

CAPITOLO 12 - CHAPTER 12

FORME LEGATE A INTERVENTI ANTROPICI FORMS CONNECTED TO ANTHROPIC ACTIVITIES

GIUSEPPE MARCHETTI & LUISA PELLEGRINI

con contributi di - *with contributions by*

M. BONDESAN, D. CASTALDINI, G.B. CASTIGLIONI & C. TELLINI

12.1 Introduzione

È un tema assai ampio, quello che riguarda l'azione morfologica dell'uomo. Schematicamente, può essere suddiviso in due sottotemi: le azioni che in modo diretto creano forme specifiche e i riflessi indiretti che l'azione umana ha sullo svolgimento di processi geomorfologici, i quali vengono a perdere così, in misura maggiore o minore, il loro carattere naturale. È opportuno inoltre, nello studio di una regione come la Pianura Padana, per l'antichità e la densità dell'antropizzazione, tener presente lo sviluppo storico degli interventi umani sul territorio.

Nei paragrafi che seguono, dopo una breve introduzione sullo sviluppo storico, verranno illustrate varie forme di origine antropica quali risultano nella *Carta*, con esempi, con notizie particolari e con riferimenti bibliografici. Per quanto riguarda l'impatto sull'ambiente, esso viene illustrato in questo capitolo e nel Capitolo 14 («Aspetti geomorfologici di carattere ambientale»); altri condizionamenti derivanti dall'opera dell'uomo sullo svolgimento dei vari processi geomorfologici sono messi in evidenza anche nei Capitoli 9 (per i processi fluviali), 10 (per i processi litoranei) e 15 (per l'insieme delle risposte del sistema fluviale).

12.2 Antiche e recenti trasformazioni nei territori agricoli

Le trasformazioni del paesaggio agrario, nei suoi aspetti geomorfologici, non trovano espressione nella legenda della *Carta*, perciò qui viene proposto solo un breve inquadramento. Senza risalire agli insediamenti del Neolitico, l'instaurarsi di una fitta occupazione umana si realizzò per la prima volta con la diffusione degli insedia-

12.1 Introduction

The morphological actions of man cover a very wide field. Briefly, they may be subdivided into: actions which directly create specific forms; and indirect effects which human actions have on geomorphological processes, which thus lose their natural character to a greater or lesser extent. When studying a region such as the Po Plain, due to its antiquity and density of anthropization, the historical development of human intervention on the territory should also be borne in mind.

After a short introduction to historical development, the following sections illustrate the various forms of anthropic origin shown on the Geomorphological Map, with details and references. The question of environmental impact is illustrated in this chapter and in Chapter 14 («geomorphological aspects with environmental implications»). Other influences due to man's activities on the evolution of various geomorphological processes are also discussed in Chapters 9 (fluvial processes), 10 (littoral processes) and 15 (the whole set of responses of the fluvial system).

12.2 Ancient and recent transformations in agricultural land

Transformations of the agricultural landscape, as regards its geomorphological aspects, are not expressed in the key to the Map, and only a brief framework is given here. Without going back to Neolithic settlements, dense human occupation was established for the first time when the «terramare» settlements became widespread in the central Po Plain in the Bronze Age, between the 18th and 10th centu-

menti delle «*terramare*» nella Pianura Padana centrale nell'età del Bronzo, tra i secoli 18° e 10° a.C. (Cremaschi, 1997) e con villaggi su palafitte in aree diverse.

La seconda e più importante fase a cui bisogna far riferimento è quella romana che ha comportato la sistematica strutturazione del paesaggio agrario secondo le regole geometriche delle «centuriazioni» (Autori Vari, 1983a); queste rappresentano, a tutt'oggi, almeno nelle porzioni di pianura non interessate da grandi eventi alluvionali posteriori o dalle grandi bonifiche, gli assi portanti della suddivisione del territorio e forniscono elementi di interpretazioni anche per le ricostruzioni paleogeografiche. Con risultati promettenti si sviluppano gli studi interdisciplinari, come quelli di «geoarcheologia», richiamati spesso anche in queste *Note* (ad es. Catarsi Dall'Aglio & alii, 1992).

Della centuriazione sono rimasti segni in vastissime parti della pianura, talvolta anche in aree subcostiere che, in qualche caso, ora possono trovarsi sotto il livello del mare (Peretto, 1986; Tozzi, 1987); importanti anche i rapporti con la rete stradale e con l'urbanizzazione di quell'epoca. Qui interessa inoltre ricordare che la sistemazione dei territori agricoli, realizzata allora, ha notevolmente influito sulla regimazione delle acque superficiali e sul loro comportamento nei confronti dei processi di erosione-deposizione: poté derivarne un non indifferente trasporto solido verso i collettori principali cui i singoli sistemi facevano capo. A questa circostanza sarebbe da collegare una fase relativamente repentina dell'avanzamento del delta del Po, verificatasi in epoca immediatamente successiva alla loro realizzazione (Marchetti & Dall'Aglio, 1998), di cui si fa cenno anche nei Capitoli 10 e 15.

Il ridisegno della rete idrografica minore, con i fossi di scolo tracciati lungo i *limites*, è leggibile, tra l'altro, in una carta della pianura emiliana centrale (in Cremaschi & alii, 1980). Si possono anche ricordare canali d'una certa importanza, se è vera l'ipotesi che il canale di Cagnola - Pontelongo, che ancor oggi raccoglie l'acqua del F. Bacchiglione, appartenga a questa fase di riordino artificiale dell'idrografia mirato, in questo caso, alla bonifica idraulica di un'area agricola veneta (Pesavento Mattioli, 1984).

Si è soliti ammettere che nel periodo romano fosse stata curata la sistemazione dei fiumi e che invece nell'alto Medioevo (per la scarsità della documentazione si fa ricorso a documenti dei secoli 9° e 10°) la pianura fosse un «regno della foresta e della palude», con fiumi male irrgimentati, periodicamente straripanti dal loro letto, collegati in un equilibrio idraulico assai instabile con una fitta trama di fosse e conche d'acqua semipermanenti (Bortolami, 1987). Si pone dopo il Mille, ma con intensità crescente nel basso Medioevo e nel primo Rinascimento, l'avvio di importanti iniziative rivolte al dissodamento dei terreni incolti, alla conquista dei terreni paludosi, alle opere idrauliche finalizzate sia alla bonifica, sia a facilitare i trasporti per via d'acqua, sia a scopi militari. Le principali iniziative erano dei monasteri e dei comuni, infine delle signorie e, per quanto importanti, risentivano dell'estrema frammentazione politica. Relativamente ai secoli successivi, fino all'epoca moderna, viene messa in evidenza l'importanza delle bonifiche (paragr. 12.4), ma anche il livellamento generalizzato delle

ries B.C. (Cremaschi, 1997), together with villages built on piles in various areas.

The second and more important phase occurred in Roman times, and involved systematic structuring of the agrarian landscape according to the geometric rules of the «centuriationes» (division of lands into regular plots) (Autori Vari, 1983a). Still today, at least in those portions of the plain not involved in later large-scale flood events or reclamation operations, these plots represent the main axes of the subdivision of the territory and also supply elements allowing paleogeographic interpretation and reconstruction. Interdisciplinary studies are furnishing promising results, particularly those of «geo-archeology», often referred to in these Notes (e.g. Catarsi Dall'Aglio & alii, 1992).

Signs of these centuriationes have remained over enormous areas of the plain, sometimes even in subcoastal sectors which, in some cases, are now under sea level (Peretto, 1986; Tozzi, 1987) and their relations with the road network and urbanization in those times are also important. Here, we recall that agricultural operations carried out on the land in Roman times considerably influenced the regime of surface waters and their behaviour as regards erosional and depositional processes: increased sediment transport towards the main drainage collectors may have been the result, and this circumstance is probably to be linked to the phase of advance of the Po Delta, which took place immediately after such works (Marchetti & Dall'Aglio, 1998) (see also Chapters 10 and 15).

*Changes to the minor drainage network, with drainage channels following the *limites*, is also clear on a map of the central Emilia plain (in Cremaschi & alii, 1980). There are also canals of a certain size, if the Cagnola-Pontelongo canal, which still collects waters from the river Bacchiglione, belonged to this phase of artificial re-ordering of the drainage network aimed, in this case, at hydraulic reclamation of an agricultural area in Veneto (Pesavento Mattioli, 1984).*

It is generally admitted that, during the Roman period, rivers were controlled and that instead, in early Medieval times (due to poor documentation, recourse is made to 9th- and 10th-century sources) the plain was a «kingdom of forests and marshes»: its rivers were poorly controlled, and periodically breached their banks, flowing as they did in a highly unstable hydraulic equilibrium with a dense network of ditches and semi-permanent ponds (Bortolami, 1987). It is believed that, after the year 1000 A.D., but with increasing intensity in late Medieval and early Renaissance times, many large-scale initiatives aimed at breaking uncultivated land and reclaiming marshy terrains, and hydraulic works were begun, with a view to facilitating both transport by water and for military purposes. The main initiatives were first those undertaken by monasteries and communes and then by the various seigneuries, although affected by extremely fragmented politics. During later centuries, until modern times, not only is the importance of reclamation works highlighted (see section 12.4), but also generalized levelling of morphological structures in relief, such as ancient dunes (Chapter 11), the ridges and levees of extinct rivers.

strutture morfologiche in rilievo, quali le vecchie dune (Capitolo 11), i dossi di fiumi estinti, gli argini abbandonati.

Per chiudere questi pochi cenni, è opportuno ricordare anche quelle forme di rimodellamento minuto dei terreni agricoli necessarie ad alcune colture specializzate diffuse in vaste aree della pianura: per esempio l'opera di spianamento per realizzare le risaie nel Piemonte orientale e nella Lombardia sud-occidentale; oppure la micromorfologia organizzata a spioventi con deboli pendenze per lo scorrimento dell'acqua nell'area dei prati permanenti della bassa Lombardia (le «marcite», ormai sostituite da sistemazioni più moderne). Per tanti altri aspetti che qui si omettono, si vedano ad es. Lorenzi (1914) e Lehmann (1961).

12.3 Cave e sbancamenti minerari; terrapieni

Superfici di sbancamento per antica attività mineraria sono indicate nella *Carta* in un solo caso, legato all'antica estrazione dell'oro. Si tratta delle grandi modificazioni realizzate nel corso dello sfruttamento dei giacimenti alluvionali d'oro conosciuti con il nome di «aurifodine della Bessa» (in Piemonte, tra Biella ed Ivrea). I giacimenti erano noti e sfruttati fin dai tempi più remoti, ma le coltivazioni più intensive si ebbero dopo la conquista romana della regione, con una radicale modificazione del paesaggio, collegata alla particolare tecnica usata dagli «aurifodini»: essa consisteva nell'approntamento di profondi solchi trasversali rispetto all'andamento dei terrazzi e inclinati verso il Torrente Elvo; in questi solchi venivano poi deviate le acque che, scorrendo, vagliavano i materiali e permettevano di ricavarne il metallo (fig. 12.1).

Nella *Carta* non sono certamente riportate tutte le tracce conseguenti alle attività di cava o alle attività estrattive in genere. Col simbolo *cavità artificiale, grande cava* si sono rappresentate le cavità di maggiore ampiezza o gruppi estesi di grandi cave contigue. Si aggiunge il simbolo *cave di piccole dimensioni* che mostra la grande diffusione di queste forme di origine antropica.

Le cave di argilla per laterizi erano un tempo diffusissime, mentre ora sono localizzate in due precise situazioni lito-geomorfologiche: a) superfici dei pianalti terrazzati del pedemonte appenninico e alpino (la materia prima è qui rappresentata dalle frazioni limoso-argillose del loess di copertura alterato) e b) le piatte superfici soggette ad esondazioni di epoca storica o protostorica, e a deposizione di limi e argille, i cui spessori possono arrivare a 15 m: le basse e piatte pianure alla destra del Po (ad es., Marchetti & alii, 1998), altre alla destra dell'Adige, ecc.

