

Evoluzione dell'area di Goro negli ultimi cinque secoli (Delta del Po)

**Giovanni Gabbianelli¹, Carlo Del Grande¹, Umberto Simeoni²,
Andrea Zamariolo² e Giovanni Calderoni²**

¹ Scienze Ambientali, Università di Bologna, via degli Ariani, 1-48100 Ravenna

² Dipartimento di Scienze Geologiche e Paleontologiche, Università di Ferrara,
C.so Ercole I d'Este, 32 - 44100 Ferrara

Riassunto

La moderna Sacca di Goro è il prodotto di un'evoluzione deltizia strettamente controllata dall'uomo e sviluppatasi, in parte, durante un periodo di particolare recrudescenza climatica ("Piccola Età del Ghiaccio"; 1550- 1850 circa). All'inizio del XVII sec. il ramo principale del Po, quello delle Fornaci, fu modificato ("Taglio di Viro") per proteggere dall'interrimento i porti e la laguna veneta. Il nuovo corso, o Po di Viro, diretto verso sud, riempì in pochi anni una prima "Sacca di Goro" che si sviluppava molto più a nord dell'attuale. Nel contempo anche il più meridionale ramo d'Ariano o Goro fu obbligato ad assumere un andamento verso sud. La veloce progradazioni di entrambe le foci in un periodo d'elevato apporto solido a mare portarono alla formazione, all'incirca verso la fine del '700, del golfo di Goro o Sacca dell'Abate. Le variazioni poi intervenute nei regimi sedimentari a seguito delle mutate condizioni climatiche, contribuirono a far assumere alla Sacca una conformazione sempre più lagunare. Verso la fine dell'800 si formano le prime frecce litorali o "scanni" che, sviluppandosi in più sistemi nel corso del secolo successivo, porteranno al progressivo confinamento verso mare dell'originaria insenatura. Le drastiche cadute degli apporti solidi per cause antropiche, che caratterizzano la seconda metà del '900, segnano l'inizio di una nuova fase regressiva, estesa, per altro, a tutto il sistema deltizio del Po.

Introduzione

I circa 26 km² della Sacca di Goro costituiscono l'estremità più meridionale del moderno delta del Po (Fig. 1), proteso a mare per circa 25 km. La sua morfologia è il prodotto di un'evoluzione di circa quattro secoli, con pesanti condizionamenti antropici (Ciabatti, 1968; Nelson, 1970; Bondesan e Simeoni, 1983; Dal Cin, 1983; Bondesan, 1985, 1990; Sestini, 1992; Fabbri, 1994; Simeoni e Bondesan, 1997; Simeoni et al., 1999). Secoli che in buona parte coincidono con un deterioramento climatico registrabile a livello globale ("Piccola Età del Ghiaccio"; 1500 - 1850 circa). Alle medie latitudini esso ha indotto un significativo e generalizzato aumento di piovosità ed erosione dei suoli che, anche nell'area in esame, ha indotto sovralluvionamenti ed incrementi negli apporti solidi a mare (Denton e Karlen, 1973; Maestri, 1981; Veggiani 1982, 1986; Bradley e Jones, 1992; Cazzola, 1995; Marabini, 1996).

Queste vicende sono ben rappresentate nella moderna Sacca o Laguna di Goro sia sotto il profilo sedimentologico che geomorfologico. Le nuove metodologie informativo/informatiche che consentono una migliore integrazione fra dati fisico-naturali, storico-letterari e cartografici, permettono per altro un maggior dettaglio rispetto alle precedenti ricostruzioni evolutive della Sacca (Visentini, 1940; Ciabatti, 1968; Maestri, 1981; Idroser, 1984; Bondesan, 1985; Del Grande et al., 1997; Simeoni et al., 1998). L'attuale Sacca di Goro rappresenta infatti un ambiente molto articolato non solo

per il diacronico interagire tra componenti marine e terrestri, ma anche per la contemporanea e, talora, intensa azione di condizionamento esercitata dall'uomo. Condizionamenti e controlli i cui effetti sono molto spesso ricostruibili, oltre che su base documentaria, grazie al gran numero di prodotti cartografici, seppur pre-geodetici.

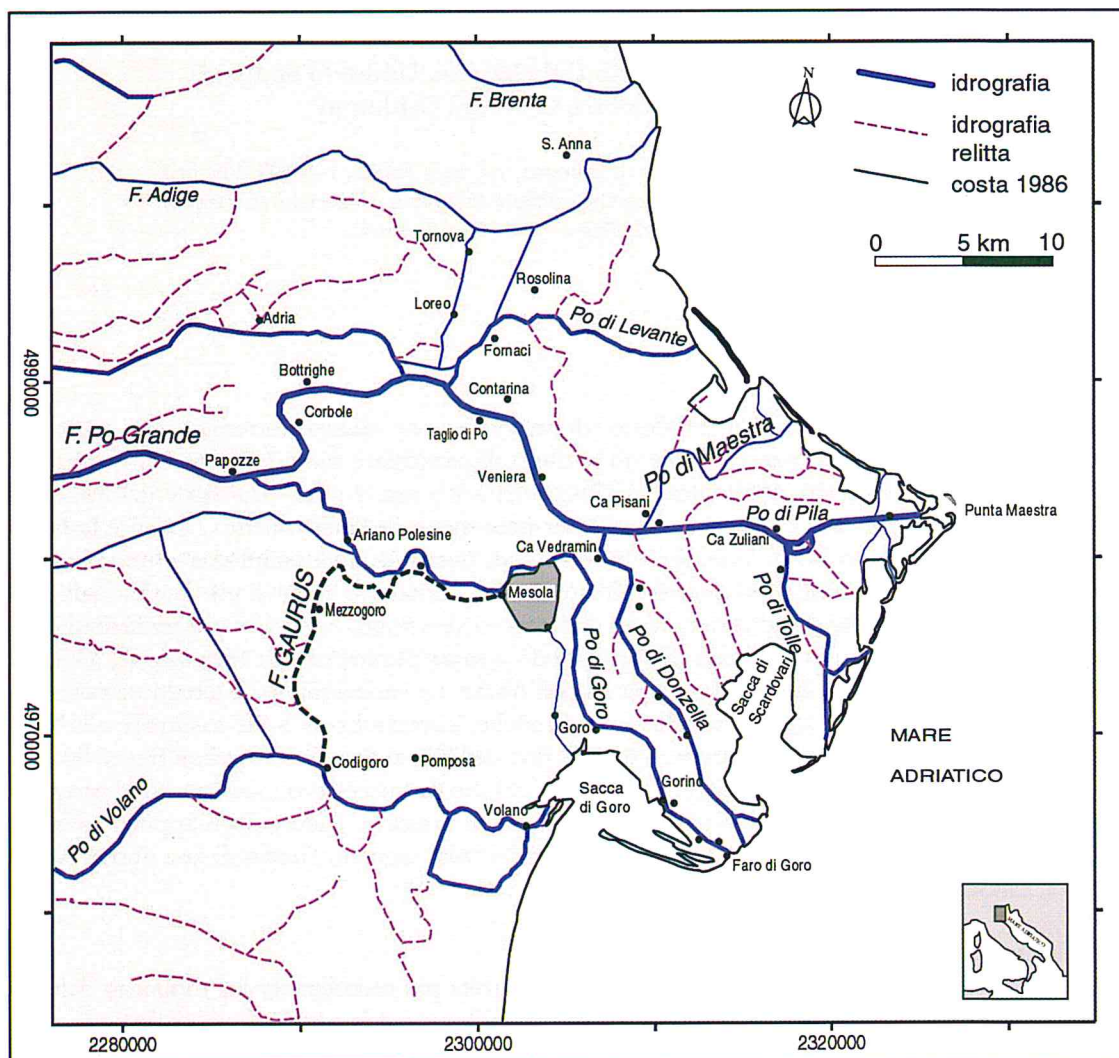


Figura 1 - Il moderno Delta del Po inquadrato nella rete di coordinate chilometriche Gauss-Goaga. In tratteggio lo sviluppo dei principali paleoalvei tra cui quello ben identificabile del "Gaurus" (Da Bondesan, 1985; Bacchi, 1995, mod.).

Materiali e metodi d'indagine

Tra i numerosi prodotti cartografici, di tipo pre-geodetico, disponibili per l'area (tra cui alcuni particolarmente dettagliati per i loro fini ingegneristici) sono state selezionate circa 20 rappresentazioni. Esse consentono di descrivere le modificazioni territoriali intervenute tra la fine del '500 e la seconda metà del 1800 nell'area del Delta. Le carte storiche sono state scelte sulla base di controlli numerici (ad esempio, precisione raggiungibile nelle georeferenziazioni) e in base al loro grado d'attendibilità rappresentativa così come verificato da diversi autori (Almagnà, 1921; Maestri, 1981; Gambi, 1988; Fabbri, 1994; Ceccarelli, 1998). Ulteriori carte, tutte geodetiche (rilievi IGM, IIM, Consorzi Bonifica e Catastali), coprono il periodo che va dal 1813 al 1986. Per controlli su morfo-

logie regresse e/o ereditate (paleoalvei, cordoni dunari, ecc.) sono state infine utilizzate diverse levate aeree eseguite tra il 1944 ed il 1999.

Ogni prodotto è stato georeferenziato, rototraslato e rigenerato digitalmente su una base cartografica di riferimento (CTR Regione Emilia-Romagna a scala 1:25.000) mediante softwares commerciali (AutocadMap e CadOverlay/ Autodesk®). Un buon grado di precisione planimetrica nei processi rigenerativi è stato raggiunto grazie all'elevato numero di punti di controllo ed aggancio geodetico, ampiamente distribuiti sul territorio polesano. Tra questi le numerose costruzioni storiche, ancor oggi in parte esistenti o ricostruibili con certezza nella loro posizione assoluta (quali, a solo titolo d'esempio, il Castello della Mesola, le varie torri, fortini e postazioni militari, ecc.).

Caratteristiche dell'attuale Sacca di Goro

Il settore settentrionale della Sacca, tra Goro e Gorino, è oggi delimitato da una serie di scogliere frangiflutto che ne hanno notevolmente modificato l'assetto (Fig. 2). Ad oriente fa da confine l'argine fluviale del Po di Goro sia pur interrotto da diversi varchi, che mettono in comunicazione la laguna con il fiume. Dalla foce di quest'ultimo si dirama verso ovest un sistema di frecce litorali o "scanni", la più esterna delle quali (Scannone o Piallazza di Goro), lunga circa 8km, separa la laguna dal mare. Ad occidente, infine, i limiti della Sacca sono definiti dal litorale di Volano e del Boscone della Mesola.

