

Caratteri ambientali ed evolutivi della Valle Smarlacca (Valli di Comacchio, Italy)

M. Ciabatti*, **P. V. Curzi****, **E. Rabbi***, con il contributo di **M. Ricci Lucchi***

(*) DSTGA (Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico-Ambientali) - Università degli Studi di Bologna.

(**) DISTART (Dipartimento di Ingegneria delle Strutture, dei Trasporti, delle Acque, della Rilevazione del Territorio) - Università degli Studi di Bologna.

Introduzione

Nella Pianura Padana sono presenti molti insediamenti umani come importanti città, attività industriali, agricole, turistiche, di acquicoltura ed altre ancora.

La Valle Smarlacca è un'area lagunare della Pianura Padana posta sulla costa nord-occidentale del Mare Adriatico, nella Regione Emilia Romagna. Più esattamente è una piccola porzione (circa 2 Km²), circoscritta e isolata, del vasto sistema lagunare delle Valli di Comacchio (44.58° N, 12.23° E) di cui occupa il tratto sud-orientale in prossimità del F. Reno (Fig. 1). Essa fa parte delle cosiddette Valli Meridionali di Comacchio, un complesso di valli con acque salmastre, in provincia di Ravenna, che si estendono lungo l'argine del F. Reno.

Nella Valle Smarlacca, utilizzata per allevamento ittico, vengono periodicamente immesse acque dolci dall'adiacente F. Reno tramite canali il cui flusso viene artificialmente regolato mediante apposite chiuse. L'acqua viene così ricambiata, per circa la metà del suo volume, nei mesi di Ottobre e Febbraio mentre nel periodo primaverile ed in quello estivo la laguna è completamente isolata fatta esclusione per piccole quantità d'acqua che vengono fatte entrare giusto per compensare l'evaporazione.

Il presente lavoro scaturisce da una serie di ricerche interdisciplinari che hanno avuto inizio negli anni 1997-98, allo scopo di evidenziare eventuali influenze, sull'ambiente circostante, delle attività di itticoltura di cui è sede la Valle Smarlacca.

Successivamente, sono state compiute ulteriori e più approfondite indagini, estese all'immediato sottosuolo, indispensabili per potere giungere ad una caratterizzazione della valle sotto il profilo ambientale ed evolutivo. Si è inteso così portare un ulteriore contributo ad una migliore conoscenza delle Valli di Comacchio già oggetto di numerose ricerche.

Inquadramento geografico e geomorfologico

Le Valli di Comacchio, parte della Pianura Padana in forte subsidenza, giacciono sopra uno spessore,

Lavoro eseguito nell'ambito del programma di ricerca interuniversitario cofinanziato "Conservazione della biodiversità e gestione sostenibile dei biotopi salmastri delle coste italiane (Università di Bologna e Ancona).

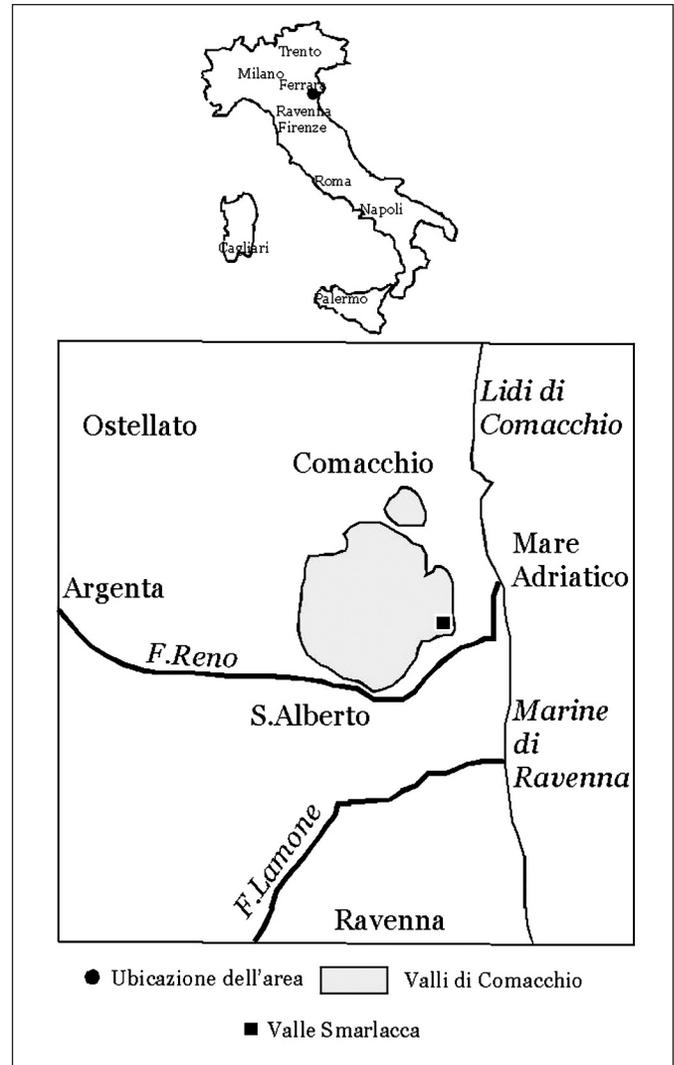


Fig. 1

variabile in breve spazio da 500 a 4000 m, di sedimenti accumulatisi dal Pliocene in una struttura geologica caratterizzata dal fronte appenninico che sovrascorre verso l'Avampaese Adriatico (Pieri & Groppi, 1981; Castellarin et al., 1985; Castellarin & Vai, 1986; Vai, 1987).

Il prisma sedimentario del Bacino Padano presenta una sezione triangolare che si assottiglia verso le catene delle Alpi e degli Appennini che lo cingono a nord e a sud (Massari et al., 2004), mentre ad oriente è aperto verso l'Adriatico.

I sedimenti pleistocenici inferiori e medi si sono depositati in un ambiente marino.

Le successioni pleistocenica superiore ed olocenica sono rispettivamente marine e continentali generate durante periodi climatici glaciali (stazionamento basso) ed interglaciali (stazionamento alto).

Durante l'ultimo ciclo regressivo, il bacino marino Adriatico era confinato a sud di S. Benedetto del Tronto e tutto l'Adriatico centro - settentrionale costituiva una pianura alluvionale, prolungamento dell'attuale Pianura Padana, caratterizzata da una rete idrografica diversa da quella odierna.