Invece, per le cave di ghiaia e sabbia, in una prima fase si era indotti al prelievo di materiali nei siti più prossimi alle aree di utilizzo, vicino alle città: ne è un esempio la fossa di cava oggi coincidente con l'Idroscalo di Milano, da cui vennero estratti soprattutto materiali utilizzati per la costruzione dell'aeroporto di Linate. Grandi concentrazioni di cave in aperta campagna sono quelle della cosiddetta «fascia ticinese» (Novara-Varese-Milano), tra cui quelle situate lungo il Naviglio Grande, già favorite, in passato, dalla possibilità di trasporto a mezzo chiatte. L'area mantova-

Important are those forms of small-scale remodelling of agricultural land, required for special crops grown extensively all over the plain: e.g., flattening carried out to create rice-paddies in eastern Piemonte and south-western Lombardia; or the slightly undulating micromorphology which allowed water to flow in the area of permanent meadows in low Lombardia («marcite», now replaced by more modern systems). For many other aspects omitted here, see for example Lorenzi (1914) and Lehmann (1961).

12.3 Quarries and strip mining; landfills

Stripped surfaces due to ancient mining activities are shown on the Map in only one case, that of ancient mining for gold. Large-scale modifications were made in order to exploit alluvial deposits for gold, called the «aurifodine di Bessa» (between Biella and Ivrea, in Piemonte). The mineralizations had been known and exploited since very remote times, but the most intensive quarrying took place after the Roman conquest of the region, with radical changes in landscape, due to the particular technique used by the aurifodini, which consisted of cutting deep furrows across the terraces sloping towards the Elvo river. Water was then diverted into these furrows and, by the very action of flowing, sorted the various materials, allowing gold to be picked out (fig. 12.1).

The Map certainly does not show all the traces consequent upon quarrying or mining in general. The largest cavities or extended groups of large adjacent quarries are marked by the symbol for artificial cavity, large quarry. The symbol small quarry is added, to illustrate the great number of these anthropic forms.

Areas quarried for clay used for making bricks were once very extensive. They are now located in two definite litho-geomorphological situations: a) surfaces of terraced plateaus in the Apennine and Alpine foothills (the raw materials here being the silty-clayey fractions of the weathered loess cover); b) flat surfaces subjected to flooding in historical or proto-historical times, with silt and clay deposits sometimes reaching thicknesses of 15 m: examples are the flat, low plain areas on the right bank of the Po (e.g., Marchetti & alii, 1998), those on the right bank of the Adige, etc.

As regards gravel and sand quarries, material was initially taken as near as possible to the cities where it would be used: an example is the former quarry now called the Idroscalo di Milano, which mainly supplied materials for constructing Linate airport. There are numerous quarries in the open country in the so-called «Ticino belt» (Novara-Varese-Milano), of which those along the Naviglio Grande were particularly favoured, since materials could be transported along the canal by barge. The Mantova area (in the Mincio plain) was exploited in the early 20th century, not only for supplies to the province but also to a wider territory, again transported by barge along the Po (mean annual production, about 50,000 m³/year). Starting from 1960, quarrying in the Mincio plain was extended on an industrial scale and, according to recent studies, excee-

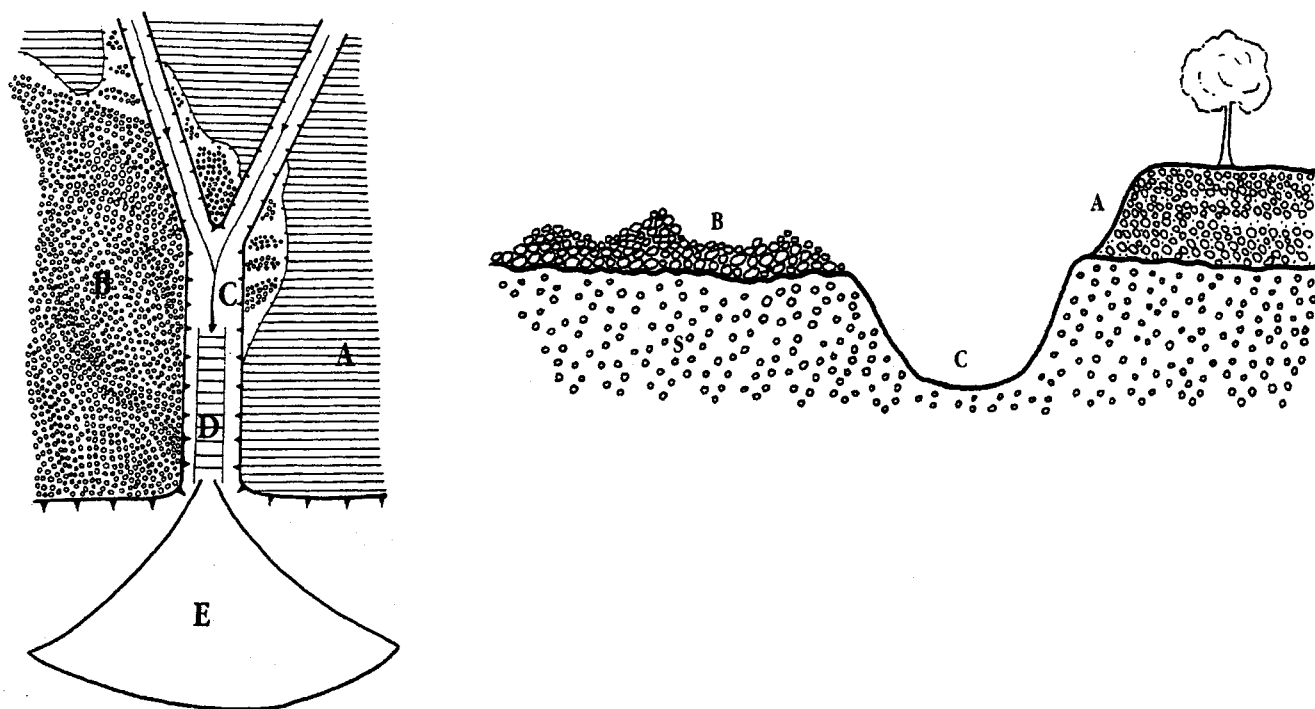


FIG. 12.1 - Elementi dell'antico paesaggio minerario (estrazione dell'oro) nell'area della Bessa, a Sud-Ovest di Biella (da Gianotti, 1996): schema semplificato dei sistemi di coltivazione, in pianta (a sinistra) e in sezione (a destra): A - depositi torrentizi costituenti il *placer* aurifero; B - cumuli di grossi ciottoli; C - valloni artificiali per il convogliamento del detrito aurifero minuto (sabbia e piccoli ciottoli); D - canale di lavaggio per la cernita dell'oro e minerali pesanti, un tempo attrezzato con fascine o con traverse in legno; E - detriti di scarto, trascinati dall'acqua di lavaggio (accumuli sabbioso-ghiaiosi in forma di «conoidi antropici»); S - substrato del *placer*: depositi fluviali, depositi glaciali.

FIG. 12.1 - Elements of ancient mining landscape (gold mining) near Bessa, SW of Biella (from Gianotti, 1996): simplified diagram of systems of exploitation, plane (left) and cross-section (right): A - stream deposits composing gold-bearing *placer*; B - accumulations of large pebbles; C - artificial furrows to convey minute gold-bearing debris (sand, small pebbles); D - wash-out canal for gold and heavy metals, once equipped with rudimentary filters made of bundles of rushes or wood; E - discard materials, transported from wash-out water (sandy-gravelly accumulations as «anthropic alluvial fans»); S - *placer* substrate: fluvial deposits, glacial deposits.

na (nella pianura del Fiume Mincio) era già sfruttata all'inizio del 20° secolo, non solo per gli approvvigionamenti provinciali, ma anche al servizio di un ampio territorio raggiungibile attraverso la via fluviale del Po (produzione media annua dell'ordine di 50.000 m³/anno). A partire dal 1960 l'attività estrattiva si allarga nella pianura del Mincio con caratteri industriali: secondo indagini recenti, nella provincia di Mantova vengono estratti oltre 2 Mm³/anno (Amministrazione Provinciale di Mantova, 1996). Nel settore della pianura pedemontana veneto-friulana sono frequenti le cave di ghiaia, collocate sui grandi conoidi o nelle piane di divagazione olocenica incassate dell'Adige, dell'Astico, del Brenta, del Piave ecc., fino a Gorizia. Lungo il Po e in tutta la Pianura Padana si sfruttano inoltre largamente le aree di golena, con imponenti concentrazioni, e con un parziale riutilizzo delle aree interessate come *casce di espansione delle piene*. Nella bassa pianura si riscontrano attività estrattive che interessano grandi paleovalvi (ad esempio intorno a Ferrara) e anche antichi depositi sabbiosi litoranei (come le cave situate fra le Valli di Comacchio e il Reno).

ded 2 Mm³/year (Amministrazione Provinciale di Mantova, 1996). In the Veneto-Friuli pede-Alpine plain, gravel quarries are frequent on the large Holocene fans or flood plains of the Adige, Astico, Brenta, Piave, etc., as far as Gorizia. Large high water beds were also frequently exploited along the Po and throughout the plain, with partial re-use of the areas in question as controlled flood washland. In the lower plain, materials were quarried from large paleo-riverbeds (e.g., around Ferrara) and ancient littoral sand deposits (e.g., between the Valli di Comacchio and the Reno).

In periods of great demand (e.g., in the boom following the Second World War), direct quarrying from riverbeds was conducted on a large scale, far exceeding the possibilities of natural renourishment (fig. 12.2): accelerated deepening of riverbeds was the disastrous result (see Chapters 14 and 15).

In general, quarries opening directly on alluvial plains (including high water beds) are classified into two types: a) those excavated above and b) below the watertable. The

Nei periodi di più intensa richiesta (nei decenni del grande sviluppo economico seguito alla seconda guerra mondiale) furono importanti i prelievi attuati direttamente dagli alvei fluviali, con un'attività estrattiva largamente eccedente le possibilità di naturale ripascimento (fig. 12.2); ne risultarono pesanti dissesti derivanti dall'accelerato approfondimento degli alvei (v. Capitoli 14 e 15).

In generale, le cave aperte direttamente sui ripiani alluvionali (comprese le aree golenali) possono venir classificate secondo le due seguenti tipologie: a) cave a fossa coltivate soprafalda, b) cave a fossa coltivate sottofalda. Quelle del primo tipo vengono spinte in profondità, fino a circa 1 m sopra il livello di massima escursione della falda freatica e, una volta abbandonate, vengono recuperate

former were deep, up to about 1 m above the maximum range of the phreatic table and, once abandoned, were recovered for agricultural use after a suitable cover layer had been laid down. The latter deeply penetrated the watertable (often up to and beyond 30 m) and, once exhausted, left bodies of water of various sizes, now often used for recreational purposes (as fishing-ponds) and/or used as natural reserves. In both cases, cavities remain on the land, variously depressed with respect to surrounding areas, except for cases in which they have been completely filled in with accumulations of natural materials (Gadolini & Tagliavini, 1981) or, exceptionally, solid waste.