Le acque provenienti dagli sbocchi delle idrovore, dalle aperture sul Po di Goro e dal Po di Volano costituiscono gli affluenti della Sacca e la loro influenza specifica varia stagionalmente. L'interscambio delle acque con il mare, nel contesto microtidale dell'area (escursioni medie di marea tra - 40 e + 80 cm), avviene principalmente attraverso due bocche, una ubicata a ridosso della foce del Po di Volano e l'altra, d'origine antropica, posta nella parte centro occidentale dello Scannone (Fig. 2).

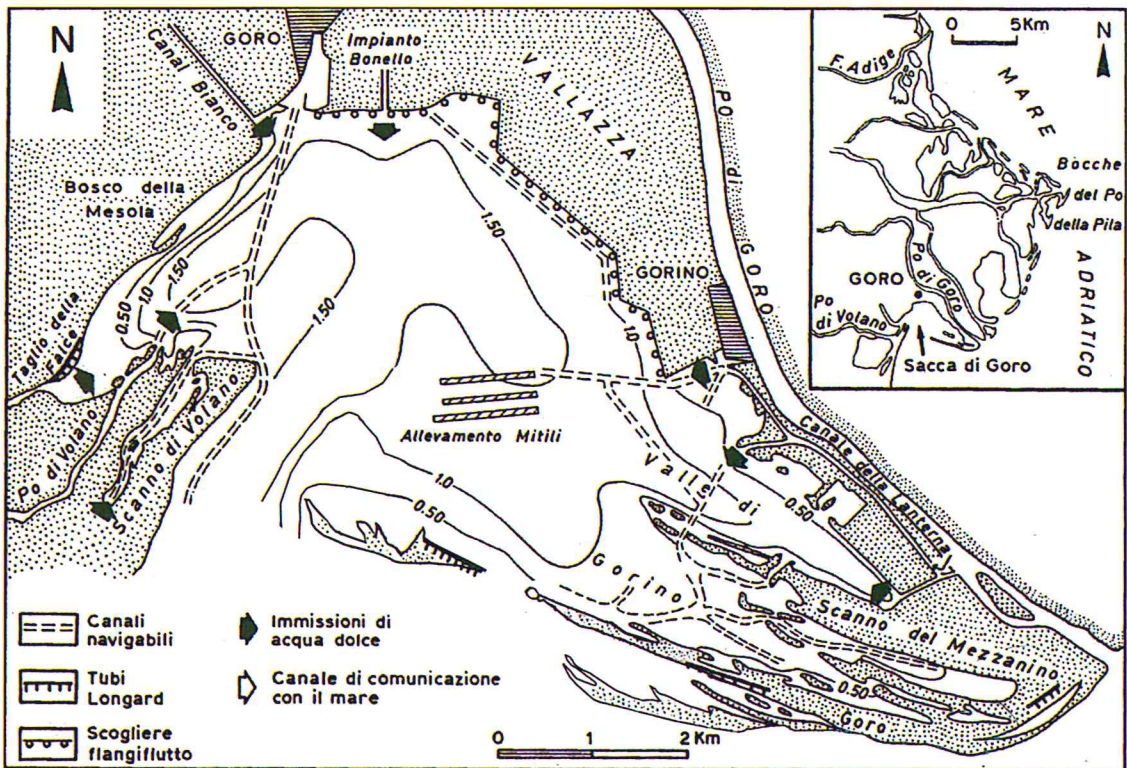


Figura 2 - Lineamenti geomorfologici dell'attuale Sacca di Goro (da Pambianchi et al., 1994, mod.).

Sotto il profilo più strettamente morfologico l'area può essere distinta in tre principali unità: a) territori emersi costituiti per lo più da aree di recente bonifica idraulica e caratterizzate da quote al di sotto del livello del mare; b) la laguna salmastra con fondali poco profondi (1.5- 2 m al massimo); c) il sistema di frecce litorali e barre sabbiose che gli conferiscono i caratteri lagunari. Tutte unità il cui sviluppo è stato differenziato nel tempo e nello spazio in un continuo interagire tra interventi antropici e fenomenologie fisico-naturali (efficienza fluviale, input sedimentari, moto ondoso, correnti, ecc.).

La foce del Po di Goro presenta una morfologia nettamente asimmetrica per l'arretramento erosivo della sponda sinistra e la presenza di una ben sviluppata barra di foce allungata nel lato sovracorrente; elementi che suggeriscono un sistema a forte controllo da parte del moto ondoso (Del Grande et al., 1997; Simeoni et al., 1998). Quest'ultimo, che prevale sull'efficienza dei flussi picinalici diretti su fondali marini poco profondi e a debole pendenza, genera correnti di deriva litoranea in grado di smistare, prevalentemente verso ovest, i sedimenti sabbiosi, alimentando così il sistema di frecce litorali (Idroser, 1984; Dal Cin, 1994; Lamberti, 1998). L'espansione dei flussi fluviali risulta di tipo ipopicnalico con galleggiamento delle acque dolci in uscita su quelle marine (*"hypopycnal buoyancy dominated model"*; Wright, 1977, 1985). Modalità questa confermata anche dalla geometria dei pennacchi torbidi generati dagli eventi di piena (Fig. 3) che perdono molto lentamente e gradualmente il loro carico sospeso, espandendosi progressivamente verso il largo.

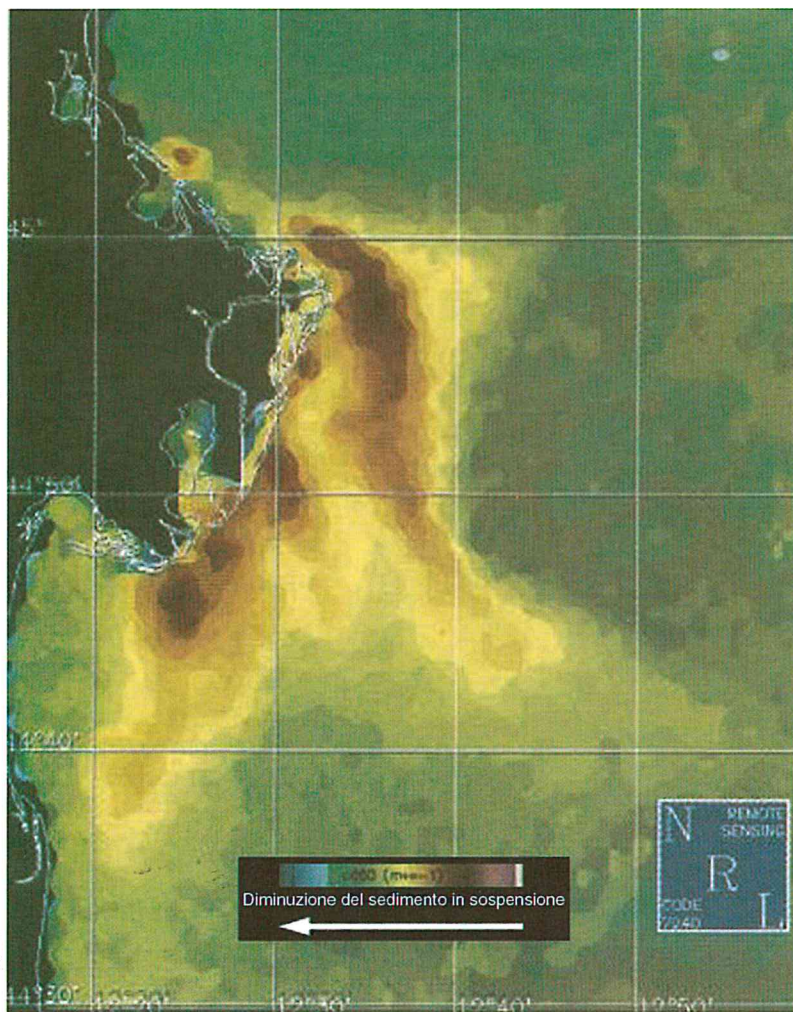


Figura 3 - Tipica distribuzione del pennacchio torbido dei rami del Po durante gli eventi di piena del 10-10-1995 (immagine AVHRR del U.S. Naval Research Laboratory disponibile via Internet).

Le direzioni di trasporto dei materiali sono legate all'assoluta prevalenza dei mari di Scirocco e di Levante rispetto agli altri che, in questa zona, risentono invece dell'effetto "ombra" generato dalla morfologia del delta. Gli apporti sedimentari, che giungono nella Sacca, provengono soprattutto dai contributi solidi del Po di Goro ed in minor misura dal Po di Gnocca e di Tolle e dalla rielaborazione dei depositi delle spiagge più settentrionali.

Il trasporto longitudinale mostra una progressiva riduzione (circa 1/3) procedendo dalla foce di Goro verso la punta dello Scannone (Idroser, 1994).

Altri contributi provengono dalle coste emiliane e, non ultimi, dai biodepositi derivanti dall'intensa attività di maricoltura che negli ultimi decenni interessa la Sacca.

Anche in quest'ultimo secolo, caratterizzato da un marcato deficit sedimentario del Po dopo gli anni '50, la Sacca ha mantenuto una funzione di "trappola sedimentaria", presentando un bilancio dei materiali in attivo (Dal Cin e Simeoni, 1984; Bondesan, 1988; Dal Cin, 1994; Simeoni et al., 1998). A riprova di ciò va ad esempio sottolineato come negli ultimi 10 anni sui fondali antistanti lo Scannone si siano depositi circa 8 milioni di m³ di sedimento.

Infine non va dimenticato che una forte subsidenza, antropicamente incrementata, interessa l'area. Essa ha fatto registrare nell'ultimo secolo abbassamenti di oltre 1.5 m (Caputo et al., 1970; Bondesan, 1990; Sestini, 1992; Idroser, 1994).

Evoluzione dell'area

Le prime segnalazioni circa un toponimo "Gaurus" (dal prelatino *gaura* o *gabura*, cioè canale o fossato; Gasca-Queirazza et al., 1990) da cui "Goro", sembrano risalire all'Alto Medioevo, allorché questo nome identificò una diramazione secondaria del più settentrionale tra i due rami principali del Po, quello dell'Olana, denominato poi Volano. Tale diramazione, il cui paleoalveo è ancor oggi ben identificabile (Fig.1), aveva origine nei pressi dell'attuale Codigoro, per dirigersi poi verso nord e sfociare in prossimità di Mesola con due bocche denominate "Portus Gauri" ed "Abbatis" (Bondesan, 1988; Bacchi, 1995).

