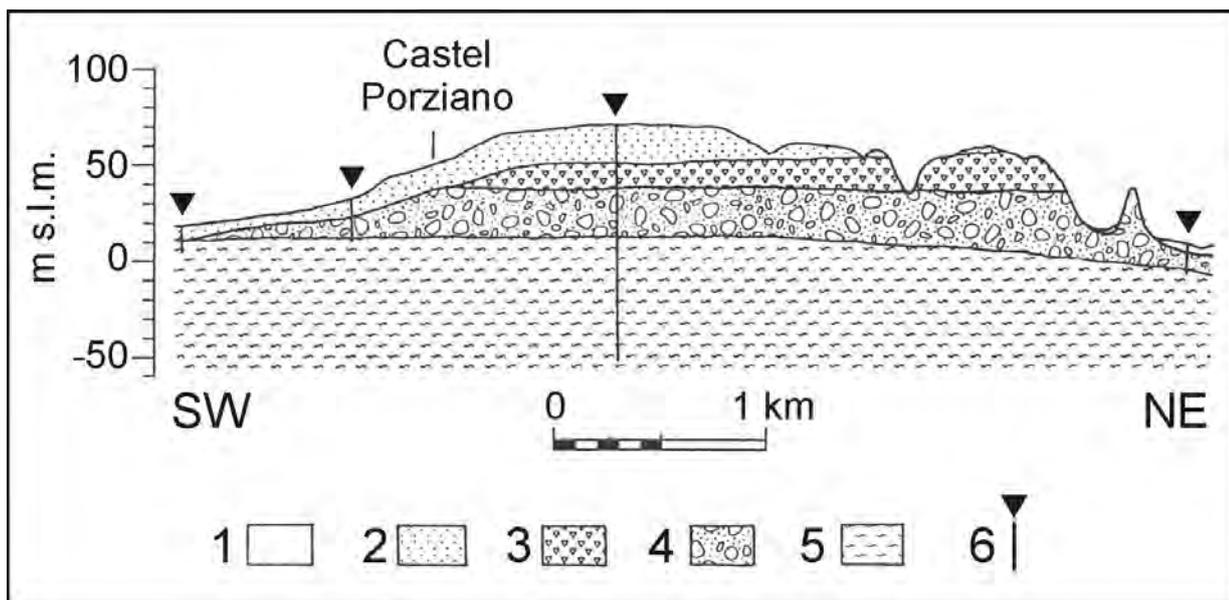


Fig. 8 - Profilo geologico schematico nella tenuta di Castel Porziano (ANSELMINI *et alii*, 1995, modificato). Legenda: 1 - alluvioni; 2 - sabbie; 3 - tuffiti; 4 - sabbie e ghiaie; 5 - argille; 6 - sondaggio di interesse stratigrafico.

- Schematic geological profile in the Tenuta di Castel Porziano estate (ANSELMINI *et alii*, 1995, modified). Legend: 1 - alluvia; 2 - sands; 3 - tufites; 4 - sands and gravels; 5 - clays; 6 - stratigraphic borehole.



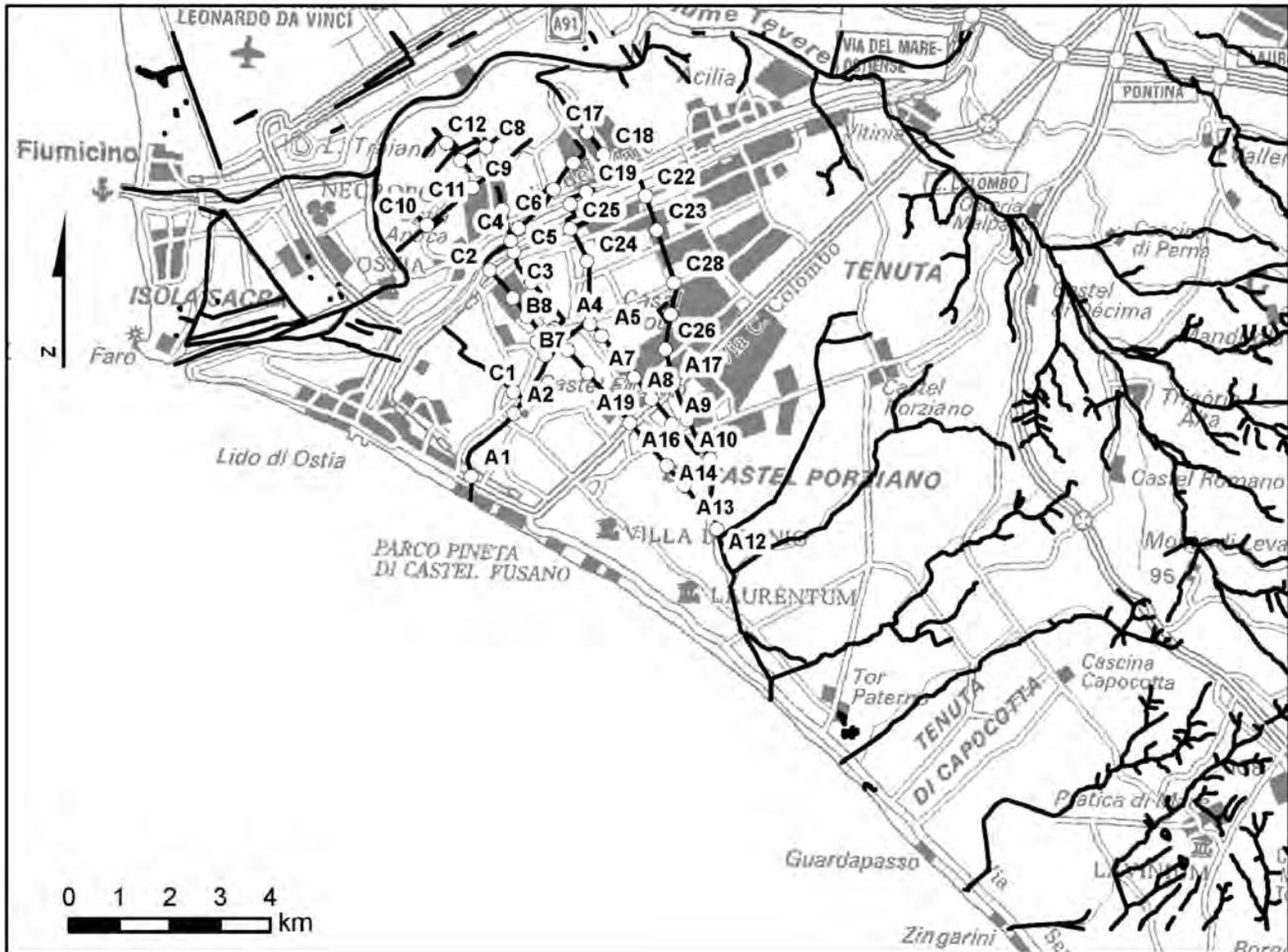


Fig. 11 - Ubicazioni delle stazioni di misura delle caratteristiche chimico-fisiche delle acque dei canali della Bonifica di Ostia e numero di riferimento.
 - Location of stations for measuring the physico-chemical characteristics of the waters from the Ostia water reclamation project canals and reference code.

(circa 4-5 m s.l.m.), e defluiscono naturalmente fino al mare. Il Fosso di Dragoncello e il Canale della Lingua confluiscono, nei pressi di Castel Fusano, nel Canale dello Stagno che sfocia in mare all'altezza di Ostia Levante; il Canale Palocco defluisce invece verso sud, entrando nella tenuta di Castel Porziano e sfocia in mare all'altezza di Tor Paterno.

Costruiti allo scopo di isolare idraulicamente la zona depressa del vecchio stagno, intercettando le acque di ruscellamento superficiale che scendono dalle zone collinari poste a monte, ancor oggi conservano il loro ruolo, convogliando a mare per lo più acque piovane o dilavanti, ivi addotte per la maggior parte da collettori e colatori artificiali talvolta intubati. I Canali Palocco e Dragoncello, avendo un alveo cementato in quasi tutta la sua lunghezza, hanno una limitata comunicazione idraulica con la falda superficiale.

I valori di conducibilità elettrica specifica, quindi, risentono della provenienza delle acque, mantenendosi relativamente bassi, tra 550 e 1100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Solamente nell'alto corso del Fosso di Dragoncello i valori appaiono più elevati (da 1500 a 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$), ma soggetti a veloce diluizione, a causa dell'influenza delle attività agricole nei pressi di Casale Dragone - Riserva del Pantano. In quest'area e nel resto della piana agricola dell'ansa del Tevere, nel periodo estivo viene fatto un uso irriguo di acque emunte dal Tevere, attraverso il funzionamento inverso di alcuni impianti di sollevamento posti lungo l'argine; da questi l'acqua viene immessa in canalette di calcestruzzo, defluendo con pendenza naturale verso sud-ovest. L'acqua viene poi prelevata ed utilizzata dalle singole aziende agricole per mezzo di motopompe, tubazioni ed impianti d'irrigazione mobili. Una misura di conducibilità eseguita in queste acque ha evidenziato





valori di circa $3300 \mu\text{S}/\text{cm}$; è facile quindi ipotizzare l'effetto dell'attività irrigua sulla salinità della falda superficiale.

Relativamente ai parametri chimico-fisici delle acque dei "canali alti", la temperatura, seppure elevata, non risulta indicativa, in quanto fortemente influenzata dalle condizioni stagionali e dallo scarso battente d'acqua presente al momento delle misure. Il pH, invece, principalmente nel Canale Palocco e subordinatamente nel Fosso di Dragoncello, mostra una accentuata variabilità, pur mantenendo valori piuttosto elevati, tra 8,0 e 9,2, anomali rispetto a quelli riscontrati nelle acque di tutti gli altri canali, probabilmente a causa di fenomeni di eutrofizzazione.

Canali delle Acque Basse

(Canale Ostiense, Collettore Primario di Ponente e Collettore Primario di Levante: figg. 12, 13 e 14).

