

CAPITOLO 10 - CHAPTER 10

FORME E DEPOSITI DI ORIGINE LITORANEA E LAGUNARE FORMS AND DEPOSITS OF LITTORAL AND LAGOONAL ORIGIN

MARCO BONDESAN, CARLO ELMI & RUGGERO MAROCCO
con il contributo di - *with a contribution by* V. FAVERO

10.1 Introduzione

La Pianura Padana si affaccia sul Mare Adriatico per quasi 330 km, con una linea di costa arcuata e definita da spiagge sottili, sottese da delta e lagune. Il seno costiero riceve un moto ondoso regnante (più frequente) essenzialmente da NE nel settore veneto-friulano e da SE in quello emiliano-romagnolo. Il *drift* litoraneo risultante è pertanto convergente e assume direzioni e versi rappresentati in fig. 10.1. Il moto ondoso dominante (onde più violente) proviene, invece, in genere da E e da NE nel settore veneto-emiliano-romagnolo (Zunica, 1971; Cati, 1981; Calderoni, 1982; Idroser, 1982) e da ENE e SE in quello friulano.

La circolazione principale delle acque, dovuta alla marea, ha nell'Adriatico movimento antiorario (fig. 10.1), con punto anfidromico al largo di Ancona; ciò spiega, ad esempio, il fatto che i sedimenti fini provenienti dal Po e trasportati in mare in sospensione si disperdono nei fondali in direzione Sud (Nelson, 1970; Dal Cin, 1983).

L'ampiezza media dell'oscillazione di marea si mantiene al di sotto di un metro, ed è più che sufficiente per alimentare vivaci correnti tra il mare e le lagune e lungo i principali canali nelle lagune stesse (Gottardi & Cavazzoni, 1981). Ma quando situazioni di pressione atmosferica bassa nel settore settentrionale, e lo Scirocco, o eventualmente la Bora, si sovrappongono a maree di sizigie, specialmente nel semestre invernale, si determinano le condizioni per il verificarsi dell'«acqua alta», con livelli che salgono di oltre un metro sopra il livello medio marino (eccezionalmente fino a due metri). Questi eventi creano gravi difficoltà alle città lagunari, come Venezia, e ad altri tratti costieri particolarmente esposti, anche perché la loro frequenza è aumentata col tempo (Pirazzoli, 1974, 1987, 1991, 1993; Tomasin, 1974; Sbavaglia, 1977; Sestini, 1992).

10.1 Introduction

The Po Plain meets the curving coastline of the Adriatic and runs along it for a distance of almost 330 km. The beaches are gently sloping, alternating with deltas and lagoons. The coast receives its most frequent wave motion mainly from the NE in the Veneto-Friuli sector and from the SE in the Emilia-Romagna sector. The resulting littoral drift thus converges; its directions are shown in fig. 10.1. The dominant wave motion (more violent waves) is generally from E and NE in the Veneto-Emilia-Romagna sector (Zunica, 1971; Cati, 1981; Calderoni, 1982; Idroser, 1982) and ENE to SE in the Friuli sector.

In the Adriatic, the main circulation of waters, due to tides, is anti-clockwise (fig. 10.1), with an amphidromic point off Ancona. This explains, for example, the fact that the fine sediments coming from the river Po and transported to the sea in suspension are dispersed on the sea bottom in a southerly direction (Nelson, 1970; Dal Cin, 1983).

The mean tidal oscillation is less than 1 m, and is more than sufficient to give rise to strong currents between the sea and the lagoons, and along the main channels of the lagoons themselves (Gottardi & Cavazzoni, 1981). However, when situations of low atmospheric pressure in the northern sector and the Scirocco and sometimes Bora winds overlap with syzygial tides, especially in winter, conditions leading to «high water» occur, sea levels exceeding 1 m above the mean level (exceptionally up to 2 m). These events cause serious difficulties to lagoonal cities like Venice and along other particularly vulnerable stretches of coast, partly because they have become more frequent in the course of time (Pirazzoli, 1974, 1987, 1991, 1993; Tomasin, 1974; Sbavaglia, 1977; Sestini, 1992).

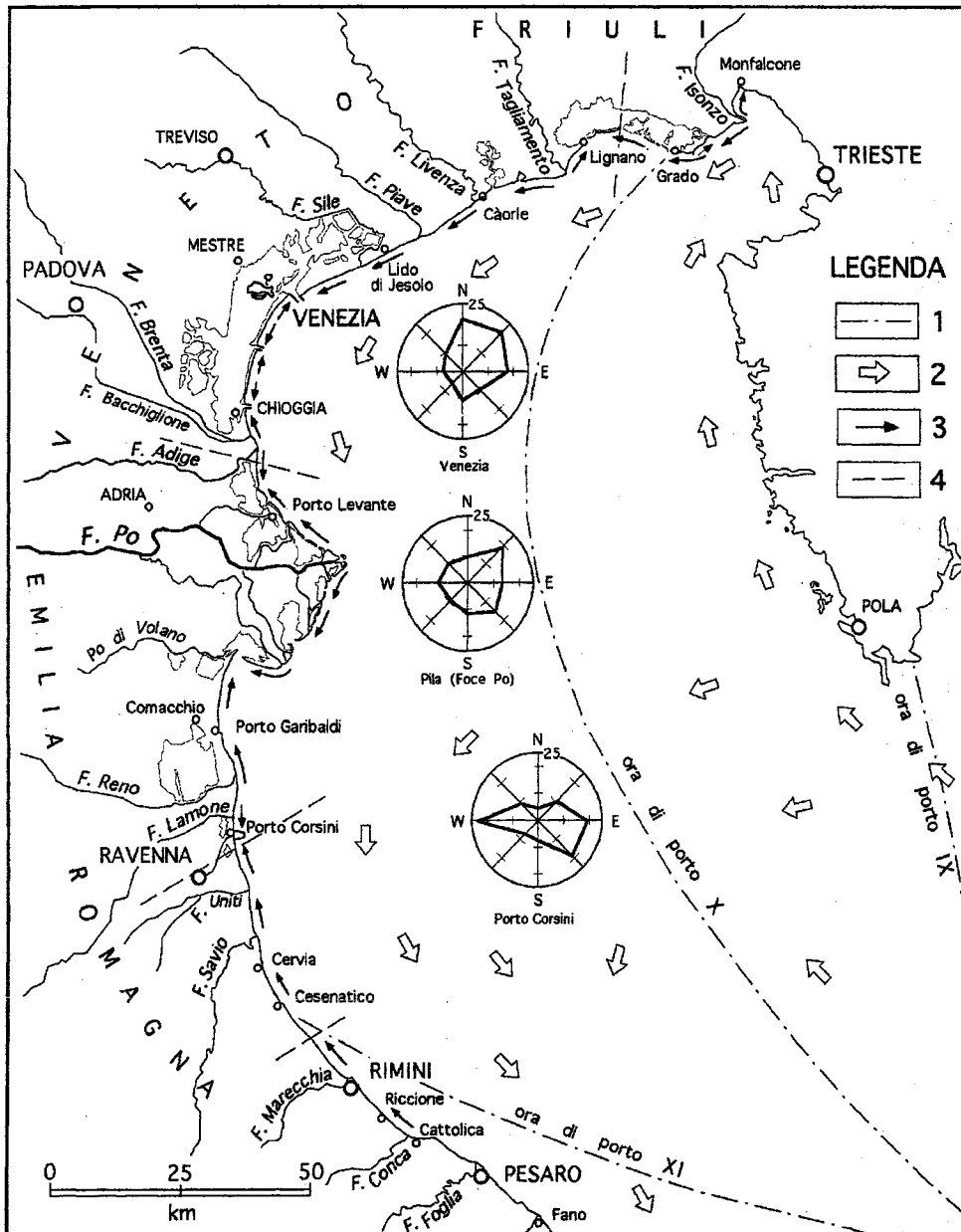


FIG. 10.1 - Elementi meteomarinari della fascia costiera padana, con diagrammi dei venti più frequenti: 1 - linee cotidali; 2 - correnti principali dell'Alto Adriatico; 3 - direzioni del drift litoraneo; 4 - tracce delle sezioni della fig. 10.4.

FIG. 10.1 - Meteomarine elements of coastal belt of Po Plain, with most frequent wind diagrams: 1 - cotidal lines; 2 - main currents of North Adriatic; 3 - directions of littoral drift; 4 - traces of sections of fig. 10.4.

La figura 10.2 mostra, a titolo di esempio, i grafici sulla frequenza, le velocità del vento, la pressione e la marea registrati il 3-4-5 Novembre 1966 (Zunica, 1971), e la figura 10.3 gli allagamenti da mare prodottisi a seguito di tale evento eccezionale (Magistrato Acque, 1969; Bondesan & alii, 1995a).

As an example, fig. 10.2 shows graphs covering the frequency, wind speed, pressure and tides recorded on November 3, 4 and 5 1966 (Zunica, 1971), and fig. 10.3 shows the flooding resulting from this exceptional event (Magistrato Acque, 1969; Bondesan & alii, 1995a).