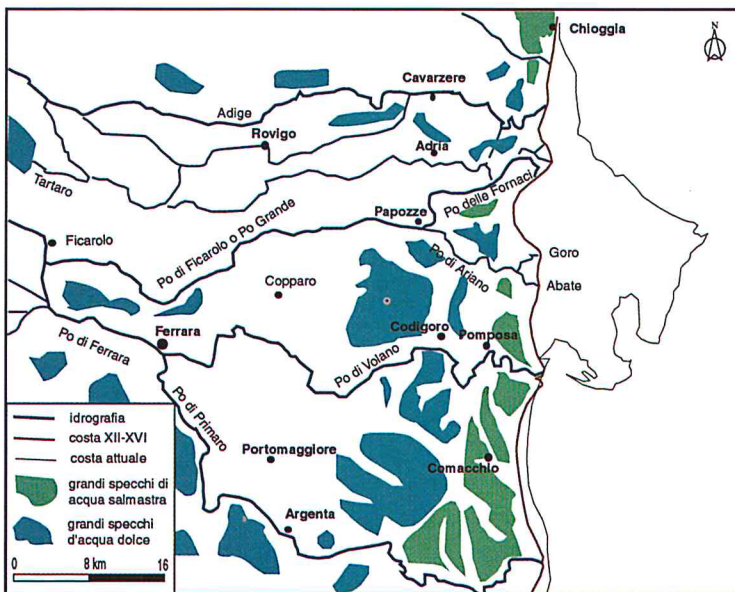


Figura 4 - Schema del reticolo idrografico del Delta del Po intorno al XII - XVI sec. (da Bacchi, 1995, mod.).

Nel 1152, con la Rotta di Ficarolo (Fig.4), l'assetto idrografico deltizio venne però profondamente modificato. A seguito della rotta, il Po di Volano perse infatti gran parte della sua efficienza a favore di un nuovo ramo più settentrionale, il Po Grande, che ancor oggi costituisce il principale distributore del delta (Fig. 1). Quest'ultimo si biforcava, in prossimità di Papozze (Figg. 4, 5), in due rami:

quello delle Fornaci o di Venezia, più settentrionale e diretto verso nord-est, e quello meridionale d'Ariano volto invece verso sud-est.

Verso la fine del '500 la foce di quest'ultimo, ubicata immediatamente ad est del costruendo complesso fertilizio della Mesola, si biforcava nei rami di Goro e dell'Abbate (Fig. 5). Il ramo delle Fornaci presentava invece un'articolata morfologia (molteplici diramazioni e bocche, barre e cordoni, ecc.) deltzio-lobata. Tale sistema, localizzato ad est di Rosolina (Bondesan e Simeoni, 1983 1985), si protendeva a mare, rispetto all'attuale linea di costa, per almeno 6 km e copriva un fronte di circa 25 km (Fig. 5).

Nella seconda metà del XVI sec. l'area iniziò a risentire gli effetti d'alcune grandi opere di bonifica e regimentazione artificiale delle acque. Tra il 1556 ed il 1598 fu attuata la "Grande Bonificazione Estense" (Ceccarelli, 1998 cum bibl.) per intercettare e trasferire a mare, attraverso la bocca dell'Abbate, le acque interne di vasti territori furono attivati due nuovi canali artificiali: il Canal Alfonso, poi Bianco, e quello di Bentivoglio (Cazzola, 1995).

La cartografia disponibile evidenzia per altro come verso la fine del '500 la bocca del ramo di Goro, posta immediatamente a nord-est delle fortificazioni della Mesola (Fig. 5), risultasse l'unica veramente attiva. Quella meridionale dell'Abbate (controllata dall'omonima Torre ancor oggi esistente) era infatti ormai completamente regimentata (in parte palificata e regolata da una chiavica a cinque occhi; Fig. 6) ed aveva assunto il ruolo di semplice scolo di bonifica.

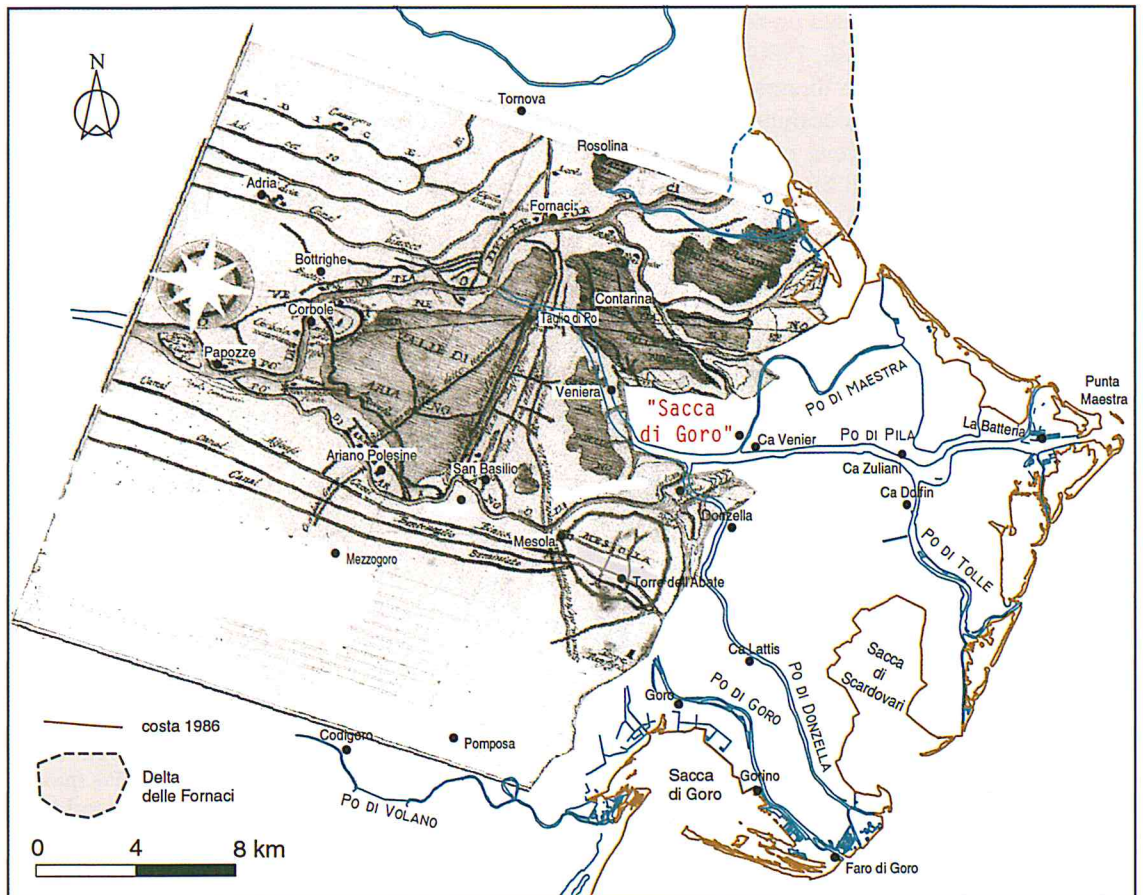


Figura 5 - Esempio di rigenerazione su base geodetica della Carta d'Autore anonimo (1600 d.C. ; Fabbri, 1994). Da notare l'estensione del sistema deltzio del Po delle Fornaci, la foce del Po di Goro (immediatamente a nord-est del sistema fertilizio della Mesola) e l'interclusa baia interdistributrice denominata "Sacca di Goro".

A seguito di questi interventi il nuovo ramo del “Po di Viro, “...*si protrasse a mare con ritmi di avanzamento stimati in almeno due volte e mezzo quelli antecedenti la rotta di Ficarolo*” (Ceccarelli, 1998), accelerando sia i processi di riempimento della Sacca che l'ostruzione della foce del Po di Goro. Quest'ultima fu a sua volta costretta a dirigersi verso sud anche a seguito d'alcuni interventi regimatori secondari (Fig.7).

Il principale effetto del “taglio” fu però quello di originare, così come già rilevato da diversi autori (Ciabatti, 1968; Veggiani, 1982; Bondesan, 1985; Fabbri, 1994; Simeoni e Bondesan, 1997), il moderno sistema deltizio. Sistema che inizia a delinearsi già verso la fine del '600, allorché un nuovo delta, centrato sul ramo del Po di Viro, si protendeva a mare con forma lobata per circa 7 km (Fig. 8).

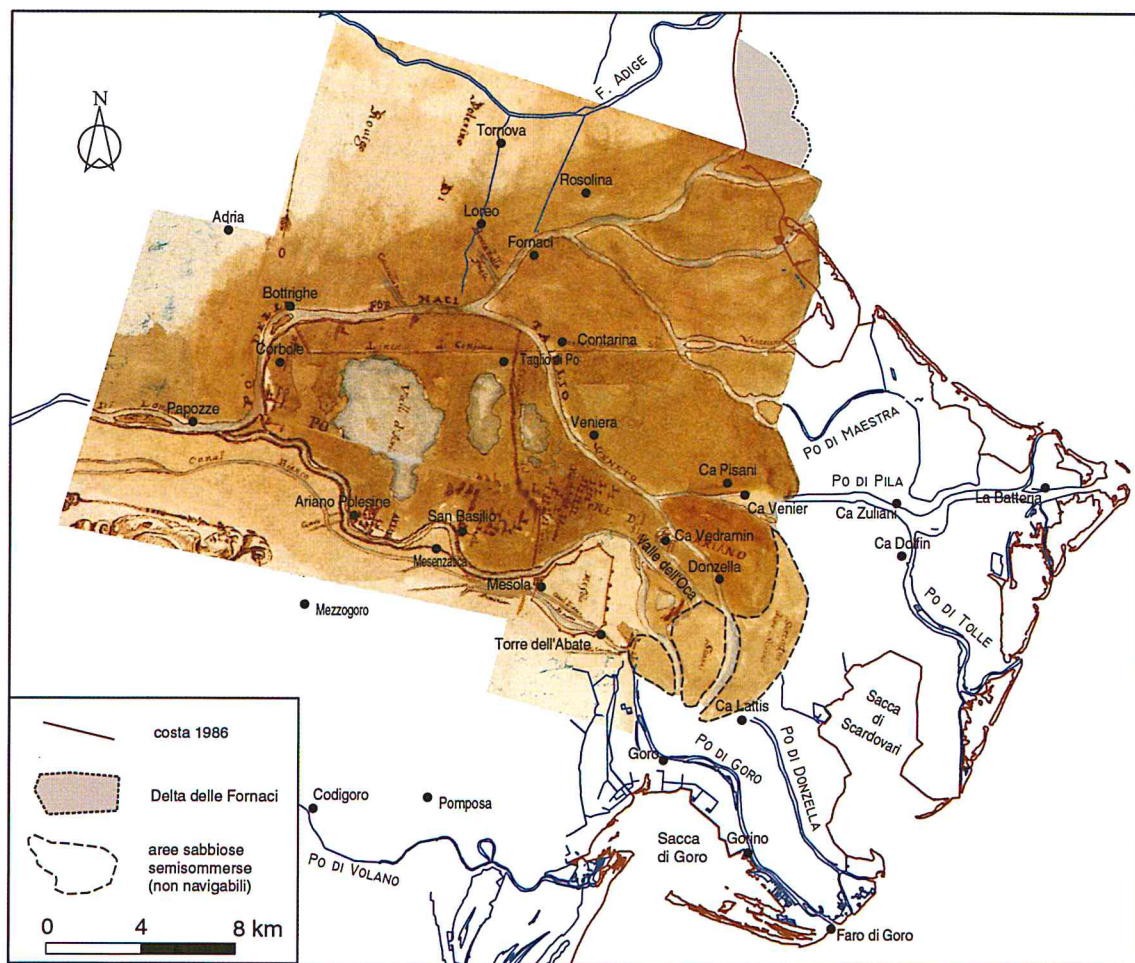


Figura 7 - Elaborazione della Carta d'Autore anonimo, probabilmente redatta intorno al 1658 (Fabbri, 1994), che evidenzia il rapido colmamento della Sacca di Goro a seguito del “Taglio di Viro” ed il nuovo andamento verso sud assunto dai rami del Po di Goro e di Viro.