In any case, mining from flat surfaces involves several negative consequences: the landscape is ruined by the pre-

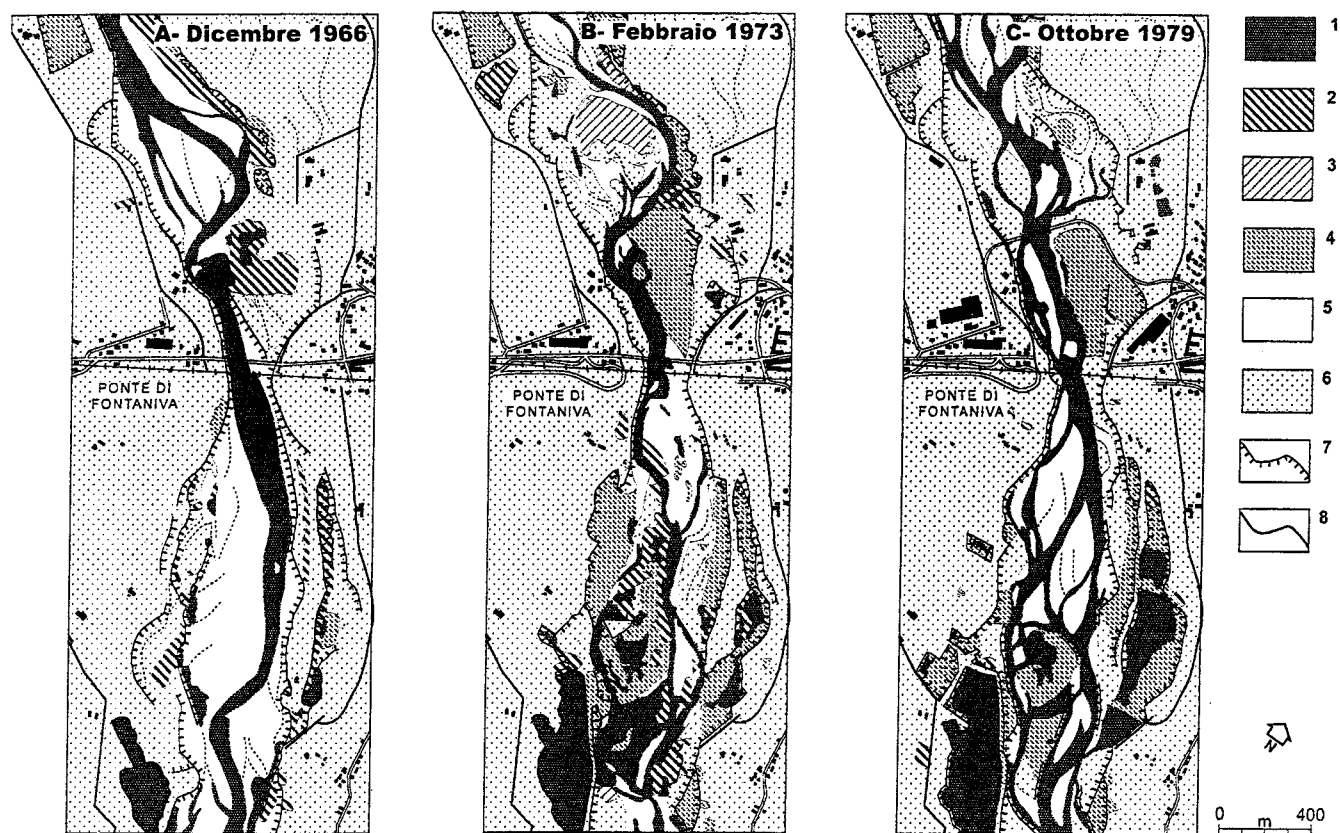


FIG. 12.2 - Attività estrattiva (ghiaia e sabbia) nell'alveo del F. Brenta: tre situazioni ottenute da fotointerpretazione (da Castiglioni & Pellegrini, 1981, semplificato): A - Immediatamente dopo la grande piena del novembre 1966, le cave in alveo sono sepolte sotto i nuovi sedimenti fluviali; B - massimo sviluppo delle cave nell'alveo; C - in seguito al divieto di estrazione in alveo, si ricostituiscono le forme fluviali, ad un livello più basso. 1 - Alveo con acqua ed altri specchi d'acqua in cave attive ed inattive; 2 - cave attive; 3 - aree di escavazione diffusa, attiva; 4 - cave inattive e in parte riutilizzate per scopi agricoli; 5 - parti d'alveo «attive», barre non coperte da vegetazione; 6 - golene e parti d'alveo con vegetazione, inondate solo nelle piene eccezionali; pianura olocenica con coltivazioni; 7 - scarpate di erosione fluviale e scarpate artificiali; 8 - argini e altre difese di sponda.

FIG. 12.2 - Quarrying of gravel and sand in bed of river Brenta: three situations observed by means of aerial photo interpretation (simplified from Castiglioni & Pellegrini, 1981): A - Immediately after great flood of November 1966: riverbed quarries are buried under new river sediments; B - maximum expansion of quarries in riverbed; C - after restriction on riverbed quarrying, new fluvial bedforms appear at a lower level. 1 - Water in riverbed and in active or inactive quarries; 2 - active quarries; 3 - areas with active extensive or scattered excavations; 4 - inactive quarries and old quarries organized for agricultural use; 5 - «active» riverbed; not vegetated, recently deposited bars; 6 - «inactive», vegetated riverbed, inundated only in exceptional flood events (not distinguished here from cultivated Holocene alluvial plain); 7 - main erosional scarps, due to both fluvial activity and artificial cutting; 8 - dikes and other permanent embankments.

all'uso agricolo dopo la stesura sul fondo di uno strato di terreno idoneo. Quelle del secondo tipo penetrano profondamente nella falda (sovente fino ed oltre 30 m); terminata la coltivazione, rimangono sul posto laghetti di varia estensione, spesso utilizzati a fini ricreativi (pesca sportiva) e/o attrezzati per scopi naturalistici. Rimangono comunque sul terreno fosse, variamente depresse rispetto alle aree circostanti, ad esclusione dei casi in cui sia stato attuato un completo ritombamento delle fosse stesse, ottenuto accumulandovi inerti naturali (Gadolini & Tagliavini, 1981) o, eccezionalmente, rifiuti solidi.

L'attività estrattiva esercitata a partire dalle superfici piane comporta comunque diverse conseguenze negative: oltre a quelle paesaggistiche, dovute alla persistenza di depressioni «innaturali» e legate anche e soprattutto al tipo di ripristino effettuato a chiusura del periodo di prelievo (Perego, 1988, 1994), va ricordata la loro pericolosità ai fini dell'inquinamento delle falde idriche, soprattutto quando l'elevata permeabilità dei depositi nei quali le fosse sono intagliate consente la facile e rapida infiltrazione di eventuali sostanze indesiderate, che per varie ragioni possono pervenire all'interno delle fosse stesse (Marchetti & Lazzarini, 1997). Sulla spinta delle necessità dettate dalle predette conseguenze ambientali e, in particolare, al fine di evitare l'apertura di «fosse-inghiottitoi», si assiste oggi giorno alla tendenza di impostare le cave al fronte di scarpate naturali di terrazzi. Tali cave prevedono l'escavazione a partire dall'orlo, con arretramento dei fronti della cava e conseguente riduzione delle superfici dei terrazzi stessi. Le aree così scavate, una volta recuperato il ripiano di cava con la stesura di un adeguato strato di terreno, nonché il relativo fronte (con rimodellamento delle scarpate, minuta gradonatura, posa di viminate antiruscellamento e impianti vegetali) non conservano più vistose tracce morfologiche dell'attività svolta (Marchetti & Cristalli, 1997).

Tra le forme della pianura la *Carta* riporta solo in piccolo numero i *terrapieni*, quelli di dimensioni sufficienti per la loro rappresentazione; si tratta di piccoli rilievi («colline artificiali»), assai diffusi, realizzati come discariche di rifiuti o con materiali di demolizione vicino alle aree urbane. Un esempio è la «Montagnola» di Milano.

Come *colmata artificiali* sono rappresentate le aree di ampliamento portuale ed industriale realizzate nella Laguna di Venezia e presso Monfalcone: riguardano soprattutto casi imponenti di attività costruttive che hanno modificato il disegno fisico della costa lagunare; è visibile il caso dell'«Aeroporto Marco Polo» e, specialmente, il settore di Mestre-Marghera; qui, a Sud, si nota il risultato incompleto della colmata artificiale che avrebbe dovuto ospitare la «terza zona industriale» veneziana: operazione non portata a termine ed ora in corso di recupero, per l'intenzione di riportare l'area ad una apparente «naturalità» con la ricostituzione delle barene e dei canali lagunari prima cancellati.

12.4 Aree di bonifica per colmata o con impianti idraulici

Nella porzione centro-orientale della pianura esistono molte aree interessate da bonifica. Esse, nella *Carta*, ap-

sence of persisting «unnatural» cavities and above all by the results of reclamation works carried out after extraction (Perego, 1988, 1994). In addition, these cavities are dangerous as regards pollution of water-bearing levels, above all where highly permeable deposits allow easy, rapid infiltration of sometimes dangerous substances (Marchetti & Lazzarini, 1997). In view of such environmental consequences, the tendency nowadays is to start quarrying at the faces of natural terrace scarps. Excavation starts from the bottom edge with removal of quarry faces and consequent reduction of the terraced surfaces. These excavated areas, once recuperated with adequate amounts of landfill, and the faces themselves (with careful remodeling and grading of scarps, emplacement of anti-runoff systems and reafforestation) no longer preserve the most evident morphological traces of human activity (Marchetti & Cristalli, 1997).

Among the forms in the plain, the Map only shows a small number of landfills, those large enough to be represented. These very frequent small reliefs («artificial hills») are now used as dumps for waste or building rubble near cities, e.g., Milan's «Montagnola» (little mountain).

Amplification of port and industrial areas in the Lagoon of Venice and near Monfalcone are shown as artificial landfills, and mainly concern large-scale building activities which have physically changed the lagoonal coastline. Highly visible examples are Venices «Marco Polo Airport» and particularly the nearby industrial zone of Mestre-Marghera. Here, to the South, note the incomplete result of the artificial landfill which was to have contained the «third industrial zone» of Venice, an operation which was not completed and which is now being reversed, with the intention of restoring apparent «naturalness» to the area by building high salt marches and recovering previously obliterated lagoonal channels.

12.4 Areas reclaimed by fluvial fills or hydraulic pumping stations

There are many reclaimed areas in the central-eastern part of the Po Plain. They appear on Sheet 2 of the Map, from the low plain near Piacenza on the right bank of the Po; proceeding eastwards, they become very frequent, particularly on Sheet 3. These reclamation works generally involve hydraulic operations (recognizable in the dense series of grid-like canals) and fluvial fills.

On the Map, the latter, called main fluvial fills, artificially controlled (or «bonifiche per colmata») are dotted in black, showing areas, called «casse di colmata» in which the terrain was elevated by distributing fluvial sediments sent to spaces with special embankments all around. Their frequency in the low Emilia-Romagna plain shows the close relationship with sediment-laden Appenine watercourses, and their boundary along the line corresponding approximately to the ancient course of the Po di Primaro, now the Reno. Beyond, the land was mainly occupied by the brackish waters of the Valli di Comacchio, without sedimentation and now mainly reclaimed by pum-

paiono nel Foglio 2, già nella bassa pianura di Piacenza a destra del Po e, procedendo verso Est, diventano molto frequenti, particolarmente nel Foglio 3. Si tratta di bonifiche eseguite tramite opere idrauliche in genere (riconoscibili nella trama fitta dei canali a maglie geometriche) e di bonifiche per colmata.

Nella *Carta* queste ultime, denominate *colmate fluviali controllate artificialmente*, sono punteggiate in nero; si sono indicate con questo simbolo le aree in cui il terreno è stato sopraelevato mediante la distribuzione dei sedimenti fluviali fatti entrare entro spazi appositamente arginati al contorno, detti «casse di colmata». La loro diffusione nella bassa pianura emiliano-romagnola mostra lo stretto rapporto con i corsi d'acqua di provenienza appenninica, ricchi di torbide, e la delimitazione lungo la linea corrispondente all'incirca all'antico Po di Primaro, oggi il Reno. Al di là del Reno, i terreni erano prevalentemente occupati dall'acqua salmastra delle «Valli di Comacchio», sottratti alla sedimentazione, e infine sono stati in gran parte sottoposti a bonifica mediante idrovore; così questi ultimi terreni sono ora assai depressi (si veda la *Carta Altimetrica*; inoltre Castiglioni & alii, 1990; Simeoni & Bondesan, 1997).

In sostanza, la «bonifica per colmata» rappresenta il risultato di un processo geomorfologico controllato dall'uomo, mediante un particolare tipo di governo delle acque nei secoli passati; esso potrebbe non aver totalmente perduto il suo interesse in un'epoca come la nostra, in cui il problema della subsidenza si è evidenziato con la sua gravità (Preti, 1999).

Dall'epoca romana fino a tutto il Rinascimento, per lo più era stata adottata, per il drenaggio e la bonifica di aree paludose, la tecnica «a scolo-gravità» (ossia dell'allontanamento delle acque per gravità con la costruzione di appositi canali). Nel Rinascimento grandi interventi furono compiuti dagli Estensi, fra il 1447 e il 1523, ad Ovest e a Sud di Ferrara, ma il maggiore fu quello realizzato fra il 1564 e il 1580 ad Est di Copparo, fra il Po Grande e il Po di Volano, la «Grande Bonificazione Estense»; quest'ultima però ebbe vita breve: in pochi decenni l'abbassamento dei terreni, causato dal prosciugamento, e varie rotte del Po ripristinarono l'ambiente palustre (Amministrazione Provinciale di Ferrara, 1989).