Nell'ambito dello schema idraulico di bonifica, questi canali fanno defluire le acque delle aree poste al di sotto del livello marino verso gli impianti di sollevamento. I canali, quindi, mantengono depressa la superficie piezometrica della falda superficiale e determinano una forte attività di scambio idraulico tra le acque di superficie e quelle sotterranee, come si può dedurre dalle caratteristiche chimico-fisiche di entrambi i sistemi idrici.

A ridosso di Ostia Antica i valori di conducibilità elettrica specifica presentano variabilità da zona a zona, collocandosi tra 1400 e $3400 \mu\text{S}/\text{cm}$, con valori più elevati nell'alto corso del Canale Ostiense, sia per i motivi legati all'agricoltura, sia per l'influenza dell'irrigazione alimentata da acque salmastre, sia per la presenza dei suoli connessi alle antiche saline. Dopo la bonifica, infatti, le saline furono abbandonate, lasciando diffusi residui di sale nel sottosuolo saturo, che conferiscono valori di conducibilità molto elevati alle acque sotterranee e a quelle superficiali. Questa anomalia si esaurisce tuttavia verso sud, laddove le acque salmastre subiscono una naturale diluizione.

Una marcata anomalia dei valori di conducibilità ($7800-11600 \mu\text{S}/\text{cm}$) è stata riscontrata nelle acque del Collettore Primario di Ponente, nei pressi della località "Stagni". La zona risulta topograficamente depressa; vi affiorano terreni di natura limosa e torbosa e presenta un uso del suolo molto eterogeneo che ha favorito un pesante impatto sulle condizioni dell'ambiente, facendo supporre fenomeni di inquinamento localizzato delle acque del canale.

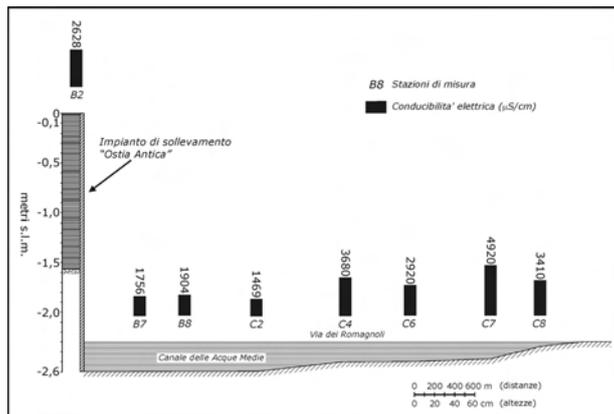


Fig. 12 - Profilo schematico della batimetria e dei valori di conducibilità lungo l'asse mediano del Canale Ostiense (o Canale delle Acque Medie), fino all'impianto di sollevamento di Ostia Antica (CAPELLI et alii, 2007).

- Schematic profile of bathymetry and conductivity values along the median axis of the Canale Ostiense (or Canale delle Acque Medie) canal as far as the pumping system of Ostia Antica (CAPELLI et alii, 2007).

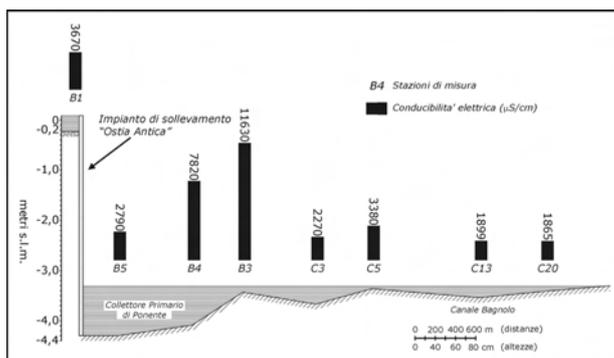


Fig. 13 - Profilo schematico della batimetria e dei valori di conducibilità lungo l'asse mediano del Collettore Primario di Ponente - Canale Bagnolo, fino all'impianto di sollevamento di Ostia Antica (CAPELLI et alii, 2007).

- Schematic profile of bathymetry and conductivity values along the median axis of the Collettore primario di Ponente western main sewer-Canale di Bagnolo canal, as far as the pumping system of Ostia Antica (CAPELLI et alii, 2007).

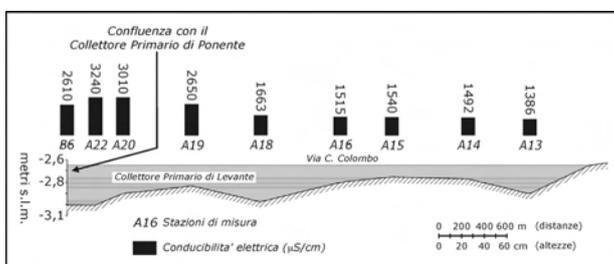


Fig. 14 - Profilo schematico della batimetria e dei valori di conducibilità lungo l'asse mediano del Collettore Primario di Levante, fino alla confluenza con il Collettore Primario di Ponente (CAPELLI et alii, 2007).

- Schematic profile of bathymetry and conductivity values along the median axis of the Collettore primario di Levante eastern main sewer, as far as its confluence with the Collettore primario di Ponente western main sewer (CAPELLI et alii, 2007).

Canale dello Stagno

Il Canale dello Stagno presenta condizioni assai diverse rispetto alla restante rete dei canali di bonifica. Questo canale, oggi dall'aspetto fortemente antropizzato, per secoli ha costituito il principale asse di deflusso naturale dello Stagno Ostiense verso il mare. Il suo breve corso (circa 4 km) mostra un andamento rettilineo perpendicolare alla costa e alla foce è armato con due moli aggettanti a mare. Sono state realizzate due campagne di rilevamento delle caratteristiche chimico-fisiche delle acque del canale. Nel corso della campagna 2002 è stato utilizzato un conduttimetro, mentre in quella del 2005 un salinometro manovrato da una imbarcazione. In conseguenza di ciò nei due profili delle figure 15 e 16 i valori che esprimono la

penetrazione di acque marine sono espressi rispettivamente in $\mu\text{S}/\text{cm}$ e g/l . Esaminando la figura 15 si può osservare che a circa 500 metri dalla linea di costa furono rilevati sul fondo $42.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ e alla progressiva 2.100 m $15.000 \mu\text{S}/\text{cm}$. L'interfaccia con le acque dolci è stata osservata a ridosso della confluenza con il Fosso di Dragoncello, a 3.350 m dalla foce. La campagna del 2005 ha consentito di aumentare le verticali di rilevamento nel canale e di eseguire dei profili più dettagliati. Nella figura 16 si può osservare come le acque siano stratificate e come il flusso di acqua dolce, scaricato dalle idrovore, si vada salinizzando procedendo verso la costa.

Fiumara Grande

Di particolare interesse sono i risultati emersi dai rilievi dei parametri chimico-fisici delle acque del Tevere, nel canale di Fiumara Grande, che vanno a confermare quanto già emerso negli anni '70 da uno studio dell'IRSA (AA.VV., 1983).

I dati sono stati graficati in sovrapposizione al profilo longitudinale (fig. 17). Si osserva che il cuneo salino si spinge dalla foce verso l'interno, raggiungendo Capo Due Rami (a circa 6 km di distanza), con elevati valori di salinità (36 g/l). Nello stesso tratto è stata individuata anche una marcata zona di interfaccia acqua dolce/acqua salata, ad andamento suborizzontale. La presenza di consistenti depressioni lungo il profilo longitudinale dell'alveo, favorisce il ristagno del cuneo salino che può persistere per tempi prolungati nonostante la variabilità del regime fluviale e delle condizioni meteo marine.

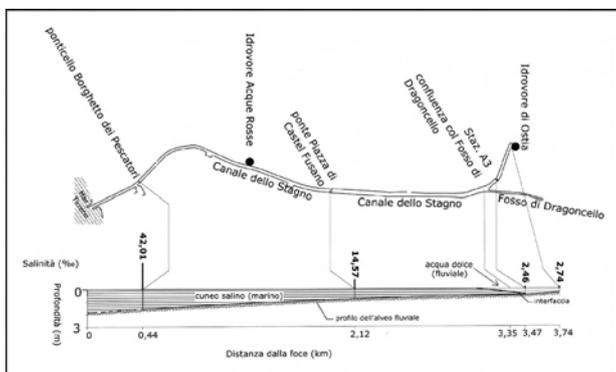


Fig. 15 - Profilo schematico della batimetria e dei valori di conducibilità lungo l'asse mediano del Canale dello Stagno, dalla foce alle idrovore di Ostia Antica (2002) (CAPELLI et alii, 2007).

- Schematic profile of bathymetry and conductivity values along the median axis of the Canale dello Stagno canal, from its outlet to the water-scooping machines of Ostia Antica (2002) (CAPELLI et alii, 2007).

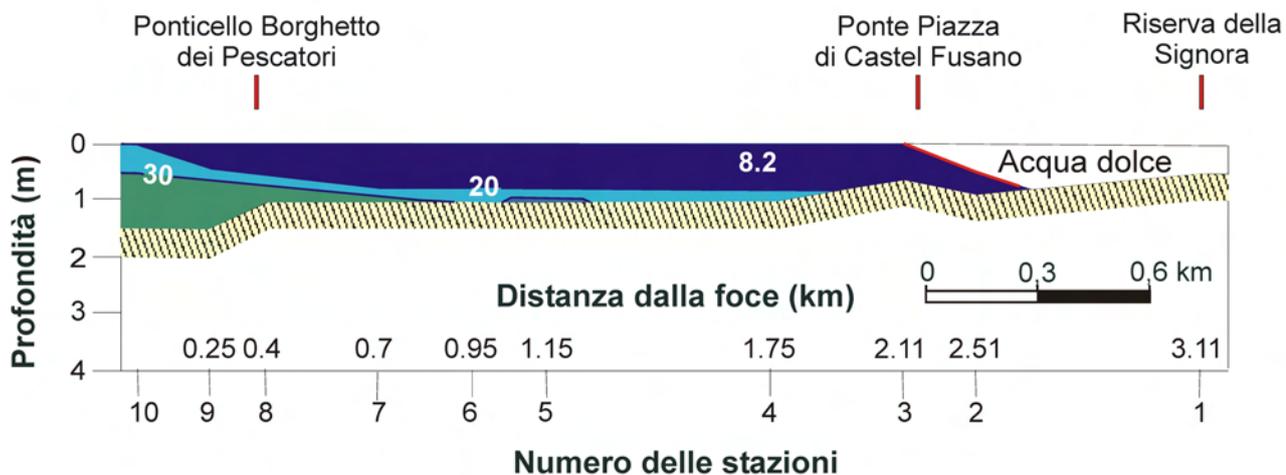


Fig. 16 - Profilo schematico della batimetria e dei valori di conducibilità lungo l'asse mediano del Canale dello Stagno, dalla foce alle idrovore di Ostia Antica, (2005).