Il più meridionale dei suoi distributori, quello della Donzella, sopravanzava nettamente la foce del Po di Goro e solo una ristretta area valliva (Valle dell'Oca) s'interponeva fra i due. Per contro tra la costa e la foce della stessa Donzella si apriva una nuova insenatura, prevalentemente allungata verso sud (circa 3 x 1 km), denominata “Porto o Sacca di Goro”.

In pochi decenni, per l'azione antropica ed il notevole apporto solido a mare dei rami fluviali, l'area mutò dunque radicalmente la sua morfologia e le naturali tendenze evolutive. In proposito vale per altro sottolineare come i veneziani, sempre tesi a contrastare efficacemente l'interrimento dei loro

porti e della laguna, nominarono “un custode delle bocche del Po” incaricato di vigilarle e dirigerle costantemente verso sud (Visentini, 1940; Ceccarelli, 1998).

Il prevalere di una tendenza del sistema deltizio a svilupparsi verso nord-est si mantenne però fin verso la fine del '700: periodo in cui il ramo di Maestra (Fig. 9) iniziò a perdere d'importanza.

Nel frattempo entrava in crisi l'officiosità della rete scolante della “Grande Bonificazione”, aggravata dal generalizzato peggioramento climatico indotto dalla “Piccola Età del Ghiaccio” e, non ultima, dalla subsidenza. Questa, infatti, modificando la direzione di scolo dei canali e abbassando sotto il livello del mare vaste aree, favoriva l'impaludamento di notevoli estensioni territoriali (Maestri, 1981).

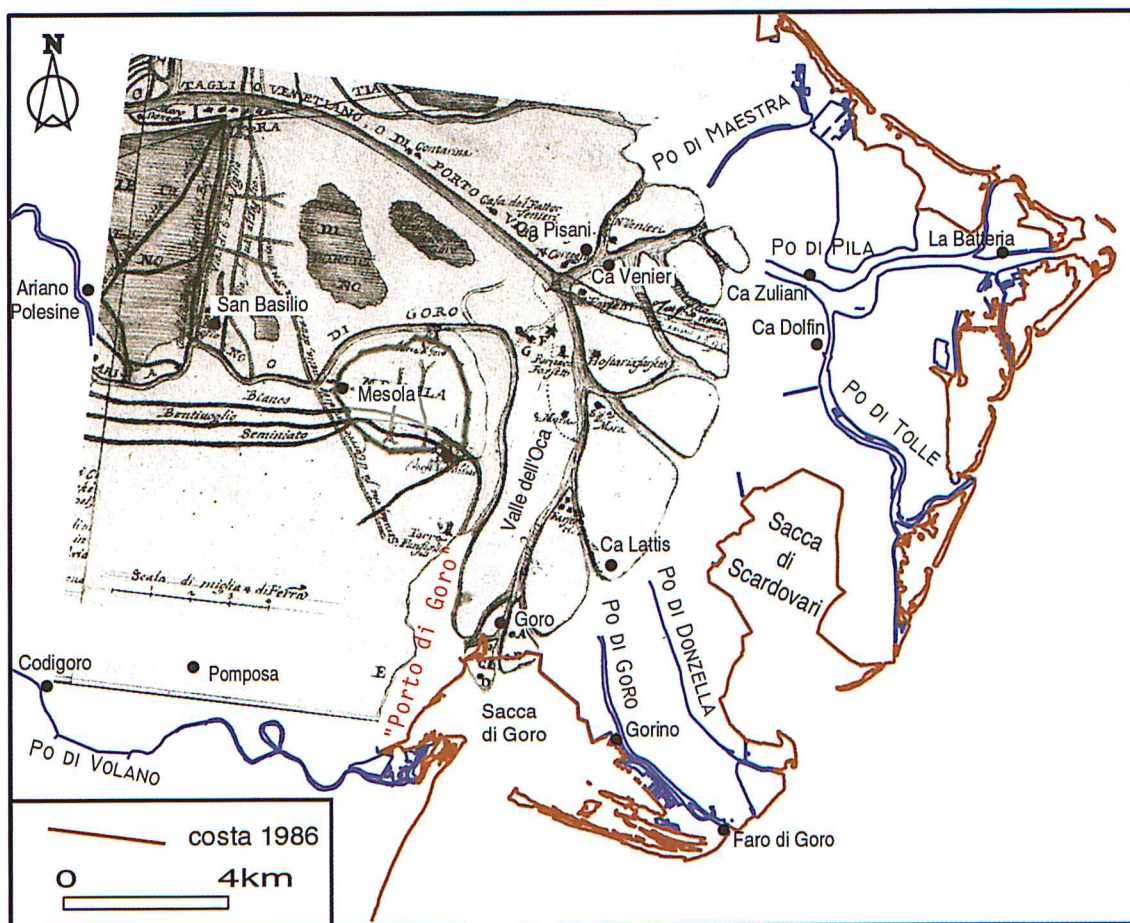


Figura 8 - Rigenerazione della Carta di Autore anonimo, che rappresenta lo sviluppo del delta intorno al 1690 (Fabbri, 1994), che evidenzia le prime fasi di sviluppo del moderno sistema deltizio.

Nel XVIII secolo i rami del Po di Goro e della Donzella sono oramai avanzati in mare di oltre 9 km rispetto alla loro posizione originaria, delineando pressoché completamente il moderno sistema deltizio (Fig. 9). Nella prima metà '700 è oramai del tutto colmata la preesistente “Sacca di Goro” ed i rapporti reciproci tra i rami della Donzella e di Goro si sono ulteriormente modificati (Fig. 9).

La foce di quest'ultimo, che ha ormai raggiunto l'altezza del moderno abitato di Goro, tende a svilupparsi verso est ed è caratterizzata da una biforcazione; il ramo più meridionale o del “Po Morto”, creatasi intorno al 1703, fu abbandonato nel 1738. Negli anni successivi alcuni interventi diressero l'asta terminale del fiume verso sud, conferendo così al corso d'acqua quella brusca variazione d'andamento che la caratterizza a quest'altezza (Fig. 1).

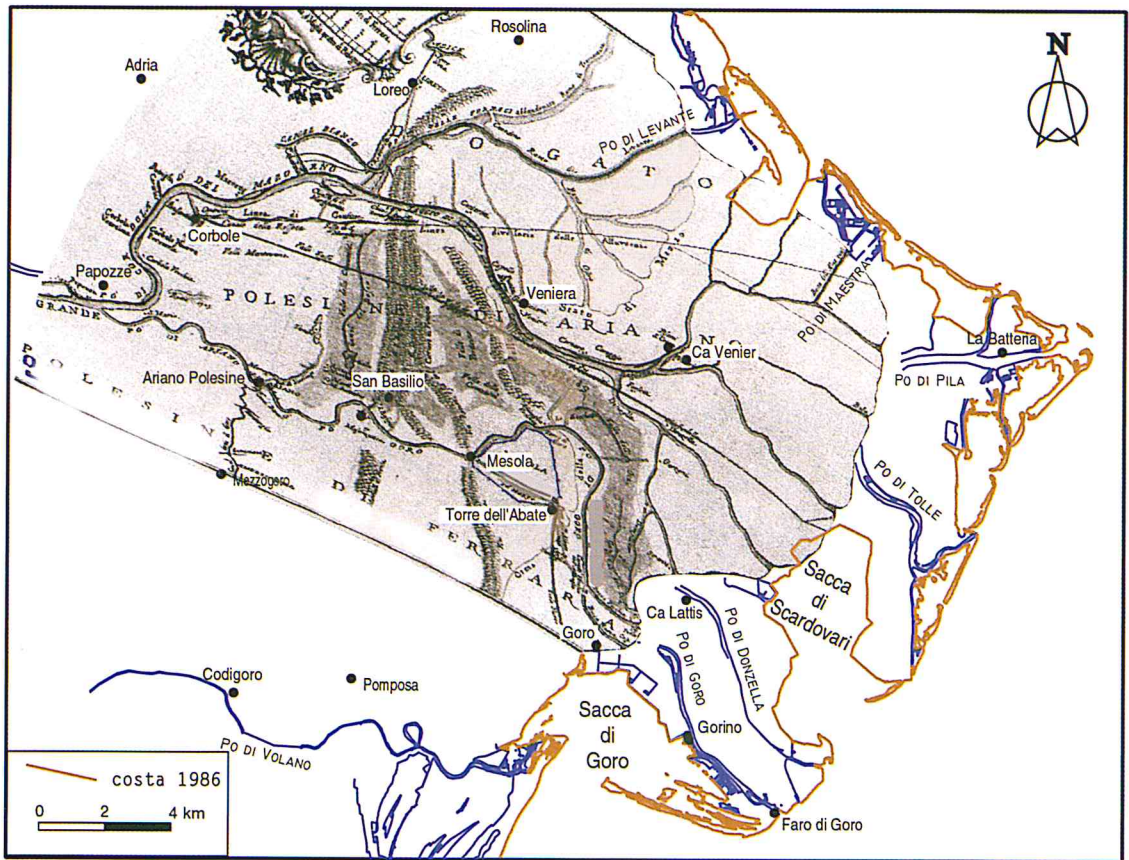


Figura 9 - Rigenerazione di una rappresentazione del Delta del Po nella prima metà del '700 (Carta redatta da Jacomelli nel 1736; Fabbri, 1994). Ormai colmata anche la seconda Sacca di Goro, l'omonima foce ha raggiunto il moderno abitato di Goro dopo aver subito una marcata rotazione da sud verso est. Il contiguo ramo della Donzella presenta già la biforcazione, che si consoliderà nel successivo ramo principale della Gnocca.