10.2 Evoluzione geologica della fascia costiera

10.2 Geological evolution of the coastal belt

10.2 Evoluzione geologica della fascia costiera

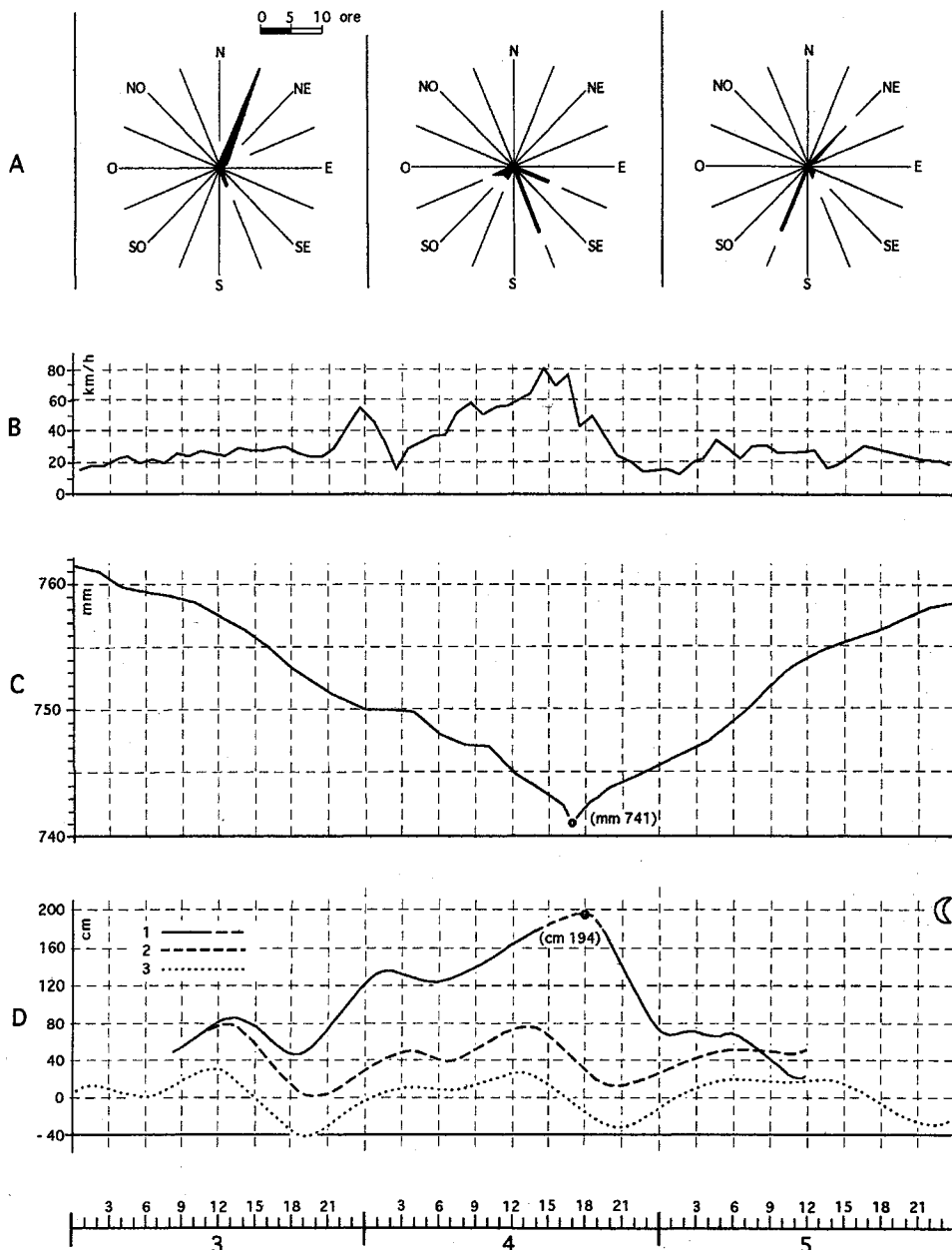
10.2 Geological evolution of the coastal belt

I diversi tratti della fascia costiera della Pianura Padana hanno seguito, in età olocenica, evoluzioni diverse a seconda delle differenti condizioni di partenza e a secon-

The various stretches of the coastal belt of the Po Plain underwent various types of evolution during the Holocene, according to differing starting conditions and the local extent of subsidence, neotectonic movements and processes

FIG. 10.2 - Dati meteomarinari registrati a Venezia durante la mareggiata del 3-4-5 Novembre 1966: A - frequenza del vento; B - velocità del vento; C - andamento della pressione atmosferica; D - marea osservata (1), prevista (2) e calcolata (3) al mareografo di Punta della Salute (da Zunica, 1970).

FIG. 10.2 - Meteorarine data recorded at Venice during storm of November 3, 4 and 5, 1966: A - wind frequency; B - wind speed; C - trend of atmospheric pressure; D - observed (1), predicted (2) and calculated (3) tide levels at Punta della Salute tide-meter (from Zunica, 1970).



da dell'entità localmente assunta dalla subsidenza, dai movimenti neotettonici e dai processi di erosione o di sedimentazione, a fianco del generale innalzamento del livello marino.

In ogni caso dall'esame di numerosi sondaggi stratigrafici eseguiti lungo tutto l'arco costiero emerge che mentre alcuni tratti di litorale palesano una evoluzione determinata da un ciclo trasgressivo-regressivo (con trasgressione determinata da un rapido innalzamento del livello relativo del mare, non bilanciato dalla sedimentazione costiera, e la successiva regressione, causata da una progradazione costiera in condizioni di relativa stabilità del l.m.), in altri sono presenti sequenze sedimentarie de-

of erosion or sedimentation, flanked by the general rise in sea level.

Many stratigraphic surveys carried out along the entire coastal arc show that, whereas some stretches of beach show evolution caused by an transgressive-regressive cycle (transgression determined by a rapid relative rise in sea level, not balanced by coastal sedimentation, and later regression, caused by coastal progradation in conditions of relative sea level stability), other stretches have sedimentary sequences caused by a single transgressive phase. In view of the common value of sea level rise due to eustasy, these evolutionary differences along the coastal arc are due to the different ratios between vertical soil movements (subsidence, neotec-

terminate da una sola fase trasgressiva. Dato il comune valore d'innalzamento del livello del mare per effetto eustatico, le differenze evolutive riscontrate lungo l'arco costiero sono imputabili al diverso rapporto tra movimenti verticali del suolo (subsidenza, neotettonica, isostasia, ecc.), da un lato, e sedimentazione costiera (aggradazione e progradazione), dall'altro.

Nel Riminese, ove la subsidenza è stata assai debole o nulla, o si sono addirittura verificati movimenti di sollevamento (area più a Sud), l'innalzamento del livello marino in età postglaciale ha dato origine a due diverse superfici erosive, che terminano con delle scarpate di erosione; la prima presenta un piede a -7 m, la seconda a -2 m (fig. 10.4). I sedimenti della successiva progradazione, appoggiati ad Ovest alla scarpata più interna, sono esclusivamente di spiaggia, sempre affioranti, e si raccordano con il litorale attuale. Tale progradazione sembra essere avvenuta in due fasi, l'ultima delle quali, molto notevole (dell'ordine di centinaia di m), è successiva al 1820 (Regione Emilia Romagna, 1979).

Nel Ravennate, nel Ferrarese e nel Veneto, in relazione ai maggiori tassi di subsidenza, la trasgressione ha determinato una prima rapida traslazione verso Ovest della fascia costiera, articolata in lagune, delta e paludi; l'innalzamento relativo del livello marino ha superato la velocità di sedimentazione costiera fino all'Atlantico medio (Gasperi & Pellegrini, 1985; Bondesan & alii, 1995b).

Nei sondaggi localizzati nella fascia paralica, la sedimentazione rappresentativa della trasgressione inizia con un sottile strato di sedimenti lagunari, che insistono direttamente sui depositi alluvionali del Pleistocene superiore e del primo Olocene; seguono le sabbie litorali e talora anche le peliti di *off-shore* (di mare largo) (Veggiani, 1971; Favero & Serandrei, 1978; Bondesan & alii, 1995b). Negli ultimi 5.000 anni si è prodotta la progradazione della pianura, con migrazione degli ambienti in senso inverso al precedente (regressione deposizionale). Quest'ultima è stata causata soprattutto dall'apporto sedimentario fluviale, e si è realizzata mediante la costruzione di *cordoni litorali* (Marinelli, 1922-1948, 1924; Ciabatti, 1967; Veggiani, 1976; Castiglioni & Favero, 1987; Castiglioni & alii, 1990; Bondesan & alii, 1995b), particolarmente numerosi ed evidenti in corrispondenza dei successivi apparati deltizi formati dal Po e dall'Adige (fig. 10.5), fiume che, fino a poco più di due secoli fa, ha spesso condiviso con il Po buona parte delle aree di deltazione (Bondesan & Simeoni, 1983).

In questa fase di avanzamento della pianura, nelle zone ove la sedimentazione fluviale non è più riuscita a compensare la subsidenza, hanno preso forma le Valli di Comacchio (che occupano in genere le aree di apparati deltizi abbandonati dal Po in epoca post-romana) e la maggior parte delle paludi di questo tratto costiero (Bondesan, 1990a).