Con il cataglaciale Wurmiano (18 ka) è iniziata la trasgressione olocenica, terminata con l'optimum climatico (5,5-6 ka) che diede luogo alla massima ingressione marina che si estese fino a 30 km all'interno dell'attuale linea di costa (Alfonsine - RA) (*Regione Emilia Romagna e ENI - Agip, 1998; Amorosi e Colalongo, 2005; Van Straaten, 1970; Hurley, 1971; Veggiani & De Francesco, 1972; Rizzini, 1974; Dondi et al., 1982; Ori et al., 1986; Ciabatti et al., 1987; Curzi et al., 1988; Trincardi et al., 1994; Stefani & Vincenzi, 2005; Bondesan et al., in stampa*).

L'origine delle Valli di Comacchio è strettamente dipendente dall'evoluzione dei vari rami fluviali che costituiscono l'apparato deltizio del Po, ossia dalla divagazione della rete fluviale dallo stazionamento basso a quello alto. Durante lo stazionamento basso, la posizione geografica del Po glaciale doveva essere collegato all'attuale fiume Reno (carta di *De Marchi, 1922*, modificata da *Ciabatti et al., 1987; Vai & Cantelli, 2004*), fino ad arrivare alla posizione attuale.

In particolare, dopo il XII secolo, le acque fluviali prendono a dirigersi soprattutto verso i territori veneti ove in età rinascimentale hanno ormai formato un vasto delta, mentre perdono di importanza i corsi d'acqua posti più a sud rappresentati dal Po di Volano e dal Po

di Primaro. Alle foci di questi fiumi, e nel tratto intermedio, la linea di riva tende a stabilizzarsi e dietro di essa si genera un vasto territorio depresso, lagunare, di cui le Valli di Comacchio occupano la parte sud-orientale.

Come verrà meglio precisato in seguito, la parte più orientale di tali valli è ubicata all'interno di un'area relitta di un grande delta bialare di età etrusco-romana di un ramo del Po (Eridano o Padovetere), il cui paleoalveo principale correva all'incirca lungo l'argine che separa Valle Campo da Valle Lido di Magnavacca. Le Valli di Comacchio costituiscono il più vasto complesso di zone umide salmastre della regione Emilia-Romagna con una superficie di oltre 11.000 ha ed una profondità delle acque che non supera i 2 m.

Gli specchi d'acqua devono la loro comparsa alla subsidenza che ha interessato il suddetto delta nella suo più ampio sviluppo e più precisamente quando la subsidenza non è stata più compensata dall'apporto di nuovi sedimenti.

Indagini

Le indagini condotte sono consistite:

- Nella raccolta ed analisi di campioni d'acqua e di sedimenti.
- Nella perforazione di un sondaggio, spinto alla profondità di circa 50 m, con carotaggio continuo. Il sondaggio (VS) è stato ubicato alla distanza di circa un chilometro ad est della valle Smarlacca, verso il litorale.
- Nell'esecuzione di tre sondaggi penetrometrici anch'essi spinti alla profondità di circa 50 m.

L'ubicazione del sondaggio e delle prove penetrometriche compare nella Fig. 2.

Una delle prove penetrometriche, indicata con la sigla CPTU, è stata eseguita mediante punta elettrica e

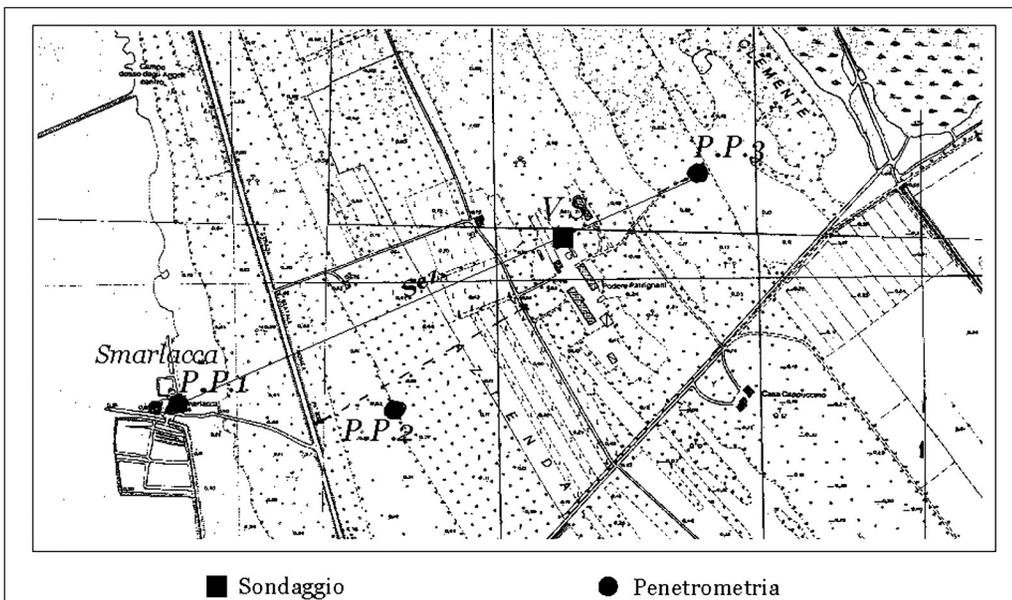


Fig. 2 - Ubicazione del sondaggio e delle penetrometrie

misura della pressione interstiziale (piezocono modello *Delft Geotechnics*). Le altre invece sono state condotte mediante penetrometro statico olandese da 20 t dotato di manicotto di frizione modello Begemann (prova CPT).

Prova CPTU. Riporta quattro grafici che indicano come variano, con la profondità, la resistenza specifica alla punta corretta (q_t), la resistenza d'attrito laterale locale (f_s), la pressione dei pori (u) misurata sopra la base del cono ed il rapporto di frizione $R_f = f_s / q_t$.

Prova CPT. I tre grafici riportano l'andamento con la profondità della resistenza specifica alla punta corretta r_p , della resistenza laterale locale r_l e del rapporto r_p / r_l (*friction ratio*).