- Schematic profile of bathymetry and conductivity values along the median axis of the Canale dello Stagno canal, from its outlet to the water-scooping machines of Ostia Antica (2005).



Nel 2005 gli autori hanno effettuato rilievi chimico-fisici e batimetrici lungo i due rami della foce del Tevere, spingendo tali indagini fino al Ponte di Mezzocammino in corrispondenza del GRA. L'avanzamento e lo spessore dell'intrusione salina sono stati verificati con un salinometro, definendo 19 stazioni sulla Fiumara Grande e 13 sul Canale di Fiumicino. Le elaborazioni sono riportate nelle

figure 18 e 19. Il profilo dell'alveo della Fiumara Grande mette in evidenza la presenza di variazioni anche notevoli del profilo longitudinale, dovute a dragaggi più che a fenomeni di erosione. Le acque marine sono presenti sul fondo con spessori variabili da 2 a 6 metri e sono caratterizzate da una salinità media di circa 36 g/l. Nel Canale di Fiumicino lo spessore del cuneo salino è anche maggiore (ca. 8 m), ma la salinità è leggermente inferiore (35 g/l). Vale la pena di segnalare che in corrispondenza dello scarico nel Tevere delle idrovore della Bonifica di Maccarese/Fiumicino, è presente sul fondo alveo una lente salina con 36 g/l.

2.3 - CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

In riferimento all'assetto geologico-stratigrafico dell'area in esame, sono stati individuati numerosi complessi acquiferi, ospitanti falde libere o semi-confinante, sostenuti da un comune basamento limoso-argilloso plio-pleistocenico. Tale basamento risulta caratterizzato da una dorsale con direttrice parallela alla costa, che va da Acilia a Pomezia, passando per Castel Porziano e che è incisa a NE dalla Valle di Malafede e verso W degrada nella paleovalle tiberina, ove si deprime fino a quote di

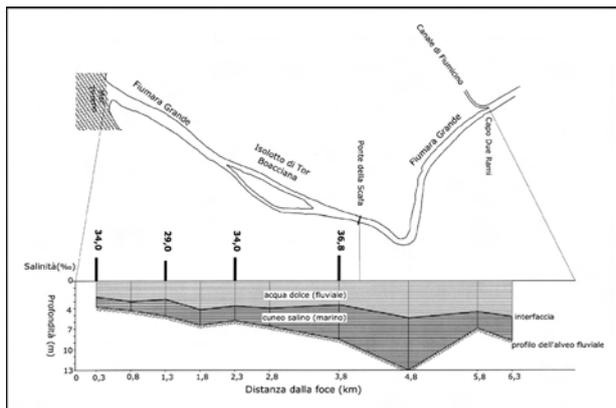


Fig. 17 - Profilo schematico del cuneo salino e della batimetria lungo l'asse mediano del Canale della Fiumara Grande, da Capo Due Rami alla foce (1976) (MIKHAILOVA et alii, 1999).

- Schematic profile of salt water wedge and bathymetry along the median axis of the Canale della Fiumara Grande canal, from Capo Due Rami to its outlet (1976) (MIKHAILOVA et alii, 1999).

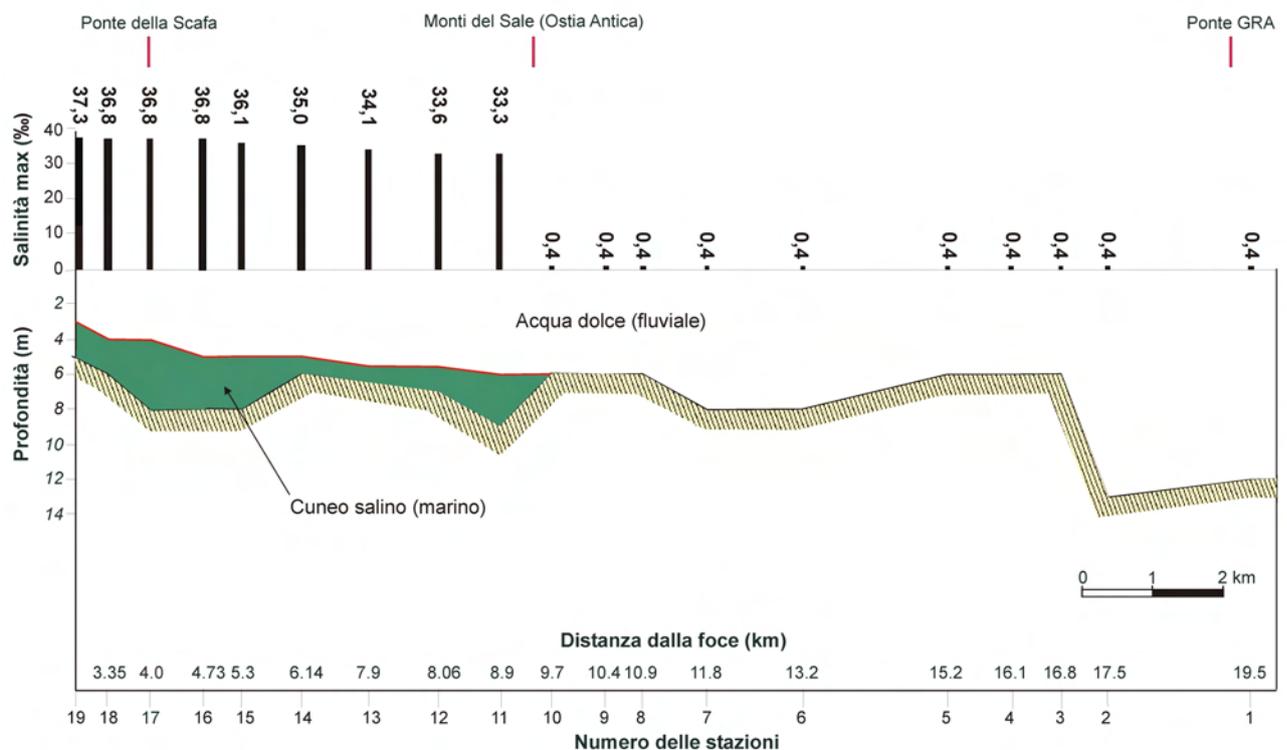


Fig. 18 - Profilo schematico del cuneo salino e della batimetria lungo l'asse mediano del Canale della Fiumara Grande, da Capo Due Rami alla foce, (2005).
 - Schematic profile of salt water wedge and bathymetry along the median axis of the Canale della Fiumara Grande canal, from Capo Due Rami to its outlet (2005).

70-80 m sotto l'attuale livello del mare a nord di Fiumicino. A SE il basamento appare disarticolato da motivi tettonici che rialzano il tetto delle argille di alcune decine di metri.

La dorsale costituisce lo spartiacque idrogeologico tra l'Unità del Delta del Fiume Tevere e l'Unità dei Colli Albani. Infatti, la falda regionale albana, a ovest drena verso il Fiume Tevere e il Fosso di Malafede, a sud-ovest verso la piana costiera.

Nei settori settentrionali di Acilia, AXA e Castel Porziano la falda principale si colloca all'interno delle ghiaie e sabbie della formazione di Ponte Galeria che poggiano sul basamento delle argille limose plio-pleistoceniche. L'acquifero presenta una permeabilità elevata e uno spessore di 8-10 m; esso risulta verticalmente confinato dai terreni limosi afferenti alle *facies* più fini della formazione di Ponte Galeria e delle successive formazioni medio-pleistoceniche. Scendendo verso la costa, le *facies* ghiaiose e ciottolose più franche della formazione di Ponte Galeria, evolvono in sabbie grossolane e ghiaietto, con una diminuzione della permeabilità relativa.

Nella zona topograficamente più elevata, proprio in corrispondenza dell'area di spartiacque, nei terreni più superficiali di natura sabbiosa, è presente una piccola falda discontinua, a ricarica zenitale,

talvolta effimera.

Nei settori costieri meridionali di Tor Paterno, Capocotta e Campo Ascolano, assente la formazione di Ponte Galeria, l'acquifero è costituito dalle formazioni sabbiose che poggiano direttamente sul basamento impermeabile, con una permeabilità più ridotta, ma uno spessore maggiore, fino al già citato motivo tettonico nella zona del Fosso di Pratica (BUCCI & GRILLINI, 2001).

Verso W, sui terreni pleistocenici, poggia il corpo deltizio del Tevere con le sue formazioni sedimentarie eterogenee, cosicché, dove si hanno *facies* fluviali sabbiose da fini a grossolane, anche con lenti di ghiaia, la falda principale prosegue con continuità verticale e laterale, con una permeabilità variabile. Dove invece sono presenti *facies* pelitiche di laguna costiera con torbe e sabbie fini, la falda risulta confinata nelle formazioni permeabili pleistoceniche più profonde, mentre i terreni più superficiali, costituiti da limi alluvionali recenti con permeabilità bassa o molto bassa, sono soggetti a fenomeni di impaludamento, manifesti nelle aree topograficamente depresse del vecchio stagno ostiense.

