Intrusione salina nel Delta del Fiume Tevere. Geologia, idrologia e idrogeologia del settore romano della piana costiera

Giuseppe Capelli, Roberto Mazza & Claudio Papiccio

Dipartimento di Scienze Geologiche – Università degli Studi "Roma Tre" capelli@uniroma3.it, mazza@uniroma3.it

Saline intrusion in the Tiber Delta. Geology, hydrology and hydrogeology of the coastal plain of the roman sector

ABSTRACT: The purpose of this project was to define the hydrogeological scheme of the Tiber delta by means of the reconstruction of the sedimentary bodies to identify aquifers and *aquiclude*. The hydrogeological complexes of delta are overlain on plio-pleistocenic deposits from which depend the morphology and geometry, affecting recharge and flow distributions and the relationships with the neighbouring hydrogeological units. For the hydrological investigations 120 wells have been considered to observe the water level, and electrical conductivity, temperature and ph were detected in the sites. Beside, given the presence of surface hydrology, channels and water-scooping machine systems, in a network of points a detailed topographic survey, and a physico-chemical study of the waters, was carried out. The objective of the fieldwork was to map the properties of the groundwater (and non groundwater): the resulting thematic maps, water-table contours map, electrical conductivity contours map, temperature contours map, can be interpreted to observe the level of groundwater-surface and the salinity of the waters, that can be inferred from the electrical conductivity. The results show a saline intrusion and a widespread contamination of the Tiber delta, that represents a very high risk to water management. A consistent and rigorous groundwater protection policy is needed to assess the groundwater vulnerability.

Key terms: hydrogeology, hydrology, Tiber Delta, saline intrusion, physico-chemical of the groundwater, water management.

Termini chiave: idrogeologia, idrologia, Delta del Fiume Tevere, intrusione salina, chimico-fisica dell'acqua sotterranea, gestione della risorsa idrica.

Riassunto

Con questo studio, finanziato dalle Autorità di Bacino del Fiume Tevere e dei Bacini Regionali del Lazio e patrocinato dall'Accademia Nazionale delle Scienze, viene colmata 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 pliopleistocenico 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 (Albana, Ponte Galeria, depositi alluvionali Tiberini). 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 di 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.

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

Geologia

Inquadramento geomorfologico

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

La piana deltizia si estende per circa 35 km ed occupa la parte mediana del settore costiero della Regione Lazio; essa 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 al., 1987).



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.

Fig. 1 – Map of the main morphological elements on the Tiber delta plain (Bellotti at alii, 1989). Legend: a - recent alluvials; b - recent dune sediments; c- ancient alluvials; d - red sands (ancient dune); e - pleistocenic pyroclastic; f - travertine, g - clays, sandy clays, sands, gravel lenses with mollusca faune; h - gravels and polygenic sandy gravels; i - inner boundary of delta; l - ancient reclaimed ponds; m - fossil fluvial channels.

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 deltizia può essere divisa in due settori distinti, indicativamente definiti *piana deltizia superiore* e *piana deltizia inferiore* (Bellotti et al., 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 evidente erosione in prossimità delle foci. I terreni superficiali sono essenzialmente sabbiosi caratterizzati da sabbie quarzosofeldspatiche, 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 costa 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 dalle foci. Buona parte dei cordoni dunari è stata spianata dalla spinta urbanizzazione e dall'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.

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 Pliocene superiore, fenomeni di subsidenza del consentirono le 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 trasgressivoregressivo 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 albani. 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. Le successive fasi tirreniane sono più evidenti a sinistra del Tevere con sedimenti eolici della "Duna Rossa Antica". Pur essendo stato riconosciuto nel glacioeustatismo 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 sondaggi, 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 assi diverse tra loro.

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



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.

Fig. 2 – Location map of the monitoring points of the Parco di Castel Fusano area. Legend: 1-shallow piezometer, with code ; 2 – shallow and depth piezometers, with code.

Le informazioni stratigrafiche di tutti i sondaggi reperiti sono state validate, rese omogenee e confrontabili mediante la realizzazione di in 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 pliopleistocenici 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 analoga 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.



