

GORTANIA - Atti Museo Friul. di Storia Nat.	17 (1995)	5-35	Udine, 31.VII.1996	ISSN: 0391-5859
---------------------------------------------	-----------	------	--------------------	-----------------

R. MAROCCO, M. PESSINA

IL RISCHIO LITORALE NELL' AREA CIRCUMLAGUNARE
DEL FRIULI - VENEZIA GIULIA *

*COASTAL RISK IN THE SURROUNDING AREA
OF MARANO AND GRADO LAGOON (FRIULI - VENEZIA GIULIA, ITALY)*

Riassunto breve - La bassa pianura del Friuli - Venezia Giulia che contermina le lagune di Marano e di Grado è soggetta a rischi geomorfologici legati a fenomeni naturali (esondazioni fluviali e invasioni di acque marine e/o lagunari) che possono determinare effetti amplificati per cause connesse ai condizionamenti antropici imposti al territorio. L'innalzamento del livello del mare riscontrato in questi anni a scala planetaria rende ancora più problematica la situazione della piana costiera friulana che si trova per ampie zone al di sotto del l.m.m. La perimetrazione arginale della laguna, ricostruita dopo l'alluvione del 1966, garantisce al momento una sufficiente protezione del territorio retrostante, anche se in condizioni critiche ha manifestato in diversi punti e più volte gravi deficienze. Queste difese passive diminuiscono sempre più la loro funzione con il trascorrere del tempo, sia a causa del loro naturale deterioramento, sia per il progressivo innalzamento del livello marino che rende sempre più probabile il verificarsi di condizioni a forte rischio.

Sulla base di questi dati ed in forma molto semplificata si è eseguita una zonazione del Rischio Litorale (determinato essenzialmente dalla sola invasione di acque marine e/o lagunari) nell'area circumlagunare del Friuli - Venezia Giulia valutando complessivamente le condizioni di pericolosità, di vulnerabilità ed il valore ambientale del territorio.

Parole chiave: Rischio litorale, eventi estremi, geomorfologia, piana costiera, bonifica idraulica, argini, Friuli - Venezia Giulia.

Abstract - *The lowland surrounding the Marano and Grado Lagoon in the Italian region of Friuli - Venezia Giulia is exposed to geomorphological risks related to natural phenomena (such as river overflowing or inundation by sea and/or lagoon waters), which could produce amplified effects due to causes connected with man - made environmental changes. The global rise in sea level over the last few years has made the situation even more difficult for the Friuli coastal plain, which is largely placed below mean sea level. At present the lagoon embankment-ring, reconstructed after the 1966 flood, provides sufficient hinterland protection, in spite of the serious collapses repeatedly occurred in various points under critical conditions. Such works of passive defence have become less effective*

* Ricerca eseguita con il contributo del M.U.R.S.T. (Programma 60% "Cartografia Tematica del Friuli - Venezia Giulia e delle regioni fitime" diretto da F. Vaia).

over time as a result of both their natural renders the occurrence of high risk conditions increasingly probable.

In line with the above data, a simplified form of zoning of Coastal Risk (basically determined only by sea and/or lagoon water flooding) was performed in the Friuli - Venezia Giulia area surrounding the Marano and Grado Lagoon. The overall conditions of hazard, vulnerability and element of risk of the territory were evaluated.

Key words: Coastal risk, extreme events, geomorphology, coastal plain, reclamation area, dams, Friuli - Venezia Giulia.

Introduzione

Con il presente lavoro si intende fornire un quadro sintetico dell'attuale situazione geo-idrologica del territorio perilagunare del Friuli - Venezia Giulia e valutare il cosiddetto "rischio litorale", ovvero il prodotto della pericolosità, della vulnerabilità e del valore economico specifico della fascia costiera. ⁽¹⁾ In questa valutazione si è tenuto conto:

- delle caratteristiche geomorfologiche e pedologiche dell'area;
- delle principali cause direttamente responsabili del rischio (l'innalzamento del livello marino e le mareggiate);
- dei condizionamenti antropici imposti al territorio (che vanno dal controllo e irrigidimento delle reti fluviali e dell'intero sistema lagunare, al prosciugamento di aree lagunari e paludose sino alla costituzione di poli industriali costieri) e soprattutto di quei costosi interventi che dovrebbero mitigare o ostacolare le alluvioni, quali le grandi opere di arginatura e ricalibrazione dei corsi d'acqua e degli argini circumlagunari, effettuati dagli uffici competenti essenzialmente dopo l'evento calamitoso del novembre 1966.

Questa indagine diviene di estrema attualità se si considerano le possibili conseguenze di un innalzamento del livello del mare in un prossimo futuro che numerosi autori ipotizzano realizzarsi con una gamma di valori che vanno dai 7 cm ai 3.5 m (PIRAZZOLI, 1989), ma che si ritiene altamente probabile verificarsi con entità di circa 20 cm entro il 2030 (WARRIK, 1989) o di circa 35 cm entro il 2050 (MEIER, 1989).

In questa situazione di progressivo innalzamento del livello marino (che può essere aggravata da movimenti di abbassamento del suolo) gran parte delle scelte di pianificazione territoriale adottate sulla base di valutazioni dello stato contingente (od a brevissimo termine) dell'area costiera dovrebbero esser riviste e rapportate al probabile scenario futuro.

(1) Come "Pericolosità Ambientale" viene considerata la probabilità o la possibilità che un certo fenomeno naturale potenzialmente dannoso si verifichi in un determinato territorio;

- la "Vulnerabilità Ambientale" è l'attitudine dell'ambiente naturale e/o antropico a sopportare determinati fenomeni naturali potenzialmente dannosi;

- il "Valore Territoriale" viene inteso come il valore di proprietà o della capacità produttiva o di una risorsa naturale utilizzata o utilizzabile dalla società umana (PANIZZA, 1987; GISOTTI & BRUSCHI, 1990).

Caratteri fisici del territorio

L'area indagata è localizzata nel settore più meridionale della bassa pianura veneto - friulana che circoscrive le lagune di Marano e di Grado. È costituita da zone basse, piatte, delimitate ad Ovest ed ad Est da due estesi alti morfologici dove scorrono rispettivamente i fiumi Tagliamento e Isonzo.

La bassa pianura è solcata da fiumi che nascono dalle risorgive ridotti oggidi a profondi rii o canali. Da Ovest ad Est si riconoscono i fiumi Stella, Turignano, Cormor (pro parte), Zellina, Corno, Ausa, Natissa e Tiel che scorrono in solchi dell'antica piana alluvionale del

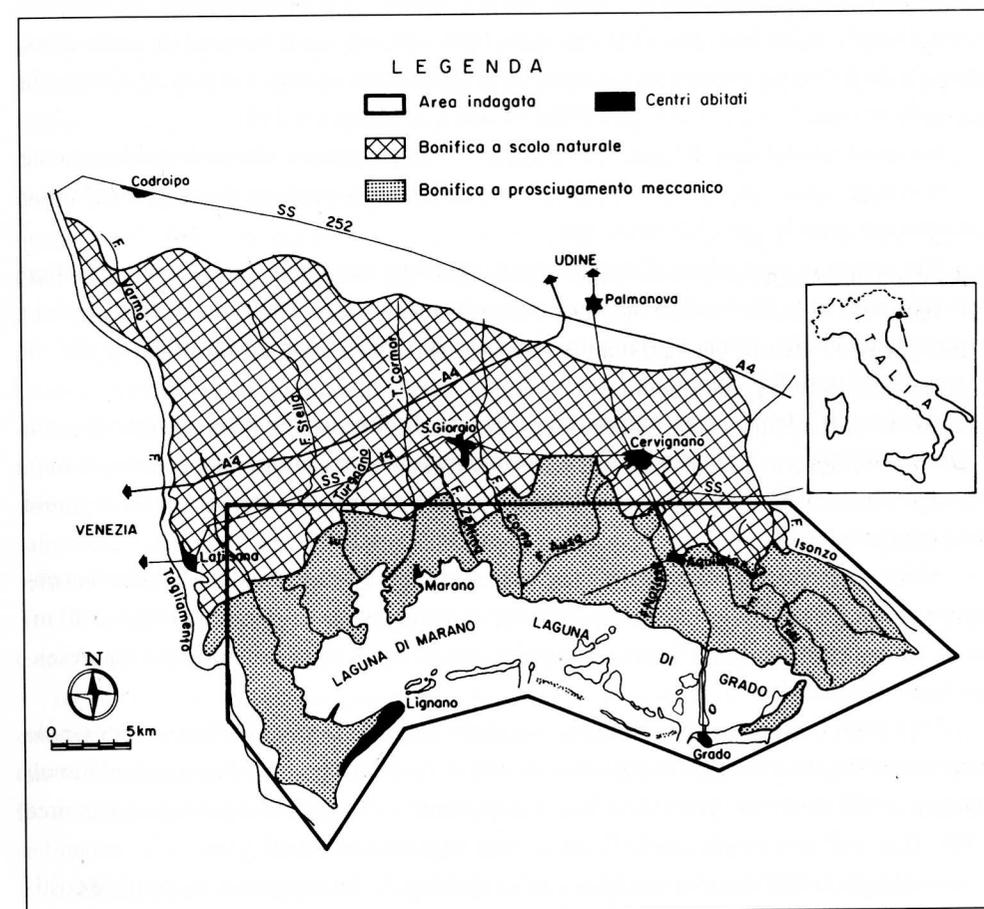


Fig. 1 - Bassa pianura friulana: area indagata ed estensione delle bonifiche a prosciugamento meccanico e a scolo naturale.

- Friuli lowlands: study area and extension of reclamation by mechanical and natural drainage.

Cormor - Torre. Tutti questi fiumi sono oggi arginati e gran parte di essi esplicano anche la funzione di collettori principali di una fitta rete di canali di bonifica.

A fianco di queste incisioni che, nel caso dello Stella e del Corno, assumono forma di bassure lievemente terrazzate, si riconoscono una serie di dossi, con fianchi poco pendenti e allungati in senso Nord - Sud, costituiti da depositi sabbioso - ghiaiosi che si stagliano sulla coltre essenzialmente pelitica della antica piana di esondazione. Questi dossi rappresentano i vecchi percorsi dei fiumi che divagavano nella paleo-pianura friulana.

A Nord della Laguna di Grado, tra il margine di conterminazione lagunare e Aquileia, si rinvengono alcuni rilievi sabbiosi a volte cementati, più elevati dei precedenti e orientati secondo direzioni diverse (da NNE - SSW a ENE - WSW). Analogamente agli altri dossi di origine fluviale individuati più ad Ovest, questi alti, che sono stati interpretati anche come dune litorali, definiscono i vecchi percorsi dei fiumi del sistema isontino (Isonzo, Natisone e in tempi più recenti, Torre) (MAROCCO, 1991; LENARDON & MAROCCO, 1994).

La quasi totalità di questi alti morfologici sono quasi sempre ubicati immediatamente ad Ovest degli attuali percorsi dei fiumi ed evidenziano una generale diversione del tratto terminale del reticolo idraulico verso Est.

Nel settore occidentale dell'area indagata il percorso del fiume Tagliamento si sviluppa su un dosso molto stretto che si allarga progressivamente verso il delta. L'apparato deltizio presenta una classica forma a triangolo, con base di circa 14 km ed ali di 7 km (lidi di Lignano) e 9 km (lidi di Bibione).

Il corpo del delta è costruito da una ossatura di almeno 8 sistemi di dune litorali, sabbiose, allungate, con altezze da 2 a 6 m e separate tra loro da lievi depressioni (lame). Gran parte di questi rilievi sono stati recentemente smembrati per far posto ai nuovi insediamenti turistici.

Al lato opposto dell'arco costiero lagunare si colloca il fiume Isonzo, che dopo la confluenza con il Torre - Natisone, scorre al centro di un ampio dosso (larghezza 100 - 140 m) che si protende a mare dando luogo ad un delta con un unico canale distributore rappresentato oggi dallo Sdobba.