A partire dal 17° secolo è stata fortemente utilizzata la tecnica delle bonifiche per colmata, di cui si è detto sopra, e solo a partire dal 1874, con l'avvento delle macchine idrovore, è stata introdotta la tecnica della *bonifica meccanica*, che ha risolto il problema del prosciugamento della maggior parte delle paludi nelle aree depresse dell'interno e della fascia costiera; essa ha consentito anche la trasformazione in aree agricole di molti estesi bacini, un tempo occupati da acque stagnanti dolci o salmastre (fig. 12.3), e che oggi, difesi lungo il contorno da potenti argini, possono essere assimilati ai *polder*.

Tutti gli spazi di pianura bonificati, sia quelli della fascia posta sotto il livello del mare, sia quelli più interni, sono ora serviti da impianti idrovori stabili, che debbono lavorare per molti mesi dell'anno per evitare il riallagamento del territorio. Zona per zona, per ottimizzare il sistema di scolo, le varie aree sono state svincolate l'una

ping; all this has meant that these terrains are now considerably depressed (see Map of Relief; see also Castiglioni & alii, 1990; Simeoni & Bondesan, 1997).

The bonifica per colmata effectively represents the result of a geomorphological process controlled by man, by means of a particular type of water management in past centuries. It has not entirely lost its interest even today, in which the problem of subsidence is highlighted in all its gravity (Preti, 1999).

From Roman times until the end of the Renaissance, drainage of water by gravity along canals was mainly used to reclaim marshy areas. In the Renaissance, large-scale operations were carried out by the Este family between 1447 and 1523, West and South of Ferrara, but the largest were those undertaken between 1564 and 1580 East of Copparo, between the Po Grande and the Po di Volano, the Grande Bonificazione Estense. However, they did not last long: in a few decades, sinking of land caused by drying out and various breaches of the Po caused the environment to return to its marshy state (Amministrazione Provinciale di Ferrara, 1989).

From the 17th century onwards, the technique of bonifica per colmata was popular, and it was only after 1874, with the advent of pumping machinery, that the technique of mechanical reclamation was introduced, solving the problem of draining most of the marshes in the depressed areas inland and along the coastal belt. It also allowed sometimes very extensive areas once occupied by stagnant fresh or brackish waters to be transformed into agricultural land (fig. 12.3): today, protected along their perimeters by high embankments, they are similar to polders.

All the reclaimed areas of the plain, both in the belt under sea level and those more inland, are now served by permanent pumping stations, which are obliged to work for most of the year in order to avoid reflooding. Zone by zone, in order to optimize the drainage system, the various areas have been separated from each other by the construction of new canals connected to special pumping stations. Often, on the basis of experience going back to Renaissance works, the waters of each reclaimed area have been collected in the so-called «low water channels» in order to separate them from areas further upstream, which now discharge their waters collected in «high water channels». This type of arrangement, bearing in mind its historical development and present-day problems, is described for the Veneto area by Rusconi (1991). The Map, among the most important reclaimed areas, shows mainly the first- and second-order canals (for more details on canals of regional importance, see section 12.6). One example of a vast reclaimed area inland is that of the Valli Grandi Veronesi (Sheet 2).

During the phases of this reclamation, the network of drainage canals had to be re-organized several times in order to fit them into altimetric evolution resulting from compaction (due to reclamation itself) and other phenomena of subsidence (cf. chapters 13 and 14). As well as sediment compaction, chemical reactions occurred in the organic components of the sediments themselves (e.g., oxidation of

dall'altra mediante la costruzione di nuovi canali facenti capo ad appositi impianti idrovori; spesso, sulla base dell'esperienza delle bonifiche del Rinascimento, sono state separate le acque di ciascuna area di bonifica (raccolte nei cosiddetti «canali di acque basse») da quelle dei territori più a monte (che in precedenza si scaricavano in tale area) che vengono raccolte nei canali di acque alte. Una sistemazione di questo tipo, tenuto conto della sua evoluzione storica e della problematica attuale, è descritta per l'area veneta da Rusconi (1991). Nella *Carta*, entro le più importanti aree bonificate, sono riportati soprattutto i canali di primo e secondo ordine (per maggiori dettagli sui canali di importanza regionale si veda il paragrafo 12.6). Come esempio di area bonificata molto estesa, all'interno della pianura, si riconosce quella corrispondente alle «Valli Grandi Veronesi» (Foglio 2).

Nelle varie fasi di questa bonifica, le reti dei canali di scolo hanno dovuto essere più volte rinnovate anche per adeguarle all'evoluzione altimetrica conseguente al costipamento dei terreni (legato alla bonifica stessa) e agli altri fenomeni di subsidenza (cfr. Capitoli 13 e 14); infatti, oltre al costipamento dei sedimenti, sono da mettere in conto le reazioni chimiche intervenute a carico dei componenti organici dei sedimenti stessi (ad esempio l'ossidazione delle torbe). Gli ulteriori abbassamenti indotti nella falda acquifera per recuperare il «franco di coltivazione» hanno ovviamente provocato nuovi abbassamenti del suolo. Una volta esaurita questa rincorsa fra il livello del terreno e il livello della falda, si sono registrate perdite di quota anche superiori ad un metro.

A proposito della subsidenza artificiale indotta dalle bonifiche idrauliche, hanno interesse geomorfologico e naturalistico anche alcuni casi del tutto particolari di *aree umide sopraelevate* (indicate sulla *Carta geomorfologica* con un piccolo segno +): esse risultano dalla mancanza di subsidenza, in confronto con le aree circostanti, artificialmente prosciugate e perciò oggi più depresse. Ne è esempio caratteristico la Palude del Busatello, ubicata nelle valli di Ostiglia, cioè nel settore meridionale del territorio compreso tra i fiumi Po, Mincio e Adige, al confine tra la provincia di Mantova e quella di Verona (Foglio 2); qui, oltre alla mancata subsidenza per costipamento, si è aggiunto un limitato rialzo della palude derivante da accumulo di resti vegetali. Questa è una delle poche aree umide di una certa estensione sopravvissute alle bonifiche del secolo scorso; tali paludi hanno conferito alla zona caratteristiche singolari non solo sotto il profilo ambientale ma anche sotto l'aspetto economico. Infatti nel basso veronese l'industria delle erbe palustri ha avuto per lunghi periodi una notevole importanza (Daccordi & Zanetti, 1989). Situazioni non dissimili si osservano presso il F. Tagliamento (Foglio 3: paludi del Canale Cavrato) e nell'area paludosa alla confluenza dell'Idice e del Sillaro nel Reno.

12.5 Opere che interessano il sistema fluviale

Sono state rappresentati sulla *Carta* i più importanti manufatti e altre forme legate ad interventi artificiali: gli ar-

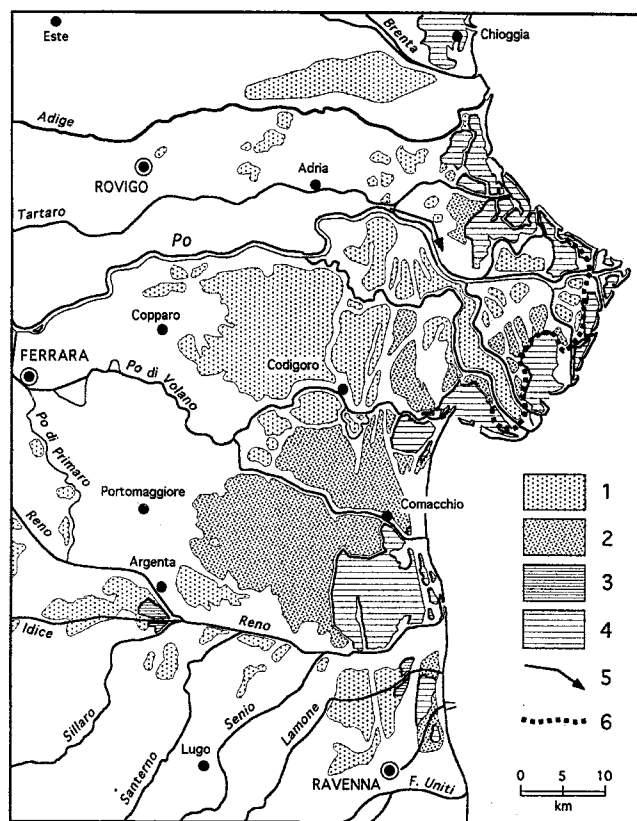


FIG. 12.3 - Delta del Po: specchi d'acqua esistenti, e specchi d'acqua estinti per bonifica idraulica a partire dal 1870 (secondo M. Bondesan, 1989): 1 - Bacini di acque dolci, prosciugati; 2 - bacini di acque salmastre, prosciugati; 3 - attuali bacini d'acqua dolce; 4 - lagune e bacini d'acque salmastre, attuali; 5 - «Taglio di Porto Viro»: deviazione artificiale del Po; 6 - linea di costa del 1870.

FIG. 12.3 - Po Delta: bodies of water reclaimed after 1870 and present-day ones (according to M. Bondesan, 1989): 1 - Reclaimed bodies of fresh water; 2 - reclaimed brackish lakes; 3 - present-day freshwater basins; 4 - present-day lagoons and brackish lakes; 5 - «Porto Viro cut»: artificial diversion of Po; 6 - coastline in 1870.

peat). Of course, further lowering of the water-table, aimed at recovering the depth of the soil above it, caused new ground sinking. Once this vicious circle between land and water-table levels was exhausted, lowering sometimes exceeding 1 m was recorded.

As regards artificial subsidence induced by hydraulic reclamation, some very special cases of geomorphological and naturalistic interest are the wetlands emerging from the subsiding drained plain (shown on the Geomorphological Map with the small black sign +). They are the result of the lack of subsidence with respect to surrounding areas, artificially drained and thus today more depressed. A characteristic example is the Busatello marsh in the Valli di Ostiglia, i.e., the southern sector of the territory between the Po,

gini, le opere di sbarramento, i fiumi pensili, i fiumi canalizzati, i principali canali scolmatori delle piene, le casse di espansione delle piene; elementi che, nell'insieme, forniscono una prima immagine del grado di trasformazione del sistema fluviale. Dal punto di vista storico, va tenuto presente che le prime opere di arginatura o di canalizzazione di alcuni rami fluviali risalgono, sia pure in piccola misura, all'epoca etrusca e a quella romana e che, per il Medioevo, gli argini costruiti dai padovani lungo il F. Brenta «a difender lor ville e lor castelli» erano menzionati da Dante Alighieri all'inizio del 14° secolo. Questo accenno vuole solo ricordare la complessa e lunga vicenda di una millenaria convivenza delle popolazioni e dei fiumi, essendo questi ultimi elementi vitali di attrazione e insieme fonte di pericoli.

Gli *argini* lungo il Po figurano nella *Carta* in modo discontinuo prima della confluenza col Ticino; da qui diventano elemento continuo, che delimita su entrambi i lati le aree di golena (Capitolo 5). Si deve avvertire che sono rappresentati solo gli «argini maestri», che svolgono una funzione difensiva essenziale per gli spazi circostanti specialmente in occasione di grandi piene; più spesso le acque di piena sono trattenute da sistemi di argini secondari, meno elevati, che consentono l'utilizzo degli spazi difesi con un minor margine di sicurezza. L'altezza degli argini maestri ha dovuto progressivamente essere accresciuta, specialmente procedendo verso i territori più depressi del tratto inferiore, dove può raggiungere 10 m (fig. 5.7), e ciò anche per porre rimedio al fenomeno della subsidenza. Inoltre, passando dal territorio di Mantova a quelli di Ferrara e Rovigo, si nota che la golena viene meno e che gli argini si affiancano direttamente all'alveo ordinario del fiume. Specialmente nell'ultimo secolo gli argini sono stati non solo ulteriormente innalzati, ma anche notevolmente ispessiti, con creazione di più banche sul lato esterno.

Non volendo elencare tanti altri fiumi arginati, conviene almeno far notare che anche l'Adige e il Reno (tra gli altri) hanno, come elemento comune rispetto al Po, un tracciato attraverso settori di pianura assai depressa, nei quali la funzione degli argini molto elevati è essenziale.