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; 3 – profili degli Autori; 4 – profili da letteratura.

Fig. 3 – Location of stratigraphic boreholes and cross-sections. Legend: 1- stratigraphic borehole; 2 - stratigraphic borehole in the Tenuta di Castel Porziano; 3 - cross-sections from the authors; 4 – cross-sections from bibliography.

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 sabbiosolimosa, 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 al., 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 tiberino.

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



Fig. 4 – Profilo geologico A-A'. 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 al., 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 al., 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 al., 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 al., 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 al., 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 al., 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 al., 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.

Fig. 4 – A-A' Geological cross-section. Legend: 1 - Heterometric grey-yellow sands, with gravel lenses. The thickness ranges till 20m. Represent fluvial deposits. (litofacies 1/a in Bellotti et al., 1989); 2 - Sandy pelites, frequently interbedded with bioclastic levels and vegetal reminders, in the lower part clayey silt and green clay, fossil-rich, are present. The highest thickness has not yet been defined. Represent a transition-platform complex (litofacies 3 in Bellotti et al., 1989); 3 - Grey or grey-blue pelites, interbedded with thin sandy levels, peat levels and sandy lenses. Thickness of some meters. Constitute an haff complex (litofacies 3 in Bellotti et al., 1989); 4 - Thin or medium thin grev-red sands, femic-rich, with vegetal remainders. Represent the existing dune bar. Thickness ranges from 3 m to 15 m (litofacies 4/a in Bellotti et al., 1989); 5 - Heterometric grey sandys, femic-rich, fossil-rich and vegetal remainders. Constitute a costal barrier. Thickness ranges from some meters to 10 m (litofacies 4/b in Bellotti et al., 1989); 6 - Grev-yellow pelites with thin gravels, drying structures, travertine concretions, altered volcanic deposits, peat and fossil levels (alluvial deposits latu sensu). Thickness of 7-8 meters (litofacies 2 in Bellotti et al., 1989); 7 - Bedded peats, black organic clays, black sands. Thickness ranges from some decimeters to some meters; 8 - Heterometric sands and brown-red silty sands, terraced. Thickness ranges from some meters to 20-25 m ("Duna Antica" auct.) Upper Pleistocene; 9 - Grey silty clays ("Formazione di Ponte Galeria" auct. p.p.) lower-middle Pleistocene; 10 -Incoherent gravels or in sandy-silty matrix, rarely heterometric sands or silty sands. Thickness ranges from some meters to 10 meters (Formazione di Ponte Galeria auct. P.p., litofacies 6 in Bellotti et al. 1989) lower-middle Pleistocene; 11 - Grey-blue clays and silty clays, interbedded with grey sandy silts. Upper Pliocene- Peistocene p.p.; 12 - Grey clays and marls. Pliocene (from Carta Geologica, F° 149 "Cerveteri", 1967); 13 - Surface of the shallow aquifer- year 2004; 14 - Surface of the shallow aquifer- year 2002; 15 - Geognostic borehole and database code.

Profilo B-B'

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

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.

Anche qui si riconosce il basamento comune costituito dalle argille limose plio-pleistoceniche, con al tetto lo strato



Fig. 5 – Profilo geologico B-B'. 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 al., 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 al., 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 al., 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 al., 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 al., 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.

