

LA SUBSIDENZA NELL'AREA VENEZIANA: ATTUALI TENDENZE ED IMPLICAZIONI¹

L. CARBOGNIN, L. TOSI

Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse - C.N.R., Venezia

SOMMARIO

Il processo della subsidenza, per le estrazioni intensive di acque sotterranee che negli anni cinquanta e sessanta ha interessato il comprensorio lagunare veneziano, producendo un abbassamento irreversibile di 10-14 cm, oggi non è più un problema per la città di Venezia, benché gli effetti del processo irreversibile siano permanenti.

Lo studio dell'evoluzione altimetrica del comprensorio veneziano negli ultimi vent'anni ha infatti permesso di confermare la stabilità del territorio, accertata definitivamente nel 1975 nella zona industriale e nel centro storico dopo la diversificazione degli approvvigionamenti idrici, di meglio definire l'andamento della subsidenza naturale, ove l'incidenza antropica è assente, e di individuare le aree oggi più fragili del territorio.

In particolare si sono evidenziate due zone a differente comportamento di subsidenza. La prima stabile (subsidenza inferiore a 0.5 mm/anno) include le aree di terraferma e quelle di gronda lagunare ad essa più prossime nonché la stessa città di Venezia; la seconda comprende le zone alle estremità lagunari Sud e Nord e i litorali, cioè quelle di più recente formazione, dove il tasso medio di subsidenza risulta compreso tra 1 e 2 mm/anno.

Attualmente gli studi si sono orientati verso queste zone ed in particolare nell'area meridionale, già in precarie condizioni altimetriche e morfologiche, con il territorio spesso a quote inferiori al livello medio del mare.

ABSTRACT

Land subsidence due to groundwater withdrawal which in the fifties and sixties induced in the Venetian territory an irrecoverable sinking of 10-14 cm, is no longer a problem today for Venice even if the negative effects will never be cancelled.

Studies carried out in the last decades have allowed to confirm the ground stability which had been definitely ascertained in 1975 for both the city of Venice and the industrial area; to better quantify the natural subsidence in the absence of the induced component, and to point out the frailest areas.

Different behaviours in altimetric evolution have clearly come out. A ground stability belongs to the zones in mainland, Venice and its surroundings, while a certain subsidence still occurs at the northern and southern extremities of the lagoon's edge and along the littoral where the natural compaction of recent deposits is more active than elsewhere and the rate of natural subsidence is greater, ranging between 1 and 2 mm/y.

¹Lavoro svolto nell'ambito del Progetto Strategico C.N.R. "Ambiente e Territorio", area tematica: Impatto Climatico, U.O. 03. Responsabile Dr. L. Carboognin.

Presently the studies are mainly addressed in these areas and in particular in the southern zone where the saltwater intrusion often due to groundwater exploitation worsen the ground elevation.

1. INTRODUZIONE

Venezia è stata senza dubbio uno dei casi di subsidenza più noti al mondo, non tanto per i valori di abbassamento qui registrati ma per le conseguenze che, oggi limitate, sarebbero potute essere disastrose per la città in considerazione della bassa altimetria sul livello del mare.

La subsidenza di Venezia emerse in tutta la sua pericolosità negli anni sessanta quando il fenomeno dell'acqua alta divenne assai più frequente. A parte la concomitanza di fattori meteorologici, è riconosciuto che all'esaltazione del fenomeno ha concorso in modo inequivocabile la subsidenza allora in atto.

Già dai primi studi fu evidente che la maggiore responsabilità dell'abbassamento del suolo andava attribuita all'intensiva estrazione di acque artesiane che aveva indotto una fortissima accelerazione al processo naturale. Nell'area veneziana infatti il consolidamento dei sedimenti fini di recente deposito, causa primaria della subsidenza naturale, è in atto da sempre nel territorio. Senza entrare nel dettaglio delle fasi evolutive di questo processo si ricorda che la componente naturale dell'abbassamento di Venezia è stata quantificata, per il secolo attuale, in 0,4 mm/anno.

La subsidenza lagunare è stato il primo caso studiato in Italia con completezza e precisione sperimentale e teorica, e la metodologia di studio seguita è da tempo ritenuta "standard" nell'analisi del processo di subsidenza per estrazione di acque sotterranee (Carbognin & Gatto, 1976).

Attualmente gli studi sulla subsidenza che vengono condotti sono stati estesi sia arealmente a quelle zone della provincia, e oltre, dove questo fenomeno è la risultante di molteplici cause (consolidamento naturale, sfruttamento di acque sotterranee, intrusione salina, bonifiche idrauliche, ecc.) sia all'utilizzo di indagini con misure satellitari (GPS, ERS SAR Interferometry, ecc.) che negli ultimi anni, grazie a precisioni sempre maggiori, trovano crescente applicazione anche in analisi territoriali di questo tipo.

2. LA SUBSIDENZA NEL PERIODO CRITICO (1950-1970)

Quando si parla della subsidenza di Venezia non v'è dubbio che ci si riferisce alla componente antropica occorsa dopo il 1950. In realtà la subsidenza indotta dalle estrazioni di acque sotterranee è iniziata nel territorio lagunare intorno al 1930 con i primi insediamenti di Porto Marghera e lo sfruttamento industriale degli acquiferi artesiani.