Caratteri delle acque e dei sedimenti superficiali

Acque

La profondità delle acque si aggira su 0,80 m. La loro salinità è abbastanza costante e si aggira su 22-24 ‰ con punte su 25-30 ‰ per effetto dell'evaporazione estiva.

La campionatura, condotta sia all'interno della valle che in aree circostanti, ha riguardato sia le acque superficiali che quelle in prossimità del fondale. Le profondità medie di prelievo si aggirano sui 25-35 cm. Sono stati determinati il pH, l'ossigeno disciolto, la conducibilità, il P assimilabile, l' NH_3 , l' NO_3 , S, i cloruri, la durezza, il Ca, l'Mg, i metalli pesanti.

I risultati più significativi conseguiti sono i seguenti:

- 1) Per quanto riguarda la durezza, caratterizzata da una predominanza di Mg su Ca, i dati ottenuti consentono di riconoscere la sicura provenienza marina delle acque. Infatti i valori misurati di Ca, Mg, Na, K, Cl, SO_4 sono strettamente legati alle caratteristiche chimiche e chimico-fisiche delle acque marine e le variazioni che si riscontrano sono dovute a fluttuazioni stagionali.
- 2) Il comportamento termico, lungo la verticale, è contrassegnato da una sostanziale omotermia.
- 3) I valori più bassi di O_2 disciolto sono da porsi in rapporto con una intensa attività metabolica promossa da una elevata mineralizzazione della massa algale in decomposizione sul fondo ed i valori più alti generalmente si mantengono al di sotto dei livelli di saturazione.
- 4) La trasparenza mostra un andamento influenzato soprattutto dallo sviluppo algale e dalla torbidità delle acque del F. Reno che di volta in volta vengono immesse.
- 5) La bassa concentrazione di metalli pesanti si accorda molto bene con quella delle acque marine.
- 6) Globalmente, le differenze riscontrate nei dati delle analisi sono da porsi in relazione con l'andamento stagionale e in minore misura con la profondità delle acque.

Sedimenti

I fondali sono per lo più rappresentati da argille, limi e materiali bioclastici, più raramente da sabbie. Prevalenti sono i sedimenti argillosi in cui è stato riconosciuto uno strato superficiale millimetrico di colore chiaro, ossidato, che negli ultimi anni è andato scurendo, mentre al di sotto i sedimenti divengono scuri e predominano i processi riduttivi.

Anche sui sedimenti, raccolti mediante benna, sono stati determinati numerosi parametri chimici e chimico-fisici ma le indagini si sono accentrate soprattutto sul chimismo degli elementi nutritivi (C, N, P) e dei metalli (Cu, Fe, Pb, Mn, Zn).

I caratteri dei sedimenti sono variabili soprattutto in conseguenza delle attività itticolture. In particolare i metalli, più elevati nei primi mesi di allevamento quando la valle viene inondata, subiscono una diminuzione alla fine del ciclo annuale.

Per una valutazione dell'impatto ambientale delle attività di itticultura presenti nella Valle Smarlacca, particolare importanza si è dato allo studio dei minerali pesanti, alla concentrazione dell'azoto totale e ai valori del rapporto C/N.

Per quanto concerne un eventuale arricchimento dei metalli pesanti dovuto alle suddette attività, si sono messi a confronto i valori rilevati con quelli riportati nello standard internazionale "Average shale", introdotto nella pratica geochimica da *Turekian e Wedepohl, 1961*, che ha il pregio di essere incontaminato, di avere una caratterizzazione mineralogica confrontabile con quella dei sedimenti in esame e quindi di prestarsi molto bene come valore di "background" naturale. Si è così potuto constatare che, risultando i rapporti concentrazioni riscontrate/concentrazione dello standard inferiori all'unità, sono da escludersi concentrazioni di metalli pesanti imputabili all'itticoltura. Fanno eccezione il piombo ed il cromo che però sono da mettere in relazione il primo con l'attività venatoria ed il secondo con quella industriale.

Le concentrazioni di azoto sono molto basse ed il rapporto C/N risulta quindi assai elevato. Anche sotto questo profilo (eventuale arricchimento in azoto), non emergono influenze negative da parte delle attività di allevamento praticate nella Valle Smarlacca.

Successione dei terreni e delle facies

L'esame della carota del sondaggio VS ha consentito di riconoscere le ormai note associazioni di facies, e relative litofacies, riscontrate in zone contermini e oggetto di numerosi ed approfonditi studi tra cui: *Servizio Geologico d'Italia-Regione Emilia-Romagna, (1999)*; *Amorosi et al. (1999)*; *Amorosi et al. (2003)*; *Curzi et al. (in preparazione)*. Pertanto nel presente lavoro ci si limiterà ad una sintetica descrizione dei terreni attraversati e del loro ambiente di deposizione rimandando ai suddetti