Nei settori di Pianabella e Castel Fusano, subito a valle delle zone depresse, i terreni deltizi in *facies* pelitiche di laguna si chiudono passando superiormente e lateralmente a *facies* francamente sab-

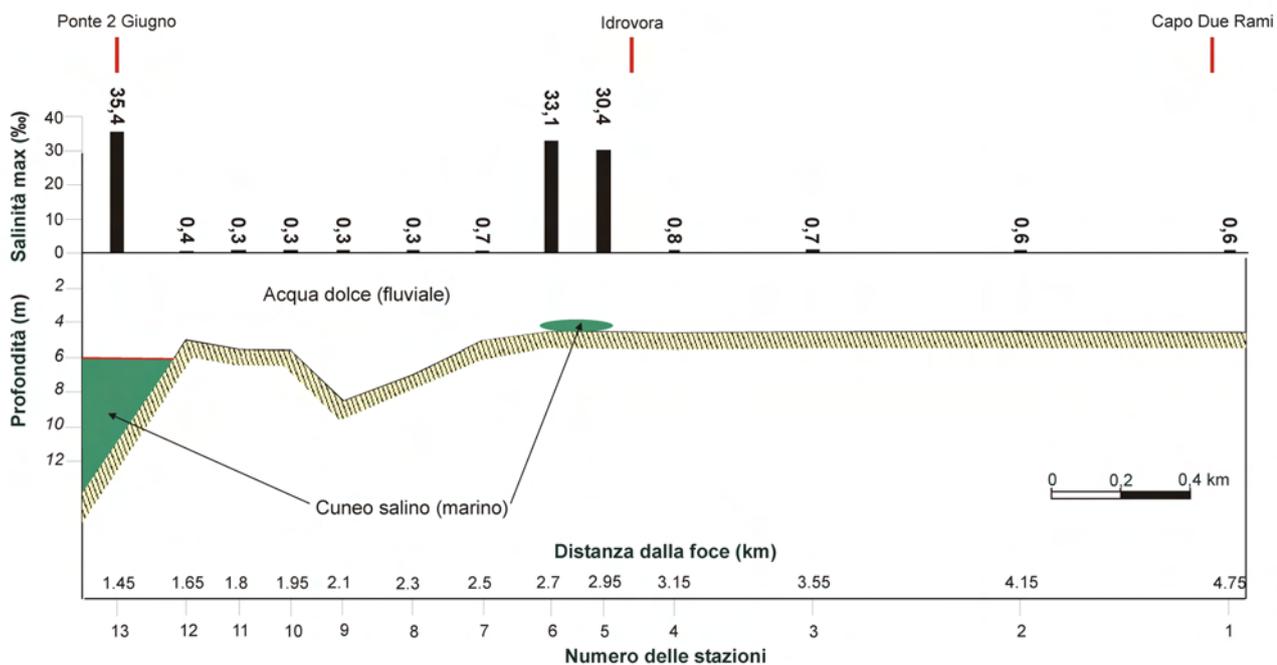


Fig. 19 - Profilo schematico del cuneo salino e della batimetria lungo l'asse mediano del Canale Fiumicino, (2005).
- Schematic section of salt water wedge and bathymetry along the median axis of the Canale Fiumicino canal (2005).



biose di barra costiera e di duna recente e attuale; qui è presente un acquifero superficiale libero, di media permeabilità, con ricarica prevalentemente zenitale e subordinatamente laterale da monte.

Nei settori costieri occidentali, infine, l'acquifero principale ospitato dal complesso delle sabbie e ghiaie pleistoceniche, rimane confinato a profondità di circa 40 m ed è ricaricato lateralmente dalle acque provenienti dalle alluvioni del Tevere e dalla formazione ghiaioso-sabbiosa di Ponte Galeria; al di sopra si riconosce un livello a permeabilità molto bassa, dello spessore di circa 15-20 metri, costituito dalle peliti marine in *facies* di piattaforma che svolgono la funzione di *aquitard*. La serie di acquiferi chiude con un corpo superficiale a falda libera, costituito dal complesso delle sabbie dunari e di barriera costiera, con uno spessore indicativo

di 15-20 metri, caratterizzato da una permeabilità da media a medio-bassa, con ricarica prevalentemente zenitale.

Per definire l'andamento piezometrico dell'area in esame, nel 2004 è stato condotto un rilevamento di punti d'acqua nell'area compresa tra la costa, la Tenuta di Castel Porziano, la collina di Acilia e il canale tiberino di Fiumara Grande, raccogliendo, su circa 120 punti d'acqua tra pozzi, piezometri, punte filtranti ed una sorgente, informazioni riferite anche a conducibilità elettrica specifica, temperatura e pH delle acque sotterranee. I dati misurati sono stati integrati con quelli rilevati dall'ENEA per l'Accademia Nazionale delle Scienze all'interno della Tenuta Presidenziale di Castel Porziano.

Di ciascuno dei punti di misura è stata definita l'ubicazione geografica mediante sistema GPS.

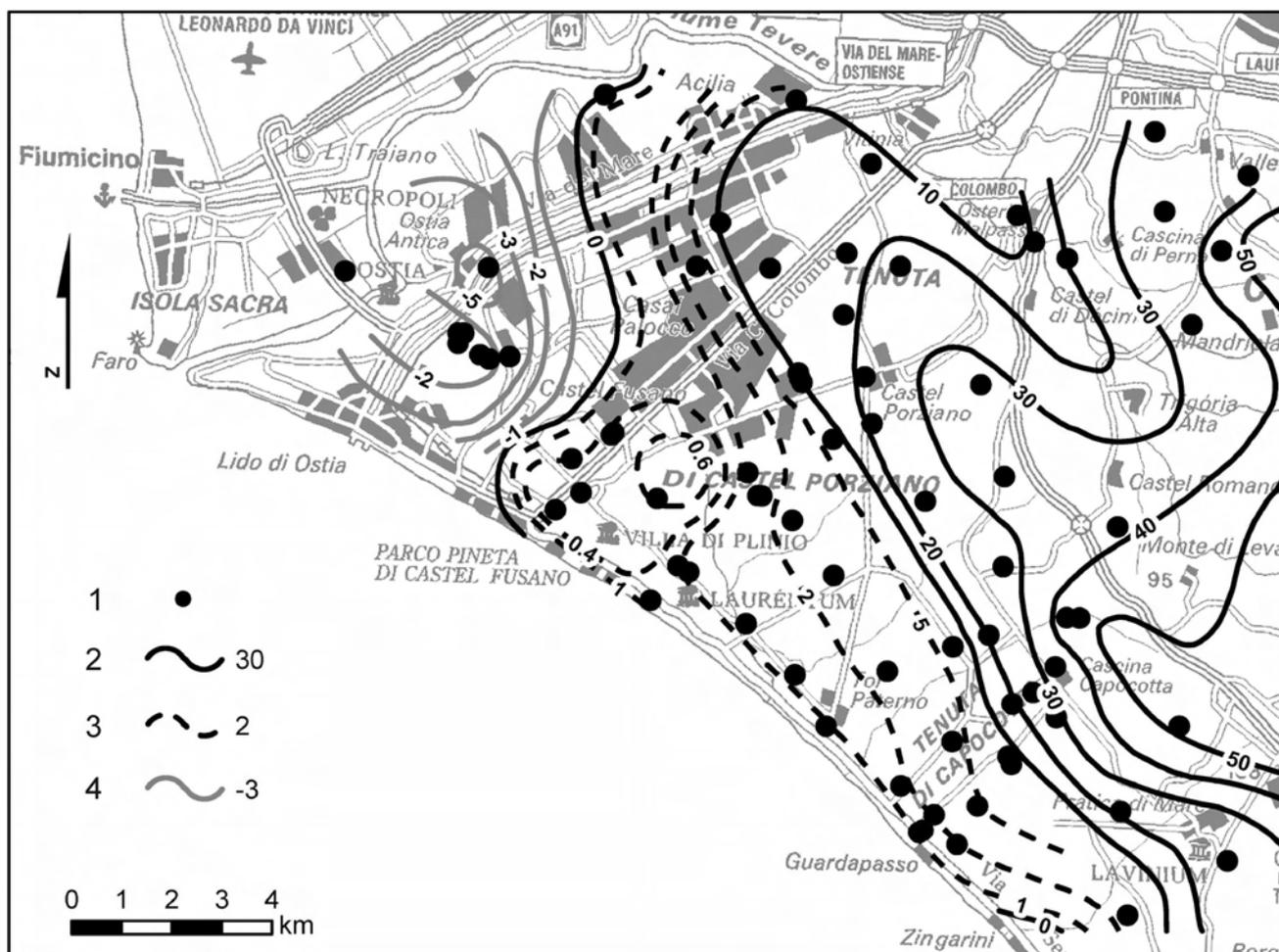


Fig. 20 - Carta delle linee isofreatiche del settore romano del Delta del Fiume Tevere (2004). Legenda: 1 - pozzo rilevato; 2 - isopiezometriche con quote di riferimento in m s.l.m. con equidistanza 10 metri; 3 - isopiezometriche con quote di riferimento in m s.l.m. con valori inferiori a 10 m s.l.m.; 4 - isopiezometriche con valori al di sotto del livello del mare (CAPELLI *et alii*, 2007).

- Isophreatic map of the Roman sector of the Tiber river delta (2004). Legend: 1 - monitored well; 2 - isopiezometric lines with reference elevations (in m above sea level), equidistance 10 m; 3 - isopiezometric lines with reference elevations (in m above sea level) below 10 m above sea level; 4 - isopiezometric lines with reference elevations below sea level (CAPELLI *et alii*, 2007).

Tutti questi dati sono stati raccolti in un database, validati, e trasferiti su cartografia digitale georeferenziata, al fine di elaborare una cartografia idrogeologica di sintesi.