Tra i tratti terminali di questi fiumi prendono luogo le lagune di Marano e di Grado delimitate a Nord da un argine di conterminazione e, verso mare, da modesti cordoni litorali e spiagge sottili sabbioso - pelitiche. Complessivamente le due lagune si estendono per circa 16000 ettari, con una lunghezza di 32 km ed una larghezza media di 5 km.

La laguna di Marano, che occupa il settore occidentale del complesso lagunare, è costituita da uno specchio d'acqua poco profondo (circa 1 m), solcato da una serie di profondi canali che mettono in comunicazione i fiumi di risorgiva (Stella, Turignano, Cormor - parte - Zellina e Corno) con il mare. Le poche barene presenti nella laguna sono quasi

sempre ubicate ai suoi margini interni, in corrispondenza dei delta attuali e fossili dei fiumi Stella e Cormor, rispettivamente.

La laguna di Grado, ubicata nel settore orientale dell'area, è meno profonda della prima, ma con un reticolo idrografico più sviluppato e soprattutto più articolato grazie ad una maggiore estensione delle aree emerse. In queste, ed in particolar modo nelle isole, si riconoscono rilievi sabbiosi continentali che rappresentano la continuazione verso mare dei dossi che si rinvengono nella piana di Aquileia.

All'interno della laguna di Grado ed ai margini della laguna di Marano ampi specchi d'acqua sono stati recintati con argini di natura diversa (in terra, in pietrame, in terra con rivestimento, ecc), che si elevano fino alla quota massima 12 (quota convenzionale; 10 = il livello del mare), delimitando parte del territorio lagunare sfruttato per l'itticoltura (valli da pesca). Le quote degli argini corrispondono ad una precisa normativa del Magistrato alle Acque in quanto, in caso di Acque Alte gli specchi d'acqua così recintati possono funzionare da bacini di piena e limitare l'altezza e la spinta dell'acqua sugli argini perilagunari. Quando le valli da pesca si trovano inglobate nella terraferma, le quote degli argini fronte laguna raggiungono l'altezza massima di 12,5 (quota convenzionale). Gran parte degli argini perilagunari sono stati innalzati dopo le alluvioni passate ad una quota nominale di almeno 3 m sul l.m.m.

Dal punto di vista litologico l'area in esame comprende una gamma di terreni incoerenti che vanno da una tessitura ghiaioso-sabbiosa delle attuali e vecchie alluvioni dei fiumi a carattere montano (Tagliamento e Isonzo) ad una tessitura francamente pelitica dei depositi paludoso - lagunari dell'area circumlagunare attualmente bonificata. Questi terreni danno origine a suoli interessati dalle oscillazioni della falda freatica o dalla presenza di acque salmastre. Così, nelle aree di bassura che contornano i percorsi dei fiumi di risorgiva sono presenti i Gleysuoli; nelle aree di bonifica i classici suoli con accumulo di sali solubili.

Sugli alti morfologici ed in generale sulle alluvioni più grossolane predominano i Cambisuoli e, nei rilievi ferrettizzati e parzialmente cementati, i Ferralsuoli (REGIONE FRIULI - VENEZIA GIULIA, 1984). La maggior parte di questi terreni e suoli sono stati e vengono continuamente decorticati e rimaneggiati dall'azione meccanica della coltivazione agricola, tant'è che oggi gran parte dei suoli della bassa pianura veneto-friulana possono essere classificati come suoli agricoli con un orizzonte pelitico uniforme (40 - 50 cm), che poggia sul sedimento originale sottostante (LENARDON & MAROCCO, 1994).

Nell'area circumlagunare sono presenti siti archeologici riferibili all'età del Bronzo - età del Ferro (CASSOLA GIUDA, 1979; MAROCCO & PUGLIESE, 1982) e, soprattutto per l'area intorno ad Aquileia, all'età romana (BERTACCHI, 1979; ZACCARIA et al., 1989; MAROCCO, 1991). In particolare, mentre i siti archeologici di età anteriore a quella romana sembrano essere

presenti essenzialmente lungo i fiumi che incidevano da Nord a Sud l'area in esame, quelli romani sono distribuiti seguendo un preciso schema di colonizzazione (centuriazione) che presupponeva un organico controllo delle acque ed una costante azione di bonifica, processi questi che, iniziati in quel periodo e dopo una stasi dovuta all'abbandono delle terre in epoca medioevale, furono ripresi circa quattro secoli fa dalla Repubblica di Venezia (area occidentale) e, più recentemente, dall'Impero Austriaco (bonifiche teresiane) nel settore orientale. Questa grande opera di bonifica è stata completata dopo la seconda guerra mondiale sottraendo circa il 20% degli originali spazi lagunari.

Il territorio perilagunare può esser suddiviso in una serie di bacini idrografici a scolo naturale o a scolo meccanico (fig. 1). Per i primi il deflusso delle acque superficiali viene favorito dalla naturale pendenza della piana e da quote superiori al l.m.m.; per i secondi invece, in situazione di depressione assoluta, lo scolo viene garantito dal costante funzionamento di una serie di idrovore.

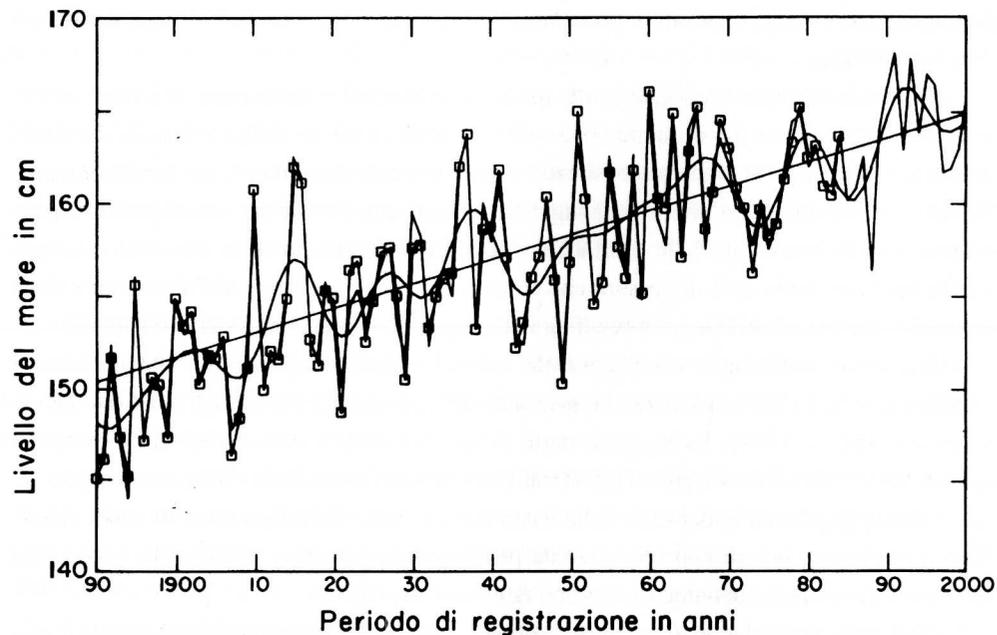


Fig. 2 - Valori medi annuali, media mobile e trend di innalzamento del livello marino a Trieste (da STRAVISI & FERRARO, 1986).

- Rise of sea level in Trieste: average yearly values, mobile mean and trends (from STRAVISI & FERRARO, 1986).

Valutazione dei tempi di ritorno degli eventi eccezionali

Secondo le registrazioni del livello del mare a Trieste (iniziate nel 1890) il livello medio in questo ultimo secolo è aumentato di 14 cm (fig. 2).

Dalle serie temporali delle registrazioni orarie, iniziate nel 1939 ed elaborate da diversi autori (FERRARO, 1973; STRAVISI, 1973; STRAVISI & FERRARO, 1986; MOSETTI, 1989; MOSETTI, CRISCIANI & FERRARO, 1989; STRAVISI, 1993), risulta che in questi ultimi trent'anni la situazione appare stazionaria. Considerando i casi di elevazione del l.m. oltre il metro rispetto alla quota zero (livello medio) come indicativi di un livello di guardia per un rischio di invasione marina, STRAVISI (1993) fornisce una serie di dati statistici di notevole interesse. Il numero maggiore di casi di superamento di questo livello di guardia si è manifestato nel periodo 1966-1979; le maggiori elevazioni medie si sono registrate nel 1969 e nel 1980. Il livello del mare più elevato si è verificato il 26 novembre 1969 con 2,0 m sopra il l.m.m. I fenomeni di Acque Alte si concentrano nei mesi da settembre a marzo con un massimo di frequenza nel mese di novembre.

Applicando la statistica di GUMBEL (1958) per la determinazione della frequenza degli eventi estremi (GEV distribution) si ottengono i seguenti tempi di ritorno (STRAVISI, 1993):

- livello del mare superiore a 110 cm 1,5 anni;
- livello del mare superiore a 150 cm 30 anni;
- livello del mare superiore a 200 cm 70 anni.

Secondo altri calcoli l'Acqua Alta del 26 novembre a Trieste (2,0 m), considerando i valori annuali nell'arco di tempo dal 1944 al 1988, presenta un tempo di ritorno di 195 anni. Se nel computo si utilizzano i valori mensili opportunamente filtrati, il tempo di ritorno si abbassa a 112,6 anni (MAZZARELLA & PALUMBO, 1991).

Da questa breve disamina dei dati si evince oltre ad una certa discordanza nella valutazione dei tempi di ritorno degli eventi eccezionali, una considerevole diminuzione dei tempi calcolati per livelli leggermente più bassi di quelli massimi: con riferimento alla serie temporale sopra indagata una riduzione di soli 5 cm rispetto al valore massimo fa crollare il tempo di ritorno a 38 anni. A Venezia il tempo di ritorno dell'Acqua Alta del novembre 1966 è compreso tra 29 e 66 anni (MAZZARELLA & PALUMBO, 1991).

A questo punto si ritiene opportuno sottolineare che tali valori hanno significato solo statistico. Ad ulteriore conferma di questo fatto si ricorda che a soli tre anni di distanza dal novembre del 1966, quando il livello del mare raggiunse quota 1,95 m (dati del Consorzio per lo Sviluppo e la Bonifica della Bassa Friulana), si verificò a Trieste il massimo livello del mare fino ad ora registrato (2,0 m dal l.m.m.).

Quanto detto si riferisce al solo innalzamento del livello del mare per il fenomeno delle Acque Alte dovuto alla sommatoria dei seguenti fattori:

- alta marea astronomica;
- bassa pressione atmosferica;
- ingorgo determinato da venti meridionali;
- oscillazione forzata del mare Adriatico (sessa).

La condizione di Acqua Alta si accompagna generalmente ad un intenso sviluppo del moto ondoso che aumenta notevolmente la possibilità di invasione marina delle aree costiere e perilagunari. A questo proposito si è dovuto constatare che, benchè l'alto Adriatico viene considerato uno dei mari italiani più studiati, nell'area friulana mancano ancora registrazioni sistematiche del moto ondoso sotto riva che possano permettere una previsione statistica attendibile. I pochi dati attinti su questo argomento riferiscono che durante una mareggiata a Grado si sono registrate altezze d'onda di 1,45 m (max) e di 1,00 m (min) con una lunghezza di 15 m e periodo 7 sec (MAROCCO, 1972; tesi di laurea compendiata in BRAMBATI, 1974). Dalle registrazioni Enel eseguite nel Golfo di Trieste nel periodo 1988-89 (ENEL, 1990) emerge un moto ondoso anomalmente ridotto: l'elaborazione statistica di questi valori rileva che un'altezza d'onda significativa di 110 cm si presenta con un tempo di ritorno di 10 mesi e, quindi, secondo la formula empirica ($H_{max} = 1,6 H_s$), una ondatazione di 176 cm è un evento estremamente probabile nell'arco di un anno.