Inizialmente l'utilizzo di queste risorse idriche fu relativamente modesto e il calo piezometrico fu lento in tutto il comprensorio fino alla fine degli anni quaranta. Solo con il grande sviluppo industriale postbellico, negli anni '50 e '60 lo sfruttamento del sistema acquifero divenne sempre più intensivo interessando le sei falde artesiane che si succedono fino a 320 m di profondità.

La subsidenza di Venezia è stata analizzata con grande accuratezza e sotto ogni aspetto, dalla caratterizzazione dettagliata dell'ambiente fisico, locale e regionale, in cui il fenomeno si

esplica, al molteplice controllo sul territorio, alla simulazione modellistica del processo e alle previsioni sulla sua tendenza evolutiva. Noti sono gli studi condotti e lavori scritti (v. ad es. Gambolati & Freeze, 1973; Gambolati et al., 1974; Gambolati & Gatto, 1975; Carbognin et al., 1977; Volpi et al., 1979; Carbognin et al. 1981; Gatto, 1984; Bortolami et al., 1985; Carbognin, 1987), per cui se ne fa qui solo un breve richiamo per un migliore inquadramento del fenomeno recente.

Come sopra detto gli emungimenti artesiani intensivi hanno indotto una notevole accelerazione al processo di compattazione naturale nel sistema acquifer-aquitar che ha contribuito in modo assai marcato ad aggravare la già precaria situazione altimetrica veneziana.

L'evoluzione dello sfruttamento artesiano è ben documentato dall'andamento temporale delle pressioni di strato del quale la fase critica è evidenziata dalla brusca discesa sotto il piano campagna dei livelli piezometrici agli inizi degli anni cinquanta in concomitanza alle crescenti necessità idriche delle industrie di Porto Marghera. I livelli piezometrici toccarono i valori minimi nel 1969, quando, in corrispondenza della zona industriale, scesero di quasi 20 m rispetto alle condizioni originali e di oltre 14 m sotto il piano campagna. Il cono di depressione generatosi, con epicentro in Porto Marghera, non solo evidenziava qui il polo degli emungimenti, ma dimostrava che gli effetti dei pompaggi avevano sensibilmente coinvolto anche il centro storico.

Con stretta dipendenza fra causa ed effetto, la depressurizzazione indotta negli acquiferi accelerò il naturale processo di consolidazione dei diaframmi argillosi provocando quindi una subsidenza che raggiunse i valori massimi a Marghera ma che fu altrettanto grave a Venezia malgrado i dimezzati cali piezometrici qui registrati. In particolare tra il 1968 e il 1969 furono registrati i tassi di subsidenza più critici di 17 mm a Marghera e di 14 mm a Venezia. Anche il litorale di Lido subì un sensibile abbassamento del suolo che toccò i valori più elevati nel 1969 (10 mm/anno) (Caputo et al., 1972) e che, parallelamente alle locali estrazioni di acque dal sottosuolo, fu proparte riferito all'effetto indotto dal richiamo di acque saline nel sottosuolo.

In sintesi alla fine degli anni '60 il suolo risultava mediamente abbassato rispetto al 1952 (livellazione di riferimento) di 14 cm a Marghera (dove localmente furono raggiunti i 18 cm) e di oltre 10 cm a Venezia. Questo abbassamento di per sé modesto, creò comunque notevoli preoccupazioni per la già ridotta altimetria della città lagunare sul livello del mare.

Con il drastico ridimensionamento dei consumi iniziato dal 1970, la diversificazione degli approvvigionamenti idrici industriali e la chiusura della maggioranza dei pozzi artesiani, si verificò un rapido e costante ravvenamento delle falde con il ritorno nel 1975 dei livelli statici sopra il piano campagna. Questo miglioramento è stato verificato con la normalizzazione del gradiente piezometrico generale e il ritorno ad erogazione spontanea dei pozzi del centro storico e del litorale nonché, successivamente, in terraferma.

La correlazione tra i livelli piezometrici e la subsidenza, rilevata nella fase critica, è stata verificata anche nella successiva fase di recupero e le relazioni sono state poi valutate con modelli statistici (Carbognin & Taroni, 1996a).

Già la livellazione dell'intero comprensorio condotta nel 1973 dimostrava l'arresto dell'abbassamento del suolo; il successivo rilievo altimetrico della linea Conegliano-Venezia effettuato nel 1975 evidenziava un esiguo ma significativo recupero altimetrico. Questo *rebound*, dovuto alla piccola risposta elastica dei sedimenti coesivi, pari a circa il 15% della compattazione totale avvenuta (il rimanente 85% è irreversibile) fu di circa 2 cm nel centro storico ed era stato previsto dal modello di simulazione numerica del fenomeno.

Il comportamento altimetrico del suolo nelle sue fasi negative, di quiescenza e di recupero fu accertato anche con il confronto delle differenze dei livelli marini medi di Venezia rispetto a quelli delle stazioni mareografiche della costa altoadriatica ritenuta stabile di massima (Trieste,

Rovigno e Buccari) ed e' stato recentemente verificato mediante approfondite analisi (Carbognin & Taroni, 1996b).