Più a Nord, nell'area oggi occupata dalla Laguna di Venezia, si è realizzato un equilibrio dinamico tra subsidenza, eustatismo e progradazione costiera, che ha determinato spostamenti assai minori della linea di riva.

Il regime lagunare ha cominciato ad estendersi più rapidamente a partire dal periodo Atlantico, conquistando

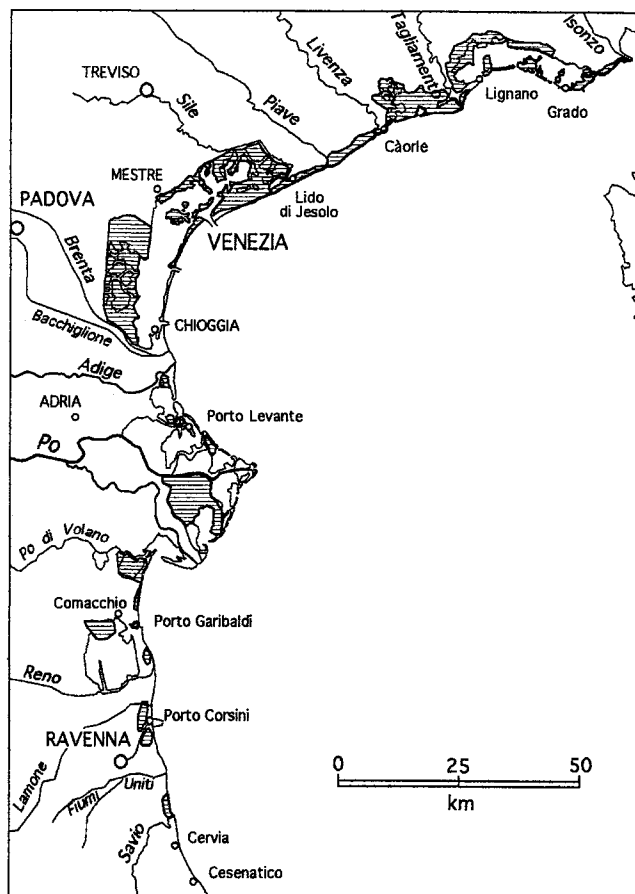


FIG. 10.3 - Allagamenti da mare del Novembre 1966 (da Bondesan & alii, 1995a).

FIG. 10.3 - Sea flooding in November 1966 (from Bondesan & alii, 1995a).

tonics, isostasy, etc.) on one hand and, on the other, to coastal sedimentation (aggradation and progradation).

Near Rimini, where subsidence was very weak or non-existent, or where even uplift movements occurred (further to the South), the rise in sea level in post-glacial times gave rise to two different erosional surfaces, terminating with erosion scarps. The first has a foot at -7 m and the second at -2 m (fig. 10.4). The sediments of the later progradation, resting to the West on the more internal scarp, are exclusively beach sediments, which always outcrop, and meet with the present-day beach. This advance appears to have occurred in two phases, the more recent of which was considerable (hundreds of metres) and took place after 1820 (Regione Emilia Romagna, 1979).

Near Ravenna and Ferrara and in the Veneto, related to the greater speed of subsidence, transgression caused an initial rapid westward translation of the coastal belt, composed of lagoons, deltas and marshes. The relative rise in sea level exceeded the speed of coastal sedimentation up to the mid-Atlantic period (Gasperi & Pellegrini, 1985; Bondesan & alii, 1995b).

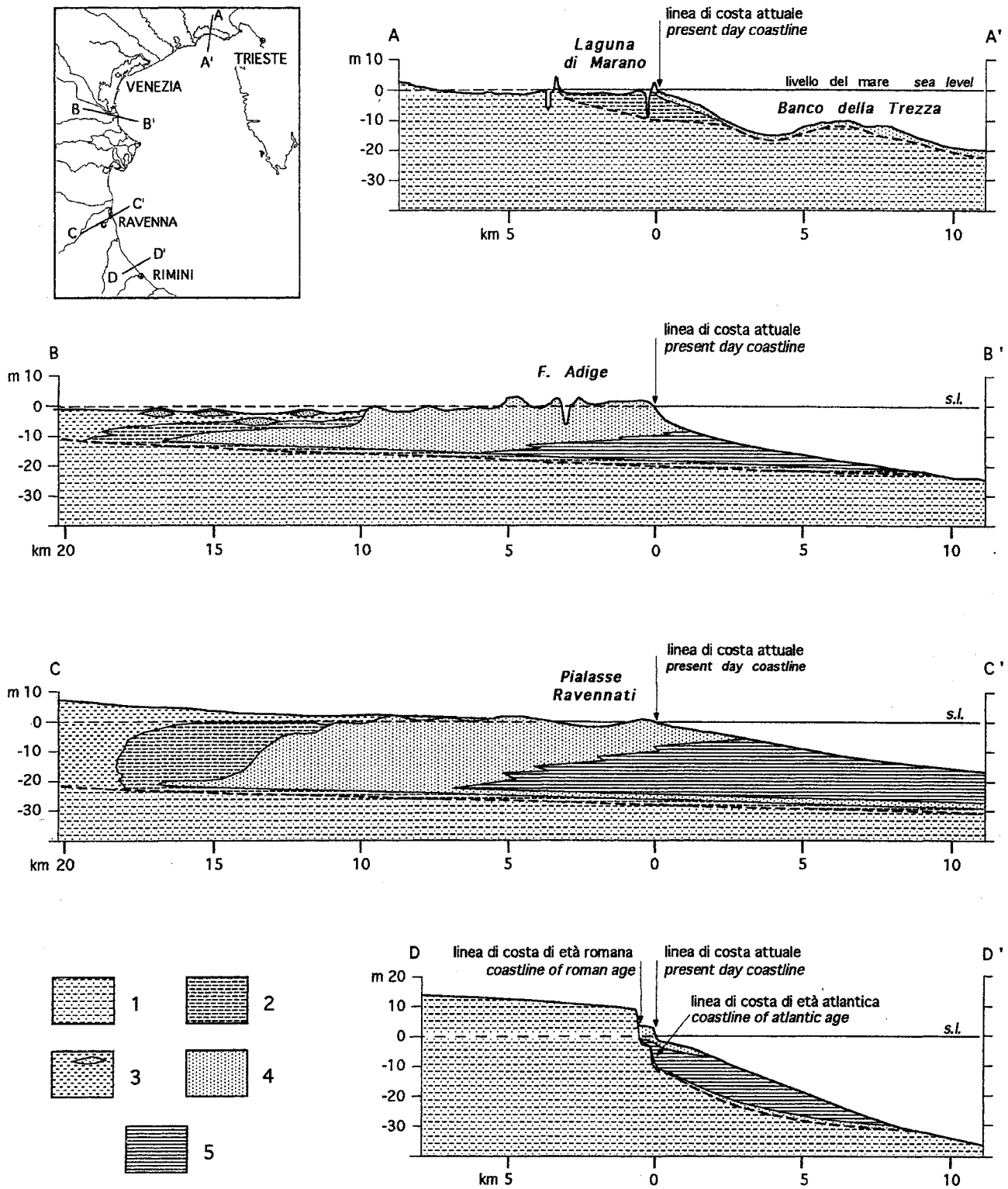


FIG. 10.4 - Sezioni geologiche schematiche della fascia costiera (per l'ubicazione delle sezioni vedi anche fig. 10.1): A-A' = Pianura Friulana; B-B' = Bassa Pianura Veneta (fra Adige e Brenta); C-C' = Pianura Romagnola (presso Ravenna); D-D' = Pianura Romagnola (presso Rimini): 1 - depositi alluvionali del tardo Pleistocene e del primo Olocene; 2 - depositi lagunari (Olocene); 3 - depositi fluvio-palustri (Olocene); 4 - depositi sabbiosi litorali (Olocene); 5 - peliti di off-shore (Olocene).

FIG. 10.4 - Geological cross-sections of coastal belt (for location of sections, see also fig. 10.1): A-A' = Friuli plain; B-B' = low Veneto plain (between Adige and Brenta); C-C' = Romagna plain (near Ravenna); D-D' = Romagna plain (near Rimini): 1 - alluvial sediments of upper Pleistocene and early Holocene; 2 - lagoonal sediments (Holocene); 3 - fluvial and palustrine sediments (Holocene); 4 - coastal sandy sediments; 5 - off-shore pelites (Holocene).

prima il settore centrale dell'odierna laguna e poi, progressivamente, tutto l'ambito attuale. La laguna si è ampliata verso mare con l'individuazione di nuovi lidi (la cui costruzione è stata fortemente favorita dalla convergenza, in questo tratto costiero, delle due fondamentali direzioni del drift litoraneo); l'ampliamento verso terra è stato invece determinato dal fatto che negli ultimi secoli, anche a causa di interventi antropici, la sedimentazione continentale non ha potuto compensare la subsidenza (Alberotanza & alii, 1977; Cavazzoni, 1977; Favero & Serandrei, 1980, 1983; Gatto & Carbognin, 1981; Favero, 1987).