In concomitanza con l'Acqua Alta l'effetto combinato di massimo livello marino e di massima ondatazione supera agevolmente i 3 m dal l.m.m. lungo l'arco costiero e può approssimarsi attorno ai 2,5 - 3,0 m nell'area circumlagunare. A ciò si aggiunga che in tali condizioni le precipitazioni e le conseguenti piene fluviali (che vengono considerate un fenomeno generalmente contemporaneo alle Acque Alte, STRAVISI, 1993), possono determinare ulteriori aumenti del livello marino. Per tutta questa serie di motivi si ritiene che nelle condizioni attuali il retroterra lagunare del Friuli - Venezia Giulia potrà esser difeso adeguatamente dall'invasione dell'acqua salmastra solo con arginature poste ad una quota sommitale superiore ai 3 m dal l.m.m.

Prendendo ad esempio la situazione di altre piane costiere europee e facendo riferimento all'Olanda, dove viene rivolta particolare attenzione a questi problemi, si evidenzia che le opere di difesa costiera di quel paese vengono progettate per sopportare condizioni eccezionali aventi tempo di ritorno di 4000 anni in certe aree e 10000 anni in altre, ritenute più a rischio (GORNITZ, 1991; BEETS et al., 1992). Oggi, in situazione di innalzamento generale del livello marino, anche questi baluardi di difesa dall'invasione marina vengono ridiscussi in funzione della diminuzione del margine di sicurezza determinato dal progressivo aumento del livello marino.

Per quanto attiene alle piene fluviali (il cui rischio specifico esula da questo studio) recenti ricerche hanno messo in evidenza che il tempo di ritorno delle piene del fiume

Tagliamento si approssima a circa 100 anni (ormai ridottisi a 60) (FORAMITTI, 1990a).

Da questi studi si conclude che i tempi di ritorno delle piene eccezionali (100 anni) hanno più o meno la stessa frequenza delle Acque Alte (70 - 112,6 anni) e sono di molto inferiori al verificarsi delle mareggiate più violente (30 - 40 anni). Si evince inoltre che le grandi opere di difesa circumlagunare costruite in questi ultimi anni presentano margini di sicurezza minimi rispetto agli eventi eccezionali in continua evoluzione.

La situazione planoaltimetrica del territorio perilagunare

Uno dei parametri più importanti per una valutazione dell'esposizione al rischio potenziale di una invasione delle acque lagunari e fluviali in una area circumlagunare è dato dalle caratteristiche morfologiche del territorio e soprattutto dal suo sviluppo altimetrico riferito al l.m.m. Per conoscere questo importante fattore di vulnerabilità è stato definito l'assetto topografico dell'area in esame attraverso la stesura di una carta tematica del microrilievo (fig. 3), realizzata sulla base delle quote puntuali della Carta Tecnica Regionale (C.T.R.) della Regione Friuli - Venezia Giulia in scala 1:5 000. Sulla base di questi dati si sono tracciate le curve di livello che, in funzione della precisione delle quote (ricavate dalla restituzione fotogrammetrica), presenta un dettaglio al metro.

I risultati dell'elaborazione sono stati poi trasferiti attraverso riduzioni di scala su base cartografica I.G.M. (scala 1:25 000) e quindi semplificate nella figura 3.

Si precisa che in questa carta tematica non sono stati volutamente inseriti i rilevati artificiali (argini, rilevati stradali e ferroviari, ecc.) che saranno oggetto di una ricerca specifica che verrà esposta nelle pagine seguenti.

Come già accennato nella descrizione geomorfologica dell'area in esame il territorio circumlagunare presenta, oltre all'ovvio incremento di quota procedendo dalla costa verso l'entroterra (andamento Sud-Nord, con pendenze medie di 1,4 - 1,7 ‰ nelle aree più acclivi e di 1,0 ‰ in quelle più pianeggianti), anche un andamento Ovest-Est, con una diminuzione di quota dal dosso del F. Tagliamento alla vecchia piana alluvionale del Ausa-Corno, seguita da un repentino innalzamento in coincidenza del conoide attuale e di quelli recenti del F. Isonzo (fig. 4). In termini assoluti le fasce altimetriche più elevate competono ai dossi dei fiumi Tagliamento e Isonzo con quote da 5 a 6 m; quelle più basse si riconoscono nelle aree paludoso-lagunari recentemente bonificate della gronda lagunare aquileiese (-2/-3 m dal l.m.m.).

A questi trends altimetrici fanno eccezione l'area litorale che presenta quasi sempre stretti areali rialzati rispetto alle zone retrostanti, i rilievi dell'agro aquileiese (vedi MAROCCO, 1991; LENARDON & MAROCCO, 1994) e, infine, le strette fasce di direzione Nord-Sud che definiscono i modesti dossi dei tratti terminali dei fiumi di risorgiva.

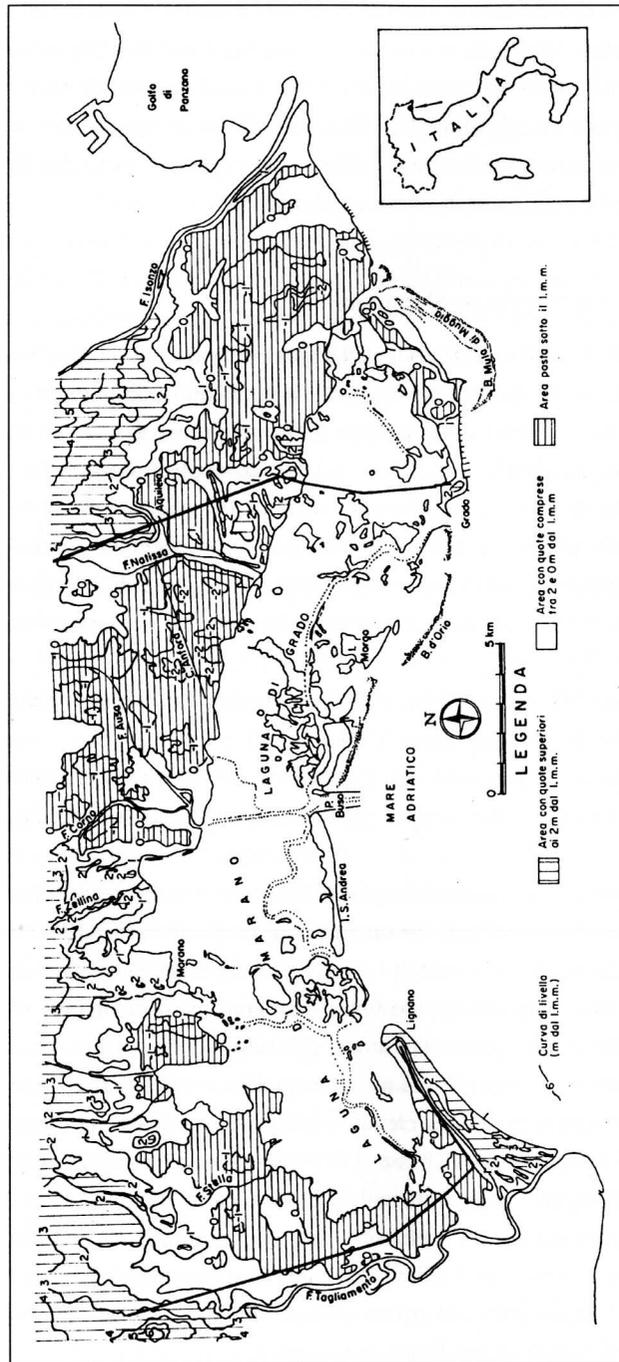


Fig. 3 - Area circumlagonare del Friuli - Venezia Giulia: situazione planoaltimetrica.
- Planimetric map of the plain surrounding the Marano and Grado Lagoons.

Le aree più basse dell'intero territorio circumlagonare si riconoscono soprattutto in una vasta zona che dalla confluenza dei fiumi Ausa - Corno si estende fino al Natissa, e, più ad Est, alla destra del F. Isonzo. In queste si registrano quote negative fino ad un massimo di -3 m sotto il l.m.m., che sono anche più basse rispetto all'attuale piano dei fondali lagunari adiacenti.

Nella carta planoaltimetrica il territorio circumlagonare indagato (circa 312 kmq) è stato suddiviso in tre fasce rappresentanti le zone di Alta, Media e Bassa esposizione al rischio di una invasione da parte di acque marine e/o lagunari secondo il parametro quota del territorio. In particolare, sono state considerate zone ad Alta Vulnerabilità Ambientale tutte quelle al di sotto del livello medio del mare. Esse sono zone di recente bonifica, spesso soggette a fenomeni di subsidenza naturale ed indotta (che ha determinato abbassamenti del suolo da 0,3 a 1,5 m, a seconda della natura dei terreni, FORAMITTI, 1990b) e che, in mancanza di adeguate protezioni arginali o nell'eventualità di una loro rottura, verrebbero sommerse per semplice travaso delle acque dalla laguna al retroterra. Percentualmente queste zone rappresentano circa il 34 % dell'intera area analizzata.

Le zone a Media Vulnerabilità Ambientale sono quelle poste tra 0 e 2 m sopra il l.m.m. Esse rappresentano il 40 % del territorio circumlagonare ed individuano le aree di possibile invasione da parte delle Acque Alte eccezionali.

Le zone a Bassa Vulnerabilità Ambientale sono quelle che si trovano al di sopra di 2 m dal l.m.m. e che non sono mai state raggiunte da acque lagunari e marine, almeno negli ultimi anni. Esse rappresentano circa il 26 % del territorio circumlagonare.

Gli effetti delle alluvioni e delle mareggiate eccezionali sull'entroterra lagunare e lo stato attuale delle opere di difesa

La situazione anteriore al novembre 1966 vedeva il margine lagunare bordato da arginature costruite per lo più in terra e con scarpate quasi mai presidiate da pietrame. Al verificarsi di una situazione critica esse presentavano ovunque delle deficienze più o meno

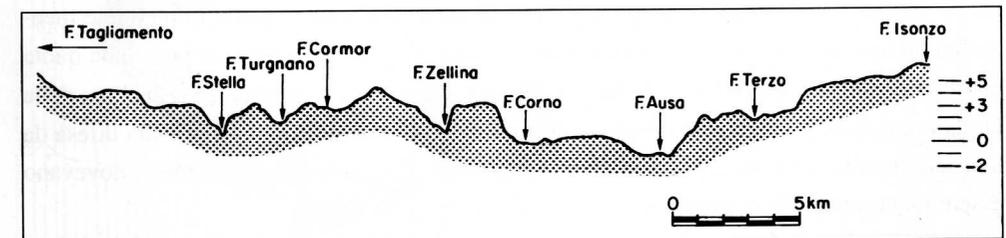


Fig. 4 - Profilo topografico Ovest - Est del margine settentrionale dell'area indagata.
- Topographic West - East profile of the northern rim of study area.

gravi sia con riferimento alle quote, sia alla loro stabilità. Il loro lento e continuo degrado era principalmente determinato da una serie di fattori tra cui:

- il continuo e graduale costipamento del terreno di appoggio per il suo prosciugamento;
- la scarsa qualità geotecnica dei materiali prelevati in posto che costituivano i rilevati;
- le difficoltà di manutenzione e di ripristino delle opere a causa della ridotta rete viaria.