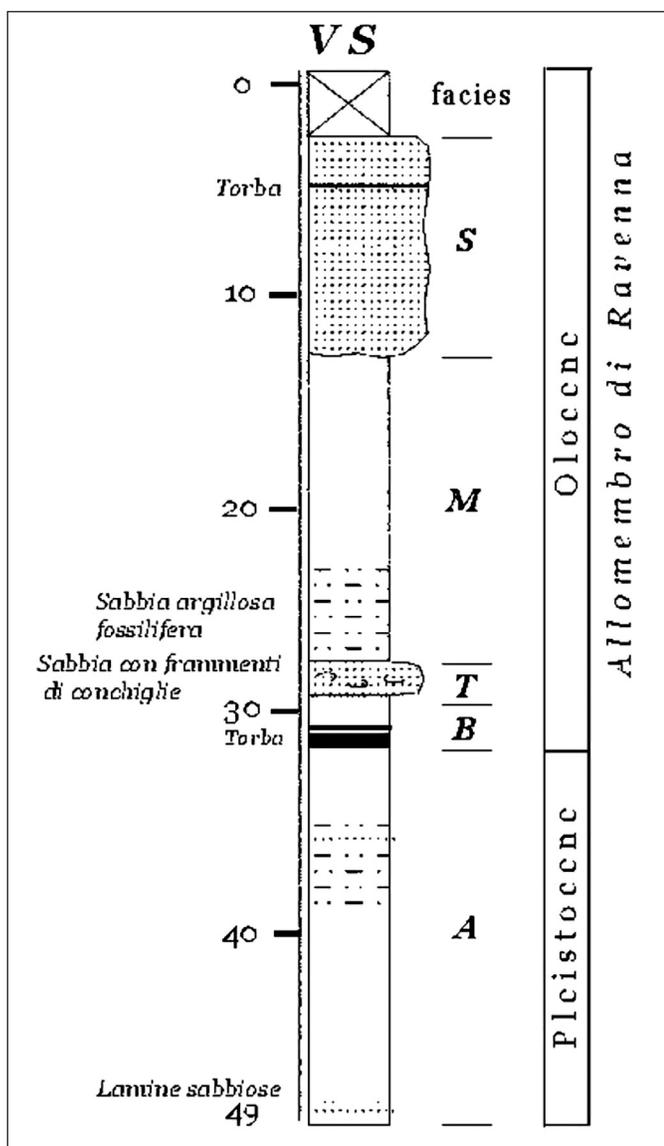


Fig. 3 - Successione delle facies nel sondaggio VS

lavori per un esame più dettagliato ed esteso anche agli aspetti paleontologici e geochimici.

La colonna stratigrafica relativa al sondaggio VS è sinteticamente riprodotta nella Fig. 3.

Nel tratto più profondo della carota (-49,50 m/-31,70 m) è riconoscibile l'associazione di facies A che, come è noto, comprende terreni di deposizione fluviale, ascrivibili al tardo-pleistocene (circa 15.000 anni fa, in corrispondenza dell'ultimo glaciale). Bene rappresentati sono i depositi di piena (argille e argille siltose grigiastre, con tracce di ossidazione) e soprattutto di argine e canali fluviali (rispettivamente alternanza di limi e sabbie fini e sabbie da grossolane a fini).

Al tetto di questa associazione, per uno spessore di circa 1,7 m, compaiono argille siltose grigio-scure, particolarmente ricche in fossili e sostanza organica, con livelli di torba, in diminuzione verso l'alto. Queste argille (associazione di facies B) vengono comunemente interpretate come sedimenti depositatisi in paludi salmastre

o lagune retrostanti una barriera litorale durante le prime fasi della trasgressione olocenica in quest'area. La loro età viene posta nell'intervallo 10.500 - 9.000 anni fa (Amorosi et al., 2003)

Tra -30,00 m e -27,2 m, sono presenti delle sabbie e sabbie limose, fossilifere, sicuramente correlabili all'associazione T, normalmente interpretate come sabbie trasgressive legate alla migrazione verso terra di una barriera litorale. Una datazione assoluta effettuata all'interno di queste sabbie ha fornito un'età di circa 8400 anni (Curzi et al., in preparazione).

Le sabbie trasgressive sono sormontate, fino ad una quota di -12 m / -12,5 m, da un'alternanza ritmica di livelli, di piccolo spessore, di sabbie, silt, argille ricche di frustoli vegetali e da argille grigie fossilifere con qualche livello a granulometria più grossolana. I caratteri di questi sedimenti coincidono con quelli dell'associazione di facies M ossia depositi di mare basso con transizione ad un ambiente di prodelta di età valutata in meno di 6.000 anni (Amorosi et al., 2003).

Dai -12 m / -12,5 m fino al top della carota si rinvengono sedimenti prevalentemente sabbiosi, talora limosi, con sabbie per lo più di medie dimensioni.

Rappresentano l'associazione S (depositi di fronte deltizia rimaneggiati dal moto ondoso e correnti long-shore).

Caratteri dei terreni rilevati dalle penetrometrie

I diagrammi penetrometrici (Fig.4), a grandi linee, mettono subito in evidenza la presenza di tre grandi intervalli, con caratteri meccanici medi nettamente differenziati, corrispondenti ad altrettanti tipi litologici.

Con riferimento alla prova P.1 (CPTU) ubicata nella Valle Smarlacca, tenuto conto della classificazione litologica di Robertson, 1990, basata sui parametri q_t e R_f , il primo intervallo, ascrivibile all'associazione S, si estende dal p.c. alla profondità di -12,5 m.

I primi 6 m sono caratterizzati dalla presenza di sabbie-sabbie siltose cui si intercala, nel tratto -3 m / -4 m, un orizzonte di materiale organico. Dai -6 m ai -12,5 m, si alternano sabbie-sabbie siltose, sabbie siltose-silt sabbiosi, argille-siltose, argille. Un orizzonte di sabbia, particolarmente marcato, è presente fra -8 m e -9 m. La pressione interstiziale, nei primi 6 m, si mantiene leggermente positiva con valori inferiori a 0,1 MPa, mentre nel tratto successivo, fino a -12,5 m, assume valori positivi e negativi rispettivamente in corrispondenza degli orizzonti argillosi e sabbiosi.

Il secondo intervallo occupa il tratto -12,5 m / -26,3 m ove si registra un netto passaggio litologico con valori di resistenza meccanica molto minori. Qui la litologia è più uniforme con silt argillosi-argille siltose che verso il basso passano a silt da sabbioso ad argilloso. Questi sedimenti hanno corrispondenza con la associazione M. La pressione interstiziale diviene decisamente positiva variando da 0,2 MPa a 0,7 MPa.