Carta delle linee isofreatiche

La "Carta delle isofreatiche" (fig. 20) del settore romano del delta (CAPELLI & MAZZA, 2005) mostra come, per estese aree, i livelli di saturazione degli acquiferi stazionino sotto il livello marino. Solo in corrispondenza della duna di Castel Fusano i valori piezometrici sono positivi e raggiungono al top 0,7 m s.l.m. (Villa di Plinio). Tale fatto è possibile poiché in corrispondenza della foresta il corpo dunare non è stato spianato per necessità urbanistiche e gli emungimenti sono praticamente inesistenti. I minimi livelli (fino al valore di -5 m s.l.m.) sono stati registrati a "Saline di Ostia-Riserva del

Pantano" e a "Casal Palocco". Del resto, essendo il piano campagna in molte di queste aree al di sotto del livello del mare, la situazione non può essere molto diversa. E' certo che gli emungimenti privati esasperano la situazione indotta dalla bonifica.

Dalla geometria delle isopieze si ricava che la falda principale defluisce dall'alto piezometrico di Acilia - Castel Porziano - Pomezia principalmente verso NW, ovvero verso la piana alluvionale del Tevere, e verso SW cioè verso la piana costiera.

La falda superficiale dei settori sud occidentali presenta un deflusso verso le aree topograficamente depresse, nelle quali essa è ribassata al di sotto del livello del mare mediante il sistema idraulico della bonifica.

La falda superficiale del complesso delle sabbie dunari e di barriera costiera presenta, infine, dei limiti di flusso verso l'entroterra, che ne vincolano

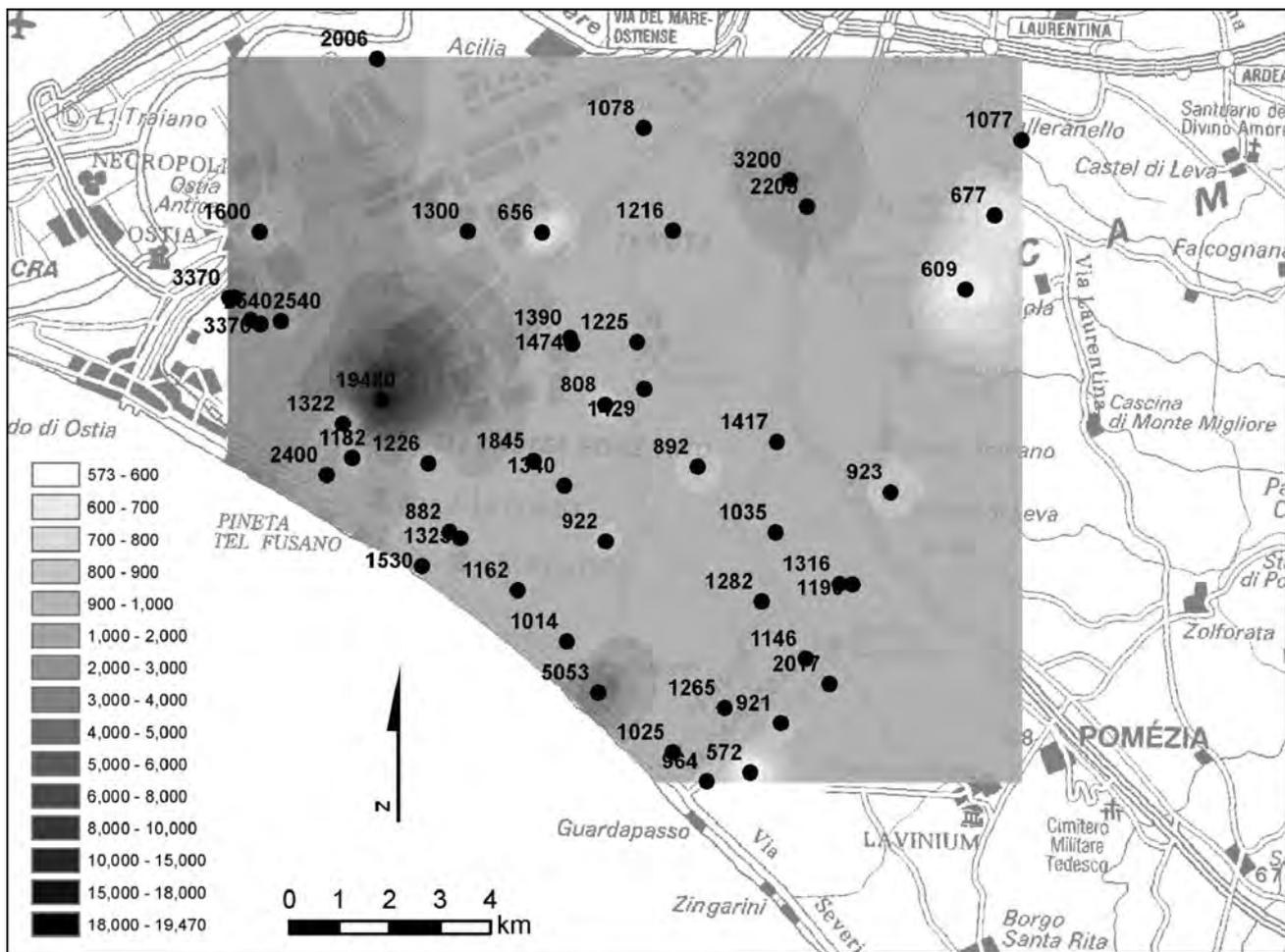


Fig. 21 - Carta della distribuzione dei valori di conducibilità elettrica delle acque sotterranee (2004). Il pallino indica il punto di rilevamento delle caratteristiche chimico-fisiche e il relativo valore di conducibilità in mS/cm (CAPELLI et alii, 2007).

- Map showing the distribution of electrical conductivity values of the investigated groundwater (2004). The dot identifies the point where physico-chemical characteristics and conductivity values in $\mu\text{S}/\text{cm}$ were determined (CAPELLI et alii, 2007).



l'idraulica sotterranea; anche per questo acquifero tali limiti sono rappresentati dai canali di bonifica che hanno il loro fondo al di sotto del livello del mare, cosicché questo acquifero può considerarsi come entità idraulica a sé stante.

Carte degli isovalori di conducibilità elettrica delle acque sotterranee

Di particolare interesse risultano i valori di conducibilità elettrica, perché ricalcano quelli di salinità. Le linee di eguale valore della conducibilità sono state definite sulla base di una maglia di molte decine di pozzi. Dall'esame della carta dei valori di conducibilità (fig. 21) appare evidente che i valori più elevati si riscontrano nella zona compresa tra la Fiumara Grande e l'area residenziale dell'Infernetto. Nei pressi di Ostia Antica sovente si rilevano valori superiori a 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con

punte di 6600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e un massimo di 19480 $\mu\text{S}/\text{cm}$. L'isolinea 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ si origina a ridosso del Tevere, a ovest di Acilia, traversa le aree urbane di Casal Palocco e dell'Infernetto, per poi collegarsi alla costa nei pressi della Villa di Plinio.

A fronte di tali risultati analitici si possono formulare le seguenti considerazioni:

a) i depositi salini residui legati alla presenza delle antiche saline interferiscono con la falda e, in relazione alle direttrici del deflusso sotterraneo, determinano un *plume* diretto da nord verso SE;

b) è probabile che le acque prelevate dal Fiume Tevere a valle di Capo Due Rami e immesse nella bonifica irrigua presentino valori di salinità relativamente elevati, a seguito della comprovata penetrazione salina nel tratto terminale del fiume;

c) il prelievo non controllato di acque dal sottosuolo determina un richiamo di acque ad elevata