La *Carta* mostra anche la presenza di tratti arginati dei corsi d'acqua dove questi attraversano l'alta pianura ed hanno un pattern di tipo *braided*. La loro funzione, oltre che di difesa dalle esondazioni (nei periodi in cui era più manifesta la tendenza all'aggradazione) riguarda anche la difesa dai fenomeni di erosione laterale. Nei fiumi a meandri quest'ultima funzione risulta essenziale anche per gli argini maestri, quando questi corrono «in froldo», ossia a ridosso della sponda esterna delle anse, dove maggiore è il rischio di rotta arginale; il rischio, che viene mitigato con scogliere di pietrame o rivestimenti, ancor oggi si presenta con una certa gravità.

Pensili sono detti, nel linguaggio corrente, i tratti dei fiumi e dei canali arginati in cui il livello dell'acqua è mediamente al di sopra del livello del terreno circostante. Ma nel rilevamento della *Carta Geomorfologica* si è deciso di mettere in evidenza soprattutto un aspetto che riguarda solo i fiumi ed è in relazione con l'attività di sedimentazione di questi, se posteriormente al loro confinamento entro gli argini artificiali hanno avuto la tendenza ad elevare il

Mincio and Adige, at the border between the provinces of Mantova and Verona (Sheet 2). Here, as well as lack of subsidence due to compaction, the marsh rose very slightly as a result of the accumulation of vegetal remains. This is one of the few wetlands which survived the reclamation works of the last century. These marshes have given the area peculiar characteristics, from both environmental and economic viewpoints. In the low Verona area, production of canes and rushes was of considerable importance for long periods of time (Daccordi & Zanetti, 1989). Similar situations occur near the Tagliamento (Sheet 3: Canale Cavrato marshes) and in the marshy area at the confluence of the Idice and Sillaro with the Reno.

12.5 Works involving the fluvial system

The Map shows the largest man-made forms, linked to artificial intervention: embankments, dams, hanging rivers, canalized rivers, the main floodways, and controlled flood washland; all elements which, together, give an initial picture of the extent to which the fluvial system has been transformed. From the historical viewpoint, it should be recalled that the first embankments or canalizations of some rivers, although to a minor extent, go back to Etruscan or Roman times and that, as regards Medieval times, the banks built by the citizens of Padova along the Brenta «to defend their villages and castles», were mentioned by Dante at the beginning of the 14th century. Mention is made of this merely to recall the complex series of events, spanning thousands of years, involving human populations and their relations with rivers, the latter being both essential features of attraction and sources of danger.

The levees along the Po appear on the Map discontinuously before the confluence with the Ticino, from which point they become continuous, defining high water beds on both sides (Chapter 5). Note that only the «master levees» with their essentially defensive function for the surrounding areas, especially during flood events, are represented; more often, flood waters were restrained by systems of secondary, lower embankments, providing protected spaces with a lower margin of safety. In order to remedy subsidence, it was necessary to increase the height of the master levees progressively, especially proceeding towards the most depressed territories in the lower stretch, where the height may reach 10 m (fig. 5.7). Moreover, passing from the province of Mantova towards Ferrara and Rovigo, note that the high water bed is missing and that the levees directly face the ordinary bed of the river. Especially during the last hundred years, they have been not only further raised but also made considerably thicker, with the building of several wide steps on the outer edge.

In order not to list many other embanked rivers, we simply note here that the Adige and Reno (among others) flow, like the Po, through some greatly depressed sectors of the plain, in which the role played by very high banks is essential.

proprio alveo per aggradazione. Costituiscono quindi, nell'insieme, elementi della morfologia fluviale nettamente in rilievo rispetto ai tratti di pianura che li fiancheggiano; e ciò per l'effetto cumulato di un processo fluviale (semi-naturale) e dell'attività umana di ripetuta sopraelevazione degli argini. Sulle due *Carte* il simbolo è dato da un allineamento di puntini neri interposto tra le linee degli argini; si sono presi come riferimento per valutare la pensilità i punti quotati sulle isole fluviali e nelle vicine golene (cfr. Castiglioni, 1995), quote ritenute corrispondenti al livello raggiunto e superato dalle acque di piena capaci di apportare ulteriori sedimenti.

L'utilizzo da parte dell'uomo delle aree di golena, spesso pensili, ha fatto sorgere svariati problemi di carattere ambientale, anche per le profonde trasformazioni degli ultimi decenni, come verrà detto sinteticamente nel Capitolo 15 (paragr. 15.6). Per le implicazioni giuridico-ambientali, esiste una complessa normativa (Marchetti, 1990).

Lungo il Po, un simbolo specifico (a trattini neri) indica la presenza di *opere di stabilizzazione dell'alveo ordinario*; si tratta di opere radenti discontinue, raramente di opere sporgenti in alveo, con massicciate che restano sommerse dall'acqua di piena e quindi non ne limitano l'espansione laterale; esse sono in grado di stabilizzare la direzione della corrente con curvature che assecondano la tendenza spontanea del fiume a formare anse, ma riducono sensibilmente lo sviluppo delle barre sabbiose e dei canali laterali secondari ad andamento irregolare (fig. 15.6). I lavori furono progettati per la prima volta nel 1919 per migliorare la navigabilità. Lo studio delle portate di magra ordinaria (circa 400 m³/sec) ha permesso la definizione dei parametri geometrici del canale, su una larghezza di circa 300 m.

I *tratti di fiume incanalati artificialmente* (brevemente: «fiumi canalizzati»), rappresentati con frecce nere su un lato) sono stati realizzati o su tracciati del tutto nuovi, o per locali rettifiche, e spesso sono in relazione con deviazioni fluviali provocate artificialmente (cfr. Capitolo 9, tab. 9.1). Lungo il Po, si è indicato il tratto del fiume dove, a valle di Pavia, con interventi di rettifica dei secoli 14° e 15° (Maraga, 1999) sono state eliminate le anse dei meandri. Più a valle, nell'area deltizia, e precisamente sul ramo principale detto Po delle Fornaci, l'intervento veramente importante, anch'esso indicato nella *Carta*, fu il «taglio di Porto Viro» (1599-1604); esso fu voluto e realizzato dal governo veneziano mediante l'escavazione di un nuovo corso attraverso i cordoni con dune ove adesso sorge il paese di Taglio di Po, e di un tratto ulteriore diretto a Sud-Est (indicato col nuovo nome «Po di Venezia»): è stato ottenuto lo scopo preciso di evitare l'accrescimento del delta che si stava formando in prossimità della laguna veneziana; da quel momento ebbe origine il delta moderno (fig. 10.5).

Per quanto riguarda i fiumi canalizzati, è spesso evidente un diretto collegamento con la sistemazione di ampi territori ai fini della bonifica. Nell'Emilia-Romagna spicca il Reno, condotto a sfociare direttamente in mare dopo secoli di divagazioni tra le paludi ai margini tra i territori di Bologna e di Ferrara, dove fu utilizzato a fini di bonifica per colmata (salvo un periodo in cui era stato allacciato al Po di Ferrara). Intorno alla metà del 18° secolo il Reno è

The Map also shows embanked stretches of rivers where they cross the high plain and are of braided type. Their function, as well as defence against flooding (during periods when the tendency towards aggradation was more acute) also deals with protection against lateral erosion. In meandering rivers, this function is also essential for the master levees when they run in frodo, i.e., behind the external bank of the bends, where the risk of breaching is greatest: this risk still exists, although protection in the form of rubble mounds or coverings is set in place.

In ordinary language, stretches of rivers and embanked canals in which the water level is on average higher than the surrounding land are called «hanging». However, on the Map, it was decided to highlight one particular aspect which only concerns rivers and which is related to their sedimentation, if they had the tendency to raise their beds by aggradation after their confinement within artificial levees. Overall, therefore, they are elements of fluvial morphology clearly in relief with respect to the stretches of plain which flank them, due to the accumulated effect of a (semi-natural) fluvial process and of human activity in the form of repeated raising of levees. The symbol is a row of black dots placed between the lines of the levees; the altitude points of islands in the rivers and of the nearby high water beds (cf. Castiglioni, 1995), corresponding to the level reached and exceeded by flood waters capable of adding further sediment, are taken as references to evaluate the degree of pensility.

Man's use of high water beds, often hanging, has given rise to several environmental problems, partly due to the profound transformations which have taken place over the last few decades, as briefly discussed in chapter 15, section 15.6. For juridical and environmental implications, a complex series of norms exists (Marchetti, 1990).

Along the Po, a specific symbol (black stripped line) indicates the presence of embankments controlling the stability of mean water channels. These are discontinuous works at water level, with rubble mounds which remain submerged by flood waters and thus do not restrict lateral expansion. They are able to stabilize the direction of the current by means of curves which favour the spontaneous tendency of the river to form bends but which greatly reduce the development of sand bars and secondary side-channels with irregular trends (fig. 15.6). Works of this type were first planned in 1919 to improve navigability. Study of ordinary low water discharge (about 400 m³/sec) has led to definition of the geometric parameters of the main channel, for a width of about 300 m.

Artificially canalized stretches of river (abbreviated to «canalized rivers»: black arrows on one side) were created either on completely new stretches or as a result of local straightening, and are often related to artificially induced diversions (cf. Chapter 9, tab. 9.1). Along the Po, one stretch is shown downstream from Pavia, where the river was straightened and its meandering curves eliminated in the 14th and 15th centuries (Maraga, 1999). Further downstream, on the main branch of the delta area, called the Po

stato canalizzato fra S. Agostino e Traghetto, assumendo l'attuale alveo a tronchi rettilinei in direzione di Argenta, per immettersi nel Po di Primaro; rettifiche successive, insieme alla disattivazione di quest'ultimo, gli hanno conferito l'attuale aspetto canalizzato fino alla foce (Autori Vari, 1990a). Anche il Santerno e il Senio, dopo vari interventi, sono stati canalizzati definitivamente ed immessi nel Reno, dal 1873. Nelle vicende del Lamone furono importanti gli interventi attuati fra il 1840 e il 1960, finalizzati ad alimentare, con l'apporto delle torbide, le «casce di colmata» (v. paragr. 12.4).

Per l'Adige sono da ricordare essenzialmente alcuni tagli artificiali di meandri. Ma tra gli esempi veneti (Favero & alii, 1988) spicca quel tratto rettificato del Brenta (detto «la Cunetta»), realizzato nel 1858, con cui è stata risolta una situazione di secolare pericolosità, quindi più per limitare i danni delle esondazioni che per la bonifica, pur essendo questi due scopi tra loro collegati.

Le precedenti deviazioni e canalizzazioni volute su questo fiume e su molti altri dalle autorità veneziane miravano ad allontanarli dalla laguna per impedirne l'interramento, oltre che per evitare l'ostruzione delle bocche lagunari; in queste operazioni rientra il già ricordato taglio di Porto Viro sul Po (fig. 12.3) e le opere di deviazione alla foce del Bacchiglione e sul corso del Brenta (Autori Vari, 1981): desta meraviglia come, in seguito ad interminabili discussioni, si fossero operate deviazioni che provocavano, in sostanza, l'allungamento del percorso: tale è il caso dell'escavazione dell'alveo artificiale detto «Brenta Nova» da Dolo a Corte (presso Piove di Sacco) e fino al Bacchiglione, alveo attivo dal 1507 al 1858 (Vallerani, 1995). Tale intervento non fu sufficiente a difendere la laguna dalle piene di corsi d'acqua minori, per cui fu eseguito il «Taglio Novissimo di Brenta» (1610), che oggi funge da canale circumlagunare.

Altri importanti fiumi furono deviati verso Est: tra essi il Sile (1683) e il Piave: quest'ultimo fu incanalato per un tratto sotto S. Donà (1664) in modo che trovasse una foce verso Càorle, ciò che non si poté ottenere, in quanto il fiume ruppe verso la foce attuale, al Porto di Cortellazzo (1683). Anche il Livenza fu incanalato per un breve tratto, perché si immettesse in un canale lagunare verso Càorle.

Delle opere di sbarramento fluviale, che comportano sostanziali modifiche nel profilo longitudinale dei corsi d'acqua, sono rappresentate sulla *Carta* solo le più importanti: sul Po, quella a valle della città di Torino e quella (sul medio corso, vicino alla confluenza dell'Adda) collegata con l'impianto idroelettrico di Isola Serafini che sfrutta un salto di 3 m, ottenuto deviando le portate naturali dal fiume fino ad un massimo di 1000 m³/sec (fig. 12.4).