Considerata la fragilità ambientale di Venezia e il fatto che vive nell'acqua, la valutazione della riduzione altimetrica complessiva del suolo va riferita al livello del mare e deve quindi tener conto non solo del processo di subsidenza indotta dall'estrazione intensiva di acque artesiane ma anche di quello dovuto alla componente di subsidenza naturale e dell'aumento eustatico del livello del mare.

Come precedentemente accennato, la subsidenza naturale, che ha avuto un'evoluzione differenziale nel tempo e nello spazio, è stata quantificata per l'area di Venezia e il suo entroterra in 0.4 mm/anno dall'inizio del secolo attuale. L'innalzamento del livello del mare con tasso medio annuo pari a 1.27 mm ha indubbiamente concorso in modo sensibile ad "abbassare" il suolo veneziano sul livello dell'acqua. In funzione dell'evoluzione temporale dei processi naturali e dei valori in gioco si è loro attribuito un trend lineare dall'inizio del secolo. Per la componente antropica viceversa se ne è considerata l'incidenza dall'inizio del fenomeno (1930), con trend diversi, incluso il *rebound*.

In conclusione, riferendosi allo zero mareografico del 1908 i tre processi hanno congiuntamente "abbassato" il suolo cittadino di circa 22 cm rispetto al livello dell'acqua.

Questo valore, altrove trascurabile, rappresenta una grave penalizzazione per Venezia che si eleva mediamente di 1 m sul medio mare (Piazza San Marco, area di primaria importanza monumentale, si trova a quote decisamente inferiori). In altre parole, come conseguenza della perdita altimetrica di 22 cm, è sensibilmente aumentata la frequenza degli eventi di acqua alta; è facile dimostrare infatti che oggi sono annoverati fra le acque alte quei livelli di marea che all'inizio del secolo non avrebbero allagato la città.

3. LA SUBSIDENZA ATTUALE

Una volta verificato l'arresto del processo di subsidenza antropo-indotta, mentre i controlli di campagna delle quote piezometriche sono stati regolarmente eseguiti negli anni da parte dell'ISDGM, i rilievi altimetrici, effettuati da Enti diversi, sono stati, per vari motivi, più sporadici e parziali.

Solo nel 1993 al CNR-ISDGM è stato possibile eseguire una livellazione di alta-altissima precisione che, seguendo le linee Treviso-Mestre-Venezia centro storico e circumlagunare, ha percorso lo stesso tratto della livellazione C.N.R. 1973, l'ultima che abbia coperto l'intero comprensorio (quella del 1975 fu eseguita per la sola linea Treviso-Venezia).

Il confronto dell'altimetria 1993 con quella del 1973 ha permesso di fare un'analisi completa sulla subsidenza esplicitasi nel territorio veneziano in questi vent'anni (Carbognin et al., 1994; Carbognin et al., 1995a, 1995b; Carbognin & Tosi, 1995; Teatini et al., 1995).

Una prima visione sinottica del fenomeno è fornita dalla mappa della subsidenza 1973-1993 per l'intero comprensorio (fig. 1). Appare evidente che esiste un'area stabile, comprendente le zone di terraferma da Treviso a Mestre, quelle di gronda nonché il centro storico, e un'area più propriamente lagunare-litorale dove l'abbassamento del suolo non è trascurabile benché i tassi di subsidenza relativi al periodo 1973-1993 non siano paragonabili per gravità a quelli del precedente ventennio critico '50-'70.

Dopo questa visione generale del fenomeno, le figure che seguono offrono un maggior dettaglio per alcune aree dl territorio e per un confronto temporale della subsidenza qui avvenuta.