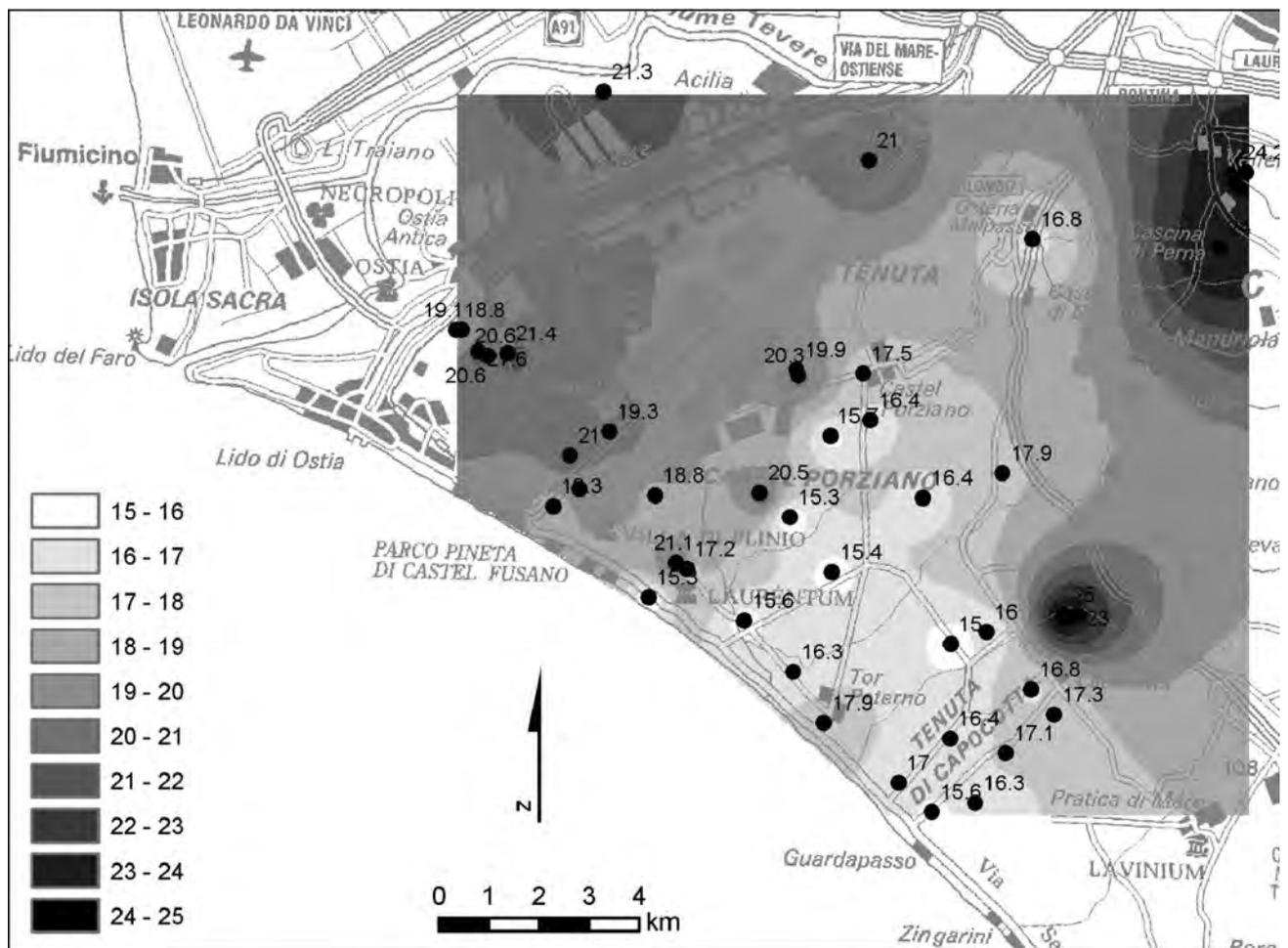


Fig. 22 - Carta della distribuzione dei valori di temperatura delle acque sotterranee (2004). Il pallino indica il punto di rilevamento delle caratteristiche chimico-fisiche e il relativo valore di temperatura in $^{\circ}\text{C}$ (CAPELLI *et alii*, 2007).

- Map showing the distribution of temperature values of the investigated groundwater (2004). The dot identifies the point where physico-chemical characteristics and temperature values in $^{\circ}\text{C}$ were determined (CAPELLI *et alii*, 2007).

salinità dal mare e dal reticolo idrografico principale (aste terminali del Tevere e del Canale dello Stagno). Tale flusso si incanala nei corpi sedimentari più grossolani che risultano per lo più semi-confinati da argille e terre organiche.

La presenza di pozzi con acque fortemente saline a poca distanza di altri caratterizzati da anomalie meno esasperate, richiederebbe studi di approfondimento specifici.

Nella Valle del Fosso di Decima-Malafede sono state rilevate conducibilità più alte della media definita sui Colli Albani; esse, infatti, rimangono comprese tra i 600 ed i 1300 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Al margine orientale della Tenuta di Castel Porziano è presente, dal Tevere a Pratica di Mare, l'isoconduttiva 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. In relazione a specifici studi condotti per la gestione della risorsa idrica nell'area albana (CAPELLI *et alii*, 2005), risulterebbe che la distribuzione dei valori di conducibilità nella Valle di

Malafede dipende dalla risalita di fluidi endogeni prevalentemente gassosi. Tutta la valle è interessata da fenomeni di emergenza di acque minerali e termominerali, con un regime di portata e di concentrazione salina e gassosa assai variabile.

Dai rilievi eseguiti nel tratto terminale della Fiumara Grande risulta che la profondità dell'alveo, risalendo dalla costa per almeno 10 Km, supera i 13 m e mantiene un valore medio di ca. 8 m. In questo segmento d'alveo le acque dolci continentali sovrascorrono quelle marine, definendo un netto cuneo salino nella zona della foce.

I valori di salinità a fondo alveo si attestano sui 36 g/l. Questa circostanza giustifica la penetrazione salina che è messa in evidenza dalla carta delle isoconduttive e delle isopiezometriche. Ciò rende necessaria la realizzazione di una rete di punti di monitoraggio anche a ridosso del Fiume Tevere.

Piezometro	Profondità Piezometro (m)	Quota boccapozzo (m s.l.m.)	Q. liv. statico (m s.l.m.) 04/2005	Q. liv. statico (m s.l.m.) 10/2005	Q. liv. statico (m s.l.m.) 01/2006	Escursione falda (m) da 04/2005 a 10/2005	Escursione falda (m) da 10/2005 a 01/2006	Escursione falda (m) da 04/2005 a 01/2006
A 1	7.8	3.4	1.2	1.46	1.87	+0.26	+0.41	+0.67
B1	9.2	4.24	1.39	1.22	1.96	-0.17	+0.74	+0.57
D1	8.0	4.02	0.92	1.24	1.86	+0.32	+0.62	+0.94
V	6.8	4.02	0.52	0.42	0.62	-0.10	+0.2	+0.10
1	8.4	2.65	1.36	1.58	2.0	+0.22	+0.42	+0.64
2		4.42	0.87 (Agosto)	0.62	-0.18	-0.25	-0.80	-1.12
3	8.3	4.42	1.22	0.9	1.64	-0.32	+0.74	+0.42
4	8.5	3.67	0.75	0.47	1.15	-0.28	+0.67	+0.40
5		4.39	-0.24	0.03	-0.76	+0.27	-0.79	-0.52
6	8.5	4.33	1.25	1.13	1.63	-0.12	+0.50	+0.38
8	8.5	3.84	1.49	1.24	1.99	-0.25	+0.75	+0.50
9	8.2	4.51	1.51	1.04	1.86	-0.45	+0.82	+0.35
10	7.6	4.67	1.7	1.28	2.09	-0.42	+0.81	+0.39
11	8.0	2.41	1.29	1.31	2.01	+0.02	+0.7	+0.72
12	8.2	3.59	0.66	0.32	1.11	-0.34	+0.79	+0.45
13	8.3	3.67	1.42	0.77	1.57	-0.35	+0.8	+0.15
14	8.3	2.65	1.03	0.70	1.4	-0.33	+0.7	+0.37

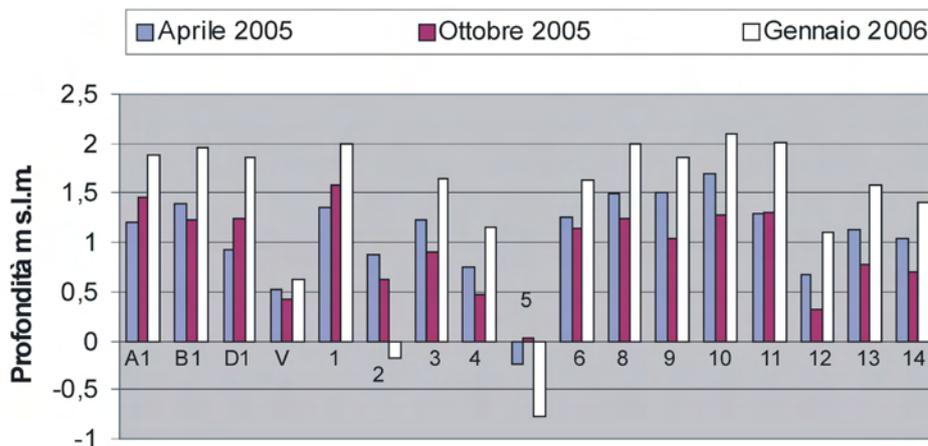


Fig. 23 - Tabella e grafico riassuntivi degli andamenti dei valori freaticometrici relativi all'acquifero superficiale nel periodo aprile 2005 - gennaio 2006.
- Table and graph summarising the phreatometric values of the shallow aquifer in the period from April 2005 to January 2006.



Carte degli isovalori di temperatura delle acque sotterranee

La distribuzione delle temperature delle acque di falda (fig. 22) mette in evidenza due anomalie principali: la prima, verso valori alti, è localizzata nel bacino idrografico del Fosso di Malafede; la seconda, verso valori bassi, ricalca l'andamento delle aree forestali di Castel Fusano e Castel Porziano.

La prima anomalia che presenta isoterme comprese tra 20-25 °C, ubicata tra Casale di Perna e Valleranello, è da imputare a risalite di acque termali provenienti dal sottosuolo, associate a emissioni di gas. Tali fenomeni non sono tuttavia costanti nel tempo; si sono infatti avute, nel corso dei ripetuti rilevamenti effettuati, importanti oscillazioni delle temperature.

La seconda anomalia che presenta valori compresi tra 15,3 e 17,3 °C, interessa la parte non urbanizzata del settore romano del Delta del Tevere. I valori tendono a crescere nelle aree più densamente urbanizzate o in quelle industrializzate; i più elevati sono stati riscontrati in corrispondenza delle zone residenziali di Dragona e AXA, dove è più consistente la densità dei prelievi. Nelle zone meno antropizzate la temperatura delle acque sotterranee rispecchia invece i valori della temperatura media annua dell'atmosfera.

3 - MONITORAGGIO DEGLI ACQUIFERI PRESENTI NELL'AREA DELLA PINETA DI CASTEL FUSANO

Nell'ambito di una collaborazione tra il Dipartimento Ambiente del Comune di Roma ed il Laboratorio di Idrogeologia di Roma Tre (2002-2003) è stata realizzata una rete di monitoraggio degli acquiferi, superficiale e profondo, presenti nel corpo deltizio, all'interno della Pineta di Castel Fusano. Il monitoraggio è stato pianificato attuando, relativamente al periodo aprile 2005 e gennaio 2006, osservazioni dirette, con cadenza fissa stagionale in tutti i fori e registrazioni strumentali nei piezometri Pz 2, Pz 5 e Pz A. Quest'ultimo, in particolare, è stato attrezzato con un Insider che permette di rilevare livello piezometrico, temperatura e conducibilità elettrica delle acque sotterranee. Nella tabella di figura 23 sono stati riassunti tutti i dati rilevati nei piezometri superficiali. Il grafico della medesima figura illustra l'andamento stagionale dei livelli. Il comportamento del piezometro

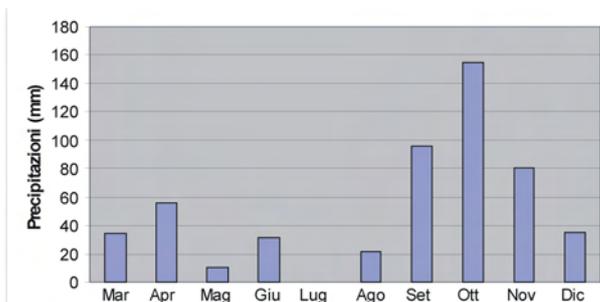


Fig. 24 - Andamento dei valori di precipitazioni mensili rilevati alla stazione meteo Ostia (quota 3 m s.l.m.).