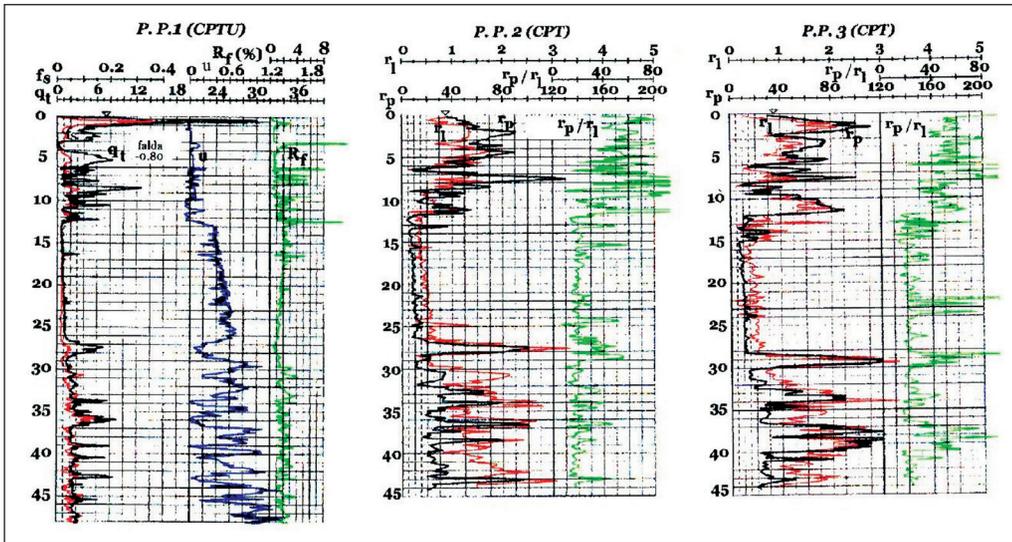


Fig. 4 - Diagrammi penetrometrici. La spiegazione dei simboli è nel testo

Un marcato orizzonte di sabbia-sabbia siltosa fra -26,3 m e -28,8 m, caratterizzato da una netta diminuzione di pressione interstiziale (fino a 0,1 Mpa), fa da passaggio al terzo intervallo. Esso rappresenta l'associazione di facies T.

Il terzo intervallo, da -28,8 m a -48 m, è un'alternanza di silt argillosi-argille siltose e sabbie-sabbie siltose in straterelli più sottili. La predominanza spetta ai sedimenti più fini con un rapporto di circa 2,5 a 1. Questa alternanza, rispetto a quella del primo intervallo, presenta valori di q_t mediamente più elevati (valori minimi attorno a 2 MPa ed oltre rispetto a 0,5-1 MPa) ed i sedimenti, al di sotto dei -31 m, sono sovraconsolidati. La pressione interstiziale denota notevoli oscillazioni, da valori prossimi a 0 in corrispondenza degli interstrati sabbiosi ad oltre 1,2 MPa in corrispondenza di quelli siltosi e argillosi. I valori più elevati si riscontrano alle maggiori profondità.

Le argille siltose dell'associazione B occupano il tratto -28,8 m / -30,10 m. Al di sotto è rappresentata l'associazione A.

La superficie freatica è stata incontrata a 0,80 m dal p.c. La classificazione dei terreni dalla prova CPTU secondo Robertson è riportata nella Fig. 5.

Le penetrometrie 2 (CPT) e 3 (CPT), a grandi linee, si correlano bene con la 1. Sono infatti presenti i tre intervalli sopradescritti, ma al loro interno si debbono registrare alcune diversità nello spessore degli strati e nei rapporti fra sedimenti fini e più grossolani.

L'associazione S (primo intervallo), in ambedue le prove, occupa i primi 12 m della colonna stratigrafica.

Nella prova 2, nei primi 5 m, sono presenti sabbie cui si intercalano argille sabbiose mentre al di sotto le sabbie si alternano ad argille e argille siltose in straterelli più frequenti. Per quanto riguarda i primi 5 m, analoga situazione si verifica nella prova 3 se si eccettuano alcune piccole differenze nello spessore degli strati. Viceversa, il tratto inferiore, tra -10 m e -12 m, è occupato da un corpo prevalentemente sabbioso. In ambedue le prove

non è presente l'orizzonte organico ritrovato tra -3 m e -4 m nella prova CPTU.

Il secondo intervallo (associazione M) si estende da -12 m a -27 m (prova 2) e -28 m (prova 3) con argille e argille siltose. Nella prova 2, rispettivamente alle profondità di circa -13 m, -15,5 m e -24,5 m, si riscontrano sottili livelli di sabbie siltose, sabbie e ancora sabbie siltose sovrastanti un livelletto di argilla torbosa. Verso la base (-24,5 m / -27 m) le argille divengono sabbiose. Nella prova 3 le intercalazioni di argille sabbiose e sabbie sono più frequenti (rispettivamente -12 m / -18 m e -22 m / -24 m). Nel tratto -12 m / -18 m si individuano anche sottilissimi livelli di argilla torbosa.

Il terzo intervallo, separato dal precedente da un orizzonte molto evidente di sabbia siltosa (prova 2) e sabbia (prova 3), rappresentante l'associazione T, si estende da

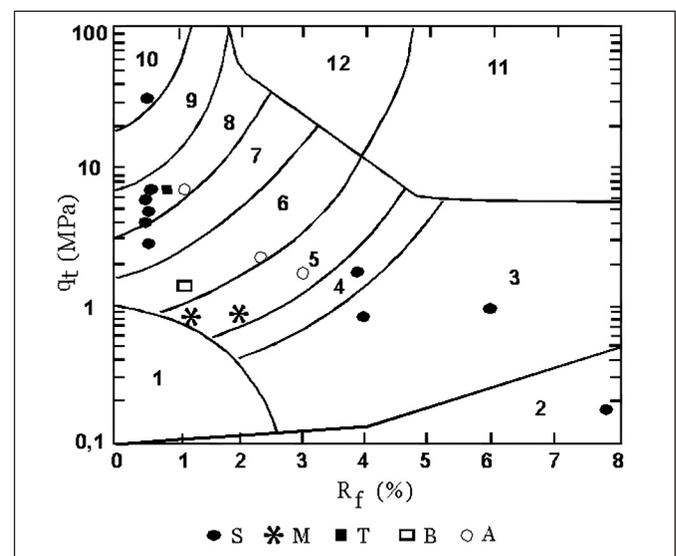


Fig. 5 - Classificazione dei terreni delle varie associazioni di facies secondo Robertson et al. (1986) con riferimento alla penetrometria 1 (CPTU) - 2, sostanza organica; 3, argilla; 4, argilla siltosa-argilla; 5, silt argilloso-argilla siltosa; 6, silt sabbioso-silt argilloso; 7, sabbia siltosa-silt sabbioso; 8, sabbia-sabbia siltosa; 10, sabbia