Diverse situazioni più o meno critiche avevano portato al ripetersi di allagamenti che culminarono nell'alluvione del 3-4 novembre 1966. In quella occasione (fig. 5) numerose furono le rotte arginali sui fiumi, sul margine di conterminazione lagunare e sul litorale (STEFANINI et al., 1979). Quasi tutte le aree emerse lagunari, la strada Belvedere - Grado ed i centri abitati di Grado, Marano e Lignano furono allagati dalle acque marine che avevano facilmente sormontato il cordone litorale e rotto in più parti le difese costiere. L'acqua salmastra penetrò mediamente per circa 1 km nel retroterra della laguna di Marano (raggiungendo i 2 km nei pressi di Marano) andando poi a mescolarsi con l'acqua di esondazione fluviale. Le acque rimasero per più giorni all'interno delle aree circumlagunari a causa della difficoltà di deflusso. In quella occasione si è constatato che gravi danni alle opere erano concentrati non fronte laguna, ma a tergo, a causa di fenomeni di sifonamento.

A questa invasione marina rimase immune solamente un breve tratto di costa nell'entroterra aquileiese grazie alla sua favorevole situazione altimetrica. Dopo quell'evento si rese necessario un intervento risolutore per circa 65 km di gronda lagunare e per oltre 100 km di sponda fluviale. Si sono costruiti quindi quattro tipi di argine che dovevano risolvere le diverse problematiche del margine lagunare (CONSORZIO PER LA BONIFICA E LO SVILUPPO AGRICOLO DELLA BASSA FRIULANA, 1955/1990).

Argini di tipo A. Questi argini sono stati previsti per quei tratti di costa esposti all'azione violenta del moto ondoso (fig. 6a).

Salvo situazioni particolari per queste difese passive, come per tutte le altre, è stata prevista una quota convenzionale alla sommità di 13 (circa +3 m dal l.m.m.) ed una larghezza sommitale di circa 3 m. Le scarpate esterne ed interne dovevano avere una pendenze 66.7%. La scarpata esterna doveva inoltre essere completamente rivestita in pietrame mentre quella interna doveva essere dotata di una banchina di 4 m di larghezza posta alla quota convenzionale 11 (circa +1 m dal l.m.m.). Verso mare era stata prevista una banchina della larghezza di 6 m (sempre posizionata ad una quota convenzionale 11), a sua volta difesa da una scogliera in pietrame. Su questa banchina, "dopo il naturale costipamento", dovevano essere piantumate file di tamerici.

Argini di tipo B. Presentano le medesime caratteristiche costruttive degli argini A, tranne che per l'assenza della banchina a laguna (fig. 6b).

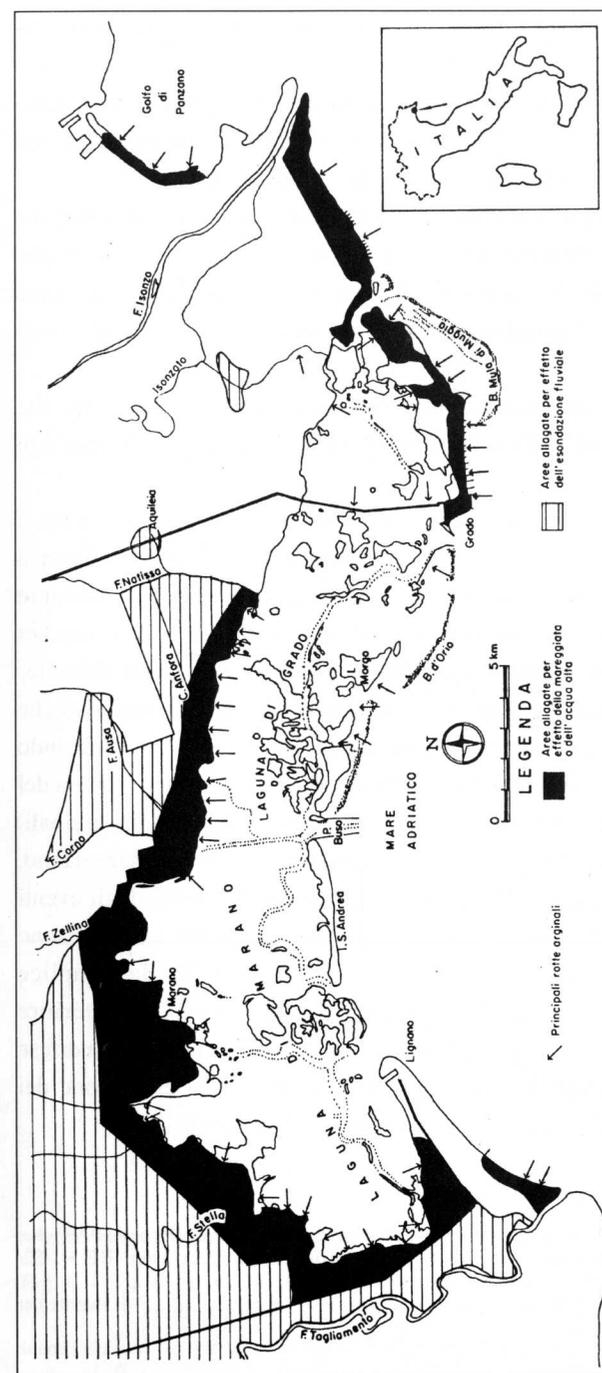


Fig. 5 - Principali rotte arginali e planimetria delle zone allagate durante l'evento eccezionale del novembre 1966 (da STEFANINI et al., 1979, modificata).

- Main embankment breaks and planimetric map of the land flooded during the extreme event of November 1966 (from STEFANINI et al., 1979, modified).

Argini di tipo C. Simili a quelli B, ma privi del rivestimento e della scogliera in pietra-me (fig. 6c).

Argini di tipo K. Previsti per la difesa dei territori confinanti con il mare. Presentano un muretto in calcestruzzo sul preesistente rilevato in terra fino alla quota di + 3 m dal l.m.m. e rivestimento e difesa al piede della scarpata a mare con pietrame (fig. 6d).

In fase di realizzazione questi argini sono stati modificati, più o meno ampiamente, per adeguarli sia alle specifiche esigenze del tratto di costa sia alle non sempre sufficienti disponibilità economiche. Così, il materiale necessario per rialzare e rafforzare gli argini venne prelevato in situ attingendo ai depositi lagunari e solo in alcuni casi ricorrendo al prelievo in cave di prestito.

Tutta l'opera di nuova conterminazione lagunare è stata suddivisa in otto lotti, che sono stati tutti ultimati ad eccezione del settimo (territorio delle valli da pesca di Marano) in progetto di attuazione.

Anche gli argini dei fiumi di risorgiva, costruiti al tempo delle prime bonifiche, e quelli dei fiumi Tagliamento e Isonzo sono stati rivisti e integralmente rifatti in vicinanza delle foci. La costruzione di queste nuove arginature ha richiesto poco meno di un decennio (1968 - 1976). Nella situazione attuale, quindi, gran parte delle opere di difesa passiva per contenere l'invasione delle acque dalla laguna e l'esondazione fluviale sono state ultimate.

L'analisi della funzionalità di questi manufatti è un argomento molto complesso che abbisogna di una ricerca specifica che, al momento, esula da questo studio.⁽²⁾ Semplificando notevolmente il problema e prendendo in considerazione solamente due parametri (quota del rilevato e sua stabilità nel tempo) ci preme evidenziare che le quote delle sommità arginali, portate a circa +3 m dal l.m.m. per la quasi totalità della conterminazione lagunare danno, nella situazione attuale, un minimo margine di sicurezza con i tempi di ritorno degli eventi eccezionali calcolati. È chiaro però che queste difese, con il trascorrere del tempo, hanno subito notevoli modificazioni del loro assetto iniziale, se non altro per la semplice compattazione dei materiali per lo più argillosi che li costituiscono. Una ulteriore compattazione del materiale argilloso si può prevedere dal carico di pietrame messo a difesa del manufatto. Ci si può aspettare, pertanto, che dopo 20 anni circa dalla esecuzione dei diversi lotti parte delle arginature si trovino a quote inferiori ai +3 m nominali.

(2) Un test eseguito per verificare la stabilità fronte terra dei rilevati arginali di tipo C ha evidenziato (PESSINA, 1993) che: - la particolare geometria dei nuovi rilevati ha migliorato notevolmente il fattore di equilibrio delle opere (F.E. = 1,52/2,50) che, prima dell'intervento, raggiungeva spesso le condizioni limite; - un innalzamento di 1 m della falda all'interno del rilevato determina una riduzione del F.E. del 12 - 13 %, mentre per innalzamenti di 2 m la riduzione del F.E. diviene circa doppia (25% circa); - anche in condizioni estreme di innalzamento della falda (superiori a 2 m dal l.m.m.) il F.E. del rilevato rimane compreso tra i valori di 1,47/1,91, confermando una buona stabilità.

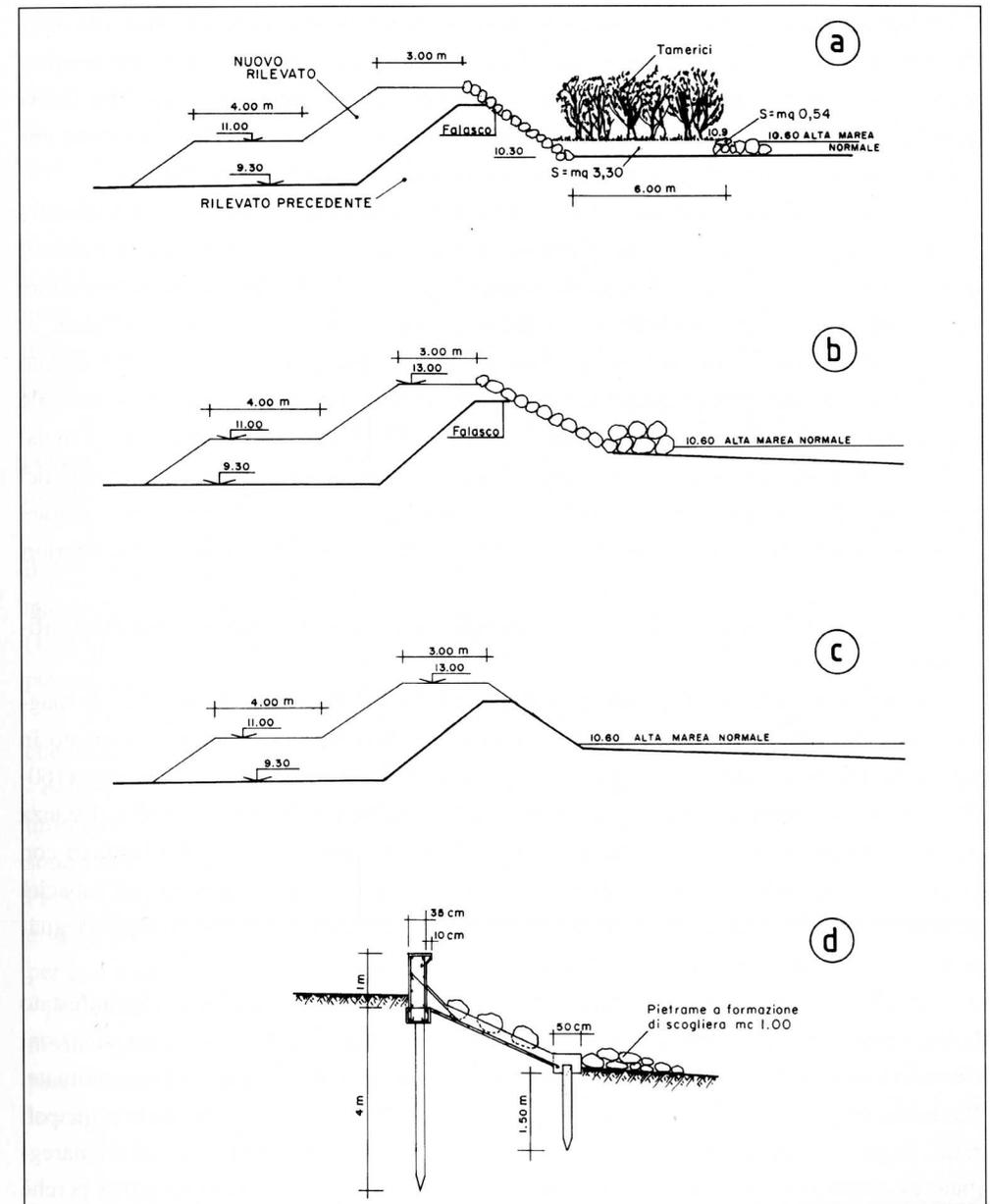


Fig. 6 - Le opere di difesa dell'area circumlagonare del Friuli - Venezia Giulia: a) argini di tipo A; b) argini di tipo B; c) argini di tipo C; d) argini di tipo K.