Sempre in questi anni nascono per altro, a ridosso d'alcune installazioni militari, i primi insediamenti civili che diedero origine all'abitato di Goro (Maestri, 1981).

Intorno al 1770 vi fu, in prossimità di Ca' Venier (Fig. 9), un'ulteriore regimentazione del Po Grande per raccogliere una maggior quantità di acque nel ramo della Gnocca e per aumentare l'afflusso nel ramo di Tolle a scapito di quello della Maestra (Visentini, 1940).

Tra la seconda metà del '700 e la prima dell'800, le foci di Goro e della Donzella continuano ad avanzare velocemente protendendosi per oltre 6 Km ed in questo periodo inizia a delinearsi l'insenatura o baia che costituirà la moderna Sacca di Goro o dell'Abbate; insenatura che, com'è evidenziato dalle dettagliate carte austriache dell'epoca (Fig. 10), agli inizi dell'800 raggiunge già un'estensione di circa 17 km².

Attorno al 1820 il Po di Goro sfociava all'altezza di Gorino Ferrarese con tre diramazioni principali, di cui quella rivolta a sud-ovest s'interrò quasi immediatamente (1822). Stessa evoluzione subì quella rivolta verso levante, mentre la centrale si protende verso sud d'ulteriori 2 km circa nei successivi 50 anni. Nello stesso tempo la foce del Po di Volano, che rappresenta il limite occidentale della Sacca (Fig. 10), presenta ancora una morfologia imbutiforme, senza evidenti strutture deposizionali sommerse. Alcuni documenti cartografici minori, riferiti alla topografia del Porto di Goro e databili intorno al 1820 (Maestri, 1981), evidenziano come l'abbandono e la formazione di nuovi canali sia avvenuta a seguito delle forti piene del 1819, seguendo dinamiche del tutto assimilabili a meccanismi del tipo "rotta d'argine" (*crevassing*).

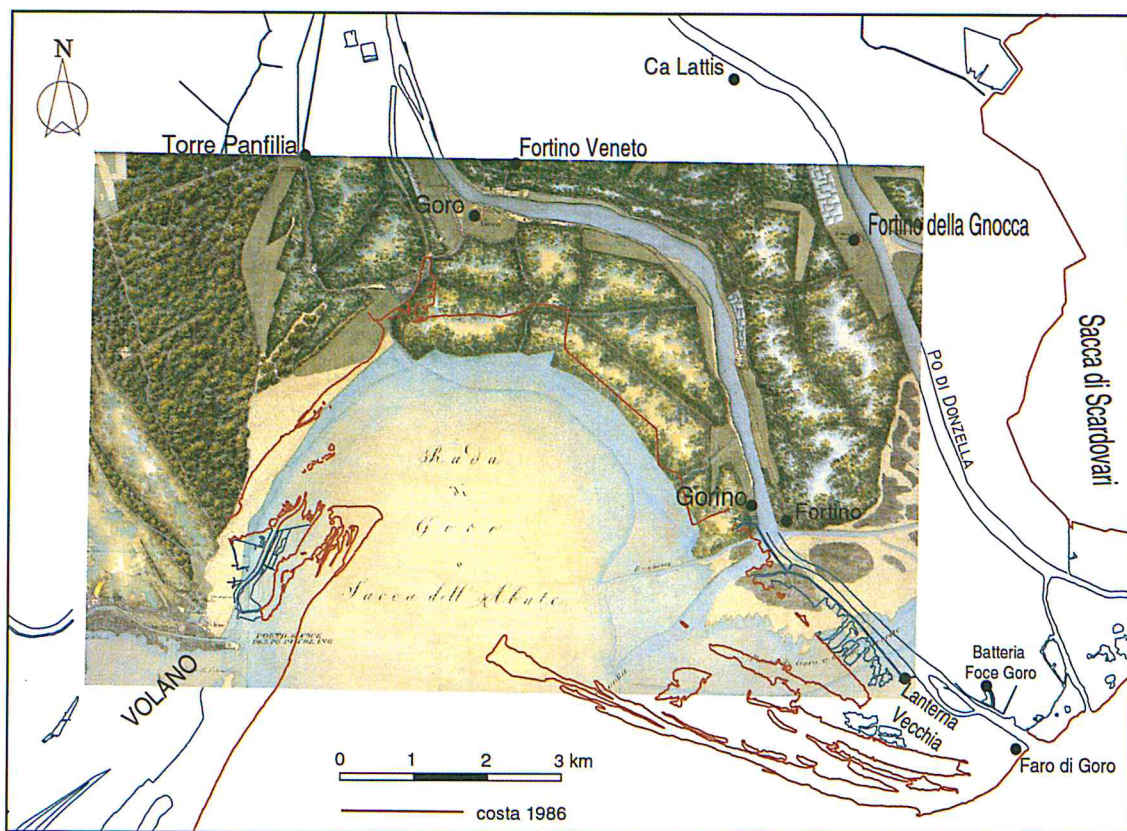


Figura 10 - Particolare di una Carta Austro-Ungarica pubblicata nel 1814, che mostra la moderna Sacca di Goro ormai ben delineata nelle sue principali caratteristiche. Evidente l'assenza di forme sedimentarie (cordoni, barre, ecc.) alla foce del Po di Volano, mentre quella di Goro presenta una distribuzione radiale ed a complessiva geometria sub-triagonolare delle stesse.

Le rappresentazioni cartografiche disponibili per gli anni successivi evidenziano come, per il sempre minor apporto solido a mare legato al concludersi della "Piccola Età del Ghiaccio", si assista ad una netta riduzione dei tassi d'avanzamento delle foci in tutto il sistema deltizio ed, in particolare, di quelle del Po di Goro e di Donzella (Fig. 11).

Per queste ultime, per altro, la cartografia di fine ottocento, ormai di buona precisione geodetica, indica non solo che barre centrali, talora arcuate, tendono a sostituire quelle distribuite radialmente alle foci ma, soprattutto, come in corrispondenza del lato sottocorrente di queste ultime inizino a svilupparsi delle frecce litorali (Fig. 12). Nel frattempo, in corrispondenza della foce del Po di Volano, inizia a prodursi quell'allungamento verso nord del bordo meridionale, sovracorrente, che, progressivamente, gli conferirà quella tipica "falciatura" ancor oggi visibile (Fig. 12).

Una simile variazione, a testimonianza del complessivo cambiamento intervenuto nei regimi sedimentari, si registra anche nella vicina foce del fiume Reno (Bondesan, 1990; Fig. 1).

Nella prima metà del '900 i tassi d'avanzamento delle foci diminuiscono sempre più marcatamente, così come schematizzato in Figura 13. Per contro il sempre maggior sviluppo di diversi sistemi di frecce litorali preclude sempre più la Sacca all'azione diretta del mare, favorendo il deposito di materiali fini al suo interno; deposito che ancor oggi compensa sufficientemente la subsidenza dell'area.

Dagli anni '50 nell'area si registrano nette tendenze regressive (arretramenti alla foce dell'ordine dei 6 m/anno) in gran parte imputabili alla significativa diminuzione degli apporti solidi a mare, in buona parte per l'estrazione d'inerti dagli alvei, che raggiunse il suo culmine tra gli anni '60 ed '80 (Dal Cin e Simeoni, 1984; Simeoni e Bondesan, 1997; Simeoni et al., 1999).

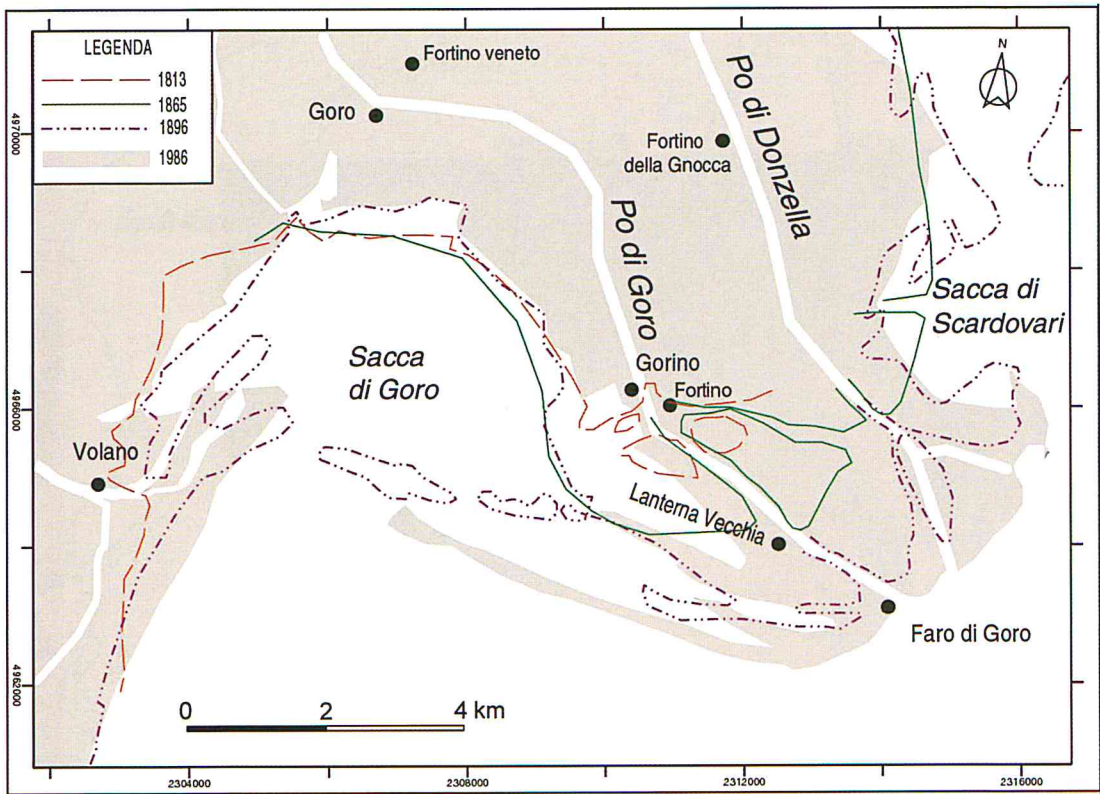


Figura 11 - Ricostruzione schematica delle principali linee di costa succedutesi nell'area di Goro tra il 1813 e il 1896. Ben evidente l'articolato sistema di frecce litorali che già a fine secolo occluderà parzialmente la Sacca.