Fig. 5 – B-B' Geological cross-section. Legend: 1 - Heterometric grey-yellow sands, with gravel lenses. The thickness ranges till 20m. Represent fluvial deposits. (litofacies 1/a in Bellotti et al. 1989); 2 - Grey or grey-blue pelites, interbedded with thin sandy levels, peat levels and sandy lenses. Thickness of some meters. Constitute an haff complex (litofacies 3 in Bellotti et al., 1989); 3 - Thin or medium thin gry-red sands, femic-rich, with vegetal remainders. Represent the existing dune bar. Thickness ranges from 3 m to 15 m (litofacies 4/a in Bellotti et al., 1989); 4 - Heterometric grey sandys, femic-rich, fossil-rich and vegetal remainders. Constitute a costal barrier. Thickness ranges from some meters to 10 m (litofacies 4/b in Bellotti et al., 1989); 5 - Bedded peats, black organic clays, black sands. Thickness ranges from some decimeters to some meters; 6 - Grey-yellow pelites with thin gravels, drying structures, travertine concretions, altered volcanic deposits, peat and fossil levels. Thickness of 7-8 meters (litofacies 2 in Bellotti et al., 1989); 7 - Brown-red sands and silty sands, terraced. Thickness ranges 5 meters to 20-25 m ("Duna Antica" auct.). Upper Pleistocene; 8 - Incoherent gravels or in sandy-silty matrix, rarely heterometric sands or silty sands. Thickness ranges from some meters to 8 m (Formazione di Ponte Galeria auct. Litofacies 6 in Bellotti et al., 1989) lower-middle Pleistocene; 9 - Grey-blue clays and silty clays, interbedded with grey sandy silts. Upper Pliocene- Peistocene p.p.; 10 - Surface of the shallow aquifer- year 2004; 11 - Surface of the shallow aquifer- year 2004; 11 - Surface of the shallow aquifer- year 2002; 12 - Geognostic borehole and database code.

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.

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.



Fig. 6 - Profilo geologico C-B. 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 al., 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 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 al., 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 al., 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 (litofacies2 in Bellotti et al., 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 al., 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. Fig. 6 – C-B Geological cross-section. Legend: 1 - Heterometric grey-yellow sands, with gravel lenses. The thickness ranges till 15 m. Represent fluvial deposits (litofacies 1/a in Bellotti et al., 1989); 2 - Grey or grey-blue pelites, interbedded with thin sandy levels, peat levels and sandy lenses. Thickness from some meters to 20 m. Constitute an haff complex (litofacies 3 in Bellotti et al., 1989); 3 - Thin or medium thin gry-red sands, femic-rich, with vegetal remainders. Represent the existing dune bar. Thickness ranges from 3 m to 15 m (litofacies 4/a in Bellotti et al., 1989); 4 - Heterometric grey sandys, femic-rich, fossil-rich and vegetal remainders. Constitute a costal barrier. Thickness ranges from some meters to 12 m (litofacies 4/b in Bellotti et al., 1989); 5 - Grey-yellow pelites with thin gravels, drying structures, travertine concretions, altered volcanic deposits, peat and fossil levels. Thickness of 7-8 meters. Represent alluvali deposits (litofacies 2 in Bellotti et al., 1989); 6 - Bedded peats, black organic clays, black sands. Thickness ranges from some decimeters to some meters; 7 - Incoherent gravels or in sandy-silty matrix, rarely heterometric sands or silty sands. Thickness ranges from some meters to 10 m (Formazione di Ponte Galeria auct. p.p., litofacies 6 in Bellotti et al., 1989) lower-middle Pleistocene; 8 - Grey-blue clays and silty clays, interbedded with grey sandy silts. Upper Pliocene- Peistocene p.p.; 9 - Clay and grey marly. 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 database code.

Su questa superficie poggia la successione sedimentaria olocenica, qui costituita da una preponderante presenza dei terreni sabbiosi da grossolani a fini, talvolta con lenti di ghiaie, di origine fluviale, deposti 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.

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



Fig. 7 – Profilo geologico D-D'. 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 tufacee massive e litoidi, di colore variabile dal giallo al caratteristico rosso fulvo, costituite da scorie grigiastre e pomici 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-pomicea, ricchi in litici sedimentari e lavici. Al tetto è presente una facies cineritico-pomicea con lapilli accrezionari. Nel complesso rappresentano più unità eruttive intervallate da fasi di quite 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 p.p.; 8 – Superficie della falda superficiale – anno 2004; 9 – Superficie della falda superficiale – anno 2002, 10 – Sondaggio geognostico e relativo codice database.