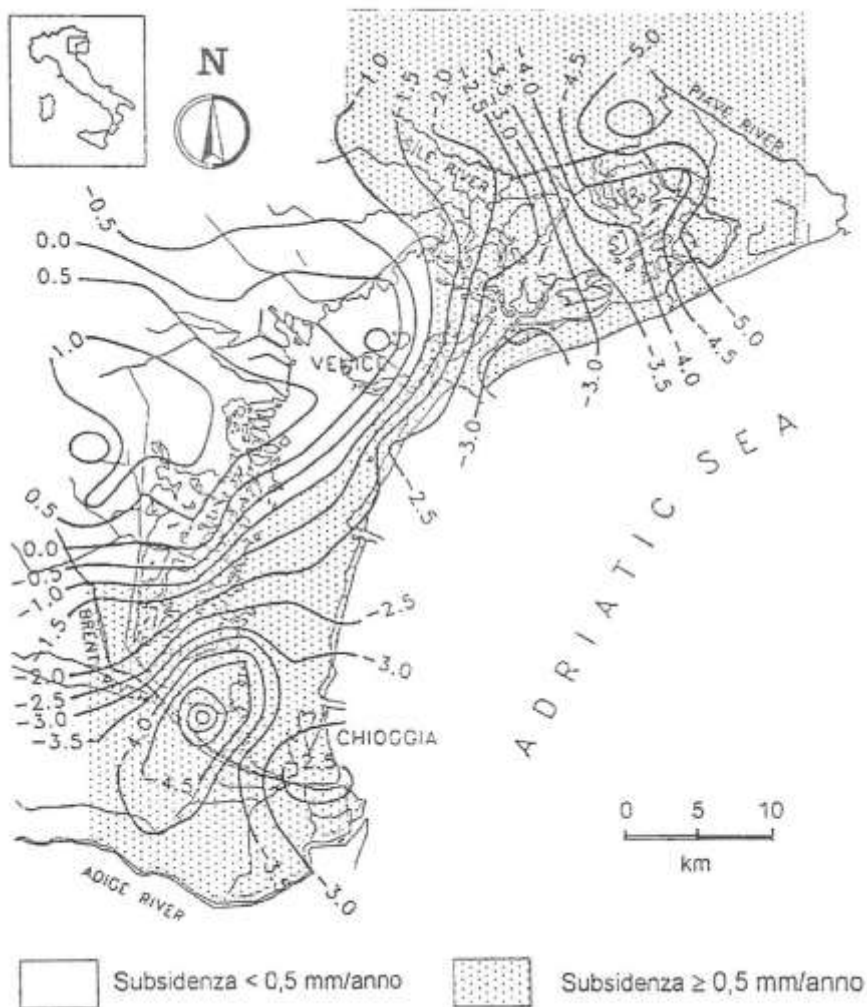


Fig. 1 – Mappa delle differenze altimetriche (cm) tra il 1993 ed il 1973 (Carbognin et al., 1994).

In figura 2 è riportata l'altimetria del percorso Treviso-Venezia (Punta della Dogana) che, per un confronto temporale completo, ha come base di riferimento le quote della livellazione del 1952.

Si può osservare come l'altimetria del 1993 ricalchi grossomodo quella del 1973 a dimostrazione che queste aree non sono più subsidenti. In particolare nel tratto Treviso-Mestre l'abbassamento medio annuo del periodo 1973-1993 è stato di 0.3 mm/anno e lungo la linea che attraversa il centro storico la media è addirittura positiva indicando così la totale stabilità del suolo di queste zone. Resta comunque la depressione altimetrica precedentemente formatasi, con apice nella zona industriale, a comprova della preponderante irreversibilità del fenomeno.

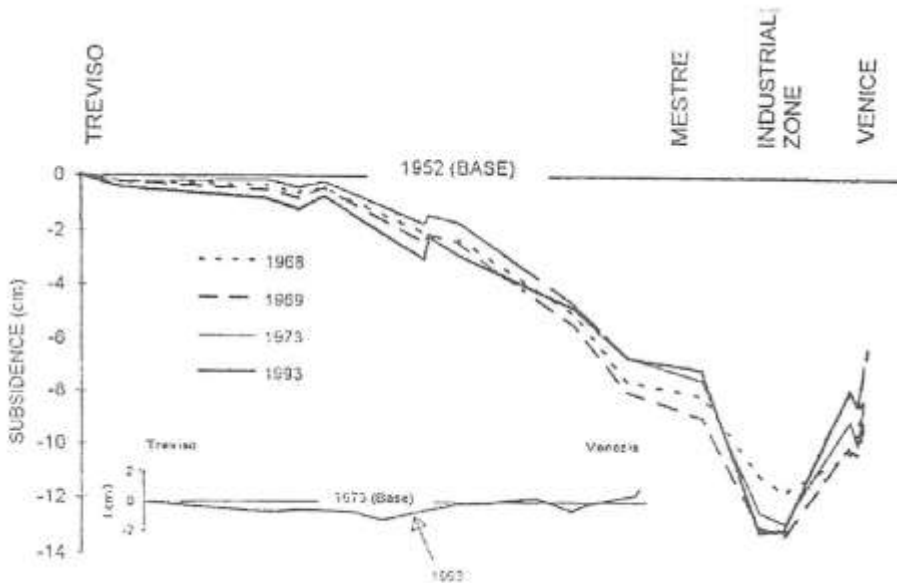


Fig. 2 – Variazioni altimetriche lungo il percorso Treviso-Venezia (Punta della Dogana) rispetto alle quote del 1952 e un dettaglio del confronto 1993-1973 (da Carbognin et al., 1994).

Una particolare attenzione va posta alla fascia costiera dove è ancora in atto una subsidenza non trascurabile e grossomodo comparabile lungo tutto il litorale malgrado la variabilità dei singoli capisaldi² (fig. 3).

L'abbassamento medio del suolo è stato dell'ordine di 1,5 mm/anno; solo nel tratto costiero più settentrionale, da Cavallino verso il lido di Jesolo tale valore aumenta a 2,2 mm/anno identificando questa come l'area più critica di tutto il comprensorio.

Si sa che la vita della laguna di Venezia è legata allo stato dei litorali i quali, è noto, non hanno una altimetria che possa proteggere la laguna da mareggiate veramente eccezionali³.

La subsidenza ha contribuito alla precarietà del litorale, come dimostra l'evoluzione temporale dei fondali sottocosta. La subsidenza che si esplica in zone costiere basse, induce regressioni della linea di riva (Carbognin et al., 1982); benchè il litorale veneziano appartenga a questo tipo di costa, la presenza massiccia delle difese a murazzi a ridosso della terra emersa costituisce una barriera fissa che impedisce l'ingressione del mare la cui sua azione distruttiva si esplica nella zona del litorale sommerso.

In figura 4 sono riportati gli approfondimenti avvenuti tra la linea di riva e l'isobata dei 5

²Al momento delle misure non erano ancora stati effettuati i lavori di ripristino e consolidazione dei moli foranei e sono evidenti locali situazioni di dissesto delle strutture.