Nel litorale veneto e friulano i bassi valori di subsidenza e la relativa scarsa progradazione costiera hanno invece determinato una continua trasgressione degli ambienti lagunari sulla piana alluvionale retrostante (fig. 10.4) (Cavallin & Pirini Radrizzani, 1987; Cavallin & alii, 1987; Marocco, 1991a). Questo processo trasgressivo è stato localmente contrastato da episodi di sedimentazione fluviale, che hanno in generale limitato l'ampliamento degli ambienti lagunari e, localmente, separato i diversi bacini lagunari con rapidi protendimenti deltizi.

Anche l'attuale laguna di Marano e Grado è caratterizzata da questa storia evolutiva (Brambati, 1969; Marocco & alii, 1984; Marocco, 1991a; Gatto & Marocco, 1993), ed è solo recentemente, grazie al materiale delle vicine cuspidi deltizie dell'Isonzo e del Tagliamento, nonché ad interventi antropici, che essa è riuscita ad evitare, o addirittura ad invertire (sia pur localmente), la retrocessione del suo margine a mare.

La complessa evoluzione di quest'ultimo tratto costiero viene testimoniata nel sottosuolo da un graduale passaggio, dal basso verso l'alto, da sedimenti fluviali o palustri a materiali di ambienti di transizione sempre più prossimi a quello marino. È significativo inoltre che i depositi lagunari risultino di età progressivamente più recente passando da W ad E (Laguna di Càorle, periodo Boreale; Laguna di Marano, periodo Atlantico; Laguna di Grado, epoca post-romana) (Marocco & alii, 1996).

All'estremità Nord-orientale della fascia costiera padana si produce quindi una situazione che non ha confronti con gli altri tratti esaminati: la massima ingressione marina olocenica viene raggiunta in età storica, in prossimità dell'attuale linea di costa.

10.3 Depositi sabbiosi di ambiente prevalentemente litoraneo

I litorali attuali della Pianura Padana e Veneto-Friulana sono prevalentemente costituiti da spiagge sabbiose. Nelle sabbie, di diversa classazione a seconda dei luoghi considerati (Brambati, 1968, 1987a, 1987b; Brambati & alii, 1977; Bondesan & alii, 1978; Carobene, 1978; Dal Cin & alii, 1979; Carobene & alii, 1980; Catani & alii, 1982; Dal Cin, 1983), la componente quarzoso-feldispatica è la più abbondante; solo in qualche zona, come ad esempio nella costa del Friuli-Venezia Giulia, è superata dalla componente carbonatico-calcitica. È comunque pre-

In surveys along the paralic belt, sedimentation resulting from transgression begins with a thin layer of lagoonal sediments, lying directly on Upper Pleistocene and early Holocene alluvial deposits. This is followed by beach sands and sometimes also offshore pelites (Veggiani, 1971; Favero & Serandrei, 1978; Bondesan & alii, 1995b). In the last 5,000 years, the plain has advanced, environments migrating in the opposite direction to the preceding one (depositional regression). This was caused mainly by fluvial supplies of sediments, creating beach ridges (Marinelli, 1922, 1924; Ciabatti, 1967; Veggiani, 1976; Castiglioni & Favero, 1987; Castiglioni & alii, 1990; Bondesan & alii, 1995b): these are particularly numerous and evident near the later deltaic structures formed by the rivers Po and Adige (fig. 10.5). Until just over two centuries ago, the Adige shared most of the deltaic areas with the Po (Bondesan & Simeoni, 1983).

During this phase of plain advance, in the areas where fluvial sedimentation was no longer able to compensate subsidence, the Valli di Comacchio (generally occupying the areas of deltaic structures abandoned by the Po in post-Roman times) and most of the marshes along this stretch of coast came into being (Bondesan, 1990a).

Further North, in the area now occupied by the Lagoon of Venice, dynamic equilibrium between subsidence, eustasy and coastal progradation was achieved, resulting in far less coastline movement.

The lagoonal regime began to expand more rapidly during the Atlantic period, invading first the central sector of the present-day lagoon and then, steadily, the entire environment. The lagoon widened seawards, with the creation of new lidos (the construction of which was greatly enhanced by the convergence, in this coastal stretch, of the two essential directions of littoral drift). Instead, extension inland was caused by the fact that, in the last few centuries, partly due to anthropic operations, continental sedimentation was not able to compensate subsidence (Alberotanza & alii, 1977; Cavazzoni, 1977; Favero & Serandrei, 1980, 1983; Gatto & Carbognin, 1981; Favero, 1987).

In the Veneto and Friuli littoral areas, only slight subsidence and relatively poor coastal advance gave rise to steady transgression of lagoonal environments over the alluvial plain inland (fig. 10.4) (Cavallin & Pirini Radrizzani, 1987; Cavallin & alii, 1987; Marocco, 1991a). This process was locally halted by episodes of fluvial sedimentation, which generally limited the further extension of lagoons and, locally, separated the various lagoonal basins, with rapid delta advance.

The present-day lagoons of Marano and Grado are examples of this evolutionary history (Brambati, 1969; Marocco & alii, 1984; Marocco, 1991a; Gatto & Marocco, 1993). Only recently, thanks to material from the nearby deltaic cusps of the rivers Isonzo and Tagliamento, and to anthropic intervention, has retreat of the seaward margin been avoided or (although only locally) even inverted.

The complex evolution of this last coastal stretch is revealed in the subsoil by a gradual passage from the bottom upwards of fluvial or marshy sediments containing materi-

sente, in varia misura, una rilevante quantità di bioclasti (componente micro e macro organogena). Sono presenti ghiaie in quantità significative, sotto alle sabbie attuali, sull'ala destra del delta dell'Isonzo (Brambati, 1987b), in corrispondenza della foce precedente il 1700, e ghiaie frammiste alle sabbie attuali in un tratto di spiaggia fra i più meridionali della Pianura Padana, presso la foce del fiume Conca (Dal Cin & alii, 1979).

Diversamente erano andate le cose nell'antichità. Le ghiaie, trasportate dal *drift* litoraneo fin dalle coste marchigiane, erano molto abbondanti, oltreché sulle coste individuate lungo il bordo dell'Appennino (Veggiani, 1965), anche nelle spiagge oloceniche dell'area romagnola, oggi quasi sempre sepolte: sono state infatti rinvenute ghiaie fino a 7 km a SSE di Ravenna anche in cordoni di età romana, recentemente sfruttati da numerose cave (Veggiani, 1960; 1968).

La fascia della pianura verso mare è ben caratterizzata, oltreché dal complesso panorama attuale di spiagge sabbiose e di foci fluviali, anche dalla presenza di forme e di depositi litoranei precedenti.

Si tratta in ogni caso di strutture di età olocenica, successive alla fase di massima ingressione marina. Quelle più antiche, infatti, sono oggi generalmente sepolte (così come i coevi livelli della bassa pianura retrostante) a profondità variabili in funzione della loro età e dell'entità della subsidenza naturale (Bondesan & Giovannini, 1994).

Perciò la fascia ove le forme e i depositi litoranei olocenici hanno rilevanza morfologica (o comunque affiorano con maggior continuità), presenta larghezze variabili: da poche centinaia di metri alla sua estremità meridionale, ad oltre 12 km in corrispondenza del delta del Po, a meno di 1 km nella pianura friulana.

Nella *Carta*, alle sabbie litorali sono intervallate plaghe di sabbie fluviali: il tracciamento dei limiti fra questi due tipi litologici è risultato spesso incerto, sia per le sovrapposizioni di altri sedimenti di esondazione di vario spessore, sia perchè è oggettivamente difficile distinguere le sabbie litorali da quelle fluviali, specie nelle zone di influenza delle foci, a causa della scarsa elaborazione intervenuta.

10.4 Cordoni litoranei

Sono stati rappresentati nella *Carta* i più importanti cordoni litoranei semplici rilevati sulle aree circostanti, e anche quelli non rilevati, perchè spianati artificialmente o ribassati dalla subsidenza; fra questi ultimi alcuni sono talora parzialmente sepolti da ridotti spessori di sedimenti lagunari, palustri, o fluviali, ma, data la complessità delle situazioni riscontrabili, si è preferito usare lo stesso simbolo. Fra quelli che orlano le spiagge attuali solo alcuni si presentano ben conservati, con il caratteristico profilo asimmetrico (pendenza minore verso mare che verso terra); spesso infatti sono stati parzialmente smantellati dall'erosione marina oppure degradati, o totalmente spianati, da interventi antropici.

Si è fatto ricorso al simbolo *cordone litoraneo complesso* (o *largo*) laddove i cordoni dotati di un certo risalto

als from transitional environments increasingly approaching marine ones. It is also significant that the lagoonal deposits are of progressively more recent age passing from W to E (lagoon of Càorle, Boreal period; lagoon of Marano, Atlantic period; lagoon of Grado, post-Roman times) (Marocco & alii, 1996).

The north-eastern tip of the coastal Po Plain therefore reflects a situation which cannot be compared with the other stretches examined here: the maximum Holocene invasion by the sea occurred in historical times, near the present-day coast.