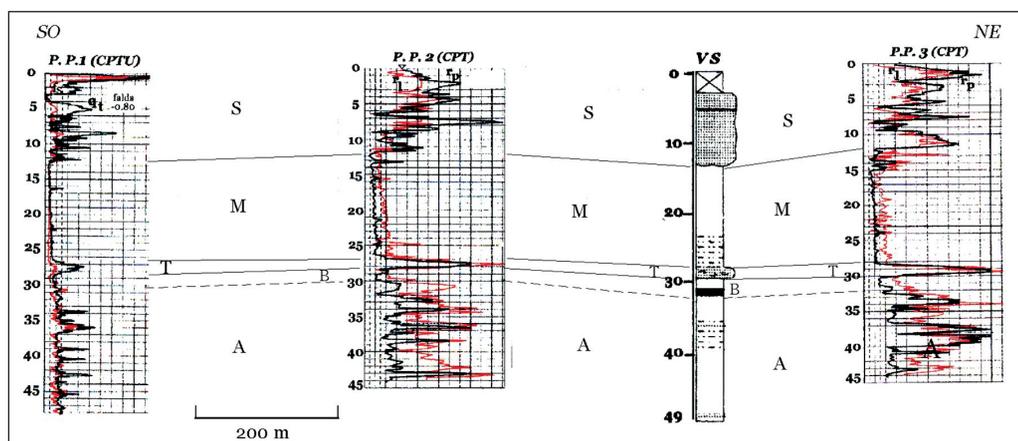


Fig. 6. Correlazione fra penetrometrie e sondaggio lungo una sezione SO-NE (ubicazione della sezione nella Fig. 2)

–28 m (prova 2) e da –30 m (prova 3) ai –44 m. In ambedue le prove è un'alternanza di argille e argille sabbiose con alcune intercalazioni di sabbie siltose. Nella prova 3 il tratto –37 m / –40 m è interessato da intercalazioni sabbiose.

In ambedue le prove, la predominanza spetta ai sedimenti più fini con un rapporto di circa 2 a 1 nella prova 2 e di circa 2,8 a 1 nella prova 3.

L'argilla dell'associazione B è riconoscibile nel tratto –28 m / –30 m nella prova 2 e –30 m / –32 m nella 3.

Origine ed evoluzione della Valle Smarlacca

Sulla base dei caratteri dei terreni riscontrati nell'immediato sottosuolo fino alla profondità di circa 50 m, è possibile ricostruire il seguente quadro evolutivo della Valle Smarlacca e più in generale delle Valli di Comacchio.

1) I sedimenti più profondi, che occupano all'incirca il tratto –30–32 m / –49 m, costituiti come si è visto da orizzonti limo-argillosi e sabbiosi, per la quasi totalità sovracconsolidati, sono alluvioni continentali, tardo pleistoceniche, di provenienza soprattutto appenninica.

2) Su questi sedimenti si viene a costituire un ambiente di laguna, o palude salmastra, retrostante una barriera litorale. Lo testimoniano i limi argillosi grigio-scuri, ricchi di torba e sostanza organica, dello spessore di 1,3 m - 2 m, che poggiano sulla sottostante piana alluvionale con contatto irregolare.

Ciò indica che comincia ad instaurarsi un ambiente marino connesso con l'innalzamento eustatico conseguente allo scioglimento dei ghiacci pleistocenici. Nell'area in studio, risulta dunque che la base della trasgressione olocenica giace ad una profondità sui –30 m / –32 m.

Alla suddetta quota si deve porre la base del cosiddetto Allomembro di Ravenna (Amorosi et al., 1999).

3) I caratteri dei pochi metri di sabbie sovrastanti (per 1 m–2,8 m di spessore) stanno a significare che, col persistere della trasgressione, subentra poi un ambiente ad alta energia con migrazione verso terra della barriera delimitante la laguna.

E' opportuno ricordare che il mare, avanzando, si este-

se molto più ad ovest dell'area in studio tanto che una linea di riva, coincidente con il massimo dell'ingressione, fatto risalire a circa 5500–6000 anni fa, in concomitanza con un optimum climatico, è stata riconosciuta nei pressi di Longastrino ossia ad una distanza di circa 18 Km nell'entroterra.

4) I successivi sedimenti limo-argillosi, sabbiosi, che si estendono fino circa ai –12 m / –12,5 m, riflettono un ambiente di prodelta e indicano l'approssimarsi di una foce ed una accresciuta influenza del trasporto fluviale che riporta la linea di riva verso oriente. Essi sono collegabili al protendimento di un grande delta bialare edificato da un ramo di un antico corso d'acqua denominato Padovetere o Eridano. L'alveo di questo fiume doveva svilupparsi lungo un percorso che toccava le località di Ostellato, Campolungo, S.Giovanni, Paviero, Argine Borgazzi, Caldirolo, Casone Sorbara, Guarone, Paisolo, Bellocchio. Il tratto meglio documentato è quello dove si trova l'arginello che separa la Valle Campo dalla Valle Lido di Magnavacca. Il delta che l'Eridano è andato via via costruendo è riconoscibile per tutto il lasso di tempo che va dall'epoca preetrusca (XII - XI sec. a.C. nel Protovillanoviano) fino all'epoca augustea. Vari elementi concorrono a ritenere che la sua velocità di progradazione sia stata particolarmente elevata nel periodo che va dal XII - XI sec. a.C. al VII sec. a.C. causa il peggioramento climatico che si è instaurato fra la fine del Protovillanoviano e l'epoca degli etruschi (Ciabatti & Veggiani, 1997). Molti dei sedimenti depositati in questa fase sono andati soggetti a forte erosione. Una foce preetrusca sembra riconoscibile in località Casone Paviero ed una, più recente, presso Paisolo-Bellocchio. Dopo il VII sec. d.C., nell'alto medio evo, la prominente cuspidi di questo delta, che attorno al I sec. d.C. si estendeva fino oltre l'attuale linea di costa, è stata erosa dal mare. L'esistenza di questo apparato deltizio e la sua ubicazione sono chiaramente dimostrate dalla marcata inflessione verso est che mostrano alcuni cordoni di antiche dune, indicanti la posizione via via assunta dalla costa prima di raggiungere la linea attuale

Due importanti linee di riva si riconoscono rispettivamente a circa 11 Km e 8 Km ad ovest della nostra area.