Fig. 7 – D-D' Geological cross-section. Legend: 1 - Brown-red sands and silty sands, terraced. Thickness ranges from 5 meters to 20-25 m ("Duna Antica" auct.). Upper Pleistocene – Present; 2 - Incoherent pozzolan-pyroclastic, clayey or cemented, composed by yellow, red or black scoria in red or grey scoria matrix. Thickness of 20-25 m ("Pozzolanelle" auct.) Pleistocene p.p.; 3 - Massive or lithic pyroclastics, yellow or red, composed by grey scoria and pumice in cinerite matrix. Thickness ranges from some meters to 15 m ("Tufo litoide" or "Tufo lionato" auct.). Pleistocene p.p.; 4 - Black pozzolan-pyroclastic, composed by black scoria. Thickness of 15 m ("Pozzolane nere" auct.). Pleistocene p.p.; 5 - Incoherent tuff, wirh cinerite matrix. Thickness ranges from some meters to 20 m ("Tufo pisolitico", "Tufi inferiori" auct.) Pleistocene p.p. (0,6 Ma); 6 - Incoherent gravels or in clayey-silty matrix, heterometric sands, silty sands. Thickness ranges from some meters to 20 m ("Formazione di Ponte Galeria" auct.) lower-middle Pleistocene; 7 - Grey-blue clays and silty clays 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 database code.

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.

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 pliopleistocenica Acilia-Castel Porziano-Pomezia con la piana costiera.



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

Fig. 8 – Schematic geological cross-section in the "Tenuta di Castel Porziano" (Anselmi et alii, 1995, modified). Legend: 1 - alluvium; 2 - sands; 3 - tuffite; 4 - sands and gravels; 5 - clays; 6 - stratigraphic borehole.

Nell'alto di Pomezia (zona industriale) è presente una successione stratigrafica simile a quella riconosciuta da studi precedenti (Fig. 8 – Anselmi et alii, 1995). In particolare si distinguono: argille limose pliopleistoceniche; 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, auct.); piroclastiti pozzolanacee prevalentemente incoerenti, talora argillificate o cementate (Pozzolanelle, 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.

Idrografia, idrologia e idrogeologia

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. 9 – Schema idraulico dei canali e degli impianti di sollevamento.

Fig. 9 – *Hydraulic scheme of channels and water-scooping machines.*

I colatori e i collettori delle acque basse, con la classica disposizione a spina di pesce, convogliano le acque presenti nelle zone poste sotto il livello del mare nei Collettori Primari (di Ponente e di Levante) fino alla vasca di arrivo posta nel punto più basso dell'area depressa, da dove vengono sollevate per mezzo di impianti idrovori e scaricate in mare attraverso una canalizzazione a deflusso naturale (Canale dello Stagno).

A sud del Fiume Tevere l'opera di bonifica presenta l'intersezione del Collettore Primario di Levante (acque basse) con il Fosso di Dragoncello (acque alte), che avviene mediante un sottopasso (Fig. 9).

Al posto delle antiche lagune, oggi appaiono ampie distese pianeggianti, in parte disposte a quota inferiore al livello marino (Fig. 10); esse sono solcate dai canali di bonifica che convogliano le acque agli impianti idrovori. Il Tevere attraversa la sua piana deltizia, dividendosi a Capo Due Rami, nei canali di Fiumara Grande e Fiumicino che costituisce il naturale proseguimento dell'antica "Fossa Traianea".



Fig. 10 - Carta delle aree al di sotto del livello del mare. Fig. 10 - Map of the areas below sea level.

Poco a sud del centro di Ostia, il Canale dello Stagno (o Canale dei Pescatori), antico emissario naturale dello Stagno di Ostia, è oggi arginato ed utilizzato come via di deflusso a mare dei canali di bonifica posti a sud della foce tiberina e adibito ad uso portuale.

Ai nostri giorni nella zona delle saline e in tutta la piana deltizia sono sorti numerosi ed estesi centri abitati (Maccarese, Fregene, Focene, Fiumicino, Ostia, Ostia Antica, Dragoncello, Dragona, Acilia, Casal Palocco, Infernetto, ecc.), nonché insediamenti residenziali e rurali.