- Lagoon hinterland protection works in Friuli - Venezia Giulia: a) embankment of type A; b) embankment of type B; c) embankment of type C; d) embankment of type K.

Non aiuta a risolvere questo problema le quote in dosso delle arginature riportate dalla Carta Tecnica Regionale (C.T.R.), perché misurate nel periodo nel quale non tutte le opere erano state ultimate. Anzi, la ricerca di una conferma delle reali quote arginali dai rilievi della C.T.R. evidenzia una serie di dati che in parte comprovano le quote di progetto, ma molte segnalano altezze di gran lunga superiori o inferiori a quelle progettuali.

In conclusione, non avendo a disposizione le quote arginali aggiornate e facendo riferimento ai rilievi della C.T.R. (che seppur imprecisi sembrano esser confermati da recenti rilievi topografici eseguiti dalla Regione Autonoma F.V.G., 1990), ampi tratti di arginature perimetrali della laguna verrebbero a trovarsi oggi a quote inferiori a quelle progettuali.

È sintomatico il caso di Lignano dove gli argini lagunari posti a difesa dell'abitato dopo l'alluvione del 1966, ultimati nel 1975, furono ricostruiti perché la quota sommitale era scesa da 3 m dal l.m.m. a 2,70 - 2,60 m. A Grado le difese di altezza superiore ai +3 m dal l.m.m. si riconoscono solamente in alcuni tratti di litorale (murazzi) mentre la totalità del margine dell'abitato verso laguna è posto a quote inferiori ai 2 m. A Marano il centro storico è ubicato a quote dai 1 ai 2 m dal l.m.m. e le banchine del porto canale hanno quote inferiori ai 2 m.

La situazione è ancora più complessa per quanto attiene alla stabilità e quindi all'efficienza delle opere di difesa.

Come si è constatato dalle relazioni di esecuzione del Consorzio di Bonifica, la maggior parte dei rilevati arginali è stata costruita con materiale pelitico-torbooso escavato in laguna in prossimità dell'argine. Questo materiale presenta notevoli contenuti in acqua (60-70 %) e scarse proprietà geotecniche. L'escavazione dei fondali lagunari a breve distanza dall'opera ha inoltre determinato battenti d'acqua più profondi di quelli tipici lagunari con possibilità di favorire la ripresa del moto ondoso e quindi di aumentare la sua capacità erosiva. Si sottolinea infine che in nessun tratto arginale è stato previsto l'utilizzo di adeguate protezioni contro le infiltrazioni d'acqua sotto il rilevato.

A conclusione di questa sintetica trattazione si rileva che gli argini hanno manifestato la loro instabilità già durante la fase di costruzione, nel 1968, quando in seguito a situazioni atmosferiche critiche si verificarono franamenti e cedimenti delle opere appena ultimate. Ciò avvenne quasi sempre negli stessi punti in cui, nel 1966, si erano verificate le principali rotte. Va però ricordato che l'analisi dettagliata dei danni ai corpi arginali causati da mareggiate avvenute dopo il 1966 ha solamente un valore statistico e di larga massima perché raramente è dato sapere se l'argine danneggiato era già stato ultimato oppure era in fase di risistemazione.

Valore ben diverso hanno le informazioni assunte circa i danni causati dalle avversità atmosferiche di eccezionale intensità che si verificarono nel dicembre 1979 e nell'ottobre

1980. In quelle occasioni, le opere di arginatura lagunare e fluviale, completate da tempo, manifestarono una serie di erosioni e cedimenti che provocarono esondazioni e invasione di acqua marina nelle località di Fossaloni di Grado, Comugne di Fiumicello, S. Marco e Pantiera di Aquileia, Nogaredo di Torviscosa, Colomba e Villabruna di Carlino, nelle bonifiche di Muzzana e a Hierchel di Latisana.

Bisogna sottolineare inoltre che, sebbene dal 1966 ad oggi molte siano state le situazioni critiche in cui si sono verificate tracimazioni, erosioni degli argini ed allagamenti, mai si sono ripetute le condizioni estreme del novembre 1966. Inoltre, l'intervento dell'uomo in questo periodo è stato sostanzialmente mirato al ripristino e miglioramento delle opere di difesa passiva, senza intervenire sulle cause o concause che avevano determinato il loro crollo.

Il ripetersi delle rotte degli argini negli stessi punti e la coincidenza tra le rotte e la posizione di paleovalvi individuati dalla cartografia storica fa ritenere che possibili cause di instabilità dei rilevati sia da ricercarsi nell'immediato sottosuolo.

Per tutta questa serie di motivi si ritiene che in situazioni analoghe a quelle verificatesi il 3-4 novembre 1966 i tratti arginali e le aree allagate in quel periodo debbano ritenersi ancora oggi soggetti a quel tipo di pericolosità. Analoga conclusione è stata tratta da FORAMITTI (1990a) per quanto attiene alla pericolosità di allagamento dei territori adiacenti al basso percorso del Tagliamento.

Sulla base di queste informazioni si è redatta una carta delle difese artificiali (fig. 7) che tiene conto:

- della stabilità "pregressa" dei rilevati arginali ubicati a difesa del margine lagunare negli ultimi 30 anni. Sono state considerate zone ad Alta Pericolosità Ambientale quelle in cui si sono verificati cedimenti negli argini costruiti dopo l'evento calamitoso del 1966; di Media Pericolosità Ambientale quelle in cui si sono verificati cedimenti prima della loro ultimazione e di Bassa Pericolosità Ambientale quelle contraddistinte da assenze di rotte arginali nel periodo indagato. In questo calcolo si è anche tenuto conto delle:
- percentuali degli argini realizzati con materiale reperito in posto e con materiale proveniente da idonee cave di prestito e delle altezze sommitali degli argini e, in particolare, la percentuale dei rilevati arginali che si trovano ad una presunta quota inferiore ai 3 m dal l.m.m.

La probabile dinamica dell'invasione marina (e di esondazione fluviale) e l'influenza delle infrastrutture territoriali

L'analisi della probabile dinamica di una invasione di acque marino-lagunare nell'area circumlagonare è stata condotta nelle aree poste a quote inferiori ai 2 m dal

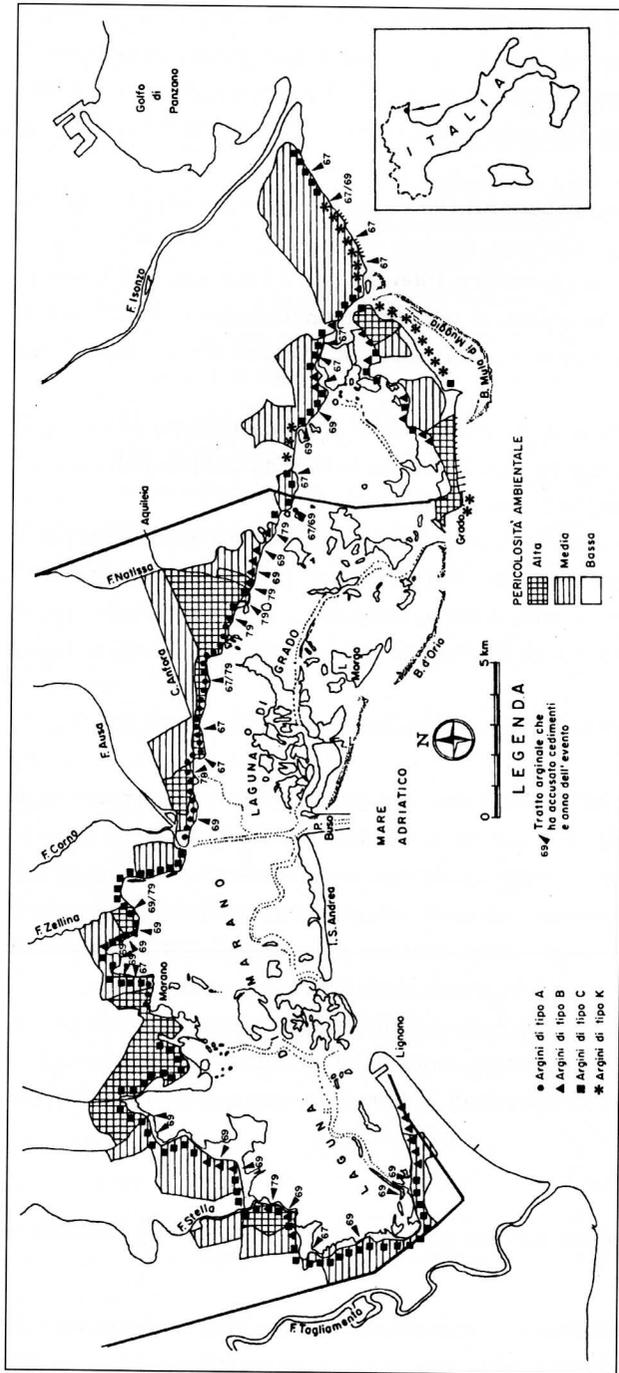


Fig. 7 - Area circumlagonare del Friuli - Venezia Giulia : localizzazione dei diversi tipi di opere e principali cedimenti arginali dopo l'alluvione del 1966. Planimetria delle aree ad elevata, media e bassa pericolosità ambientale riferita alla stabilità delle opere di difesa.
 - Lagoon hinterland in Friuli - Venezia Giulia: location of the different kinds of works and major embankment collapses after the 1966 flood. Planimetric map of the areas at high, medium and low environmental risk with respect to stability of the protective works

I.m.m. (bacini a scolo meccanico) che, essendo a diretto contatto con gli argini fluviali e lagunari, sono maggiormente esposte non solo ai pericoli di invasione delle acque, ma anche ad un persistente ristagno delle stesse dopo l'evento calamitoso. In questi bacini sono stati individuati:

- gli impianti idrovori che scaricano l'acqua di bonifica in laguna;
- i principali manufatti ed i rilievi naturali che possono ostacolare il flusso delle acque in caso di alluvionamento. Per gli ostacoli artificiali si sono distinti quelli inferiori e superiori a 1m dal I.m.m. (fig. 8). Sono state inoltre evidenziate le bassure ubicate sotto il I.m.m. (aree ad elevata sofferenza idraulica) e le principali rotture degli argini fluviali verificatesi in questi ultimi anni.

Sulla base di questi elementi, ipotizzando un innalzamento eccezionale delle acque lagunari ed una serie di rotture arginali con conseguente allagamento dell'area circumlagonare, si è costruita una carta dei principali elementi idraulici e dei rilevati, secondo il modello proposto da ILICETO (1992) per la Regione Veneto.

In questa Carta si sono sottolineate le aree a deflusso ostacolato e quelle a maggior "sofferenza idraulica", cioè quei mini bacini che anche in condizioni normali manifestano difficoltà di drenaggio e che in caso di allagamento tendono a rimanere coperti d'acqua anche per lunghi periodi dopo la fase di invasione, come appurato dopo l'alluvione del 1966.

Ne risulta una interessante suddivisione del territorio in settori o celle, delimitati quasi sempre da argini fluviali, che non coinvolge solamente i bacini a scolo forzato, ma anche limitati settori dei bacini a scolo naturale.

Si è così messo in evidenza che il settore incentrato sul F. Stella, pur avendo limitate aree depresse, manifesta una forte esposizione a rischio a causa di una serie di rilevati artificiali che potrebbero, in caso di un non perfetto funzionamento della rete dei canali di scolo, causare pericolosi ristagni di acqua.