10.3 Sandy deposits of mainly littoral environment

The present-day beaches of the Po Plain and Veneto-Friuli plain are mainly composed of sand; the quartzfeldspar component being the most abundant, has various grain sizes, according to location (Brambati, 1968, 1987a, 1987b; Brambati & alii, 1977; Bondesan & alii, 1978; Carobene, 1978; Dal Cin & alii, 1979; Carobene & alii, 1980; Catani & alii, 1982; Dal Cin, 1983). Only in a few areas, e.g., along the coast of Friuli-Venezia Giulia, does the calcitic carbonate component prevail. However, there are sometimes large quantities of bioclasts (micro and macro organogenic component). Gravels occur in significant quantities under the present-day sands on the right wing of the Isonzo delta (Brambati, 1987b), near the mouth as it was before the year 1700, and gravels mixed with current sands are found in one of the most southerly stretches of beach in the Po Plain, near the mouth of the Conca (Dal Cin & alii, 1979).

Things were different in ancient historical times. Gravels, transported by littoral drift even from the Marche coast, were very abundant, and also on the coasts along the margin of the Apennines (Veggiani, 1965) and in the Holocene beaches of the Romagna area, now almost always buried: gravel has been found up to 7 km SSE of Ravenna in belts of Roman age, recently subjected to extensive quarrying (Veggiani, 1960, 1968).

The plain belt towards the sea is well characterized not only by the complex present-day panorama of sandy beaches and river mouths, but also by the presence of preceding littoral forms and deposits. These are structures of Holocene age, later than the phase of maximum marine invasion. The older structures are now generally buried (like the coeval layers of the low plain inland), at depths which vary according to age and the extent of natural subsidence (Bondesan & Giovannini, 1994).

The belt where the Holocene littoral forms and deposits are morphologically important (or in any case where they outcrop with greater continuity) therefore vary in width, from a few hundred metres at the southernmost tip to more than 12 km near the Po delta, and to less than 1 km in the Friuli plain.

On the Map, beach sands alternate with areas of fluvial sands. The boundary between these two lithological

presentano maggior larghezza, oppure ove si individua una fascia territoriale di sensibile altezza per l'accostamento di più cordoni litoranei semplici.

Non è stato invece usato alcun simbolo specifico per gli accostamenti, in realtà frequenti, di cordoni litoranei del tutto privi di risalto altimetrico; si è ritenuto sufficiente, a tal fine, la segnalazione della presenza di sabbie di origine litoranea (introducendovi magari l'indicazione di alcuni cordoni semplici, al fine di fornire dati sull'orientazione di tali strutture).

Sulla presenza di dune, su questi cordoni, si dirà nel Capitolo 11 (forme e depositi di origine eolica).

10.5 Attuale tendenza evolutiva delle linee di riva

La *Carta* offre anche un quadro dell'attuale *tendenza* dei litorali padani e veneto-friulani *all'avanzamento* o *all'erosione*. In genere si è fatto riferimento all'Atlante delle spiagge italiane del C.N.R. (1985), ma in qualche zona particolarmente dinamica sono stati anche eseguiti ulteriori rilievi. Non si è tenuto conto delle cause del fenomeno osservato (naturale o provocato da interventi antropici); si è voluto solo indicare una tendenza riconducibile a fenomeni di evoluzione pluriennali, anche se riferiti a periodi di tempo diversi da zona a zona.

La documentazione consultata segnala che in linea di massima gli accrescimenti sono stati più rapidi, anche per cause antropiche, fra il Rinascimento e l'inizio del 20° secolo, e hanno raggiunto i valori massimi nel delta moderno del Po. In seguito si è registrata una sempre maggior diffusione dei fenomeni di arretramento, specie nell'ultimo dopoguerra (Bondesan & alii, 1978; Dal Cin & alii, 1979; Dal Cin, 1983), in relazione alla crisi di trasporto solido fluviale, ai fenomeni di subsidenza artificiale nonché all'urbanizzazione della fascia costiera (con sbancamento delle dune e costruzione di nuove opere marittime per lo più finalizzate all'utilizzazione turistica del litorale).

Come già detto (v. anche fig. 10.1) il senso prevalente del trasporto litoraneo è da E ad W fra la foce dell'Isonzo e il Porto di Lido, mentre è da S a N fra Cattolica e il Porto di Chioggia (Gazzi & alii, 1973; Idroser, 1982); fanno eccezione alcuni tratti, il maggiore dei quali è costituito dall'orlo meridionale della penisola del delta del Po (Dal Cin, 1983). In questo quadro risultano facilmente interpretabili le erosioni individuate in prossimità di moli e altre opere portuali (fig. 14.4), e le influenze delle diminuzioni di apporto terrigeno alle foci dei fiumi.

Nei Capitoli 12 e 14 sono trattati i manufatti e gli interventi di difesa della costa. Nella *Carta* sono riportati i simboli di tendenza all'arretramento anche in presenza di opere di protezione, nei casi in cui queste si siano rivelate insufficienti.

10.6 Il Delta del Po

Si è già detto della peculiarità di questo settore della Pianura Padana, per la complessità delle forme e degli

types is often blurred, both due to overlaps of other flood sediments of various depth, and because it is objectively difficult to distinguish littoral from fluvial sands, especially in the areas influenced by river mouths, due to only slight reworking.

10.4 Beach ridges

The Map shows the largest beach ridges elevated above the surrounding areas, and also those not elevated, because they have been artificially flattened or lowered by subsidence. Of the latter, some are sometimes partially buried by thin layers of lagoonal, marshy or fluvial sediments but, in view of the complexity of the various situations, the same symbol was preferred for all of them. Of the belts which border the present-day beaches, only some are well preserved, with their typical asymmetric profile (lower gradient seawards than landwards). They have often been partially destroyed by marine erosion, and degraded or even totally flattened by anthropic activities.

The symbol for complex (or wide) sandy beach ridges is used where the elevated ridges are larger, or where there is a belt of definite height due to the proximity of several simple beach ridges. No specific symbol is used for such cases of proximity, which are in fact frequent, of beach ridges completely lacking in altimetric significance. It was believed sufficient in such cases to signal the presence of sands of littoral origin (sometimes introducing the indication of some simple ridges, with the aim of supplying data on their orientation).

Regarding the presence of dunes on these beach ridges, see Chapter 11 (forms and deposits of eolian origin).

10.5 Present-day evolutionary trend of shoreline

The map also shows the present-day trend of the Po Plain and Veneto-Friuli plain beaches towards progradation or retreat. Reference is generally made to the Atlas of Italian Beaches of the C.N.R. (1985), although further surveys were also carried out in few particularly dynamic areas. Account was not taken of the causes of observed phenomena (natural or artificial); only trends due to long-term evolutionary phenomena are indicated, although referring to periods of time which are different from one area to another.

Historical documentation shows that, overall, advance was more rapid, partly for anthropic reasons, between the Renaissance and the beginning of the 20th century, reaching peak values in the modern Po Delta. Later, retreat phenomena became increasingly widespread, especially after the Second World War (Bondesan & alii, 1978; Dal Cin & alii, 1979; Dal Cin, 1983), due to the crisis in solid river transport, artificial subsidence, and intense urbanization of the coastal belt (with removal of dunes and construction of new maritime works, mainly for tourist purposes).

As already mentioned (see also fig. 10.1), the main direction of littoral transport is from E to W between the

ambienti che vi si sono individuati e che in buona parte ancor oggi lo caratterizzano. Nel Capitolo 5 è stata presentata la rete idrografica del delta attuale. È interessante, in questa sede, riassumere l'evoluzione olocenica dell'area compresa fra la Laguna di Venezia e il Ravennate, che è stata appunto sede delle divagazioni del delta del Po, nonché delle foci dell'Adige e di vari fiumi romagnoli, dal Reno al Ronco.

La già ricordata trasgressione flandriana aveva qui portato la costa assai più ad Ovest della posizione della costa attuale (fino a 20 km). I più antichi cordoni costieri progradanti, oggi completamente sepolti da sedimenti continentali, sono stati datati a 5000-4500 anni fa, mentre i primi affioranti sono di età poco precedente i 4000 anni fa (Bondesan & alii, 1999). Il territorio in esame manifestava una velocità media di progradazione in aumento, fino a 2 m/anno (tab. 10.1).

Per l'età del Bronzo possono essere individuate due grandi aree di foce del Po (fig. 10.5): una poco a Est di Adria (foci del Po di Adria) con sbocchi fra l'attuale posizione dell'Adige e del Po; va però ricordato che una diramazione del Po, nella quale confluiva anche l'Adige, si rivolgeva verso Chioggia (Castiglioni, 1978); un'altra area, più a Sud, attribuibile agli sbocchi del Po di Spina (Veggiani, 1974), interessava il territorio di Ferrara, fra il Po di Goro e le Valli di Comacchio. Quest'ultima diventa poi prevalente nell'età del Ferro. La velocità media di progradazione nel territorio superava i 3 m/anno.

In età romana i principali sbocchi del Po risultano situati a E di Codigoro (foce del Po di Volano) e a SE di Comacchio (foci dell'Eridano, ex Po di Spina); la velocità media di progradazione arriva a 4,6 m/anno. Nell'Alto Medioevo sono situati presso Volano (foce del Po di Volano) e presso il tratto terminale del Reno (foce del Po di Primaro); l'Eridano si estingue intorno all'8° secolo A.D. È un periodo di dissesti idrologici e la velocità media di avanzamento del territorio supera i 5 m/anno; subisce invece un brusco rallentamento al passaggio fra Alto e Basso Medioevo (meno di 2 m/anno fra 10° e 14° secolo).