Per alimentare serie di centrali elettriche esistono da tempo numerosi sbarramenti lungo il Po, l'Adda e lungo altri fiumi (non rappresentati nella *Carta*). Sul Reno, lo sbarramento di Volta Scirocco sta a breve distanza dalla foce, ed ha la funzione di trattenere l'acqua per fini irrigui. Numerosi sono pure altri sbarramenti sui fiumi nei luoghi di derivazione delle acque verso canali artificiali. Ancora più diffuse le semplici «traverse», in particolare quelle realizzate per stabilizzare il livello dell'alveo, ad esempio la

delle Fornaci, *is the really large-scale work, also shown on the Map, the «Porto Viro cut» (1599-1604). This was planned and carried out by the Venetian government by digging a new course across the dunes where the village of Taglio di Po now exists, and by creating a new course running South-East (indicated by the new name of Po di Venezia). These works had the precise aim of preventing the delta, which was forming rapidly near the Lagoon of Venice, from expanding further; it was from this moment that the modern delta originated (fig. 10.5).*

As regards canalized rivers, direct links with work on large territories for purposes of reclamation are often evident. In Emilia-Romagna, the Reno was made to debouch directly into the sea, after centuries of diversions and wanderings among the marshes at the edges of the territories of Bologna and Ferrara, where it was used for bonifica per colmata (except for a period when it was attached to the Po di Ferrara). Around the mid-18th century, the Reno was canalized between S. Agostino and Traghetto, taking on its present-day bed in rectilinear stretches towards Argenta, and then joining the Po di Primaro. Later straightening, together with disactivation of the Po di Primaro, gave it its current canalized aspect as far as the mouth (Autori Vari, 1990a). The Santerno and Senio, after being subjected to various types of intervention, were finally canalized and made to enter the Reno in 1873. The Lamone was subjected to large-scale work between 1840 and 1960, with the aim of filling the casce di colmata with sediment (see section 12.4).

As regards the Adige, some artificial meander cuts are of importance. But among the Veneto examples (Favero & alii, 1988) the most obvious is the straightening of a stretch of the Brenta (called la Cunetta), carried out in 1858, which finally resolved a situation which had been dangerous for centuries: rather than at reclamation, this work aimed mainly at limiting damage due to flooding, although both aims were linked.

The previous diversions and canalizations of the Brenta and of many other rivers had been planned by the Venetian authorities in order to stop them flowing into the lagoon and silting it up, and also to prevent the lagoonal mouths from closing. Examples of these operations were the above-mentioned «Porto Viro cut» on the Po (fig. 12.3) and the diversion works at the mouth of the Bacchiglione and along the course of the Brenta (Autori Vari, 1981). It is surprising that, after interminable discussions, these diversions were actually carried out, since they did lengthen the course of the rivers: an example is the excavation of the artificial bed called Brenta Nova, from Dolo to Corte (near Piove di Sacco), a riverbed active from 1507 to 1858 (Vallerani, 1995). It was not sufficient to protect the lagoon from the floodwaters of minor rivers, so that the Taglio Novissimo di Brenta was cut in 1610, which now serves as a circum-lagoonal canal.

Other large rivers were diverted eastwards, including the Sile (1683) and the Piave, which was canalized for a stretch downstream from S. Donà (1664), the intention

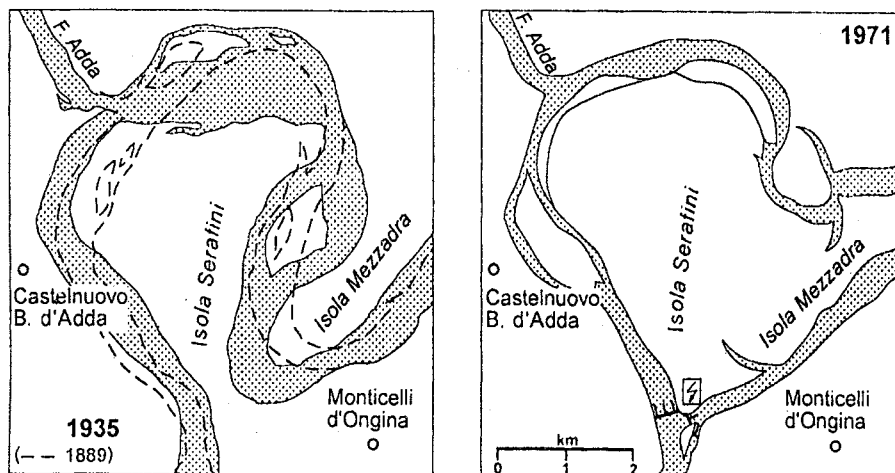


FIG. 12.4 - Un esempio di sbarramento sul Po, con taglio artificiale del grande meandro, per la realizzazione della centrale idroelettrica di Isola Serafini. A sinistra, oltre alla situazione del 1935, è indicata (con linee tratteggiate) quella del 1889. A destra, il taglio del meandro di Isola Serafini, realizzato dal 1960. In precedenza (durante l'alluvione del 1951), il Po aveva rotto in sponda sinistra, a valle della confluenza con l'Adda, e staccato l'isola Mezzadra, con un taglio naturale di meandro.

FIG. 12.4 - Barrage on river Po, with large meander artificially cut to build Isola Serafini electric power station. Left: situations in 1935 and (stippled lines) in 1889. Right: Isola Serafini meander, cut in 1960. Previously (during 1951 flood), Po had broken its left bank downstream from confluence with Adda and isolated Isola Mezzadra, with a natural meander cut.

dove si era manifestato in modo grave il processo di approfondimento in condizioni da provocare il crollo dei ponti. Non è raro il caso che con queste opere si sia accentuata l'erosione degli alvei nei tratti posti subito a valle.

Significativo è il caso dello sbarramento creato alla confluenza nel Po del F. Mincio, opera che, in forma primitiva, era stata realizzata già nel 17° secolo (Bertazzolo, 1609). Tale sbarramento ha il preciso scopo di impedire la risalita dell'acqua dal Po, quando è in piena, verso il basso Mincio, dove potrebbe determinare allagamenti fino nella stessa città di Mantova.

Non numerose sono le *casce di espansione delle piene*. Quelle riportate sulla *Carta* si trovano presso Parma (rispettivamente sul Parma e sull'Enza), presso Modena sul Panaro (Castaldini & Pellegrini, 1989), oltre che nel Veneto, lungo il Torrente Guà. Svolge funzione analoga, in caso di necessità, lo spazio dell'alveo artificiale detto «Scolmatore del Reno», con capacità di oltre 10 milioni di mc. Quest'ultimo deriva da un'opera del 1807 detta «Cavo Napoleonico», destinata inizialmente ad allacciare il Reno al Panaro; quanto alla sua funzione odierna (per l'irrigazione) si veda anche il paragrafo seguente.

La sistemazione idraulica dei fiumi della pianura comprende i *canali scolmatori per il deflusso delle piene eccezionali*. Ne è un esempio il «Canale Cavrato» che, sulla destra del Tagliamento, può assicurare un veloce deflusso delle acque in eccedenza in direzione del Porto Baseleghe, ossia direttamente verso il mare.

L'apposito simbolo è riportato nella *Carta* anche per il sistema di canali che, a partire dal Mincio, assicura lo smaltimento delle acque in eccesso che pervengono a questo fiume dal Lago di Garda, salvaguardando la sicurezza della città di Mantova; tali piene possono verificarsi quando entra in funzione il canale sotterraneo Mori-Tórbole (fuori carta) che scarica nel lago parte dell'acqua dell'Adige in piena. In sostanza, siamo di fronte ad un sistema idraulico integrato che difende la pianura dalle più pericolose piene dell'Adige, usando il grande bacino del Garda.

being to make it debouch near Càorle. But this did not happen, since the river breached near its present-day mouth, at Porto di Cortellazzo (1683). A short stretch of the Livenza was also canalized, to make it join a lagoonal canal near Càorle.

Only the largest fluvial barrages, involving large-scale changes in the longitudinal profile of rivers, are shown on the Map: on the Po, one barrage is downstream from Turin and (along the middle course, near the confluence of the Adda) is the electric power station barrage of Isola Serafini, which exploits a throw of 3 m, obtained by diverting the natural flow of the river up to a maximum of 1000 m³/sec (fig. 12.4).

In order to feed a series of electric power stations, there are many barrages along the Adda (not shown on the Map). On the Reno, the Volta Scirocco barrage lies only a short distance from the mouth, and has the function of holding back water for irrigation. There are also many other barrages on rivers where waters are sent to canals; even more frequent are simple «traverses», particularly those constructed to stabilize the riverbed level, e.g., where deepening had become serious enough for the stability of bridges. Situations in which these works accentuated erosion of riverbed immediately downstream are common.

One significant example is that of the barrage at the confluence of the Mincio with the Po, a work which, in a primitive form, had already been constructed in the 17th century (Bertazzolo, 1609). It has the precise aim of preventing the flood waters of the Po from flowing upstream along the Mincio, where they could cause floods even inside the city of Mantova.

There are not many controlled flood washlands. Those shown on the Map are near Parma (respectively on the Parma and Enza), on the Panaro near Modena (Castaldini & Pellegrini, 1989), and on the Guà in the Veneto. The space of the artificial riverbed called Scolmatore del Reno plays a similar role in case of need, with a capacity of more than 10

Un altro sistema di canali scolmatori riguarda la difesa della grande area urbanizzata di Milano, specialmente nei casi di piena dei piccoli fiumi dell'alta pianura, con possibilità di riversare le acque nel Ticino o nel Lambro Meridionale.

12.6 Canali artificiali

Nell'entroterra, sulla carta essi vengono distinti dai fiumi mediante piccole frecce azzurre affiancate all'indicazione idrografica, frecce che esprimono la direzione del deflusso.

Un altro segno indica i *canali artificiali in laguna o in mare*, con file di punti neri che permettono di distinguerli dai canali lagunari naturali. È evidente che tali canali sono stati realizzati in funzione delle necessità di diversi porti distribuiti lungo la frangia costiera: a Venezia, spicca il moderno «Canale dei Petroli» tra Marghera e il Porto di Malamocco, concepito inizialmente come percorso preferibile per le petroliere, perché meno pericoloso rispetto al percorso davanti al cuore della città storica. In realtà, esso era rivolto all'ampliamento della zona industriale e, nei fatti, si dimostrò dannoso per l'alterazione portata alla circolazione dell'acqua marina in laguna. Nel piano originario va inclusa anche la realizzazione dell'Idrovia Padova-Venezia, opera incompiuta, ormai abbandonata (è indicata sulla *Carta ad Est di Padova*, col segno dei *canali in costruzione*).

La rete dei principali canali dell'entroterra può essere osservata tenendo conto delle loro diverse finalità, che a volte sono venute a sovrapporsi o sostituirsi l'una all'altra. I canali artificiali erano un tempo, in grande maggioranza, destinati alla navigazione, e si integravano nella rete fluviale: ricordiamo, tra quelli medievali o rinascimentali, il Naviglio Grande, il Naviglio di Pavia, il Canale della Martesana fatto iniziare da Francesco Sforza nel 1457-1465, il Canale Muzza (tutti attorno all'area di Milano); nel Veneto il Canale di Battaglia (Padova-Monsélice), il Canale Pióvego (Padova-Naviglio Brenta), il canale che dal Po di Levante porta alla Laguna di Venezia con attraversamenti dell'Adige e del Brenta; in Romagna, il canale Imola-Consélice. Tra quelli moderni, il Canale Candiano (da Ravenna a Porto Corsini), l'Idrovia Ferrarese tra il Po a Pontelagoscuro e Porto Garibaldi (comprende, su 70 km di percorso, 36 km del Po di Volano, ridotto a canale), la linea da Mantova al mare (139 km, lungo il Fissero, il Tàrtaro, il Canal Bianco e il Po di Levante). Come si vede, qualche tratto di fiume, più o meno canalizzato e attrezzato, è compreso in questa rete di navigazione interna: va ricordato che l'asse principale di essa è costituito dal Po, navigabile per 402 km, da Pavia fino alla centrale Enel di Polesine Camerini, in prossimità della foce. La costruzione del canale che avrebbe dovuto collegare il Po (partendo da Cremona) con Milano è tuttora sospesa.