Per i bacini a scolo forzato le problematiche sono ovviamente più complesse in quanto l'unica possibilità di smaltimento delle acque di invasione viene data dal funzionamento delle idrovore che difficilmente possono farsi carico in tempi brevi anche dell'acqua di inondazione. Tali bacini quindi tendono ad esser sempre in condizioni critiche in occasione di intensi allagamenti (anche a causa dell'inevitabile caduta o interruzione dell'energia elettrica).

Tra le aree individuate nella Carta dei principali elementi idraulici e dei rilevati (fig. 8) si segnalano:

- la zona di Pertegada dove si riconosce ad Ovest della strada per Lignano una fascia di terreno in cui lo scolo delle acque di piena potrebbe esser impedito dal rilevato stradale. Una seconda zona che potrebbe presentare problemi di accentuato ristagno delle acque è quella compresa tra l'argine del F. Stella e la strada per Titiano;

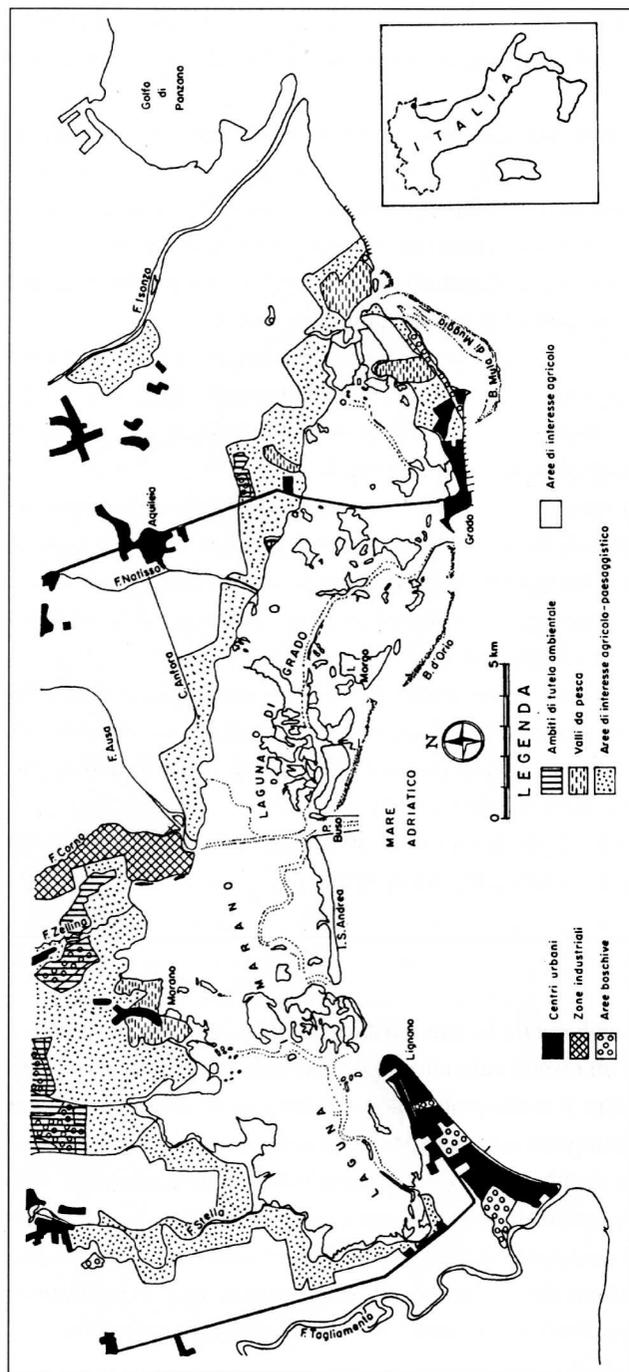


Fig. 9 - Area circumlagunare del Friuli - Venezia Giulia : uso del suolo.
- Lagoon hinterland in Friuli - Venezia Giulia: use of the land

- la Carta dell'uso del suolo (1984);
- la Guida agli Ambiti di Tutela Ambientale del Friuli - Venezia Giulia (1984).

In base alla documentazione sopra elencata si è optato per una grande semplificazione delle classi di utilizzo del territorio che permettesse almeno una valutazione di massima dei danni possibili. Sono state così messe in evidenza le seguenti classi di valori di esposizione al rischio in relazione all'uso del suolo:

- aree di insediamento urbano;
- aree di sviluppo industriale;
- aree ad intenso sfruttamento turistico estivo;
- zone di interesse paesaggistico;
- zone boschive e le valli da pesca.

In mancanza di un criterio codificato di valutazione delle classi di Valore Territoriale sono stati adottati i seguenti principi informatori. Si sono considerate zone ad Alto Valore Territoriale tutti i centri abitati, le zone ad elevata valenza industriale e quelle a tutela ambientale. Le aree ad interesse agricolo-paesaggistico sono state fatte ricadere nelle zone a Medio Valore Territoriale, mentre a Basso Valore sono state considerate tutte le rimanenti aree (prevalente interesse agricolo e le valli da pesca).

Zonazione del Rischio Litorale

Tutte le informazioni acquisite sul territorio circumlagunare sono state valutate al fine di pervenire ad una zonazione del "Rischio Litorale" (R.L.) inteso come il prodotto della "Pericolosità Ambientale", della "Vulnerabilità Ambientale" per il "Valore Territoriale".

La grande quantità di informazioni a disposizione ha comportato non pochi problemi di gestione dei dati a causa della loro natura eterogenea (quota, situazione agraria, opere di difesa, deflussi, ecc.) che ha comportato una valutazione necessariamente soggettiva del loro peso nella determinazione del Rischio Litorale. E questo anche per la mancanza di una specifica normativa a cui fare riferimento.

Si è ritenuto opportuno iniziare con una omogeneizzazione delle informazioni sulla pericolosità, vulnerabilità e valore del territorio esprimendole in dati numerici passibili di elaborazione matematica e restituire i risultati di questa analisi in un elaborato cartografico di sintesi in scala 1:25.000. L'obiettivo era quello di giungere ad un elaborato cartografico di facile lettura per gli operatori che si occupano di pianificazione territoriale. Va tenuto ben presente comunque che una rappresentazione cartografica così fatta fotografa le situazioni in essere e non la dinamica evolutiva del territorio (dinamica geomorfologica, mobilità insediativa, evoluzione socio-economica, ecc.), che potrà esser visualizzata in futuro attraverso un aggiornamento.

Come detto, in mancanza di precisi e collaudati riferimenti metodologici si è affrontato il problema cercando di dare un quadro sintetico di valutazione di tutti gli elementi di rischio che incombono sul territorio circumlagunare, entrando nel merito del peso che ogni parametro assume. In altri termini, alla semplice segnalazione di una sovrapposizione delle diverse cause di rischio in un definito areale si è preferito valutare complessivamente i parametri di rischio riscontrati dando ad ognuno di essi un valore numerico. Ovviamente questo procedimento nella determinazione delle classi di rischio è soggettivo: per cercare di incanalare questa valutazione sui binari dell'oggettività si è affrontato il problema da più punti di vista.

Con un primo metodo (che non ha dato i risultati cartografici attesi e pertanto viene riportato solo sinteticamente), si sono valutati analiticamente tutti i parametri che qualificano il territorio circumlagunare (situazione planoaltimetrica del territorio, altezza, stabilità e modalità di costruzione degli argini, bacini in sofferenza idraulica e aree a deflusso ostacolato, uso del suolo). Si è constatato che l'alto numero di variabili prese in considerazione rendeva particolarmente complesso il calcolo del R.L. nel territorio perlagunare nel suo insieme. Si è pertanto suddiviso lo stesso in porzioni omogenee di territorio (definite "unità di analisi" e fatte coincidere per semplicità con i bacini a scolo meccanico) sulle quali siano riconoscibili tutte le condizioni di rischio esaminate.

Con un secondo metodo (riportato integralmente), si è cercato di mantenere inalterata la struttura del territorio in modo da permettere una buona risoluzione in termini cartografici, riducendo però il numero dei parametri di rischio dopo aver effettuato una loro valutazione complessiva. Si è trattato, in sintesi, di selezionare i più importanti elementi di rischio, di esprimerli con un identico punteggio e di visualizzare la sovrapposizione di questi in termini di media. Così, si sono prese in considerazione quattro tipi di pericolosità, vulnerabilità e valore del territorio:

	Punteggio
- Vulnerabilità Ambientale riferita al micro-rilievo	
Alta per le aree poste al di sotto del l.m.m.	6
Media per le aree poste tra 0 e 2 m dal l.m.m.	4
Bassa per le aree poste al di sopra di 2 m dal l.m.m.	2
- Pericolosità Ambientale riferita alle opere di difesa	
Alta se si sono verificati cedimenti negli argini di ultima costruzione	6
Media se si sono verificati cedimenti, ma non negli argini di ultima costruzione	4
Bassa se non si sono verificati cedimenti	2
- Vulnerabilità Ambientale riferita alla situazione idraulica	
Alta per le zone ad alta sofferenza idraulica	6
Media per le zone a media sofferenza idraulica	4
Bassa per le zone a bassa sofferenza idraulica	2

- Valore Territoriale riferita all'uso del suolo

Alto per i centri abitati, le zone industriali, le aree boschive e quelle a tutela ambientale	6
Medio per le aree di interesse agricolo - paesaggistico	4
Basso per le rimanenti zone a prevalente interesse agricolo e per le valli da pesca	2

Con questo metodo è stata compilata una Carta del Rischio Litorale suddividendo il territorio circumlagunare in aree aventi lo stesso valore di indice di R.L. Tale indice è stato ricavato calcolando la media dei punteggi assegnati (6 per le zone ad alta Pericolosità, Vulnerabilità e Valore, 4 per le zone a media Pericolosità, Vulnerabilità e Valore, e 2 per le zone a bassa Pericolosità, Vulnerabilità e Valore ambientale). L'indice di R.L. è stato valutato basso se minore di 3,0, medio per valori compresi tra 3,0 e 4,0, elevato per valori compresi tra 4,0 e 4,50 ed infine molto elevato per valori superiori a 4,50. A commento della Carta (fig. 10) si registra chiaramente una diminuzione del R.L. procedendo da Sud a Nord, risalendo quindi la naturale inclinazione della piana alluvionale. Analoga diminuzione del R.L. si osserva procedendo dal centro del territorio indagato verso gli estremi occidentali ed orientali dove si posizionano rispettivamente i dossi fluviali del Tagliamento e dell'Isonzo.

Mantenendosi a ridosso della conterminazione lagunare dove più alto è il R.L. si osserva che la maggior diffusione areale di queste zone compete al territorio ubicato alle spalle della laguna di Grado. In particolare, secondo questa ricostruzione, sono a rischio le zone comprendenti i bacini a scolo meccanico di Muzzana, Pudiesca, Colomba, Planais, Salmastro, Ospitale e Panigai. Si ritiene interessante segnalare che gran parte dell'area industriale dell'Ausa-Corno rientra nelle aree considerate a molto elevato e elevato valore di R.L. (BONDESAN et al., 1995), come anche i centri storici di Grado e Marano e parte dell'abitato di Lignano. Si ricorda, infine, che GIROTTI & BRUSCHI (1990) ritengono "consigliate" (per una pianificazione territoriale che tenga conto dei rischi geologici) le zone industriali e i centri abitati quando queste sono soggette ad eventi calamitosi aventi tempi di ritorno di 200-1000 e ≥ 1000 anni, rispettivamente.

Discussione e conclusioni

Il territorio perlagunare del Friuli - Venezia Giulia, insieme ad altre zone costiere italiane (Delta del Po - BONDESAN, 1989; Pianura di Pisa - FEDERICI & MAZZANTI, 1989; Veneto PIRAZZOLI, 1991, ILCETO, 1992 e SESTINI, 1992) si trova in una situazione molto delicata, essendo predisposta naturalmente ai rischi di invasione delle acque marine e lagunari.