A partire dal 14° secolo diviene prevalente il Po attuale, con foci nella zona dell'attuale Po di Levante e su rami da esso derivati, oggi scomparsi (Delta Rinascimentale). L'uomo ormai influenza pesantemente la rete idrografica padana, semplificandola e dotando di argini tutti i fiumi: alla fine del 16° secolo la velocità di progradazione supera gli 8 m/anno.

All'inizio del 17° secolo, con il «Taglio di Porto Viro», i Veneziani deviano il corso principale del Po a Sud-Est (mentre il Po di Volano e il Po di Primaro cessano di essere rami attivi del Po). Dal suddetto intervento prende origine il Delta Moderno, il cui sviluppo, fino al 1860, è particolarmente rapido: oltre 140 ha/anno; rallenta invece nei decenni successivi, e arriva addirittura ad arretrare fra il 1950 e il 1973, a causa della subsidenza accelerata e della crisi di apporto solido fluviale (Bondesan & Simeoni, 1983).

Nel Capitolo 12 verranno approfonditi gli effetti dell'intervento antropico, e nei Capitoli 13, 14 e 15 gli aspetti relativi alla subsidenza e ad altri problemi ambientali.

mouth of the river Isonzo and the Porto di Lido, and from S to N between Cattolica and the Porto di Chioggia (Gazzi & alii, 1973; Idroser, 1982). Exceptions are some stretches, the largest of which is the southern edge of the peninsula of the Po Delta (Dal Cin, 1983). Within this framework, it is easy to interpret the processes of erosion identified near jetties and other port works (fig.14.4), and the influence of reduced sediment supply to river mouths.

Chapters 12 and 14 deal with artefacts and operations aimed at coastal defence. The symbols of trends towards retreat also in cases of defence works, where they are insufficient, are marked.

10.6 The Po Delta

We have already mentioned the peculiarities of this sector of the Po Plain due to the complexity of its forms and the environments that have been identified in it, which, still today, are so typical. Chapter 5 describes the river network of the present-day delta. It is interesting, at this point, to list the main points of Holocene evolution in the area between the Lagoon of Venice and the area of Ravenna, towards which various diversions of the Delta were directed. The whole delta area is also where the Adige and various Romagna rivers, from the Reno to the Ronco, debouch into the Adriatic.

As already noted, the Flandrian transgression had brought the coastline far further West (up to 20 km) than its present position. The oldest prograding beach ridges, now completely buried by continental sediments, have been dated to 5,000-4,500 years ago, whereas the first outcropping old ridges are slightly younger, around 4,000 years (Bondesan & alii, 1999). At that time, this area had an increasing speed of advance of up to about 2 m/year (tab. 10.1).

TABELLA 10.1 - Calcolo delle velocità di progradazione della Pianura Padana per il settore compreso fra il parallelo di Chioggia e il parallelo di Ravenna (M. Bondesan)

TABLE 10.1 - Calculated speed of progradation of Po Plain for sector between parallels of Chioggia and Ravenna (M. Bondesan)

		Totale km ²	km ² /anno	m/anno
dal 6000 B.C.	al 2500 B.C.	679	0,19	2,2
dal 2500 B.C.	al 1000 B.C.	412	0,27	3,1
dal 1000 B.C.	al 300 B.C.	229	0,33	3,7
dal 300 B.C.	al 200 A.D.	202	0,40	4,6
dal 200	al 900	157	0,45	5,1
dal 900	al 1350	68	0,15	1,7
dal 1350	al 1600	190	0,76	8,6
dal 1600	al 1860	385	1,48	16,8
dal 1860	al 1950	71	0,79	8,9

Two large mouth areas of the Po as it was during the Bronze Age have been identified (fig. 10.5). One was slightly East of Adria (Po di Adria mouths), debouching between the present position of the Adige and the Po. However, it should

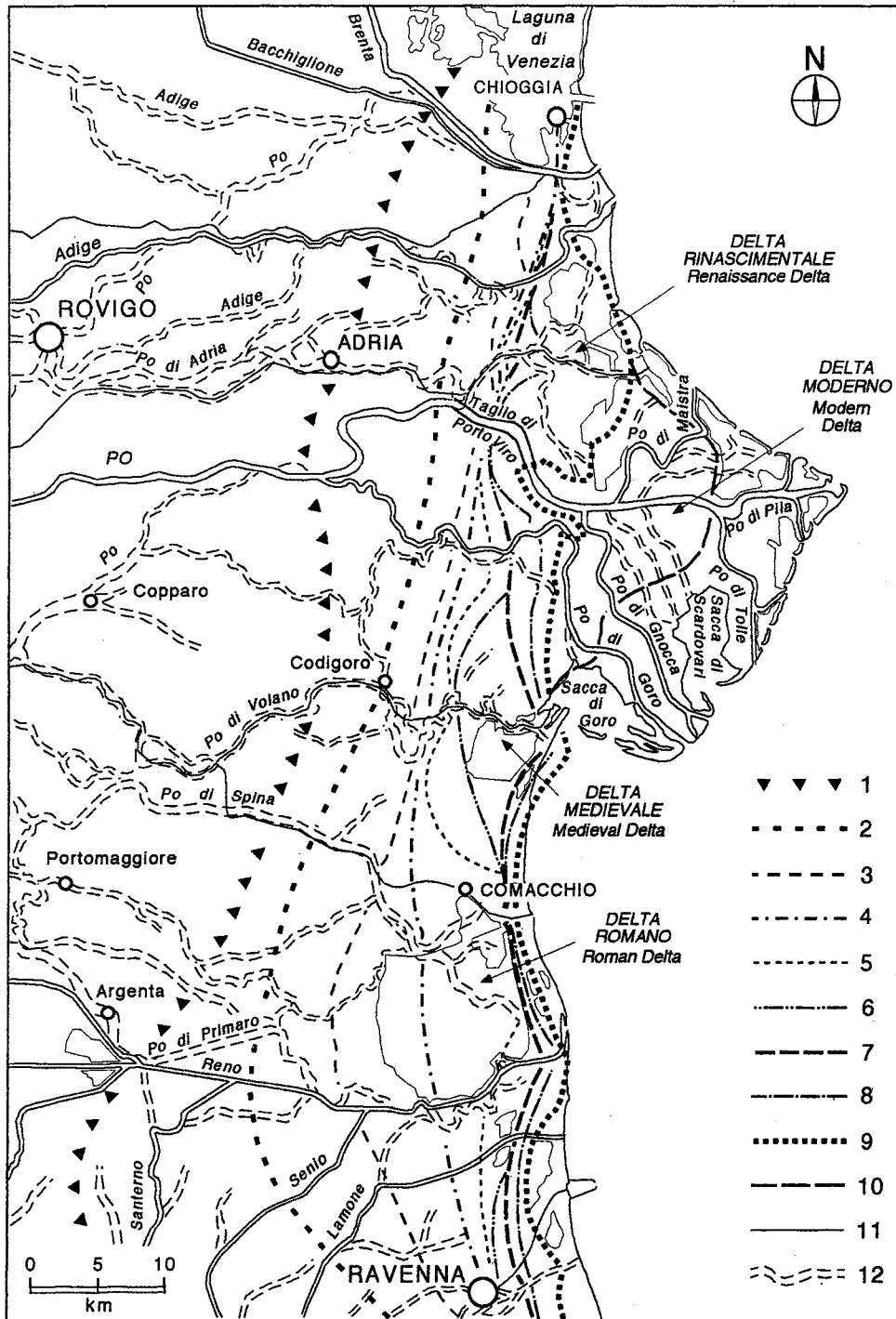


FIG. 10.5 - Evoluzione geomorfologica dell'area deltizia del Po: 1 - probabile posizione della costa nella massima trasgressione post-glaciale; 2 - linea di costa intorno al 2500 a.C.; 3 - idem, intorno al 1000 a.C.; 4 - idem, intorno al 4° sec. a.C.; 5 - idem, intorno al 3° sec. d.C.; 6 - idem, intorno al 6° sec. d.C.; 7 - idem, nel 10° sec. d.C.; 8 - idem, nel 14° sec. d.C.; 9 - idem, della fine del 16° sec.; 10 - idem, del 1730; 11 - linea di costa attuale; 12 - paleoalvei principali.

FIG. 10.5 - Geomorphological evolution of Po Delta area: 1 - probable position of coastline during maximum post-glacial transgression; 2 - coastline around 2500 B.C.; 3 - coastline around 1000 B.C.; 4 - coastline around 4th century B.C.; 5 - coastline around 3rd century A.D.; 6 - coastline around 6th century; 7 - coastline in 10th century; 8 - coastline in 14th century; 9 - coastline at end of 16th century; 10 - coastline in 1730; 11 - present-day coastline; 12 - main paleo-riverbeds.