³Si ricorda che in occasione della famosa acqua alta del novembre 1966, il mare sormontò il litorale a Pellestrina e a Lido, irrompendo violentemente in laguna.

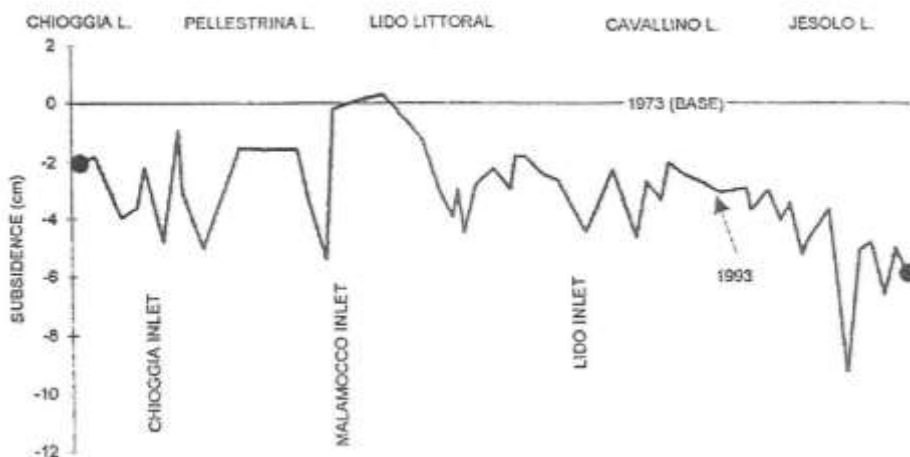


Fig. 3 – Confronto altimetrico 1993-1973 lungo il litorale veneziano compreso tra Brondolo (Chioggia) e Jesolo (da Carbognin et al., 1995a).

metri, ricostruiti sulla base dei rilievi batimetrici degli ultimi quarant'anni circa.

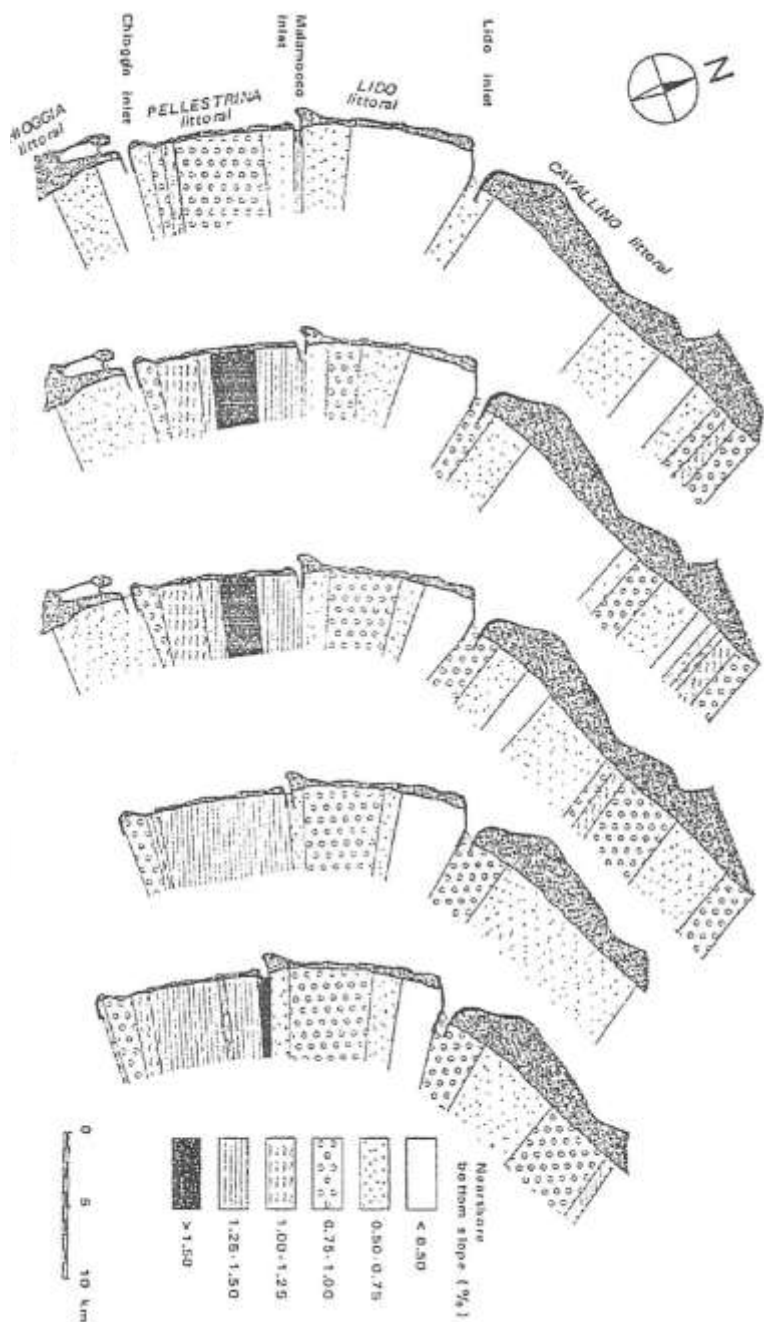
Il tratto di Sottomarina, dal 1954 al 1982 mostra modeste variazioni e risulta la porzione costiera più stabile. Al contrario il tratto di Pellestrina presenta forti aumenti di pendenza con i massimi valori nel 1968. I rilievi 1988 e 1992, pur evidenziando modesti recuperi, mantengono sempre pendenze maggiori del 1%, indicative di forte degrado ambientale e instabilità. Il tratto di Lido, dopo gli aumenti mostrati nel 1968 rispetto al 1954, con pendenze che da minori di 0.50% arrivano a 0.50-0.75%, presenta anche nei rilievi 1982, 1988 e 1992 pendenza in lieve aumento con tratti compresi tra 0.75% e 1%. Il tratto del Cavallino mostra un più rapido aumento delle pendenze nel 1982, un parziale recupero nel 1988 (anche se non ritorna alla situazione 1954) ed un successivo aumento di pendenza nel 1992 che è anomalo rispetto all'evoluzione degli altri tratti del lido veneziano.