Stante questa situazione, per un futuro piuttosto prossimo sono da prevedere spese consistenti per l'adeguamento delle difese passive del territorio perlagunare al nuovo concetto di Rischio Litorale che prende sempre più piede in funzione dell'instabilità fisica dello

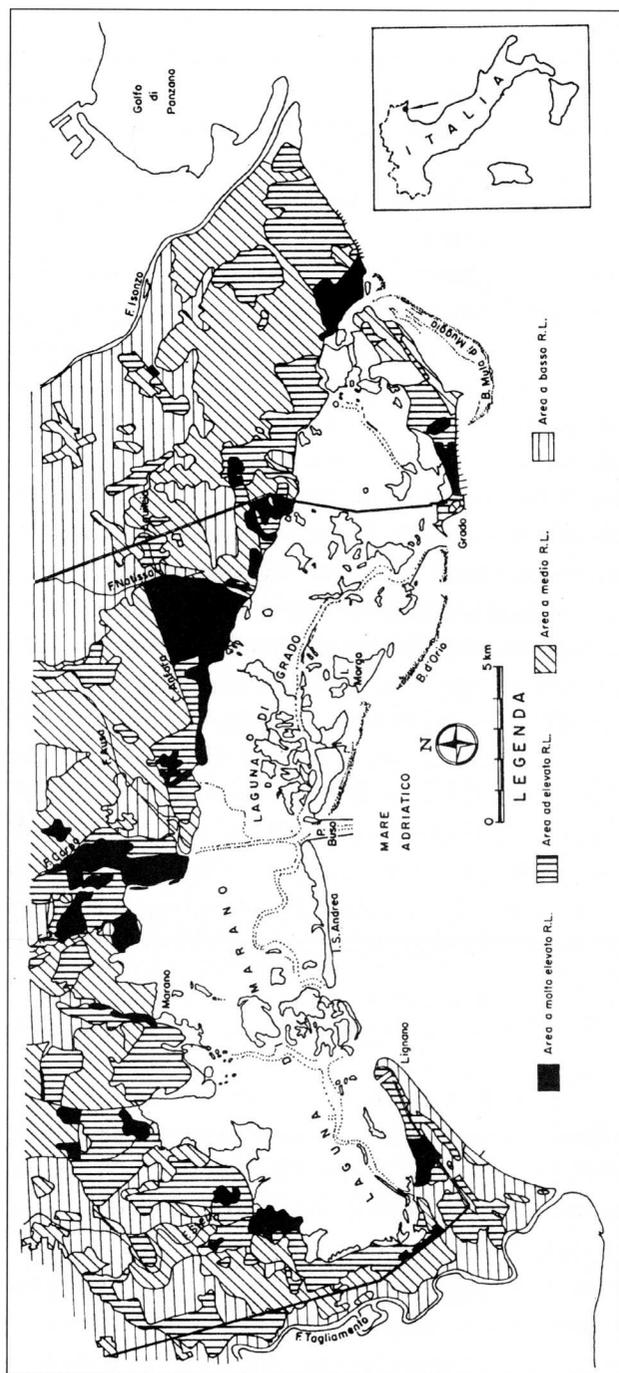


Fig. 10- Area circumlagunare del Friuli - Venezia Giulia : zonazione del Rischio Litorale.
- Lagoon hinterland in Friuli - Venezia Giulia: Coastal Risk zoning.

spazio costiero determinata da un parte dall'innalzamento del livello del mare e dall'altra, dalla subsidenza naturale e/o indotta e dalla mancanza (o insufficienza) di una sedimentazione che possa compensare questi movimenti. A questo proposito il presente studio si presenta come una indagine preliminare utile per un mirato ed efficace intervento sul territorio. Da esso emergono una serie di dati che non possono esser ignorati.

- Il tempo di ritorno delle Acque Alte eccezionali oscilla, a seconda del metodo di calcolo adottato, tra 70 e 112,6 anni; quello delle mareggiate più violente è di 30 - 40 anni, mentre la ricorrenza statistica delle piene eccezionali del F. Tagliamento è di circa 100 anni.
- Nella situazione attuale di graduale innalzamento del livello del mare (ca 1,4 mm anno) i tempi di ritorno degli eventi eccezionali (Acque Alte e mareggiate) diminuiscono notevolmente come diminuisce di conseguenza il margine di sicurezza rappresentato dalla quota sommitale delle difese arginali.
- Circa il 34 % dell'area circumlagunare si trova in condizioni di depressione assoluta legata essenzialmente alla subsidenza indotta dalle recenti bonifiche (abbassamenti del suolo variabili da 0,3 a 1,5 m).



Foto 1 - Acqua Alta nell'area portuale di Grado.
- High Water in the port of Grado.

- A quasi 30 anni dal disastroso evento del 1966, gli interventi eseguiti a difesa del territorio circumlagunare possono esser ritenuti solo in parte sufficienti. Gli argini, sia quelli di conterminazione lagunare sia quelli fluviali, non sembrano assicurare una stabilità sufficiente in situazioni critiche; la quota sommitale dei primi, che all'origine doveva esser posta a 3 m sul l.m.m., al giorno d'oggi risulta almeno in alcuni tratti diminuita sia a causa della subsidenza indotta dall'azione di bonifica, sia a causa del naturale costipamento del materiale pelitico che costituisce il rilevato arginale. Si ricorda che il solo cedimento dei manufatti può assumere valori attorno ai 6 mm/anno (dai dati della REGIONE FRIULI - VENEZIA GIULIA, 1990). Per quanto attiene poi alla stabilità di queste opere con riferimento ai problemi di sifonamento, che sembrano esser molto comuni lungo il margine lagunare in condizioni di Acque Alte, non ci risulta siano state eseguite opere di impermeabilizzazione sotto i rilevati.

- Le opere di difesa costiera hanno dimostrato più volte di essere insufficienti per contenere mareggiate con un livello del mare superiore a 190 cm (tempi di ritorno calcolati di 30 - 40 anni).

- Per le opere di difesa fluviale valgono le stesse considerazioni anche se suscitano preoccupazione diverse a seconda delle possibili portate di piena. Mentre sembrano non aver grossi problemi il fiume Isonzo ed alcuni fiumi di risorgiva, la situazione del fiume Tagliamento è grave. Secondo FORAMITTI (1990a) "i lavori effettuati dopo l'alluvione del 1966 si sono rilevati dei semplici palliativi e la loro insufficienza per contenere le piene con tempi di ritorno di un secolo sembra ormai accertata". Lo stesso autore ricorda che "...nei paesi civili (..) i progetti di sistemazione dei corsi d'acqua prendono in considerazione portate massime di piena con tempi di ritorno dell'ordine di 500 anni."

- Il calcolo del Rischio Litorale ha evidenziato che in caso di inondazioni consistenti porzioni di territorio circumlagunare rischiano di esser invase dalle acque lagunari e fluviali e di rimanere allagate per lungo tempo a causa della presenza di rilevati stradali, arginali e ferroviari. Tra queste zone si collocano le aree per lo più a sviluppo agricolo poste a ridosso del margine di conterminazione lagunare, ma anche alcune aree di particolare interesse industriale di recente istituzione (zona industriale dell'Ausa - Corno; BONDESAN et al., 1995) ed i principali centri abitati lagunari di Grado e Marano. Sono queste le zone che più di altre necessitano di interventi prioritari e soprattutto di una pianificazione compatibile con questo particolare rischio geologico.

Manoscritto pervenuto l'11.1.1995.

Ringraziamenti

A conclusione di questo lavoro si sente il dovere di ringraziare il Consorzio per la Bonifica e lo Sviluppo Agricolo della Bassa Friulana nelle persone dell'ing. Crucil e del geom. Pellizzari per aver messo a disposizione la documentazione del Consorzio e soprattutto per la preziosa assistenza e collaborazione dimostrata. Analogo ringraziamento va alla Ripartizione Tecnica del Comune di Grado e in particolare all'ing. Guzzon e al geom. Monferà per le preziose informazioni sulle arginature delle valli da pesca e della conterminazione del territorio gradese. Un particolare ringraziamento infine al prof. S. Stefanini per la lettura critica del manoscritto.

Last but not least un ringraziamento al prof. F. Vaia, responsabile del progetto M.U.R.S.T. 60%, per aver incoraggiato questo studio e rivisto criticamente il manoscritto.

SUMMARY - The present work summarizes the results of the evaluation of coastal risk in the alluvial plain surrounding the Marano and Grado Lagoon in the Italian region of Friuli - Venezia Giulia. The study area displays an environmental situation particularly common along the coastal strip of the upper Adriatic Sea, with alluvial or lagoon - swamp land recently reclaimed and crossed by sping waterways flowing in embanked beds. Land height ranges from + 2 to - 2 m above mean sea level. Water drainage is made possible by a great number of constantly efficient drainage pump systems.

After describing and quantifying the altimetric, morphological and pedological characteristics of the area, the following parameters will be taken into consideration with a view to an adequate approach to the issue:

- return time of sea storms and High Waters in the last few years;
- effects of recent marine floods and riverine overflows as well as development, height and stability of the lagoon embankment-ring;
- possible stagnation of flood waters;
- use of the land.

The analysis is closed by an example of attempted zoning of Coastal Risk carried out through direct assessment of hazard, vulnerability and economic value of the study area. It appears that wide stretches of the plain surrounding the Marano and Grado Lagoon - almost invariably placed under conditions of absolute depression - show high Risk Indexes. Most of the Ausa - Corno area assigned for industrial development and the main lagoonal and coastal towns are also included. Furthermore, some roads might stop or hinder the run-off of flood waters thereby creating possible areas of prolonged stagnation. Finally the study has demonstrated that sufficient hinterland protection is provided by the defence works partially or totally reconstructed after the recent floods, although episodes of instability occurred in various points under critical conditions. In case of any further rise in sea level, the ways of construction and the height (at present + 3 m above mean sea level) of such works will have to be revised and adjusted to conditions of greater safety.

- A quasi 30 anni dal disastroso evento del 1966, gli interventi eseguiti a difesa del territorio circumlagunare possono esser ritenuti solo in parte sufficienti. Gli argini, sia quelli di conterminazione lagunare sia quelli fluviali, non sembrano assicurare una stabilità sufficiente in situazioni critiche; la quota sommitale dei primi, che all'origine doveva esser posta a 3 m sul l.m.m., al giorno d'oggi risulta almeno in alcuni tratti diminuita sia a causa della subsidenza indotta dall'azione di bonifica, sia a causa del naturale costipamento del materiale pelitico che costituisce il rilevato arginale. Si ricorda che il solo cedimento dei manufatti può assumere valori attorno ai 6 mm/anno (dai dati della REGIONE FRIULI - VENEZIA GIULIA, 1990). Per quanto attiene poi alla stabilità di queste opere con riferimento ai problemi di sifonamento, che sembrano esser molto comuni lungo il margine lagunare in condizioni di Acque Alte, non ci risulta siano state eseguite opere di impermeabilizzazione sotto i rilevati.

- Le opere di difesa costiera hanno dimostrato più volte di essere insufficienti per contenere mareggiate con un livello del mare superiore a 190 cm (tempi di ritorno calcolati di 30 - 40 anni).

- Per le opere di difesa fluviale valgono le stesse considerazioni anche se suscitano preoccupazione diverse a seconda delle possibili portate di piena. Mentre sembrano non aver grossi problemi il fiume Isonzo ed alcuni fiumi di risorgiva, la situazione del fiume Tagliamento è grave. Secondo FORAMITTI (1990a) "i lavori effettuati dopo l'alluvione del 1966 si sono rilevati dei semplici palliativi e la loro insufficienza per contenere le piene con tempi di ritorno di un secolo sembra ormai accertata". Lo stesso autore ricorda che "...nei paesi civili (..) i progetti di sistemazione dei corsi d'acqua prendono in considerazione portate massime di piena con tempi di ritorno dell'ordine di 500 anni."