Anche i principali canali artificiali che derivano acque dai fiumi per alimentare le reti di irrigazione sono indicati sulla *Carta*, ed appartengono alle varie fasi di modernizzazione dell'agricoltura, tenuto conto, tra l'altro, che mentre la «bassa pianura» era ricca d'acque già in condizioni naturali, nell'alta pianura, prevalentemente asciutta, fu indi-

million m³. It derives from work carried out in 1807 on the «Cavo Napoleonico», destined initially to link the Reno to the Panàro (as regards its present-day function for irrigation, see next section).

The hydraulic arrangement of the plain rivers includes large floodways (for exceptionally high floodwaters). One example is the Canale Cavrato which, on the right bank of the Tagliamento, ensures rapid outflow of floodwaters towards Porto Baséleghe, i.e., directly seawards.

The same special symbol on the Map indicates the system of canals which, from the Mincio, ensures outflow of floodwaters reaching the Mincio from Lake Garda, safeguarding Mantova. These floodwaters sometimes occur when the subterranean Mori-Tórbole canal (outside the Map) is activated, discharging some of the excess water from the Adige into the lake. This is really an integrated hydraulic system protecting the plain from the most dangerous floods of the Adige by exploiting the large basin of Lake Garda. Another system of floodways protects the urbanized area of Milan, especially when the small rivers of the high plain are in flood, with the possibility of sending waters to the Ticino or Lambro Meridionale.

12.6 Artificial canals

On the Map, artificial canals in the hinterland are distinguished from rivers by small blue arrows showing the direction of flow.

Another sign is a series of black dots indicating artificial canals in lagoons or sea, thus distinguishing them from natural lagoonal channels. Clearly, these canals were created according to the needs of the various ports along the coastal fringe. Near Venice, the most evident example is the modern Canale dei Petroli between Marghera and the Malamocco mouth of the lagoon, initially conceived as a preferential route for oil tankers, since it was less dangerous than allowing ships to pass right in front of the heart of the city of Venice. In actual fact, it involved the amplification of the industrial zone and turned out to be extremely harmful due to the altered circulation of seawater in the lagoon. The original plans also included the construction of the Padova-Venice canal, not completed (shown on the Map East of Padova, marked with the symbol for canals under construction).

The network of main canals inland may be observed from the viewpoint of their various aims, which sometimes overlap or replace each other. In the past, canals were mainly built for navigation purposes and formed part of the river network. Medieval or Renaissance examples are the: Naviglio Grande; Naviglio di Pavia; Canale della Martesana, begun by Francesco Sforza in 1457-65, and Canale Muzza (all around the Milan area); in the Veneto, Canale di Battaglia (Padova-Monsélice); Canale Pióvego (Padova-Naviglio Brenta); the canal leading to the Lagoon of Venice from the Po di Levante, crossing the Adige and the Brenta; and, in Romagna, the Imola-Consélice canal. Modern

spensabile la costruzione di questi canali. Ne sono esempi il Canale Cavour in Piemonte, il Canale Villoresi in Lombardia, due canali nell'alta pianura di Verona, il Canale della Vittoria in quella di Treviso, il Canale Ledra-Tagliamento nella piana di Udine. L'esempio più recente è il Canale Emiliano-Romagnolo, lungo 128 km, che preleva l'acqua dal Po a valle della confluenza col Panaro, con l'ausilio, nelle stagioni siccitose, di un grande impianto di sollevamento; utilizza quindi il già detto «Cavo Napoleonico» risistemato, sottopassa il Reno, raggiunge la pianura bolognese e infine, con altri sottopassi in corrispondenza degli altri fiumi, la Romagna.

Grandi canali di bonifica drenano tutte le aree più depresse, sia in destra, sia in sinistra del Po; essi fungono da recettori dei grandi impianti idrovori e, nella stagione asciutta, possono svolgere anche funzione di alimentazione della rete irrigua. Alcuni di essi convogliano al mare anche l'acqua di fiumi minori che un tempo si disperdeva in una rete di canali secondari. Tra i principali, da Nord: il Canale Gorzone e il Canal Bianco (che possono essere considerati anche «fiumi canalizzati») e il Collettore Padano-Polesano, che scola le acque del territorio di Rovigo. A Sud del Po, tutti serviti da idrovore, si incontrano il Canal Bianco ferrarese, poi i canali che riversano nel Po di Volano. Quest'ultimo non è più un ramo del Po e riceve anche il Canale Burana, a servizio dei territori ad Ovest del Panaro. Inoltre si osservano i canali di acque alte e di acque basse che circondano e drenano le aree bonificate delle «Valli di Comacchio» e infine il Canale in Destra Reno.

12.7 Opere artificiali lungo la costa

La legenda elenca i seguenti tipi di costruzioni artificiali: *moli foranei, dighe a mare e/o verso laguna* e altre opere di protezione della costa e si accenna alle *saline*. Si vedano inoltre i capitoli 10 e 14 e i paragrafi 12.5 e 12.6.

Lo sviluppo di queste opere va visto in una prospettiva storica e tiene conto delle trasformazioni avvenute negli ambienti costieri; esso ha avuto un'importante accelerazione degli interventi a partire dalla metà del 20° secolo, ma il primo avvio di opere artificiali, sia pure abbastanza primitive, risale almeno al Medioevo. Inizialmente gli interventi artificiali erano strettamente legati ai centri portuali, spesso porti fluviali o porti lagunari; nel Medioevo si percepì, per Venezia, l'importanza della stabilità delle bocche e dei lidi che dovevano garantire la persistenza fisica della laguna, mentre per altri centri portuali esposti al mare, come Grado e Càorle, era necessaria una difesa attiva contro l'erosione marina.

Nell'epoca moderna l'attenzione per la difesa della costa (con risultati non sempre efficaci) divenne un fatto generale, mano a mano che i territori retrostanti, che prima erano paludosi o occupati da stagni salmastri, venivano conquistati alle utilizzazioni agricole, con la lotta contro la malaria e con la bonifica idraulica. Le spiagge assunsero inoltre grande importanza per il turismo balneare. L'evolversi delle trasformazioni introdotte dall'uomo ha interferito con la dinamica dei processi naturali, spesso modifican-

examples are the Canale Candiano (from Ravenna to Porto Corsini); the Idrovia Ferrarese between the Po at Pontelagoscuro and Porto Garibaldi (which, over a distance of 70 km, includes 36 km of the Po di Volano, reduced to the status of a canal); and the line from Mantova to the sea (139 km, along the Fissero, Tartaro, Canal Bianco and Po di Levante). Some rivers, more or less canalized and equipped with various structures, are clearly included in this internal navigation network: it should be recalled that their main axis is that of the Po, navigable for 402 km from Pavia as far as the ENEL power station at Polesine Camerini, almost at the mouth of the river. Construction work on the canal which should have linked the Po (from Cremona to Milano) has been suspended.

The main canals taking waters from rivers to feed irrigation networks are also indicated on the Map, and belong to various stages of modernization in agriculture. It should be borne in mind that, whereas the «low plain» was already rich in water in its natural state, the construction of these canals was essential in the drier high plain. Examples are the: Canale Cavour in Piemonte; Canale Villoresi in Lombardia; two canals in the Verona high plain; Canale della Vittoria in the Treviso high plain; and Canale Ledra-Tagliamento in the Udine plain. The most recent example is the Canale Emiliano-Romagnolo, 128 km long, taking water from the Po downstream from the confluence with the Panaro and assisted in periods of drought by a large pumping station. It thus uses the already-mentioned «Cavo Napoleonico», now re-organized, passes under the Reno, reaches the Bologna plain and finally, with other underpasses under other rivers, arrives in Romagna.

Large reclamation canals drain all the most depressed areas on both banks of the Po. They serve as collectors for large pumping stations and, in summer, may also feed the irrigation network, but some of them also convey to the sea the waters of minor rivers which were once lost in a network of secondary canals. The main ones, from the North, are the Canale Gorzone and Canal Bianco (which may be considered «canalized rivers») and the Collettore Padano-Polesano, which drains water from the territory of Rovigo. South of the Po, all served by pumping stations, are the Canal Bianco Ferrarese, the canals flowing into the Po di Volano (which is no longer a branch of the Po and which also receives water from the Canale Burana, serving areas West of the Panaro), the flood- and low-water canals surrounding and draining the reclaimed territories of the Valli di Comacchio and, lastly, the Canale in Destra Reno.

12.7 Artificial works along the coast

The key to the Map lists the following types of artificial construction: seaward and/or lagoonward dams, jetties, other coastal defences, and salinas (see also Chapters 10, 11 and 14, and, in this chapter, sections 12.5 and 12.6).

done l'andamento o aggiungendo nuovi elementi di disturbo. Fra le conseguenze dell'antropizzazione della fascia costiera va anche ricordata l'accelerazione della subsidenza, importante componente dell'arretramento delle spiagge padane centro-meridionali (Simeoni & Bondesan, 1997).

La storia della trasformazione della Laguna di Venezia rappresenta un caso esemplare, non solo per la complessità degli interventi artificiali, per il loro prolungarsi e trasformarsi nel tempo, dal Medioevo in avanti, ma anche per il risultato complessivo, evidente nel fatto che questo sistema lagunare ha perduto molti dei suoi caratteri di «naturalità». Gli interventi più vistosi si sono concretati nei seguenti aspetti: a) nella trasformazione delle bocche lagunari, ridotte di numero da 5 o 6 alle 3 attuali, approfondite e irrigidite con potenti moli foranee, costruiti e poi allungati tra il 1840 e il 1934, rafforzati ultimamente (fig. 12.5); b) nelle deviazioni dei corsi d'acqua che sfociavano nella laguna e nell'escavazione di canali artificiali (Favero & alii, 1988); c) nella costruzione dei «murazzi» (dal secolo 18°) lungo il Lido di Pellestrina, ed altre difese lungo i lidi (Autori Vari, 1999) (cfr. fig. 14.5); d) nelle trasformazioni all'interno della laguna, con canali artificiali (paragr. 12.6), interrimenti, recinzione di specchi d'acqua per la acquacoltura. A grandi linee, si è operato nel senso di un forzato incremento degli scambi d'acqua tra il mare e la laguna (D'Alpaos, 1992), e di un irrigidimento del contorno verso terra (lungo la «conterminazione lagunare»).

Per la difesa dall'erosione delle spiagge oggi, lungo le coste della pianura, esistono opere di protezione per un

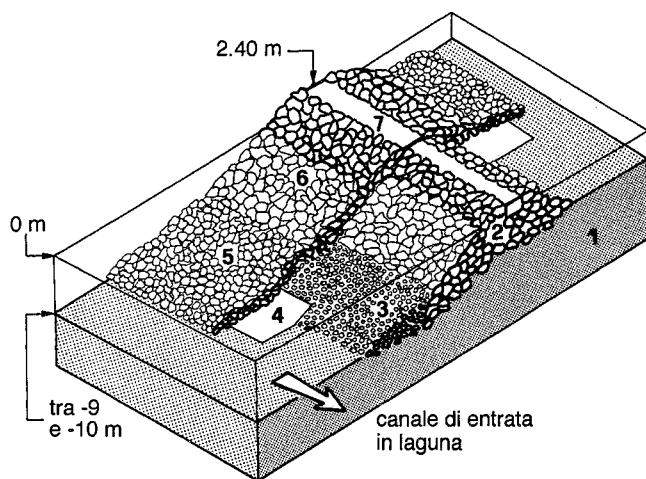


FIG. 12.5 - Ristrutturazione (1993-1994) delle dighe foranee che delimitano il Porto di Chioggia, bocca meridionale della Laguna di Venezia (da M. Utimpergher, in Autori Vari, 1999, modif.): 1 - Sabbia del fondale; 2 - molo costruito nel 1934; 3 - strato di pietrame a protezione del fondale; 4 - telo di geotessili; 5 - rinforzo della mantellata inferiore; 6 - rinforzo della mantellata superiore; 7 - nuova pavimentazione.

FIG. 12.5 - Restructuring (1993-94) of jetties at Porto di Chioggia, southern mouth of Lagoon of Venice (modified from M. Utimpergher, in Autori Vari, 1999): 1 - Seabed sand; 2 - jetty constructed in 1934; 3 - layer of stone rubble to protect seabed; 4 - layer of geotextile; 5 - reinforcement of lower stone layer; 6 - reinforcement of upper stone layer; 7 - new paving.