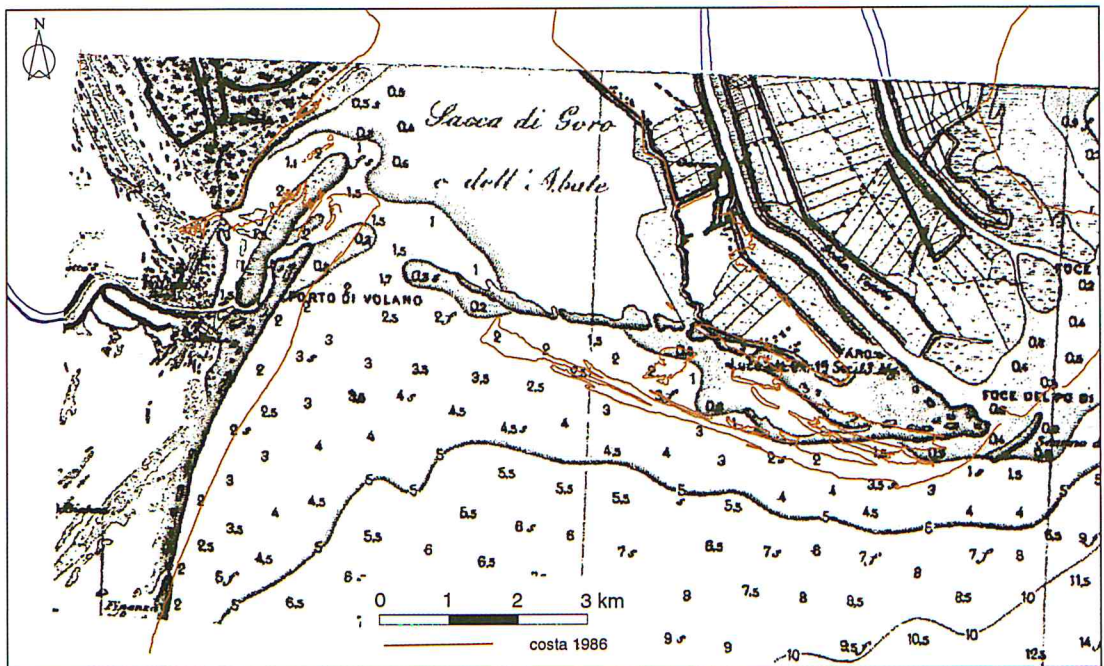


Figura 12 - Carta nautica basata su rilievi di fine '800, che mostra lo sviluppo del sistema di frecce litorali. Evidente la crescita di una barra arcuata di fronte alla foce del Po di Goro, mentre la foce del Po di Volano presenta ormai un marcato sviluppo verso nord del suo lato sopracorrente.

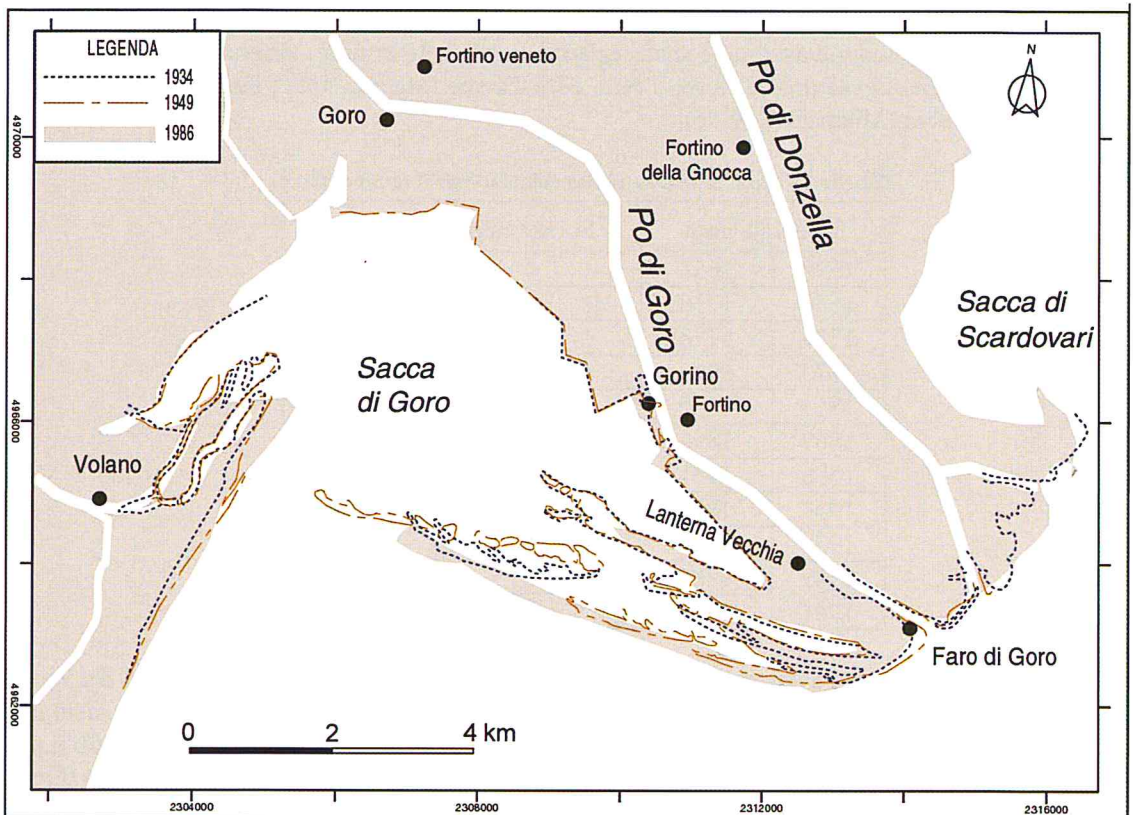


Figura 13 - Ricostruzione schematica delle principali linee di costa succedutesi nell'area nella prima metà' del '900. Evidente l'evolversi del sistema di frecce litorali o "scanni".

Discussione

L'integrazione e la correlazione d'informazioni della più diversa tipologia ed origine hanno evidenziato come, a macroscale, l'attuale configurazione del moderno sistema deltizio del Po ed, in particolare, dell'area di Goro sia stata sostanzialmente condizionata dalle attività antropiche di regimentazione. Attività che si sono sovrapposte agli effetti delle variazioni naturali connesse alla "Piccola Età del Ghiaccio". Quest'ultime hanno influenzato sensibilmente il regime fluviale e la quantità di input sedimentari distribuiti sui fondali, che nell'Adriatico presentano bassa profondità e debole pendenza.

Infatti, è indubbio che le geometrie deltizie del Po, se correlate con i numerosi modelli presenti in letteratura (Wright, 1977, 1985; Galloway, 1975; U.S Army Corps, 1995; Reading e Collinson, 1996), siano passate negli ultimi cinque secoli da dinamiche tipicamente "costruttive", dominate da un'elevata efficienza fluviale, a situazioni "distruttive" controllate dal moto ondoso e dalle correnti litoranee.

Il passaggio tra le due condizioni si è, all'incirca, determinato con la netta caduta degli apporti solidi a mare conseguenti alla fine della "Piccola Età del Ghiaccio". Il controllo da parte degli agenti meteo-marini si è poi consolidato progressivamente, sino a prevalere dopo la notevole riduzione degli apporti sedimentari a mare registrati nella seconda metà del '900.

Conferme a questo quadro evolutivo vengono sia dalle variazioni registrabili nei tassi d'accrescimento frontale delle foci di Goro e di Donzella (Fig. 14; Tab. 1), sia dalla tipologia dei vari sistemi di foce alternatisi nel tempo. In particolare, i tassi d'accrescimento evidenziano come da valori medi dell'ordine dei 75 m/anno, registratisi all'incirca durante la "Piccola Età del Ghiaccio", si sia passati a circa 10-15 m/anno nel periodo successivo per arrivare infine a fenomeni regressivi,

seppur di modesta entità (circa -3, -5 m/anno), per il periodo 1949- 1986. Per altro una significativa variazione dei tassi di sedimentazione è stata registrata pressoché in tutti i sistemi deltizi mediterranei quali, a solo titolo di esempio, l'Ebro, il Nilo ed il Tevere (Mariño, 1992; Fanos et al., 1995) ed in quello del Danubio (Mikhailova, 1995).

Tabella 1 - Tassi di spostamento calcolati per il ramo di Goro.

Intervalli anni		Spostamento (m/anno)
1592	1658	85
1658	1736	69
1736	1770	102
1770	1813	52
1813	1869	65
1869	1896	14
1896	1931	5
1931	1934	44
1934	1949	13
1949	1964	-5
1964	1986	-3

Più in particolare i maggiori avanzamenti registrabili su base cartografica per i distributori del Po di Goro e di Donzella sembrano ascrivibili a due distinti periodi: il primo relativo alla prima metà del 1600 ed il secondo intorno al 1750. Punte secondarie si sono avute poi nell'intorno del 1900 e del 1930. Tali periodi coincidono con buon'approssimazione ai periodi che, sia a livello globale (Denton e Karlen, 1973; Bradley e Jones, 1992) che locale (Visentini, 1940; Maestri, 1981; Veggiani 1982, 1986; Cazzola, 1995; Ceccarelli, 1998), fanno registrare un marcato peggioramento climatico.

Un generale miglioramento delle condizioni climatiche si registra poi a partire 1860, ma gli stessi Autori riconoscono il verificarsi di condizioni negative simili alle precedenti per gli anni 1880-92 e 1912-25. Un dato ancor più significativo in tal senso è ricavabile dall'analisi degli eventi di piena del Po condotto da Camuffo ed Enzi (1994) che, proprio per questi periodi, individuano un marcato aumento nella frequenza delle inondazioni legate al Po.

In merito alla geometria delle foci va sottolineato come queste, nella cartografia fine '500- inizio '800 (Figg. 8, 10 e 14), siano sempre indicate con barre, canali e cordoni (talora ricollegabili a fenomeni di rotta d'argine nella piana deltizia inferiore o alla sua fronte) distribuiti radialmente intorno alla foce stessa che assume così una complessiva geometria sub-triangolare. Caratteri questi che, nel loro insieme, permettono di ipotizzare dinamiche sedimentarie connesse con un'elevata efficienza fluviale e flussi in uscita di tipo ipopicalico "*friction dominated*". Per contro, almeno a partire dalla fine del 1800, prevalgono e si consolidano sistemi di foce caratterizzati da barre centrali (talora emerse ed arcuate) e frecce litorali; morfologie tipiche cioè di ambienti, quali gli attuali, prevalentemente controllati dal moto ondoso a partire da flussi ipopicalici "*buoyancy dominated*" (Wright, 1977; Coleman, 1988; Orton e Reading, 1993; Leeder, 1999). Ad ulteriore testimonianza delle variate condizioni sedimentarie indotte dalla conclusione della "Piccola Età del Ghiaccio", va infine registrato come con la fine dell'800 anche le foci dei corsi d'acqua limitrofi, ma ormai del tutto svincolati dal sistema deltizio del Po, quali, ad esempio, il Po di Volano ed il Reno (Fig. 1), variano il loro assetto iniziando ad assumere quel marcato allungamento verso nord del loro lato sovracorrente (Fig. 12). E' però indubbio che il Taglio di Viro e le successive regimentazioni artificiali abbiano drasticamente modificato i naturali scenari evolutivi dell'area, prima sostanzialmente protesa verso nord-est e poi sempre forzatamente indotta a progredire verso levante e verso sud.