10.7 Le lagune

10.7.1 Bocche lagunari

Sono state messe in evidenza le attuali *bocche lagunari*; in genere esse sono oggi armate da moli per garantire l'efficienza dei relativi porti (Zunica, 1971), e perciò coinci-

be recalled that one branch of the Po, into which also the Adige flowed, was directed towards Chioggia (Castiglioni, 1978). Another area, further South, attributable to the mouths of the Po di Spina (Veggiani, 1974), involved the territory of Ferrara, between the Po di Goro and the Valli di Comacchio. This delta area became prevalent during the Iron Age, with an average speed of advance exceeding 3 m/year.

dono con le foci dei principali canali lagunari (esempi: Porto di Grado, Porto di Lido, Porto di Malamocco, Porto di Chioggia); le bocche lagunari, in passato, erano spesso molto più ampie e comprendevano anche vaste aree di piana di marea (come accade oggi solo per le bocche delle lagune del delta del Po, ancora molto vicine alle condizioni naturali). Sono comunque presenti corpi sedimentari sommersi (*delta inlets*) variamente estesi, sia verso mare, sia verso laguna.

Con apposito simbolo sono state segnalate le principali *antiche bocche lagunari* estinte, non solo dove se ne rilevano importanti tracce nelle fotografie aeree, ma anche dove se ne ha notizia dalla cartografia storica.

10.7.2 Delta lagunari, dossi di corsi d'acqua sfocianti in una laguna

Sono rilevabili nella Carta anche i principali *delta lagunari, attivi o inattivi*, e i *dossi di corsi d'acqua* che un tempo sfociavano all'interno delle lagune o di stagni litoranei. I simboli mettono in evidenza sia la parte emersa del delta, sia i principali canali distributori, omettendone totalmente il tratto sommerso; la forma è quasi sempre digitata, con canali distributori più o meno sviluppati, sostenuti marginalmente da modesti argini naturali (attualmente rialzati artificialmente). Risultano ad esempio particolarmente sviluppate all'interno della Laguna di Venezia le vecchie foci del Brenta e quelle del Sile, nella Laguna di Marano quelle del fiume Stella.

Con gli stessi simboli sono stati indicati i delta digitati che si sono sviluppati all'estremità di canali artificiali adibiti all'immissione di acque marine o di acque dolci (specie in stagni litoranei salmastri come le Valli di Comacchio, costituiti talora da vasti corpi d'acqua oggi utilizzati per l'orticoltura estensiva).

10.7.3 Barene e tracce di antichi canali lagunari

Quali principali entità morfologiche delle aree emerse dell'ambiente lagunare, sono rappresentate, nella Carta, le *barene*. Il termine «barena» è stato usato con accezione estensiva, per definire tutte le piane, diverse sia per origine che per evoluzione, caratterizzate da una particolare vegetazione di alofite, soprattutto *Salicornietum* (spesso con associato *Limonium*), *Spartinetum* e *Zostere-tum*, la cui presenza ha rappresentato l'elemento essenziale per la loro individuazione. Esso comprende pertanto sia forme ben definite, quali le «barene di canale» (*sensu* Albani & alii, 1984) (fig. 10.6), sia le superfici a debole pendenza che circondano gli alti morfologici delle isole e i margini lagunari (Gatto & Marocco, 1992, 1993). In sintesi, la loro origine è riconducibile alla sedimentazione, favorita dalla vegetazione, dei materiali spostati dagli agenti meteomarinari, anche se, specie nelle aree subsidenti come la Laguna di Venezia, le lagune del Delta del Po e i bacini salmastri emiliani, molte barene si

In Roman times, the main mouths of the Po were East of Codigoro (mouth of the Po di Volano) and South-East of Comacchio (mouths of the Eridano, the former Po di Spina); the average speed of advance reached 4.6 m/year. In early Medieval times they were located near Volano (mouth of the Po di Volano) and near the terminal stretch of the Reno (mouth of the Po di Primaro): the Eridano gradually dried up around the 8th century A.D. This was a period of great hydrological disorder and the mean speed of advance exceeded 5 m/year; later, there was a sudden slowing down between early and late Medieval times (less than 2 m/year between the 10th and 14th centuries).

From the 14th century onwards, the present-day Po prevailed, with mouths in the area of the current Po di Levante and on branches deriving from it, which have since disappeared («Renaissance Delta»). The influence of man was now considerable on the Po river network, which was simplified, all the rivers being equipped with embankments. At the end of the 16th century, advance exceeded 8 m/year.

In the early 17th century, with the «Porto Viro cut», the Venetians diverted the main course of the Po to the South-East (while the Po di Volano and Po di Primaro ceased to be active branches of the main river). This intervention gave rise to the «Modern Delta», the development of which, until 1860, was particularly rapid, more than 140 hectares/year. In subsequent decades it slowed down, until it even began to retreat between 1950 and 1973, due to accelerated subsidence and reduced solid sediment input (Bondesan & Simeoni, 1983).

Chapter 12 goes deeper into the effects of anthropic operations. Chapters 13, 14 and 15 examine aspects relating to subsidence and other environmental problems.

10.7 The lagoons

10.7.1 Lagoonal inlets

Present-day lagoonal inlets are marked on the map. They are today generally equipped with jetties to guarantee the proper water flow in their relative mouths (Zunica, 1971) and they thus coincide with the mouths of the main lagoon channels (e.g., Porto di Grado, Porto di Lido, Porto di Malamocco, Porto di Chioggia). In the past, the lagoonal inlets were often much wider and included sometimes vast areas of tidal plain (which only happens today for the mouths of the lagoons of the Po Delta, still very close to their natural condition). However, submerged sedimentary bodies (delta inlets) of varying extent, are present both seawards and landwards.

A special symbol also signals the main ancient lagoonal inlets, now extinct, not only where important traces are visible in aerial photographs, but also where historical cartography mentions them.

10.7.2 Lagoon deltas, ridges of watercourses flowing into lagoons

The Map also shows the main active or inactive lagoon deltas and ridges of watercourses which once debouched

sono sviluppate non solo a ridosso, ma anche al di sopra di rilievi naturali preesistenti, come antichi cordoni litoranei o dossi fluviali (Marinelli, 1922-1948).

Oltre ai canali lagunari attuali (cfr. Capitolo 5), sono frequenti, specialmente nella Laguna di Venezia e in quella di Marano e Grado, le testimonianze morfologiche di antichi percorsi di canale non ancora ricoperti da successive sedimentazioni lagunari. Nella *Carta* sono state ovviamente rappresentate solo le tracce più importanti.

10.7.4 Limite verso l'interno di bacini lagunari in età medievale e moderna

La trasgressione olocenica, e la successiva regressione deposizionale, hanno dato luogo alla formazione di numerose lagune e di altri ambienti ad acque salmastre, i cui sedimenti sono riconoscibili sia in superficie che a varie profondità.

Contraddistingue però l'ultimo millennio una generalizzata tendenza all'ingressione di acque rimontanti dal mare. Il fenomeno è stato forse favorito anche da variazioni del clima, ma è soprattutto da mettere in relazione con attività antropiche, e in particolare:

- con la semplificazione e l'irrigidimento artificiale della rete idrografica, e in particolare con la pratica di innalzare argini ai fiumi, che hanno impedito quasi totalmente nuove sedimentazioni fluviali a compensare gli abbassamenti prodotti dalla subsidenza;

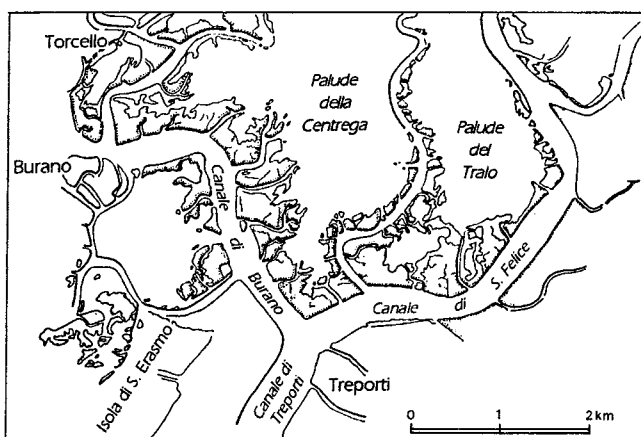


FIG. 10.6 - Canali lagunari e barene nella Laguna di Venezia (da Favero, 1987). I sedimenti recenti provengono in prevalenza dalle bocche lagunari, ma si aggiungono resti di apparati deltizi (provenienza dall'entroterra, fiumi Sile, Piave e Dese).

FIG. 10.6 - Channels and salt marshes («barene») in the Lagoon of Venice (from Favero, 1987). Most recent sediments mainly come from lagoon mouths, but are added to remains of deltaic structures (from areas inland, rivers Sile, Piave and Dese).

inside lagoons or brackish littoral ponds. The symbols show both the emerging part of the deltas and the main channels, omitting submerged parts completely. The form is almost always fingered, with more or less well-developed feed channels, sustained marginally by small natural banks (now artificially raised). Particularly well-developed examples of the old mouths of the Brenta and the Sile may be found inside the Lagoon of Venice, and of the Stella inside the Lagoon of Marano.

The same symbols are used to indicate the fingered deltas which developed at the tips of canals built to convey sea or fresh waters (especially to brackish littoral ponds, as in the Valli di Comacchio, sometimes large bodies of water now extensively exploited for fish-farming).