- Monthly precipitation values measured at the Ostia weather station (elevation 3 m above sea level).

Piezometro	Quota boccapozzo (m s.l.m.)	Q liv. statico (m s.l.m.) 04/2005	Q liv. statico (m s.l.m.) 10/2005	Q liv. statico (m s.l.m.) 01/2006	Escursione falda (m) da 04/2005 a 10/2005	Escursione falda (m) da 10/2005 a 01/2006	Escursione falda (m) da 04/2005 a 01/2006
A	3.41	0.67 (Agosto)	0.06	-1.69	-0.61 (Agosto-Ottobre)	-1.63	-2.3
B	4.25	1.38	1.23	1.95	-0.15	+0.72	+0.57
C	3.79	0.95	0.69	1.11	-0.26	+0.42	+0.16
D	4.02	-0.13	0.52	0.62	+0.65	+0.10	+0.75
E	4.05	0.57	0.42	0.88	-0.15	+0.46	+0.31

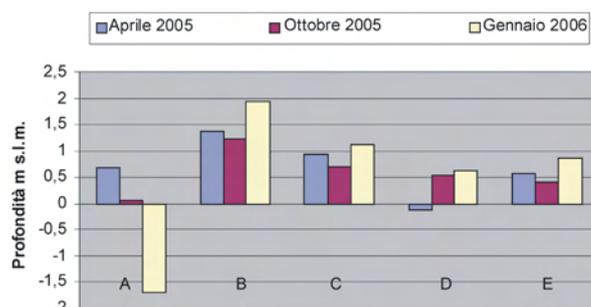


Fig. 25 - Tabella e grafico riassuntivi degli andamenti dei valori freaticometrici relativi all'acquifero profondo nel periodo aprile 2005 - gennaio 2006.

- Table and graph summarising the phreatic values of the deep aquifer in the period from April 2005 to January 2006.

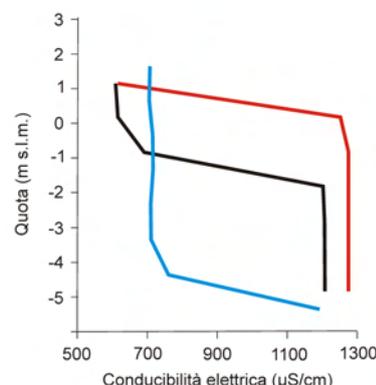


Fig. 26 - Andamento dei valori di conducibilità elettrica rilevati al piezometro 1 (Castel Fusano) nel periodo aprile 2005 - gennaio 2006. In rosso sono indicati i valori dell'aprile 2005; in blu i valori del gennaio 2006.

- Electrical conductivity values determined at piezometer 1 (Castel Fusano) from April 2005 to January 2006. The values of April 2005 are highlighted in red, those of October 2005 in black and those of January 2006 in blue.

Pz 5 appare del tutto singolare e si discosta dagli altri. In linea di massima si può osservare che la quota del livello freatico, espressa in m s.l.m. è maggiore nel mese di gennaio 2006 e subisce un abbassamento nell'ottobre 2005; questa circostanza ben si correla con l'andamento delle precipitazioni riportato in figura 24.

La falda profonda viene indagata per mezzo di 5 piezometri: A, B, C, D ed E. I risultati dei rilievi sono riassunti con una tabella e un grafico nella figura 25. Si osserva che in tutti i piezometri si registra un abbassamento della falda profonda ad ecce-

zione del Pz D, dove invece si ha un incremento di 0,65 m. L'abbassamento maggiore si osserva nel Pz A, con 0,61 m.

Nell'ambito dello studio per ogni piezometro sono stati costruiti dei *log* in cui sono riportati i valori della conducibilità elettrica, letta con andamento metrico. A titolo di esempio viene riportato il diagramma relativo al Pz 1 (fig. 26). Le misure effettuate nei piezometri intestati nella falda superficiale indicano che nella maggior parte dei casi esiste una relazione tra precipitazioni atmosferiche e conducibilità elettrica. Nei mesi con precipitazioni abbondanti si registra una diluizione della salinità e quindi un decremento dei valori di conducibilità nei primi metri della falda superficiale, mentre nei mesi con poche precipitazioni i valori registrati risultano essere più alti. In alcuni casi la conducibilità aumenta con la profondità, infatti si denota una convergenza dei valori misurati nei mesi di aprile 2005, ottobre 2005 e gennaio 2006, verso un valore unico (fig. 27).

Le caratteristiche chimico-fisiche della falda profonda sono diverse rispetto a quelle superficiali. Vengono descritti i casi relativi ad alcuni piezometri attrezzati con una sonda fissa MDS Insider SEBA, che registrano i valori di livello, conducibilità elettrica e temperatura. In relazione al piezometro A e alla figura 28 si può osservare che la conducibilità è aumentata dal 3 agosto 2005 al 1 febbraio 2006. Il grafico presenta 6 picchi principali con curve di concentrazione molto più acclivi di quelle di esaurimento.

Nel grafico di figura 29, relativo al piezometro

Piezometri	Conducibilità $\mu\text{S}/\text{cm}$		
	Aprile 2005	Ottobre 2005	Gennaio 2006
1	615	609	706
3	1977	1750	2060
4	1131	1004	1150
6	1104	1134	1135
8	671	619	624
9	1238	1324	1089
10	764	749	752
11	614	781	647
12	626	645	703
13	1429	1410	1448
14	2120	2150	2340
A1	1053	1034	927
B1	702	791	806
D1	580	584	711
V	1228	780	648

Fig. 27 - Tabella dei valori di conducibilità elettrica misurati nei piezometri a -1 m dalla superficie piezometrica.

- Electrical conductivity values measured by piezometers located at -1 m from the piezometric surface.

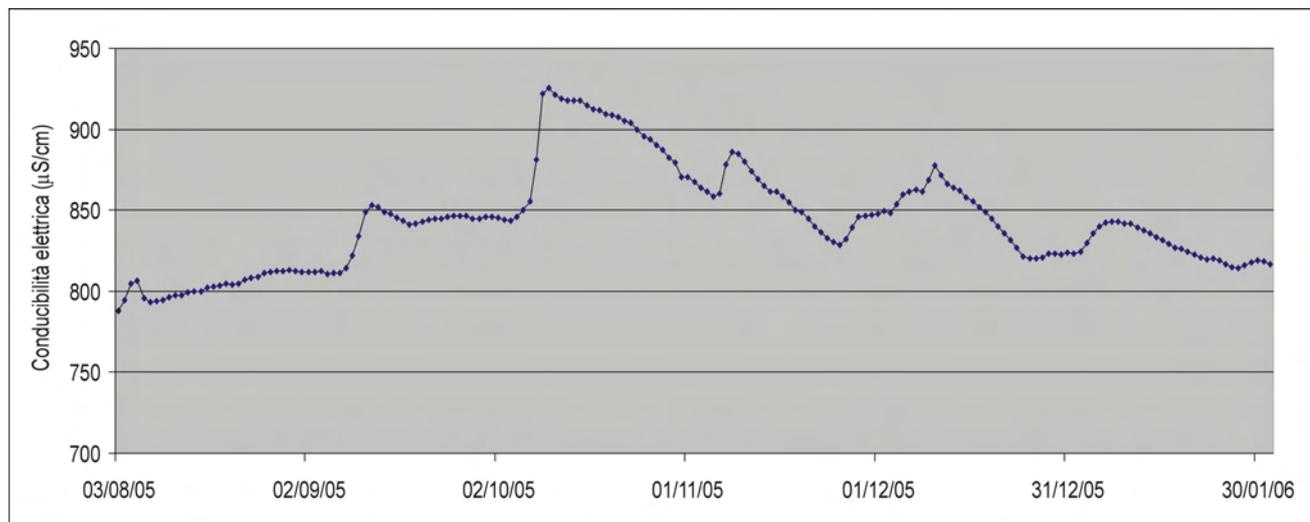


Fig. 28 - Andamento della conducibilità elettrica giornaliera rilevata nel piezometro A (Castel Fusano) nel periodo agosto 2005 - gennaio 2006.

- Daily conductivity measured at piezometer A (Castel Fusano) from August 2005 to January 2006.



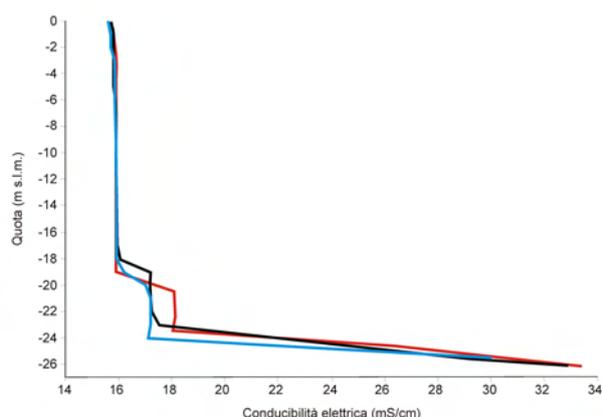


Fig. 29 - Andamento dei valori di conducibilità elettrica rilevati al piezometro D (Castel Fusano) nel periodo aprile 2005 - gennaio 2006. In rosso sono indicati i valori dell'aprile 2005; in nero i valori dell'ottobre 2005; in blu i valori del gennaio 2006.

- Electrical conductivity values determined at piezometer D (Castel Fusano) from April 2005 to January 2006. The values of April 2005 are highlighted in red, those of October 2005 in black and those of January 2006 in blue.