In generale, gli approfondimenti dei bassi fondali osservati nel periodo 1954-1968 sono stati in massima parte indotti dalla subsidenza esplicatasi dopo gli anni '50 e dalla concomitanza di alta frequenza di mareggiate distruttive che hanno caratterizzato questo periodo.

Nel periodo 1968-1982 si osserva un rallentamento del precedente trend erosivo, sia pure non generalizzato, in coincidenza dell'arresto del processo di subsidenza e di condizioni meteo-marine più favorevoli. Il perdurare di condizioni climatiche positive negli ultimi dieci anni non spiega il nuovo approfondimento dei bassi fondali localmente osservato con i rilievi del 1992. Viceversa la subsidenza rilevata soprattutto lungo il tratto Cavallino-Jesolo dal 1973 al 1993 potrebbe in parte giustificare la nuova evoluzione negativa del litorale stesso. A riprova di ciò, analizzando i 35 profili batimetrici eseguiti nel 1992 lungo i cordoni litoranei (Ruol, 1992) si è osservato che gli incrementi di pendenza, più o meno modesti corrispondono ai punti di maggior subsidenza litoranea. In ogni caso, considerati i modesti valori in gioco, la correlazione riscontrata tra i due processi è solo qualitativa.

Per completezza di informazione, si rende noto che gli importanti lavori di rinforzo dei litorali (ricostruzione di spiaggia, pennelli, barriere soffolte, ecc.), programmati nell'ambito del

Fig. 4 – Variazioni di pendenza del fondale tra la linea di riva e l'isobata dei 5 m (da Carboquin et al, 1995a).



progetto per la salvaguardia di Venezia, sono oggi quasi completati.

E' già stata messa in risalto la presenza nell'area esaminata di due zone, una stabile e una dove esiste ancora una certa subsidenza (v. fig. 1). A quest'ultima appartengono i litorali, di cui si è appena parlato, e le due aree estreme ai bordi settentrionale e meridionale della laguna. In termini generali va ricordato che queste due aree hanno beneficiato fino a un recente passato di cospicui apporti solidi fluviali e che, in misura ridotta, ne sono interessate ancora oggi; per questi sedimenti di recente deposizione la fase di consolidazione naturale è più attiva che altrove e quindi i tassi di subsidenza risultano qui più elevati.

Per quanto concerne la componente antropica, non esiste oggi nel territorio in esame alcun sfruttamento intensivo generalizzato nè perciò alcun cono di depressione piezometrica arealmente esteso che coinvolga anche altre zone a ridotta attività estrattiva come avveniva in passato. Solo a situazioni di estrazioni artesiane localizzate (come ad esempio nella zona di Valli-Chioggia) fanno riscontro subsidenze circoscritte. Va rilevato che alle estremità settentrionale (bordo lagunare Nord e Jesolo) e meridionale della laguna (Chioggia) la pressione degli acquiferi maggiormente sfruttati, rispettivamente a -120 m (II) e a -220 m (IV), hanno subito una diminuzione nel 1993 rispetto al 1983. I livelli piezometrici del 1993 (Dazzi et al., 1994) indicano una depressione non trascurabile trovandosi qui a quota inferiore a quella del livello del mare.

Osservando con maggior attenzione la mappa della subsidenza (v. fig. 1) si nota che il progressivo incremento dei valori di abbassamento verso tutta la zona settentrionale è regolare; probabilmente alla consolidazione naturale sopra menzionata si sommano gli effetti di una modesta estrazione artesiane localizzata. Inoltre da un'analisi condotta al di fuori dell'area sinora esaminata, che include il settore nell'estremità nord orientale del litorale della Provincia di Venezia, è emerso che nell'ultimo decennio va assumendo una importanza sempre maggiore la captazione di acque termali in località di Cesarolo (Bibione). Benchè studi specifici del fenomeno nè la quantificazione del rapporto causa-effetto siano ancora stati compiuti, si può ipotizzare che in questa zona (figura 5, settore A) sia in atto una sensibile subsidenza indotta che possa arrivare a coinvolgere, sia pure in minima parte, il bordo lagunare settentrionale, oltre che innescare o accelerare fenomeni di erosione costiera nei pressi di Bibione.