10.7.3 «Barene» and traces of ancient lagoon channels

The main morphological forms of the emerging area of the lagoonal environment are the «barene». The term *barena* (translated in the legend as «salt marsh») is extensively used to define all emerging areas, of various origin and evolution, characterized by a particular alophytic vegetation, mainly *Salicornietum* (often associated with *Limonium*), *Spartinetum* and *Zosteretum*, the presence of which is essential for their identification. The term therefore includes both well-defined forms, such as «channel barene» (sensu Albani & alii, 1984) (fig. 10.6) and the weakly sloping surfaces surrounding the morphological highs of the islands and edges of lagoons (Gatto & Marocco, 1992, 1993). Briefly, they originated by sedimentation, favoured by the presence of vegetation and materials transported by meteo-marine agents, although, especially in subsiding areas such as the Lagoon of Venice, the lagoons of the Po Delta and the brackish basins in Emilia, many «barene» have developed not only behind but also above natural pre-existing reliefs, such as ancient beach or fluvial ridges (Marinelli, 1922-1948).

As well as the present-day lagoon channels (see Chapter 5), morphological evidence of ancient channels, not yet covered by lagoonal sediments are frequent, particularly in the Lagoon of Venice and in those of Marano and Grado. Obviously, the Map only shows the larger traces.

10.7.4 Inner boundary of lagoon basins of Medieval and modern age

The Holocene transgression and later depositional regression gave rise to the formation of many lagoons and brackish-water environments, the sediments of which are found both on the surface and at various depths. However, the last thousand years have been characterized by a generalized trend to invasion by seawater. Although this phenomenon was perhaps favoured by changes in climate, it is mainly due to anthropic activities, such as:

- simplification and artificial straightening of the water network, particularly resulting from the practice of raising river banks, which have almost entirely halted new fluvial sedimentation to compensate lowering caused by subsidence;

- con interventi mirati di trasformazione di paludi dolci in bacini salmastri (assai più redditizi agli effetti della pescosità) o addirittura, sia pur più raramente, in saline;
- con la «specializzazione» e la difesa di alcuni ambienti umidi, fra cui la stessa Laguna di Venezia;
- con la subsidenza artificiale dovuta alla bonifica, all'estrazione di acque sotterranee e di idrocarburi.

Di tale importante evoluzione ambientale la *Carta* fornisce notizia segnalando, ove conosciuto, il *limite verso l'interno dei bacini lagunari di età medievale e moderna*, sulla base della presenza di sedimenti di ambiente lagunare in superficie o sepolti a profondità inferiori ad un metro.

Per la pianura del Friuli-Venezia Giulia (Gatto & Marocco, 1992) tale limite coincide col margine interno del complesso lagunare di Marano e Grado definibile nel 1830 (v. «Carta Corografica del Litorale» eseguita dai Francesi e aggiornata dagli Austriaci).

Ad Ovest del Tagliamento il regime lagunare, come si è detto, risale già ad epoca più antica; in età medievale e moderna, comunque, il limite abbraccia ancora l'area della vecchia Laguna di Caorle, poi si spinge via via più all'interno, fin oltre il margine settentrionale della Laguna di Venezia.

Segue quindi il margine di conterminazione lagunare definito dal Taglio Novissimo di Brenta fuorché nell'area di colmata di Delta Brenta (Favero, 1992): qui la linea segnata in carta rappresenta il margine interno della laguna nel secolo 18° (quella precedente, più arretrata, è sepolta a profondità maggiori di un metro).

Fra il Brenta e l'Adige segue il margine interno dell'antica laguna di Brondolo, il bacino più meridionale della Laguna di Venezia, prosciugato fra il 18° e il 19° secolo (Favero, 1992).

Nel «delta rinascimentale» del Po detto limite si attesta sul lato orientale dei cordoni di età romana-altomedievale. Nel «delta moderno» segue la linea di costa della fine del 17° secolo; solo nel territorio compreso fra il Po di Venezia e il Po di Goro si può segnalare una plaga più interna di sedimenti lagunari superficiali (Bondesan, 1990): qui un bacino salmastro è indicato anche in alcune carte antiche (fra cui quella del «Distretto di Ariano» di G. Giacomelli, del 1735).

Nel territorio ferrarese coincide con il limite interno delle valli salmastre presenti nella seconda metà del 19° secolo; nella zona delle ex-Valli di Comacchio tale limite era stato d'altronde definito, già a partire dal Rinascimento, con la costruzione di più fronti di argini (Bondesan, 1989, 1990).

Più a Sud, sedimenti salmastri superficiali o subsuperficiali sono reperibili:

- nella zona delle Pialasse Ravennati, lagune formatesi fra il 16° e il 19° secolo, e oggi parzialmente bonificate, ove il limite coincide con il margine orientale dei cordoni di età rinascimentale della Pineta di S. Vitale (Castiglioni & alii, 1990);
- nella zona delle saline di Cervia e delle bassure immediatamente adiacenti.

- operations aimed at transforming freshwater marshes into brackish basins (far more profitable from the fishing point of view) or even, although more rarely, into salinas;
- the «specialization» and defence of some wetland environments, including the Lagoon of Venice itself;
- artificial subsidence due to reclamation works and underground pumping of water, oil and gas.

The Map notes these important examples of environmental change by marking, where it is known, the inner boundary of lagoon basins of Medieval and modern age, on the basis of the presence of lagoonal sediments either on the surface or buried at depths of less than 1 m.

For the Friuli-Venezia Giulia plain (Gatto & Marocco, 1992), this boundary coincides with the internal margin of the lagoonal complex of Marano and Grado, which was defined in 1830 (see «Carta Corografica del Litorale», carried out by the French and updated by the Austrians).

West of the Tagliamento, the presence of lagoons, as already mentioned, goes back to ancient times. However, in the Middle Ages and in modern times, the boundary still embraced the area of the old Lagoon of Caorle and then gradually extended inland, to beyond the northern margin of the Lagoon of Venice.

Further South, this boundary thus coincides with the «conterminazione lagunare» defined by the canal named Taglio Novissimo di Brenta, except outside the area of Delta Brenta (Favero, 1992): here, the line marked on the Map represents the internal boundary of the lagoon in the 18th century; the preceding margin, further back, is buried at depths exceeding 1 m.

Between the Brenta and the Adige, it follows the internal boundary of the ancient lagoon of Brondolo, the southernmost basin of the Lagoon of Venice, drained between the 18th and 19th centuries (Favero, 1992).

In the «Renaissance delta» of the Po, it occurs on the eastern side of the Roman-Early Medieval belts. In the «modern delta», it follows the coastline in existence at the end of the 17th century. Only in the territory between the Po di Venezia and the Po di Goro can a more internal area of superficial lagoonal sediments be noted (Bondesan, 1990): here, a brackish basin is marked on some ancient maps (including that of the Ariano district, mapped by G. Giacomelli in 1735).

In the Ferrara area, the boundary coincides with the internal boundary of the brackish basins present in the second half of the 19th century. In the ex-Valli di Comacchio, this boundary had already been defined since Renaissance times by the construction of several lines of banks (Bondesan, 1989, 1990).

Further South, superficial or subsuperficial brackish sediments are found in the following areas:

- Pialasse Ravennati, lagoons which formed between the 16th and 19th centuries, today partially reclaimed, where the boundary coincides with the eastern margin of the Renaissance belt of the Pineta di S. Vitale (Castiglioni & alii, 1990);
- The salinas of Cervia and immediately adjacent low-lying areas.

10.8 Antica ripa di erosione marina

Come già detto, una *antica ripa di erosione marina* è ancora ben riconoscibile fra Cattolica e Bellaria; è addirittura individuabile anche nelle aree urbane di Rimini e Riccione. Di età olocenica (Veggiani, 1988), e più precisamente romana o post-romana (Elmi & Nesci, 1991), tale scarpata presenta un'altezza decrescente da 10 metri a Cattolica fino a circa 2 m, presso Bellaria, ed è incisa nelle alluvioni della pianura (fuorché in alcuni tratti presso Cattolica, ove è direttamente erosa in sedimenti prequaternari). A questa è addossata la fascia dei sedimenti marini olocenici recenti (fig. 10.4). La diminuzione di altezza è spiegabile (Elmi & alii, 1986) ammettendo fenomeni di relativa stabilità o moderato sollevamento a Sud, e crescenti abbassamenti per subsidenza a Nord, procedendo verso il Ravennate.

10.8 Ancient wave-cut cliff

As already mentioned, an ancient wave-cut cliff may still clearly be identified between Cattolica and Bellaria; it is even visible in the towns of Rimini and Riccione. Of Holocene (Veggiani, 1988) and more precisely of Roman or post-Roman age (Elmi & Nesci, 1991), the scarp decreases in height from 10 m at Cattolica to about 2 m near Bellaria, and cuts the alluvia of the plain (except for a few stretches near Cattolica, where it directly cuts pre-Quaternary sediments). The belt of recent Holocene marine sediments lies beneath the scarp (fig. 10.4). The reduction in height is explained (Elmi & alii, 1986) by phenomena of relative stability or moderate uplift to the South and increased lowering due to subsidence to the North, proceeding towards the Ravenna area.