D, si può osservare che la conducibilità misurata in aprile a quota -0,48 m s.l.m. raggiunge un valore di $15.660 \mu\text{S}/\text{cm}$. Essa aumenta gradualmente fino a $15.900 \mu\text{S}/\text{cm}$ alla profondità di -19,48 m s.l.m.; in seguito i valori salgono bruscamente raggiungendo $18.080 \mu\text{S}/\text{cm}$ in corrispondenza di -23,48 m s.l.m. Il valore massimo, $33.400 \mu\text{S}/\text{cm}$, viene rilevato alla profondità di -25,9 m s.l.m. In definitiva la relazione tra profondità e conducibilità elettrica nella falda profonda indica che, in linea generale, i valori di conducibilità tendono a mantenersi costanti con l'aumentare della profondità. Fa eccezione il

Pz D nel quale si osserva un brusco aumento a fondo foro. Inoltre si osserva che i valori misurati nei diversi mesi, relativamente agli stessi piezometri, non sono molto differenti tra loro (fig. 30).

4 - CONSIDERAZIONI FINALI

La carta piezometrica, coerentemente alle quote negative del suolo, indica come il tetto della zona satura rimanga al di sotto del livello del mare in gran parte del territorio deltizio. Solamente in corrispondenza del settore meridionale della Pineta di Castel Fusano le quote delle isofreatiche sono positive, arrivando al *top* di 0,7 m s.l.m. La massima depressione si riscontra poco a sud di Ostia Antica, con valori di che raggiungono -5 m s.l.m. Tali valori sono da attribuire all'incremento dei prelievi da pozzo connessi non tanto con le attività agricole, quanto alla crescente urbanizzazione. La salinità delle acque sotterranee è deducibile dalla carta degli isovalori di conducibilità elettrica, nella quale generalmente prevalgono i valori superiori ai $1.000 \mu\text{S}/\text{cm}$, ma assai frequenti sono quelli compresi tra 2.000 e $3.000 \mu\text{S}/\text{cm}$, soprattutto nel settore compreso tra la linea ferroviaria e l'alveo del Tevere. I massimi raggiungono invece ordini di grandezza prossimi ai $20.000 \mu\text{S}/\text{cm}$. Le salinità nel reticolo di bonifica, pur presentando valori molto variabili, raggiungono nei canali delle acque basse punte prossime ai $12.000 \mu\text{S}/\text{cm}$. Al fondo del Tevere (fino a Capo Due Rami) sono state rilevate acque con una salinità pari al 36 g/l e non molto dissimile è la situazione al fondo Canale dello Stagno.

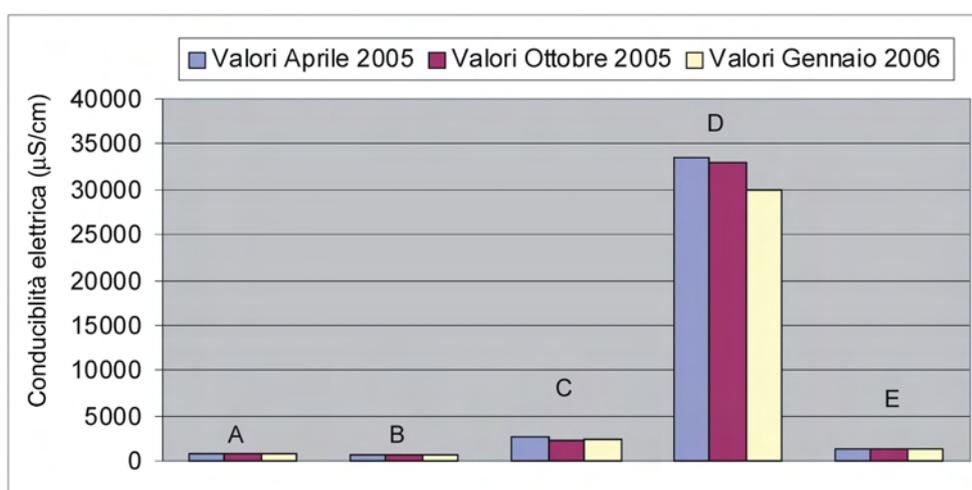


Fig. 30 - Confronto dei valori di conducibilità elettrica rilevati nei piezometri impostati nella falda profonda nelle tre campagne di misura.
- Comparison of electrical conductivity values measured by piezometers located in the deep aquifer in the three monitoring surveys.

Il monitoraggio dei parametri idrogeologici e chimico fisici nell'acquifero superficiale nell'area della pineta, ha evidenziato che, salvo alcune eccezioni, la quota del livello freatico segue con un breve ritardo l'andamento stagionale delle precipitazioni. Una situazione del tutto analoga si registra anche per la falda profonda. Alcune eccezioni sono dovute al comportamento dei piezometri Pz D e Pz A. Nel primo si osserva un innalzamento del livello freatico di 0,65 cm nell'ottobre 2005, in controtendenza rispetto agli altri. Ciò è spiegabile con l'interruzione e riduzione del pompaggio da parte del Servizio Giardini che nell'area gestisce alcuni punti di prelievo. Nel Pz A, invece, permane sempre la tendenza all'abbassamento.

I rilievi effettuati nei piezometri intestati nella

falda superficiale indicano che nella maggioranza dei casi esiste una relazione tra precipitazioni e conducibilità elettrica, con diluizione della salinità nei primi metri di falda, in corrispondenza delle fasi piovose. Nella maggioranza dei casi la conducibilità elettrica aumenta con la profondità e spesso si nota una convergenza verso un valore comune riscontrabile ad una definita profondità.

I risultati di questo studio delineano una preoccupante situazione non conosciuta sino ad oggi. A fronte di questa realtà si rende necessario intervenire con misure di salvaguardia, ma occorre anche istituire urgentemente un sistema di monitoraggio sia delle acque sotterranee che del reticolo superficiale, da realizzare con approccio scientifico ed esteso all'intero corpo del delta.

BIBLIOGRAFIA

- AA. VV. (1983) - *L'esperimento Tevere. Influenza di un fiume sull'ecosistema marino prospiciente la sua foce*. C.N.R. - Quaderni I.R.S.A., 66, Roma.
- ALBERTI A., DRAGONE F., MANFREDINI M. & SEGRE A.G. (1967) - *Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000, F° 150 'Roma'*. Serv. Geol. d'It., Roma.
- ANSELMI B., BLASI L., BRANDIMARTE U., BRONDI M., BUCCI M., CAPRIOLI R., CAUTILI F., COLLEPICCOLO R., CROVATO C., FARNETI G., GHIARA E., GIROLIMETTI G., GRILLINI M., MILLI M. & VINCENZI D. (1995) - *Monitoraggio idrogeologico - Studi idrogeologici e monitoraggio delle falde*. In "Progetto di Monitoraggio ambientale della Tenuta di Castelporziano", Creazione di un Sistema Informativo Territoriale Ambientale Castelporziano (SITAC), II Seminario Tenuta di Castelporziano, 12 maggio 1995, p. 98-110.
- BELLOTTI P., BIAGI P.F., TORTORA P. & VALERI P. (1987) - *Il Delta del Tevere: caratteri morfologici e sedimentologici della piana deltizia*. *Giornale di Geologia*, 49, p. 89-99.
- BELLOTTI P., CARBONI M.G., MILLI S., TORTORA P. & VALERI P. (1989) - *La piana deltizia del Tevere: analisi di facies ed ipotesi evolutive dall'ultimo low stand glaciale all'attuale*. *Giornale di Geologia*, ser. 3^a, vol. 51 (1), p. 71-91.
- BELLOTTI P., MILLI S., TORTORA P. & VALERI P. (1995) - *Physical stratigraphy and sedimentology of the Late Pleistocene-Holocene Tiber Delta depositional sequence*. *Sedimentology*, 42, p. 617-634.
- BUCCI M. & GRILLINI M. (2001) - *Studi geologici, geomorfologici e*

- idrogeologici nella Tenuta Presidenziale di Castel Porziano (Roma)*. *Geologia Tecnica e Ambientale*, Anno IX, 4, p. 21-32.
- CAPELLI G. & MAZZA R. (2005) - *Schema idrogeologico della Città di Roma. Gestione della risorsa idrica e del rischio idrogeologico*. In: *Atti del Convegno "la IV Dimensione - Lo spazio sotterraneo di Roma"* *Geologia dell'Ambiente - periodico trimestrale della SIGEA (Società Italiana di Geologia Ambientale)*, anno XIII n° 4 (supplemento), Roma, p. 47-58.
- CAPELLI G., MAZZA R. & GAZZETTI C. (A CURA DI) (2005) - *Strumenti e strategie per la tutela e l'uso compatibile della risorsa idrica nel Lazio - Gli acquiferi vulcanici*. *Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale*, 78, Pitagora Editrice, 216 pp., 4 tavv. f.t., 21 tavv. f.t. su CD-ROM allegato.
- CAPELLI G., MAZZA R. & PAPICCIO C. (2007) - *Intrusione salina nel Delta del Fiume Tevere. Geologia, idrologia e idrogeologia del settore romano della piana costiera*. *Giornale di Geologia Applicata*, 5, p. 13-28.
- GIORDANO G., ESPOSITO A., DE RITA D., FABBRI M., MAZZINI I., TRIGARI A., ROSA C. & FUNICIELLO R. (2003) - *The sedimentation along the roman coast between middle and upper Pleistocene: the interplay of eustatism, tectonics and volcanism - new data and review*. *Il Quaternario Italian Journal of Quaternary Sciences*, 16 (1bis), p. 121-129.
- MALATESTA A. & ZARLENGA F. (1986) - *Evoluzione paleo-geografico-strutturale plio-pleistocenica del basso bacino romano a Nord e Sud del Tevere*. *Mem. Soc. Geol. It.*, 35, p. 75-85.
- MIKHAILOVA M.V., BELLOTTI P., VALERI P. & TORTORA P. (1999) - *Intrusion of Seawater into the River Part of the Tiber Mouth*. *Water Resources*, 26 (6), p. 679-686.