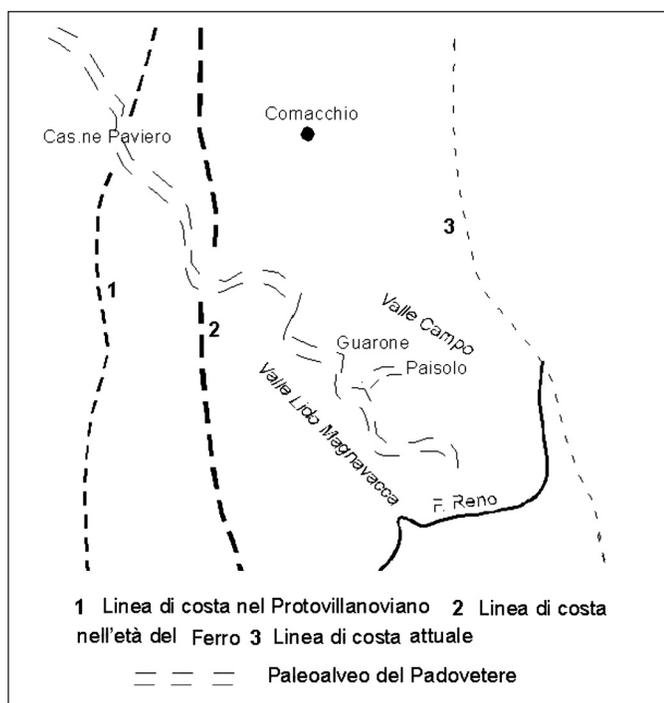


Fig. 7. Ricostruzione schematica del palealveo del Padovetere e ubicazione delle linee di riva del Protovillanoviano e del periodo degli Etruschi

La prima, passante all'incirca per l'argine Agosta, è datata circa 3000 anni fa e la seconda, coincidente con la penisola di Boscoforte a sud e l'argine Spina a nord, viene definita del periodo etrusco (Fig. 7).

5) I terreni prevalentemente sabbiosi, presenti nei primi metri dal p.c., interpretati come sedimenti deposti sotto forma di spiaggia o cordoni litorali alla fronte di un apparato deltizio dominato dal moto ondoso, sono da attribuirsi all'attività di nuovo corso d'acqua denominato Primaro comparso attorno al VIII - IX secolo in concomitanza con l'arresto dell'erosione del delta del Padovetere. Il Primaro, partendo all'incirca da Ferrara, seguiva il percorso Gaibana - Consandolo - Argenta - Bastia - Longastrino - S.Alberto per poi sfociare in mare. La sua attività, di cui rimangono tracce nella Pineta di S.Vitale e nei cordoni tra le Valli di Comacchio e il mare, perse efficacia dopo il XIV secolo.

In tutta l'area, la tendenza all'impaludamento, sempre presente soprattutto a partire dall'alto medioevo ma compensata dagli apporti fluviali, a causa della progressiva disattivazione dei corsi d'acqua finisce col prevalere. Non essendoci più equilibrio tra la subsidenza dovuta a fenomeni geologici profondi e al costipamento dei sedimenti e apporto solido, il mare prende il sopravvento e si passa da un ambiente fluviopalustre a quello lagunare caratterizzante le valli salse di Comacchio

Nota

M. Ciabatti, P.V. Curzi e E. Rabbi hanno coordinato la ricerca ed elaborato il testo; M.Ricci Lucchi ha esaminato ed interpretato, sotto il profilo litologico e sedimentologico, la carota del sondaggio VS.

Bibliografia

Amorosi A., Colalongo M.L., Pasini G. & Preti D., (1999) - *Sedimentary response to Late Quaternary sea-level changes in the Romagna coastal plain (northern Italy)*. Sedimentology, 46, pp.99-121.

Amorosi A., Centineo M. C., Colalongo M. L., Pasini G., Sarti G., Vaiani S.C., (2003) - *Facies architecture of Latest Pleistocene-Olocene depositional history of the Po Delta (Comacchio Area), Italy*. The Journal of Geology, vol.III, pp.39-56.

Amorosi A. & Colalongo M.L., (2005) - *The linkage between alluvial and coeval nearshore marine successions: evidence from the Late Quaternary record of the Po River Plain, Italy*. In *Fluvial Sedimentology*, VII, Blum MD, Marriott SB, Leclair SF (eds.). International Association of Sedimentologists, Special Publication 35. Blackwell Scientific Publications: Oxford, pp.257-275.

Bondesan M. & Giovannini A., (1994) - *Evoluzione geomorfologica della pianura costiera fra Codigoro e Comacchio (Ferrara)*. Annali Università di Ferrara-Sezione Scienze della Terra, 5, n.3, pp.27-38.

Bondesan M., Calderoni G., Cattani L., Ferrari M., Furini A.L., Serandrei Barbero R. & Stefani M., (1999) - *Nuovi dati stratigrafici, paleoambientali e di cronologia radiometrica sul ciclo trasgressivo-regressivo olocenico nell'area deltizia padana*. Annali Università di Ferrara, 8, pp.1-34.

Bondesan M., Cibin U., Colalongo M.L., Pugliese N., Stefani M., Tsakiridis E., Vaiani S.C., & Vincenzi S., (in corso di stampa) - *Benthic communities and sedimentary facies recording late Quaternary environmental fluctuations in a Po Delta subsurface succession (Northern Italy)*. In *Proceedings of the Second Italian Meeting of Environmental Micropaleontology*, Coccioni R., Lirer F., Marsili A. (eds). The Grzybowski Foundation Special Publication. Krakow.

Castellarin A., Eva C., Giglia G., Vai G.B., Rabbi E., Pini G.A. & Crestana G., (1985)- *Analisi strutturale del Fronte Appenninico Padano*. Giornale di Geologia, 47, pp.47-75.

Castellarin A., Vai G.B., (1986) - *Southalpine versus Po Plain Apenninic Arcs*. In *The origin of arcs*, Wezel FC (ed.), Elsevier: Amsterdam, pp. 253-280.

Castiglioni G. B., Bondesan M. & Elmi C., (1990) - *Geomorphological mapping of the Po Plain (Italy), with an example in the area of Ravenna*. Z. Geomorph., N.F., 80, pp.35-44.

Cencini C., (1998) - *Physical processes and human activities in the evolution of the Po Delta, Italy*. Journal of Coastal Research, 14, 3, pp.774-793.