These works, viewed from an historical perspective and considering the transformations which have taken place in coastal environments, developed at a very accelerated rate from the mid-20th century, but the first artificial, albeit primitive, works go back to Medieval times at least and were originally closely linked to harbours, often fluvial or lagoonal ports. The governing authorities of Venice had already clearly perceived how important it was to stabilize the mouths and sand barriers (lidi) of the lagoon, which protected its physical existence. Other ports exposed to the sea, like Grado and Caorle, required active defences against marine erosion.

In modern times, concern for coastal defence (with not always efficacious results) was aroused, as inland territories, previously marshy or occupied by brackish lakes, were used for agriculture, after malaria had been controlled and hydraulic reclamation works set in place. Sandy beaches also took on great importance for the tourist trade. The development of anthropic transformations has interfered with the dynamics of natural processes, often changing their trends or adding new and disturbing elements. Among the consequences of anthropization along the coastal belt is accelerated subsidence, an important component of beach retreat in the central and southern parts of the plain (Simeoni & Bondesan, 1997).

The history of the transformations to the Lagoon of Venice is an exemplary case, not only because of the complexity of the works in question and their extent and transformation over the course of centuries, from Medieval times onwards, but also because of the overall results, evident from the fact that this lagoonal system has lost so many of its natural features. The main works are: a) transformation of the lagoon mouths, reduced from the original five or six to the present-day three, «stiffened» with very long jetties, constructed and then lengthened between 1840 and 1934, and recently reinforced further (fig. 12.5); b) diversions of rivers debouching into the lagoon and excavation of artificial canals (Favero & alii, 1988); c) construction of murazzi (sea-walls) along the Lido di Pellestrina and other defences along the sand barriers (Autori Vari, 1999) (cf. fig. 14.5); d) transformations inside the lagoon, with artificial canals (section 12.6), fill-ins, and enclosure of some bodies of water for purposes of aquaculture. In conclusion, a forced increase in water turnover between sea and lagoon was created (D'Alpaos, 1992), together with «stiffening» of landward boundaries (along the perimeter of the lagoon: the *conterminazione lagunare*).

Nowadays, to protect beaches from erosion, the length of defence works totals about 200 km, of which more than half are in Emilia-Romagna; to these must be added the barrages built in the Po Delta to defend the polders and valli da pesca (for fishing and aquaculture) against high tides. In this area and in surrounding ones under sea level, internal embankments have also been built against invasion by the sea (Bondesan, 1989; Autori Vari, 1990b). The levees along the internal margin of the lagoons of Venice,

totale di circa 200 km, di cui oltre metà nell'Emilia-Romagna; a queste si devono aggiungere le dighe costruite nel Delta del Po, a difesa dalle mareggiate dei polder e delle valli da pesca. In questa zona e nelle aree circostanti al di sotto del livello marino, per proteggersi dagli allagamenti da mare, sono stati costruiti anche argini interni al territorio (Bondesan, 1989; Autori Vari, 1990b). Scopi analoghi hanno gli argini costruiti lungo il margine interno delle lagune di Venezia, di Caorle e di Marano-Grado (Marocco & Pessina, 1995).

La difesa delle spiagge dai fenomeni erosivi viene realizzata con opere di vario tipo: muraglioni e difese aderenti, difese longitudinali distaccate (scogliere foranee), pennelli trasversali; la loro efficacia è solo parziale, perché possono venire incrementati i processi di approfondimento dei fondali antistanti, in mancanza di sufficienti apporti sedimentari. Inoltre, le opere sono state attuate talvolta secondo un'ottica locale, mentre gli squilibri nel regime delle spiagge hanno cause complesse, tra cui, non ultime, le stesse opere antropiche (Zunica, 1971, 1990; Liberatore, 1983; Bondesan A., 1993). Nei confronti del *drift* litoraneo, alcune difese hanno provocato un'accentuazione di fenomeni erosivi nei tratti vicini ma, soprattutto, lo spostamento naturale della sabbia è stato via via modificato per la costruzione di moli foranei presso i porti e le foci dei fiumi: certamente i grandi moli che chiudono il Porto di Lido, davanti a Venezia, hanno interrotto il *drift* litoraneo da Nord-Est che, in condizioni naturali, stava provocando l'ostruzione di questa bocca lagunare ma che anche avrebbe alimentato la spiaggia del Lido.

Altri «processi antropici» consistono nel frequentissimo spianamento delle dune costiere (Capitolo 11) e nelle operazioni di ripascimento artificiale delle spiagge in erosione mediante la deposizione di sabbia, che viene prelevata, di solito, dai fondali sabbiosi al largo; operazione ormai diffusa sia sul litorale emiliano-romagnolo sia sulle spiagge venete (fig. 14.5) (Preti, 1993; Silva & Di Girolamo, 1993).

Le *saline*, indicate sulla *Carta* con un proprio segno presso Comacchio e presso Cervia, hanno ormai interesse soprattutto storico (Bini & alii, 1987; Bondesan, 1990a). Ne sono esistite altre, in passato, nella Laguna di Venezia, dove, con un provvedimento del 1907, si decise di eliminare gli impianti della salina di San Felice, ritenendoli dannosi per la libera circolazione dell'acqua (Marin, 1997).

12.8 Aree urbanizzate

Per molti aspetti questo tema va considerato in una carta geomorfologica; i processi di urbanizzazione modificano stabilmente tratti di territorio, mascherano le forme naturali del suolo o le rimodellano, modificano i rapporti aria/acqua/suolo/sottosuolo e irrigidiscono il sistema morfogenetico. Si pensi, per fare un esempio, al processo di impermeabilizzazione del terreno che ai nostri giorni va estendendosi a macchia d'olio, e produce anomalie nell'assetto delle acque sotterranee e nel regime delle acque superficiali, riducendo i tempi di corrivazione e aumentando i coefficienti di deflusso.

Caorle and Marano-Grado play the same role (Marocco & Pessina, 1995).

Beach defences against erosion are of various types, e.g., sea-walls and embankments, rubble mounds and groynes. They work only partially, because deepening offshore may increase due to insufficient sediment supplies. In addition, these works have often been carried out according to only local viewpoints, whereas disequilibrium in beach regimes has many causes: last but not least, anthropic works themselves (Zunica, 1971, 1990; Liberatore, 1983; Bondesan A., 1993). As regards littoral drift, some defences have accentuated erosion nearby but, above all, the natural displacement of sand has been gradually modified due to the construction of jetties near ports and river mouths: the long jetties closing the Porto di Lido near Venice have interrupted littoral drift from the North-East which, in natural conditions, it was occluding this particular lagoonal mouth, and also nourishing the Lido beach.

Other anthropic processes consist of the very frequent flattening of coastal dunes (chapter 11) and of artificial renourishment of eroding beaches by depositing on them sand generally taken from the sandy seabed offshore: a widespread practice in both Emilia-Romagna and Veneto (fig. 14.5) (Preti, 1993; Silva & Di Girolamo, 1993).

Salinas, indicated on the Map near Comacchio and Cervia, now only have historical interest (Bini & alii, 1987; Bondesan, 1990a). There were others, in the past, in the Lagoon of Venice, where the salt-works of San Felice were closed in 1907, since they were believed to be dangerous for the free circulation of water (Marin, 1997).

12.8 Urbanized areas

From many points of view, the topic of urbanized areas must be considered in a geomorphological map: urbanization permanently changes whole stretches of territory, masks or remodels natural landforms, modifies air/water/soil/subsoil relationships, and makes the morphogenetic system more rigid. To give an example, impermeabilization of the ground surface is spreading rapidly, producing anomalies in the movements of underground waters and the regime of surface waters, reducing outflow times and increasing runoff coefficients.

A few remarks are sufficient to understand the criteria adopted in the legend (Castiglioni & alii, 1986). Quite restrictive criteria had been decided upon in defining urbanized areas (which are in fact extremely extensive), since the aim of the Map is mainly at highlighting natural forms. Only towns with 10,000 or more inhabitants are usually marked, except for tourist towns along the coast. Most of these are indicated, although not in their true areal extent, which would have covered entire stretches of the coast.

Ancient urbanized areas (historical city centres) have their own mark, defined according to the existence, in the

Qualche cenno è sufficiente per comprendere i criteri seguiti nell'applicare la *legenda* (Castiglioni & alii, 1986). Si era stabilito di attenersi a criteri abbastanza restrittivi nel delimitare le aree urbanizzate (che in realtà sono diffusissime), dovendo la carta rivolgere l'interesse maggiore alle forme naturali. Per i centri urbani, ci si è solitamente limitati a riportare quelli con numero di abitanti pari o superiore a 10.000, fatta eccezione per gli insediamenti costieri a carattere balneare: questi sono stati segnati in numero maggiore, non però nella loro vera estensione areale, che avrebbe ricoperto interi tratti di costa.

I centri storici (*aree urbanizzate antiche*) hanno un proprio segno, che si definisce in base all'esistenza, nel passato o conservate ancor oggi, di cerchie murarie di difesa e fortificazioni.

Si evidenziano nella carta alcuni caratteri specifici della rete urbana della pianura, da un lato con le due conurbazioni di Milano e di Torino, dominanti, e le altre minori, di Bologna e di Venezia (Mainardi & Tombola, 1982); dall'altro con una struttura spiccatamente policentrica in gran parte della pianura. Questa struttura policentrica deriva, come è noto, dalla molteplicità degli insediamenti urbani fioriti nel corso della romanizzazione; nell'età dei comuni e delle signorie si ampliarono molte città, anche con la creazione di nuove cerchie murarie più esterne, fino ai potenti bastioni cinquecenteschi delle città maggiori (nella *Carta* ci si è attenuti al criterio di delimitare i centri storici lungo le cerchie più esterne); si osservi anche il caso di Palmanova (in Friuli), città nuova, con funzione militare, costruita per volontà del governo veneziano alla fine del 16° secolo, con forma stellata.

Partendo da questa rete «antica», con processi nuovi, molte aree urbanizzate dell'epoca moderna si sono ingrandite e, a volte, saldate tra loro, includendo importanti aree industriali o portuali o residenziali. Di altre grandi opere antropiche, quali le strutture stradali (antiche e moderne) non si è potuto dare una rappresentazione sulla *Carta*.

Chi avesse interesse per studi sulle «forme di abitati in dipendenza da situazioni di acque o di rilievo» (questo è il titolo di una delle tavole del noto *Atlante* del Marinelli, 1922-1948) può trovare materia per osservazioni preliminari nella *Carta geomorfologica* dove, accanto alle linee seguite dall'urbanizzazione moderna, anche i siti dei centri storici consentono utili comparazioni, soprattutto per i rapporti funzionali che legavano i centri abitati con l'idrografia e la paleoidrografia, con le piane inondabili difese o non difese da argini, con i terrazzi e con altri rilievi emergenti dalla pianura (Laureti & Pellegrini, 1996). Questi temi, pur in un'ottica diversa quando si considerano gli sviluppi moderni delle varie forme di urbanizzazione, rivestono importanza anche per l'urbanistica dei nostri giorni.

past or preserved until today, of rings of walls built for defense purposes and fortifications.

Some specific features of the urban network in the plain are shown. On one hand, there are the two dominating conurbations of Milano and Torino and the lesser ones of Bologna and Venice (Mainardi & Tombola, 1982); on the other, there is the very clearcut polycentric structure in most of the plain. This derives, as is well-known, from the many towns which developed in the course of Roman domination. Later, during the times of the comunes and seigneuries, many towns became cities, sometimes with the creation of new, more external, rings of walls, to the massive 16th-century bastions of the larger cities (the Map shows historical city centres along their outermost rings). Note also the case of Palmanova (Friuli), a new town with military functions, built purposely by the Venetian government at the end of the 16th century in the form of a nine-pointed star.

From this ancient network, many modern urbanized areas were enlarged, in new forms, and sometimes merged with one another to form large industrial, port or residential areas. Other large anthropic works, like roads (both ancient and modern), could not be represented on the Map.

Those interested in «forms of settlements depending on special situations of water or reliefs» (the title of one of the sheets in the well-known Atlante dei Tipi Geografici of Marinelli, 1922-1948) may find material for preliminary observations in the Geomorphological Map in which, together with lines indicating modern urbanization, the sites of historical cities allow useful comparisons, mainly as regards functional relations linking towns with the paleo-hydrographical network, floodable areas defended or otherwise by levees, terraces, and other features emerging from the plain (Laureti & Pellegrini, 1996). These topics, although considered from a different viewpoint when modern developments of various forms of urbanization are examined, are important for present-day urban planning too.