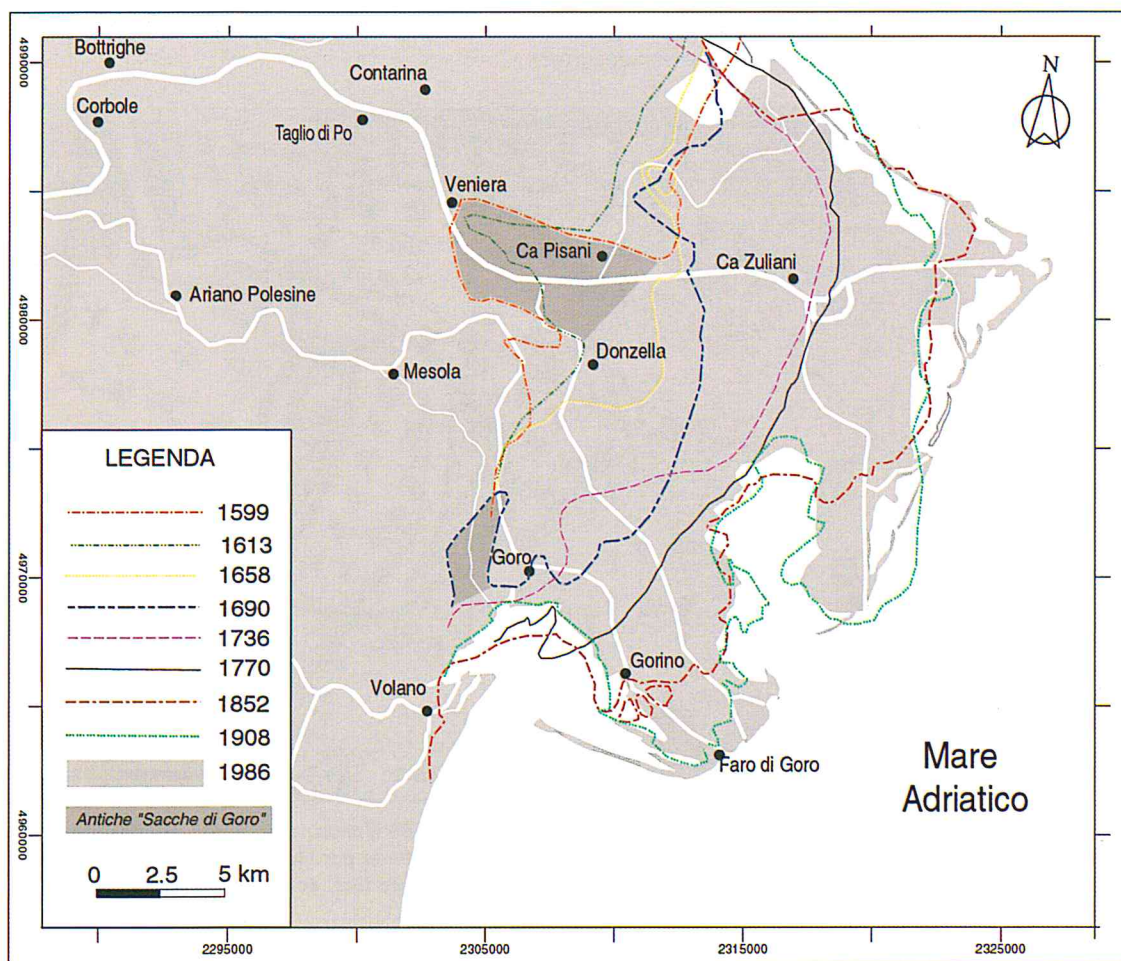


Figura 14 - Schema riassuntivo delle principali linee di costa e delle diverse "Sacche di Goro" succedutesi nell'area Delta del Po dalla seconda metà del '500 ad oggi.

Naturalmente, in un simile scenario, anche la subsidenza ha giocato un ruolo significativo. A livello di foci però gli alti tassi di sedimentazione sono riusciti nel passato a compensarla, contribuendo così a far assumere al sistema la tipica progradazione sigmoide dei depositi di fronte deltizia e di prodelta (Del Grande et al., 1997; Regione Emilia-Romagna, 1999). Nella piana deltizia l'elevata subsidenza ha invece indotto abbassamenti tali da riportare sotto il livello del mare vaste estensioni territoriali il cui impaludamento è stato risolto solo con le grandi bonifiche meccaniche intraprese nell'ultimo secolo (Maestri, 1981).

A cause antropiche vanno poi imputate anche le brusche variazioni che, prima all'altezza della Mesola e poi di Goro, caratterizzano il corso del Po di Goro e, in minor misura, quello della Donzella (Fig. 1). Variazioni che, come in precedenza descritto, sono completamente da ascrivere ad interventi antropici e non certo a cause naturali quali, ad esempio, i processi di meandrazione.

Le ricostruzioni effettuate permettono infine di verificare come la Sacca, pur conservando il toponimo di più antiche baie interdistributrici susseguitesi nell'area a partire dal '500 (Fig. 15), abbia un'origine relativamente recente ed all'incirca ascrivibile alla fine del XVIII secolo.

Il suo passaggio da ambiente marino a lagunare coincide con le prime fasi tardo ottocentesche di formazione delle frecce litorali, poi ampiamente sviluppatasi nel secolo successivo. L'area ha così sempre più ridotto i suoi interscambi con il mare aperto, raggiungendo condizioni d'occlusione

ormai prossime alle tipiche morfologie lagunari che si riscontrano all'interno di quel variegato ambiente rappresentato dalle piane deltizie inferiori.

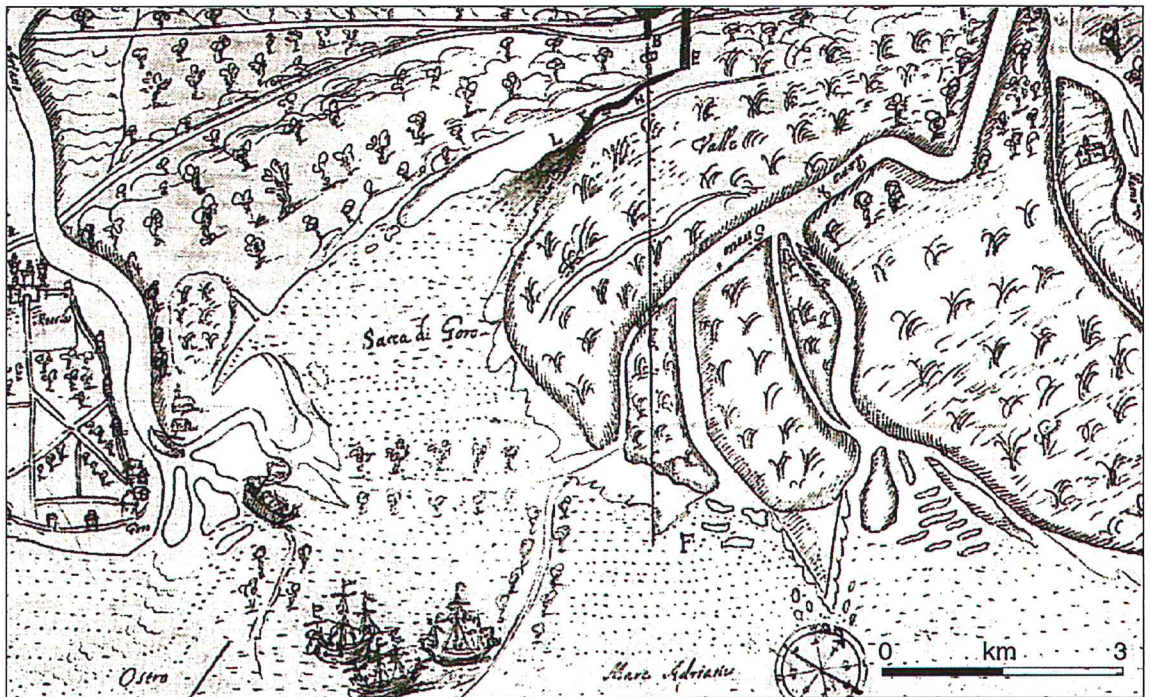


Figura 15 - La rappresentazione cartografica pre-geodetica di fine '500 illustra, con buona attendibilità rappresentativa, la morfologia d'alcune foci del delta del Po (da una carta redatta per i lavori del Taglio di Viro; Ceccarelli, 1998). Evidente il complessivo assetto sub-triangolare delle singole foci, determinato da una distribuzione radiale di barre, canali e cordoni.

Ringraziamenti

Tutte le elaborazioni digitali sono state eseguite, con la collaborazione del Sig. Mauro Altizio, presso il Laboratorio CAD/GIS del Corso di Laurea in Scienze Ambientali dell'Università di Bologna, sede di Ravenna. Una parte significativa della cartografia storica deriva da indicazioni fornite dal Dott. Paiola del Servizio Geologico del Comune di Comacchio e dal Prof. F. Ceccarelli del Corso di Laurea in Beni Culturali dell'Università di Bologna, cui va un particolare riconoscimento. Lavoro svolto con fondi ex 60% dell'Università di Bologna (responsabile G. Gabbianelli) e dell'Università di Ferrara (responsabile U. Simeoni) e con fondi COFIN 98 del Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica (responsabile R. Dal Cin).

Bibliografia

- Almagià R. (1921) - *Per una raccolta ed una illustrazione dei più importanti documenti cartografici concernenti l'Italia, anteriori al secolo XVIII*. "L'Universo", II, pp. 135-139.
- Bacchi T. (1995) - *Il Delta Medievale*. In "Il Parco del Delta del Po", Sez.V: L'ambiente come Storia. 110-122, Spazio Libri Ed., Ferrara
- Bondesan M. e Simeoni U. (1983) - *Dinamica e analisi morfologica statistica dei litorali del Delta del Po ed alle foci dell'Adige e Brenta*. Mem. Sc. Geol., Padova, XXXVI: 1-48
- Bondesan M. (1985) - *Quadro schematico dell'evoluzione geomorfologica olocenica del territorio costiero compreso tra Adria e Ravenna*. Atti Tav. Rot. "Il Delta del Po", Acc. Sc. Dell'Ist. Di Bologna, pp. 23-36, Bologna.