Indagine sulle caratteristiche chimico-fisiche delle acque superficiali

Un ruolo fondamentale ha avuto l'indagine sulle caratteristiche chimico-fisiche delle acque superficiali del reticolo idrografico naturale e artificiale. E' stata quindi condotta, nel 2002, una campagna di misure relative alle caratteristiche chimico-fisiche delle acque nei canali della bonifica di Ostia (Fig. 11), allo scopo di raccogliere informazioni sulla comunicazione idraulica tra la falda e le acque superficiali ed investigare su fenomeni di intrusione dell'acqua marina all'interno dei canali che sfociano in mare.



Fig. 11 – Ubicazioni delle stazioni di misura delle caratteristiche chimico-fisiche delle acque dei canali della Bonifica di Ostia e numero di riferimento.

Fig. 11 – Location of the measuring stations of physico-chemical properties of the water channels (Bonifica di Ostia) and code.

Per verificare l'andamento plano-altimetrico dei corsi d'acqua, è stata condotta una campagna di livellazione di precisione, mediante geodimetro laser. Successivamente, con una sonda multiparametrica, in 59 stazioni scelte lungo i medesimi corsi d'acqua, sono state eseguite misure di temperatura, pH e conducibilità elettrica delle acque.

Per i rami terminali del Tevere e per il Canale dello Stagno, rilevati nel 2005, in ogni stazione di misura, sono state eseguite letture su più verticali lungo la sezione.

Relativamente a ogni canale considerato sono stati costruiti dei profili longitudinali schematici che riportano in sovrapposizione l'andamento dei parametri chimico-fisici.

Canali delle Acque Alte

(Canale Palocco, Fosso di Dragoncello, Canale della Lingua)

Sviluppano dei tracciati che si originano da quote relativamente elevate sulla piana deltizia (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 µS/cm. Solamente nell'alto corso del Fosso di Dragoncello i valori appaiono più elevati (da 1500 a 2500 µS/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 sudovest. 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 µS/cm; è facile quindi ipotizzare l'effetto dell'attività irrigua sulla salinità della falda superficile.



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.

Fig. 12 – Schematic cross-section of the bathymetry and conductivity values along the median axis of the Canale Ostiense until the water-scooping machine of Ostia Antica.

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.



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.

Fig. 13 – Schematic cross-section of the bathymetry and conductivity values along the median axis of the Collettore primario di Ponente – Canale di Bagnolo until the water-scooping machine of Ostia Antica.



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. Fig. 14 – Schematic cross-section of the bathymetry and conductivity values along the median axis of the Collettore primario di Levante until the confluence with the Collettore primario di Ponente.

A ridosso di Ostia Antica i valori di conducibilità elettrica specifica presentano variabilità da zona a zona,

collocandosi tra 1400 e 3400 μ S/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 μ S/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.

Canale dello Stagno

Il Canale dello Stagno (Fig. 15) 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. Nelle stazioni di misura usate per il monitoraggio delle sue acque, sono stati riscontrati elevatissimi valori di conducibilità elettrica specifica (fino a circa 50.000 µS/cm).



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.

Fig. 15 – Schematic cross-section of the bathymetry and conductivity values along the median axis of the Canale dello Stagno, from the mouth until the water-scooping machine of Ostia Antica.

Nella zona a valle dello scarico delle idrovore, le caratteristiche chimico-fisiche delle acque ritornano verso i valori propri delle acque dolci (valori inferiori a 4.000 μ S/cm). Sulle verticali delle sezioni di misura il trend di valori è in aumento dalla superficie al fondale. E' evidente,

quindi, la presenza di un fenomeno di intrusione dell'acqua marina all'interno dell'alveo del Canale dello Stagno, con inversione del flusso idrico nei periodi più secchi e in concomitanza delle alte maree e dei rialzi di tempesta. Il cuneo salino si spinge fino alla confluenza con il Fosso di Dragoncello e fino agli attigui impianti idrovori.

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. 16). 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. 16 – Profilo schematico del cuneo salino e della batimetria lungo l'asse mediano del Canale della Fiumara Grande, da Capo Due Rami alla foce.

Fig. 16 – Schematic cross-section of the saline intrusion and the bathymetry along the median axis of the Canale della Fiumara Grande, from Capo Due Rami to mounth.