- Il calcolo del Rischio Litorale ha evidenziato che in caso di inondazioni consistenti porzioni di territorio circumlagunare rischiano di esser invase dalle acque lagunari e fluviali e di rimanere allagate per lungo tempo a causa della presenza di rilevati stradali, arginali e ferroviari. Tra queste zone si collocano le aree per lo più a sviluppo agricolo poste a ridosso del margine di conterminazione lagunare, ma anche alcune aree di particolare interesse industriale di recente istituzione (zona industriale dell'Ausa - Corno; BONDESAN et al., 1995) ed i principali centri abitati lagunari di Grado e Marano. Sono queste le zone che più di altre necessitano di interventi prioritari e soprattutto di una pianificazione compatibile con questo particolare rischio geologico.

Manoscritto pervenuto l'11.1.1995.

Ringraziamenti

A conclusione di questo lavoro si sente il dovere di ringraziare il Consorzio per la Bonifica e lo Sviluppo Agricolo della Bassa Friulana nelle persone dell'ing. Crucil e del geom. Pellizzari per aver messo a disposizione la documentazione del Consorzio e soprattutto per la preziosa assistenza e collaborazione dimostrata. Analogo ringraziamento va alla Ripartizione Tecnica del Comune di Grado e in particolare all'ing. Guzzon e al geom. Monferà per le preziose informazioni sulle arginature delle valli da pesca e della conterminazione del territorio gradese. Un particolare ringraziamento infine al prof. S. Stefanini per la lettura critica del manoscritto.

Last but not least un ringraziamento al prof. F. Vaia, responsabile del progetto M.U.R.S.T. 60%, per aver incoraggiato questo studio e rivisto criticamente il manoscritto.

SUMMARY - The present work summarizes the results of the evaluation of coastal risk in the alluvial plain surrounding the Marano and Grado Lagoon in the Italian region of Friuli - Venezia Giulia. The study area displays an environmental situation particularly common along the coastal strip of the upper Adriatic Sea, with alluvial or lagoon - swamp land recently reclaimed and crossed by sping waterways flowing in embanked beds. Land height ranges from + 2 to - 2 m above mean sea level. Water drainage is made possible by a great number of constantly efficient drainage pump systems.

After describing and quantifying the altimetric, morphological and pedological characteristics of the area, the following parameters will be taken into consideration with a view to an adequate approach to the issue:

- return time of sea storms and High Waters in the last few years;
- effects of recent marine floods and riverine overflows as well as development, height and stability of the lagoon embankment-ring;
- possible stagnation of flood waters;
- use of the land.

The analysis is closed by an example of attempted zoning of Coastal Risk carried out through direct assessment of hazard, vulnerability and economic value of the study area. It appears that wide stretches of the plain surrounding the Marano and Grado Lagoon - almost invariably placed under conditions of absolute depression - show high Risk Indexes. Most of the Ausa - Corno area assigned for industrial development and the main lagoonal and coastal towns are also included. Furthermore, some roads might stop or hinder the run-off of flood waters thereby creating possible areas of prolonged stagnation. Finally the study has demonstrated that sufficient hinterland protection is provided by the defence works partially or totally reconstructed after the recent floods, although episodes of instability occurred in various points under critical conditions. In case of any further rise in sea level, the ways of construction and the height (at present + 3 m above mean sea level) of such works will have to be revised and adjusted to conditions of greater safety.

Bibliografia

- BEETS D. J., VAN DER VALK L. & STIVE M. J. F., 1992 - Holocene evolution of the coast of Holland. *Marine Geology*, 103: 423-443.
- BERTACCHI L., 1979 - Presenze archeologiche romane nell'area meridionale del territorio di Aquileia. In: Il territorio di Aquileia nell'Antichità, *Ant. Alt. Adr.*, I: 259-289.
- BONDESAN M., 1989 - Geomorphological hazard in the Po Delta and adjacent areas. *Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, II: 25-33.
- BONDESAN M., CASTIGLIONI G. B., ELMI C., GABBIANELLI G., MAROCCO R., PIRAZZOLI P. A. & TOMASIN A., 1995 - Coastal Areas at Risk from Storm Surges and Sea-Level Rise in Northeast Italy. *Journal of Coastal Research*, 11(4): 1354-1379.
- BRAMBATI A., 1974 - Regime sedimentologico delle spiagge del Banco d'Orio. *Pubbl. Mus. Friul. di St. Nat.*, 24, 90 pp.
- CASSOLA GUIDA P., 1979 - Insediamenti preromani nel territorio di Aquileia. In: Il territorio di Aquileia nell'Antichità, *Ant. Alt. Adr.* I: 57-82.
- CONSORZIO PER LA BONIFICA E LO SVILUPPO AGRICOLO DELLA BASSA FRIULANA, 1955/1990 - Progetti di sistemazione idraulica e di ripristino delle arginature a laguna e a fiume. Rapporti interni.
- ENEL, 1990 - Il mare compresso. *Itinerari di ricerca*: 36-38.
- FEDERICI P. R., MAZZANTI R., 1989 - The Pisa plain (Italy) and its hydrological hazards. *Suppl. Geogr. Fis. Din. Quater.*, II: 41-49.
- FERRARO S., 1973 - Le perturbazioni meteorologiche e le acque alte a Trieste. *Atti Acc. Ligure Sc. Lett.*, XXXI:123-137.
- FORAMITTI R., 1990a - Il Tagliamento: studi e progetti. In: Le alluvioni del Tagliamento a Latisana. *La Bassa*, 138-186.
- FORAMITTI R., 1990b - La bonifica idraulica ed irrigua. In: La Bassa Friulana tre secoli di bonifica. *Consorzio di Bonifica Bassa Friulana*, 225-267.
- GISOTTI G. & BRUSCHI S., 1990 - Valutare l'ambiente. *NIS*, 467 pp.
- GORNITZ V., 1991 - Global coastal hazards from future sea level rise. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology (Global and Planetary Change Section)*, 89: 379-398.
- GUMBEL E. J., 1958 - Statistics of extremes. *Columbia University Press*, New York, 375 pp.
- ILICETO V., 1992 - Indagine sulle possibilità di rischio idraulico nella Provincia di Venezia. *Amm. Prov. di Venezia, Assessorato all'Ecologia*, 48 pp.
- LENARDON G. & MAROCCO R., 1994 - Le dune di Belvedere - San Marco: una antica linea di riva? Considerazioni sedimentologiche. *Gortania - Atti Mus. Friul. St. Nat.*, 16: 5-24.
- MEIER M. F., 1989 - Reduced rise in sea level. *Nature*, 343: 115-116.
- MAROCCO R., 1972 - Variazioni morfologiche e sedimentologiche del Banco d'Orio "B" e del Banco dei Tratauri (Laguna di Grado). Osservazioni dal 20 settembre 1970 al ottobre 1971. Tesi di laurea in Scienze Geologiche - Università di Trieste (relatori G. A. Venzo e A. Brambati).
- MAROCCO R., 1991 - Le dune di Belvedere - San Marco: una antica linea di riva? 1) Considerazioni geomorfologiche. *Gortania - Atti Mus. Friul. St. Nat.*, 13: 57-76.
- MAROCCO R. & PUGLIESE N., 1982 - Sedimenti e livelli antropici di Ca' Baredi (Canale Anfora-Aquileia). *Boll. Soc. Adr. Sc.*, LXVI: 61-71.
- MAZZARELLA A. & PALUMBO A., 1991 - Effect of sea level time variations on the occurrence of extreme storm-surges. an applications on the northern Adriatic Sea. *Boll. Ocean. Teor. Appl.*, I: 33-38.
- MOSETTI F., 1989 - Sea level variations and related hypotheses. *Boll. Ocean. Teor. Appl.*, VII: 273-284.
- MOSETTI F., CRISCIANI F. & FERRARO S., 1989 - On the relation between sea level and air temperature. *Boll. Ocean. Teor. Appl.*, VII: 263-272.
- PANIZZA M., 1987 - La cartografia tematica delle Scienze della Terra nella pianificazione territoriale. *Mem. Soc. Geol. It.*, 37: 503-509.

- PESSINA M., 1993 - Verifiche di stabilità su varie geometrie di un argine costiero. Tesina in Geologia Applicata dell'Università di Trieste (Relatore prof. R. Onofri): 6 pp.
- PIRAZZOLI P. P., 1989 - Present and near-future global sea-level changes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology (Global and Planetary Change Section)*, 79: 241-258.
- PIRAZZOLI P. P., 1991 - Possible defenses against a sea - level rise in the Venice area, Italy. *Jour. Coast. Res.*, I: 231-248.
- REGIONE AUTONOMA FRIULI - VENEZIA GIULIA, 1978 - Piano Urbanistico Regionale. *Direz. Reg. Pian. Bil., Servizio Pianificazione Territoriale*.
- REGIONE AUTONOMA FRIULI - VENEZIA GIULIA, 1984 - Carta dell'uso del suolo della pianura friulana e del connesso anfiteatro morenico del Tagliamento. *Direz. Reg. Pian. Bil., Servizio Pianificazione Territoriale*.
- REGIONE AUTONOMA FRIULI - VENEZIA GIULIA, 1984 - Guida agli ambiti di tutela ambientale. *Riva Spa*, 204 pp.
- REGIONE AUTONOMA FRIULI - VENEZIA GIULIA, 1990 - Studio sulla situazione altimetrica della zona compresa tra Latisana, Cervignano, Ronchi, Punta Sdobba, Grado, Porto Buso, Punta Tagliamento con la costruzione di nuovi capisaldi. *Direz. Reg. LL. PP., Dir. Reg. Amb.*, 114 pp.
- SESTINI G., 1992 - Implications of climatic change for the Po Delta and Venice Lagoon. In: L. JEFTIC, J. D. MILLIMAN & G. SESTINI (editors) - Climatic Change and the Mediterranean: 428-494.
- STEFANINI S., GHERDOL S. & STEFANELLI A., 1979 - Studio per la definizione dei pericoli naturali nella Regione Friuli - Venezia Giulia (alluvioni, mareggiate, frane e valanghe). *Reg. Aut. F.V.G., Ass. Agr.For., Econ. Mont., Dir. Reg. Foreste*, 32 pp.
- STRAVISI F., 1975 - Analysis of a storm surge in the Adriatic sea by means of a two-dimensional linear model. *Acc. Naz. Lincei*, LIV, 2: 243-260.
- STRAVISI F., 1993 - Rischio di intrusione marina sull'arco costiero regionale a seguito di acque alte eccezionali e loro concomitanza con le piene fluviali. Rapporto interno *Ist. Geodesia e Geofisica Ts.*, 14 pp.
- STRAVISI F. & FERRARO S., 1896 - Monthly and annual mean sea levels in Trieste, 1890 - 1984. *Boll. Ocean. Teor. Appl.*, 4: 97-104.
- WARRICK R. A., 1989 - Future climatic change and sea level. *Boll. Ocean. Teor. Appl.*, 4: 257-259.
- ZACCARIA C., TONEATTO L., PRENC L., BOSCHIAN G., MAGGI P., CIVIDINI T. & EGIDI P., 1989 - Per una carta archeologica del Friuli in epoca romana. In: Tipologia di insediamento e distribuzione antropica nell'area veneto-istria dalla Preistoria al Medioevo: 179-212.

Indirizzi degli Autori - Authors' addresses:

- Prof. Ruggero MAROCCO
Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine
dell'Università degli Studi
Via E. Weiss 2, I-34127 TRIESTE
- Dott. Maurizio PESSINA
Via G. da Udine 32, I
33058 SAN GIORGIO DI NOGARO UD