- Bondesan M. (1988) - *Aspetti e problemi geomorfologici del territorio deltizio padano: 2a Escursione - Delta del Po*. In: Bondesan M., Elmi C., Nesci O., Dal Cin R. & Veggiani A. (a cura di), Guida alle escursioni. Gruppo Nazionale di Geografia Fisica e Geomorfologia, riunione annuale: Riccione - Delta del Po, 21-24 giugno 1988, 31-58.
- Bondesan M. (1990) - *Le zone umide salmastre dell'Emilia-Romagna: aspetti geografici e geomorfologici*. In: Aspetti naturalistici delle zone umide salmastre dell'Emilia-Romagna. Regione Emilia-Romagna, 23-49, Bologna.
- Bondesan M., Favero V. e Vinals M.J. (1995) - *New evidence on the evolution of the Po delta Coastal Planing during the olocene*. Quaternary International, Vol. 29/30: 105-110.
- Bradley R. S. e Jones P. (1992) - *The Little Ice Age*. The Holocene, 3: 367- 376
- Camuffo D. e Enzi S. (1994) - *Cambiamenti climatici negli ultimi 2000 anni*. Il Quaternario, 7: 257- 266
- Caputo N., Pieri L. e Unguendoli N. (1970) - *Geometric investigation of the subsidence in the Po Delta*. Boll. Geof. Teor. Appl., 13: 187- 207.
- Carter R.W.G. (1988) - *Coastal environments*. Academic Press, pp. 617, London
- Cazzola F. (1995) - *La grande impresa: le bonifiche estensi*. In "Il Parco del Delta del Po", Sez.V: L'ambiente come Storia. p 124-137, Spazio Libri Ed., Ferrara.
- Ceccarelli F. (1998) - *La città di Alcina: architettura e politica alle foci del Po nel tardo cinquecento*. Il Mulino Ed., 286 pp., Bologna.
- Ciabatti M. (1968) - *Ricerche sull'evoluzione del Delta Padano*. Giornale di Geologia, XXXIV: 318- 410.
- Coleman J.M. (1988) - *Dynamic changes and processes in the Mississippi River Delta*. Bull. Geol. Soc. of America, 100: 999- 1015
- Dal Cin R. (1983) - *I litorali del Delta del Po e alle foci dell'Adige e del Brenta: caratteri tessiturali e dispersione dei sedimenti, cause dell'arretramento e previsioni sull'evoluzione futura*. Boll. Soc. Geol. It., 102: 9-56.
- Dal Cin R. (1994) - *Lo Scannone di Goro nel Delta del Po: evoluzione morfologica e possibili interventi per conservare l'ambiente della laguna retrostante*. In "Sacca di Goro: Studio integrato sull'ecologia (a cura di Bencivelli S., Castaldi N., Finessi D.) " Sacca di Goro: studio integrato sull'ecologia", pp. 291-303, Ed. Franco Angeli, Milano, Ferrara.
- Dal Cin R. e Simeoni U. (1984) - *Variazioni volumetriche del delta padano nell'ultimo secolo, distribuzione dei sedimenti nei rami deltizi e caratteri granulometrici dei materiali cavati nel basso Po*. In: Atti del 2° Convegno di Idraulica Padana, Tecnografica, Parma, I. pp. 255-279.
- Del Grande C., Gabbianelli G. e Simeoni U. (1997) - *Lineamenti evolutivi della moderna Sacca di Goro (Delta del Po)*. Atti 1° Forum Italiano di Scienze della Terra, pp. 234- 235, Bellaria.
- Denton G.H. e Karlen W. (1973) - *Holocene Climatic Variations: their pattern and possible cause*. Quaternary Res., 3: 155- 205.
- Fabbri P. (1994) - *Le trasformazioni della costa tra il Po e l'Appennino sulla base della documentazione cartografica d'età moderna*. Dip. di discipline Geografiche e Geologico Ambientali. Colana studi sul territorio. pp. 129, CLUEB, Bologna.
- Fanos M.A., Naffa G.M., Gewilli M.Y. e Ali M.M. (1995) - *Coastal processes along Burullus bedland Nile Delta, Egypt*. In (Ozhan E. Ed.) Proceedings of the Second International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, 2: 1033- 1047.
- Galloway W.E. (1975) - *Process framework for describing the morphologic and stratigraphic evolution of deltaic depositional systems*. In: Deltas, Models for Exploration (Ed. by M.L. Broussard), Houston Geol. Soc., pp. 87-98, Houston.
- Gambi L. (1988) - *Le prime geoiconografie con esplicite informazioni politiche*. In: Persistenze feudali e autonomie comunitative in stati padani fra Cinque e Ottocento. A cura di Giovanni Tocci. pp. 18-32, CLUEB, Bologna.
- Gasca-Queirazza G., Marcato C., Pellegrini G.B., Petracco-Sicardi G. e Rossebastiano A. (1990) - *Dizionario di Toponomastica*. pp. 217, UTET, Torino.
- Idroser (1984) - *Piano progettuale per la difesa della costa Adriatica, Emiliano-Romagnola*. Regione Emilia Romagna, vol. II-III-IV, pp. 636.

- Idroser (1994) - *Progetto di Piano per la Difesa dal Mare e la Riqualificazione Ambientale del Litorale della Regione Emilia-Romagna; Relazione Generale*. Regione Emilia-Romagna, Bologna. pp. 365.
- Lamberti P. (1998) - *Opere di Somma urgenza per la movimentazione naturale delle acque all'interno della Sacca di Goro*. Progetto esecutivo: relazione idraulica. Amm. Provinciale di Ferrara.
- Leeder M. (1999) - *Sedimentology and Sedimentary Basin: from turbulence to tectonics. River Deltas*. Pp. 383-397, Blackwell Science, London.
- Maestri D. (1981) - *Goro e il Delta del Po*. Ist. Fondam. Architettura, Univ. di Roma. Tip. Domograf, Roma, pp. 444.
- Marabini F. (1996) - *Evoluzione dell'ambiente costiero in tempi storici e le variazioni climatiche*. Il Quaternario, 9: 201- 204.
- Mariño M.G. (1992) - *Implications of Climatic Change on the Ebro Delta*. In (Leftic L., Milliman J.D., Sestini G., Eds.) *Climatic Change and the Mediterranean*, pp. 282- 302, UNEP, Great Britain.
- Mikhailova M. (1995) - *Formation of the Danube and Rioni Deltas and their coasts*. In (Ozhan E. Ed.) *Proceedings of the Second International Conference on the Mediterranean Coastal Environment*, 2: 898- 911.
- Nelson B.W. (1970) - *Hydrography, sediment dispersal and recent historical development of the Po Delta, Italy*. SEPM Spec. Pub., 15: 152-184.
- Orton G.J. e Reading H.G. (1993) - *Variability of detritic processes in terms of sediment supply, with particular emphasis on grain size*. *Sedimentology*, 40: 475-512.
- Pambianchi P., Rosso G. e Frascari F. (1994) - *Nutrienti e sostanza organica nei sedimenti della Sacca di Goro*. In "Sacca di Goro: studio integrato sull'ecologia (a cura di Bencivelli S., Castaldi N., Finessi D.) " Sacca di Goro: studio integrato sull'ecologia", pp. 269- 280, Ed. Franco Angeli Milano, Ferrara.
- Reading H. G. e Collinson J.D. (1996) - *Clastic Coasts*. In: *Sedimentary Environments*, Ed. Reading H.G., Blackwell Scienze, pp. 687, Oxford.
- Regione Emilia Romagna (1999) - *Note illustrative Carta Geologica d'Italia scala 1: 50.000 - Ravenna*. A cura di A. Amorosi, pp 144, Ist. Poligrafico e Zecca dello Stato Ed., Roma.
- Sestini G. (1992) - *Implications of climatic changes for the Po delta and Venice Lagoon*. In: *Climatic Change and the Mediterranean*. Leftic L., Milliman J.D., Sestini G., (Eds.). Pp. 429- 490, UNEP, Great Britain.
- Simeoni U. e Bondesan M. (1997) - *The role and responsibility of man in the evolution of the Adriatic alluvial coasts of Italy*. In: F. Briand and A. Maldonado (Eds.), *Transformations and evolution of the Mediterranean coastline*. Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la mer Méditerranée (CIESM), 18, Science Series n° 3. pp. 111-132.
- Simeoni U., Ciavola P., Fontolan G., Mazzini E. e Tessari U. (1998) - *Centennial evolution of a recurved spit: a case study from the spit of Goro Lagoon Po Delta (Italy)*. Rapp. 35° Com. Int. Mer Medit., in CIESM Congress Proceedings, Dubrovnik (Croazia), 35: 100- 101.
- Simeoni U., Gabbianelli G. e Melandri S. (1999) - *Effetti sulle attività antropiche e dell'innalzamento del livello marino sull'evoluzione del litorale emiliano-romagnolo*. In: Atti del convegno "Conoscenza e salvaguardia delle aree di pianura", 8-16 novembre, pp. 42-44, Ferrara.
- U. S. Army Corps of Engineers, 1995. *Coastal Geology*. Engineer Manual, 185 pp., Washington D.C..
- Veggiani A. (1982) - *La Piccola Età Glaciale e gli impaludamenti tra Conselice ed Alfonsine*. Studi Romagnoli, XXXIII: 1- 20.
- Veggiani A. (1984) - *Il deterioramento climatico dei secoli XVI- XVIII ed i suoi effetti sulla bassa Romagna*. Studi Romagnoli, XXXV: 12- 34.
- Veggiani A. (1986) - *Le fluttuazioni del clima dal XVIII al XX secolo. I cicli di Bruckner*. Estratto da "Torricelliana", 37(1986) Bollettino della società Torricelliana di Scienze e Lettere, pp. 1-56, Faenza.
- Visentini M. (1940) - *Ricerche idrografiche nel delta del Po*. Uff. Idr. Del Po, Parma, Min. Lav. Pubbl., 2, 175 p.

- Wright L.D. (1977) - *Sediment transport and deposition at river mouths: a synthesis*. Bull. Geol. Soc. Am., 88: 857-868.
- Wright L.D. (1985) - *River Deltas*. Coastal Sedimentary Environments, R.A Davis Ed., pp. 1-76, Springer Verlag, New York.

Manoscritto ricevuto il 3/3/2000, accettato il 7/4/2000.