E' di fondamentale importanza nella valutazione di questo fenomeno definire lo schema di comunicazione laterale e verticale delle acque superficiali canalizzate con quelle della falda sotterranea. Nel caso del Canale dello Stagno, ad esempio, è stato possibile eseguire misure nella falda superficiale per mezzo di alcuni piezometri di circa 10 m di profondità posti all'interno del 'Parco di Castel Fusano, a circa 500 m di distanza dal canale. I dati mostrano valori di conducibilità elettrica della falda superficiale pari a circa 900 μ S/cm.

Al momento non si hanno riscontri sull'entità di questi scambi e certamente l'argomento merita specifici approfondimenti.

Caratteristiche idrogeologiche

In riferimento all'assetto geologico-stratigrafico dell'area in esame, sono stati individuati numerosi complessi acquiferi, ospitanti falde libere o semiconfinate, 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 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 pliopleistoceniche. 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 e 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 sabbiose 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.

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.

Relativamente a tutti i parametri rilevati sono state realizzate specifiche carte tematiche (Figg. 17, 18 e 19).

Carta delle linee isofreatiche

La "Carta delle isofreatiche" (Fig. 17) 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.



Fig. 17 – 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.; 4 – isopiezometriche con quote di riferimento in m s.l.m. con valori al di sotto del livello del mare.

Fig. 17 – Isophreatic map of the Roman sector of Tiber delta (2004). Legend: 1 - well; 2 - isopiezometric lines with elevation (meters a.s.l., equidistance 10 m); 3 - isopiezometric lines with elevation (meters a.s.l., elevation below a 10 m a.s.l.); 4 - isopiezometric lines with elevation (meters b.s.l.,).

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 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.

<u>Carte degli isovalori di conducibilità elettrica delle acque</u> <u>sotterranee</u>

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. 18) 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 µS/cm, con punte di 6600

 μ S/cm e un massimo di 19480 μ S/cm. L'isolinea 2000 μ S/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.



Fig. 18 – 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 uS/cm.

Fig. 18 – Distribution map of electrical conductivity of the groundwater (2004). The dot indicates the measuring point of the physico-chemical characteristics and of the conductivity in μ S/cm.

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 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 semiconfinati 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 μ S/cm. Al margine orientale della Tenuta di Castel Porziano è presente, dal Tevere a Pratica di Mare, l'isoconduttiva 1000 μ S/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 (Fig. 16) 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 si 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.



Fig. 19 – 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 °C.

Fig 19 – Distribution map of temperature of the groundwater (2004). The dot indicates the measuring point of the physicochemical characteristics and of the temperature in °C.

Carte degli isovalori di temperatura delle acque sotterranee La distribuzione delle temperature delle acque di falda (Fig. 19) 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

Bibliografia

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.

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 1000 µS/cm, ma assai frequenti sono quelli compresi tra 2000 e 3000 µS/cm, soprattutto nel settore compreso tra la linea ferroviaria e l'alveo del Tevere. I massimi raggiungono invece ordini di grandezza prossimi ai 20.000µS/cm. Le salinità nel reticolo di bonifica, pur presentando valori molto variabili, raggiungono nei canali delle acque basse punte prossime ai 12.000µS/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.

La salinità delle acque sotterranee dipende anche dalla piovosità e quindi non va considerata come un fattore costante. Tuttavia 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 sulla piana deltizia e nell'alveo del Tevere.

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., Cautilli 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, 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, 89-99.

Bellotti P., Carboni M.G., Milli S., Tortora P. & Valeri P., 1989. La piana deltizia del Tevere:

analisi di facies ed ipotesi evolutiva dall'ultimo low stand glaciale all'attuale. Giornale di Geologia, ser. 3ª, vol. 51 (1), 71-91.

Bellotti P., Milli S., Tortora P. & Valeri P., 1995. Phisical stratigraphy and sedimentology of the Late Pleistocene-Holocene Tiber Delta depositional sequence. Sedimentology, 42, 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, 21-32.

Capelli G. & Mazza R., 2005. Schema idrogeologico della Città di Roma. Gestione della risorsa idrica e del rischio idrogeologico. Geologia dell'Ambiente, 4 (supplemento), 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.

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), 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, 75-85.