Situazione analoga si ritrova nell'area meridionale; in particolare a quello che potrebbe essere un gradiente di subsidenza naturale si sovrappone un picco circoscritto con epicentro nella zona di Valli, ad ovest della città di Chioggia.

In quest'area e oltre, sono in corso indagini specifiche sul fenomeno. Nella prima fase di ampliamento degli studi e' stata infatti privilegiata la zona sud (figura 5, settori B e C) rispetto a quella nord, in quanto la precaria situazione geomorfologica e altimetrica di questi territori era già nota da precedenti studi. Negli anni '50 e '60, si sono qui registrate subsidenze tra 1 e 2 cm/anno imputabili non solo alle estrazioni artesiane ma anche agli effetti delle bonifiche e alla natura dei sedimenti che hanno reso sempre più precarie queste aree.

Inoltre anche recentemente sono stati denunciati abbassamenti dello stesso ordine di grandezza sulla base degli effetti osservati sul territorio (problemi alla rete scolante e ai margini fluviali, riduzione del franco di coltivazione, ecc). Purtroppo la disomogeneità delle misure disponibili non permette oggi di quantificare l'estensione del fenomeno.

Perciò si è programmata per l'autunno-inverno 1998-1999 l'istituzione di una nuova rete di monitoraggio altimetrico con sviluppo di circa 350 km, collegata a dei capisaldi base nei Colli Euganei, da rilevare sia con livellazione tradizionale che con misure satellitari (GPS)⁴.

Qui oltre all'estrazione di acque sotterranee le cause dell'abbassamento sono imputabili anche ai pompaggi delle idrovore per le bonifiche, alla considerevole presenza di terreni torbosi e alla salinizzazione del sottosuolo. L'intrusione salina coinvolge, anche se con modalità diverse,

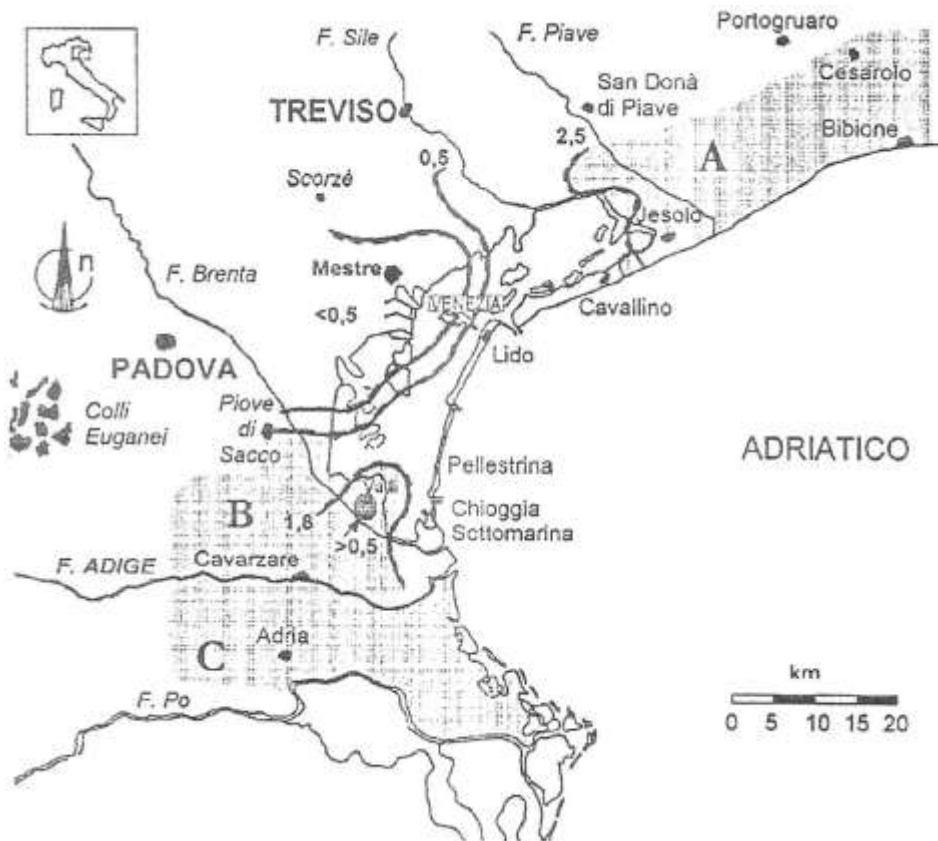


Fig. 5 – Localizzazione dei settori critici e degli sviluppi futuri dello studio della subsidenza.

sia i terreni superficiali che quelli profondi; i primi (fino a profondità di 70-100 m), essendo soggetti all'intrusione di acqua marina e lagunare, i secondi (sotto i 400 m) per richiamo laterale o risalita verticale di acque fossili (Benvenuti et al., 1998).

4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Sulla base delle più recenti misure altimetriche condotte nel comprensorio lagunare veneziano, degli studi effettuati e in corso⁴ si può sintetizzare la situazione altimetrica di quest'area con le seguenti considerazioni conclusive.

⁴ Progetto I.S.E.S. - Intrusione Salina e Subsidenza - (Responsabili Dr.i L. Carbognin e L. Tosi), finanziato da un pool di Enti Pubblici e Privati che operano nella Provincia di Venezia e Padova.