Ciabatti M., (1967) - *Ricerche sull'evoluzione del delta padano*. Giornale di Geologia, serie 2°,

- XXXIV, fasc. II, 26 pp., 4 ff., tavv. XXXVIII-XXXIX, 1967 Bologna.
- Ciabatti M., Curzi P.V. & Ricci Lucchi F., (1987) - *Quaternary sedimentation in the central Adriatic Sea*. *Giornale di Geologia*, serie 3°, 49/1, pp. 113-125, ff. 1-10, Bologna.
- Ciabatti M. & Veggiani A., (1997) - *La linea di costa nel Protovillanoviano tra Cesenatico e Venezia e successiva evoluzione*. *Atti Convegno di Studi "Adriatico mare di molte genti, incontro di civiltà"*, pp. 7-22, 6 ff., Soc. Studi Romagnoli, Ed. Stilgraf, 1995 Cesenatico.
- Cremonini S., (1993)- *Alcuni dettagli fotografici per le ricostruzioni paleogeoambientali nella Pianura Padana*. Estratto da: CIVILTA' PADANA, *Archeologia e storia del territorio*, IV, pp. 145-169, Modena.
- Curzi P.V., Canu M., Casini Ropa D. & Rossi S., (1988) - *Geoengineering hazards study in the Adriatic Sea*. *Offshore & Marine Engineering*, N. 2, pp.5 - 15.
- Curzi P.V., Dinelli E., Ricci Lucchi M., Vaiani S.C., Ciabatti M. & Rabbi E., (2004) - *Late Quaternary Evolution of "Valle Smarlacca" Lagoon (South Po Delta, Italy)*. 3rd Italian Meeting of Environmental Micropaleontology, Urbino, 8-9 June 2004.
- Curzi P.V., Dinelli E., Ricci Lucchi M., Vaiani S.C. (in corso di stampa)-*Palaeoenvironmental control on sediment composition and provenance in the late Quaternary deltaic successions: a case study from the Po delta area (Northern Italy)*.
- De Marchi L., (1922) - *Variazioni del livello dell'Adriatico in corrispondenza colle espansioni glaciali*. *Atti Accad. Scient. veneto - trent. - istriana*, vol. 12-13, pp.3-15.
- Dondi L., Mostardini F. & Rizzini A., (1982) - *Evoluzione sedimentaria e paleogeografica nella pianura padana*. In G. Cremonini e F. Ricci Lucchi (a cura di), "Guida alla Geologia del margine appenninico-padano". *Guida Geol. Reg., S.G.I.*, pp. 205-236.
- Elmi C., Colantoni P., Gabbianelli G., Nesci O., (2001-2002) - *Holocene shorelines along the central adriatic coast (Italy)*. *GeoActa*, vol. 1, pp.27-36.
- Hurley, (1971) - *Seismic reflection studies in the Adriatic Sea*. *Rev. Geogr. Phys. Geol. Dynam.* (2), 13, 5, pp.429 -438.
- Massari F., Rio D., Serandrei Barbero R., Asioli A., Capraio L., Fornaciari E., Vergerio P.P., (2004) -*The environment of Venice area in the past two million years*. *PALAEO*, Vol. 202, Issue 3-4, pp.273-308.
- Ori G.G., Roveri M. & Vanoni F., (1986) - *Plio-Pleistocene sedimentation in the Appenninic-Adriatic foredeep (Central Adriatic Sea, Italy)*. In: P.A. Allen and P. Honnewood (eds.) - *Foreland Basin*. *Spec. Pubbl. Int. Ass. Sed.* Oxford 8, pp.183-198.
- Pieri M. & Groppi G., (1981) - *Subsurface geological structure of the Po Plain, Italy*. *Pubbl.* 414 P.F. Geodinamica, C.N.R., Roma.
- Rabbi E., Casalicchio G. & Maurizzi S., (1995) - *Evoluzione chimico-fisica di acque e sedimenti in bacini di ambiente vallivo per allevamento semi-intensivo*. "Ricerche e sperimentazioni 1988-1994 (a cura di Berletti M., Rossi R., Spreafico E.), PIM per le zone lagunari dell'Adriatico Settentrionale, pp.161-169.
- Regione Emilia-Romagna, ENI-AGIP, (1998) - *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna*, Di Dio G (ed.), SELCA, 120 pp., Firenze.
- Rizzini A., (1974) - *Holocene sedimentary cycle and heavy mineral distribution, Romagna-Marche coastal plain, Italy*. *Sedimentary Geology*, 11, pp.17-37.
- Robertson P.K., (1990) - *Soil classification using the cone penetration test*. *Can. Geotech. J.*, 27, pp.151-158.
- Servizio Geologico d'Italia-Regione Emilia-Romagna, (1999) - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 223 Ravenna* (a cura di D.Preti).
- Stefani M. & Vincenzi S., (2005) - *The interplay of eustasy, climate and human activity in the late Quaternary depositional evolution and sedimentary architecture of the Po Delta system*. *Marine Geology*, 222-223, pp.19-48.
- Trincardi F., Correggiari A., & Roveri M., (1994) - *Late Quaternary trasgressive erosion and deposition in a modern epicontinental shelf: the Adriatic semiencloded basin*. *Geo-Mar. Lett.* 14, pp.41-51.
- Turekian K,K & Wedepohl H., (1961) - *Distribution of the elements in some major units of the earth' crust*. *Bull.Geol.Soc. Am.*, 72, pp.175-192.
- Vai G.B., (1987) - *Migrazione complessa del sistema fronte deformativo-avanfossa-cercine periferico: il caso dell'Appennino settentrionale*. *Memorie Società Geologica Italiana*, 38, pp.95-105.
- Vai G.B. & Cantelli L., (2004) - *Litho-palaeoenvironmental maps of Italy during the last two climatic extremes*. *Litografica artistica cartografica*, Firenze.
- Van Straaten L.M.J.U., (1970) - *Holocene and Late Pleistocene sedimentation in the Adriatic Sea*. *Geologische Rundschau*, 60, pp.106-131.
- Veggiani A. & De Francesco A., (1972) - *I terreni superficiali del fondo del Mare Adriatico al largo della costa romagnola*. *Boll. Mens. Camera Comm. Ind. Art. Agric. Forli*, 9-10-11, 58 pp.
- Veggiani A., (1974) - *Le variazioni idrografiche del basso corso del Fiume Po negli ultimi 3000 anni*. *Padusa*, 1-2, pp. 39-60.
- Veggiani A., (1976) - *Variazioni della linea di costa del Ravennate dall'età preromana al medioevo*. "CARB", 23, pp.331-344.