La subsidenza per estrazioni intensive di acque sotterranee che negli anni '50 e '60 ha interessato il territorio veneziano non è più un problema nè per la città di Venezia nè per le aree di terraferma ad essa prossime.

Va puntualizzato comunque che la perdita altimetrica è praticamente irreversibile e risulta la principale componente nell'osservato incremento delle acque alte cittadine e della destabilizzazione del litorale dove gli effetti si sono manifestati nell'approfondimento del litorale sommerso.

Nel complesso dell'area lagunare si deve tenere conto che la subsidenza naturale permane soprattutto nelle aree di più recente deposizione cui appartengono le estremità nord e sud del bacino. Qui infatti si è misurato un abbassamento del suolo che dal 1973 al 1993 è risultato compreso tra 1 e 2 mm/anno. Anche se questi tassi non sono confrontabili con quelli critici degli anni '50 e '60, non sono trascurabili se si considera la già precaria situazione altimetrica e di rischio idraulico-idrogeologico di questi territori (fiumi e canali pensili, intrusione salina nel sottosuolo, ecc.).

Attualmente gli studi si stanno indirizzando in queste aree ove la subsidenza è il risultato di una serie di interventi antropici e processi naturali.

In particolare nel settore a sud del bacino lagunare sono in corso indagini specifiche sul fenomeno; è stata per questo progettata una nuova rete di controllo altimetrico collegata ai Colli Euganei, composta da una serie di maglie per uno sviluppo totale di circa 350 km che verrà monitorata sia con livellazioni di alta precisione che con misure GPS. Sono inoltre in corso altre indagini rivolte alla valutazione del contributo delle cause che comportano la perdita altimetrica come: i pompaggi con idrovore nelle aree di bonifica, le estrazioni artesiane, la mineralizzazione delle torbe e l'intrusione salina nel sottosuolo, spesso in stretta relazione tra loro. Infatti nelle zone soggiacenti il livello del mare (a volte anche di 2-3 metri), per mantenere il franco di bonifica sono indispensabili i pompaggi con le idrovore; questi oltre ad indurre un abbassamento del livello freatico e quindi una più rapida consolidazione dei terreni, richiamano le sottostanti acque salate che sostituendo quelle dolci provocano a loro volta il collasso dei minerali argillosi con il risultato di una ulteriore perdita altimetrica. Questi processi non solo sono irreversibili ma incrementano col tempo in quanto ad una maggior perdita altimetrica si impone un maggior pompaggio.

Con gli studi in corso si vuole arrivare a quantificare, ove possibile, il contributo di ciascuna delle cause concorrenti e comunque a meglio definire i processi in atto. Solo così sarà possibile definire in modo più razionale le contromisure idonee a contrastare il fenomeno di subsidenza.

Nell'ambito degli sviluppi futuri si auspica di avere la possibilità di ampliare all'intera regione interessata gli studi in corso con una nuova rete altimetrica idonea ad un monitoraggio completo che preveda anche l'utilizzo di misure satellitari (GPS, ERS SAR Interferometry); ciò consentirà rilevamenti più speditivi e darà la possibilità di "autogestione" anche per aree limitate di competenza ai singoli Enti che operano nel territorio.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Benvenuti, G., Galgano, A. & Tosi, L. (1998). "Indagine geoelettrica per la valutazione dell'intrusione salina negli acquiferi costieri del comprensorio meridionale veneziano", T.R. no. 222, CNR, ISDGM, Venezia.

Bortolami, G., Carbognin, L. & Gatto, P. (1985). "The natural subsidence in the Lagoon of Venice, Italy", Proc. 3rd Int. Symp. on Land Subsidence, Venice, March 1984, LAHS Publ. no. 151, 777-785.

Caputo, M., Folloni, G., Gubellini, A., Pieri, L. & Unguendoli, M. (1972). "Survey and geometric analysis of

subsidence in the region of Venice and its hinterland", T.R. no. 9, CNR, ISDGM, Venezia.

Carbognin, L. & Gatto, P. (1976). "A Methodology for Hydrogeological Data Collection in the Venetian Plain", *Proc. IBM International Seminar on Regional Groundwater Hydrology and Modeling, Venice, Italy*, 267-291.

Carbognin, L., Gatto, P., Mozzi, G., Gambolati, G. & Ricceri, G. (1977). "New trend in the subsidence of Venice", *Proc. 2nd Int. Symp. on Land Subsidence, Anaheim, December 1976, IAHS Publ. no. 121*, 65-81.

Carbognin, L., Gatto, P. & Mozzi, G. (1981). "La riduzione altimetrica del territorio veneziano e le sue cause", *Istituto Veneto di Lettere Scienze ed Arti, Rapporti e Studi, Vol. VIII*, 55-83.

Carbognin, L., Gatto, P., Marabini, F., Mozzi, G. & Zambon, G. (1982). "La tendence evolutive du littoral emilien-romagnol (Italie)", *Oceanologica Acta, N. SP.*, 77-73.

Carbognin, L., Marabini, F., Taroni, G., Teatini, P. & Tosi L. (1994). "Altimetria recente del comprensorio lagunare veneziano. Un'analisi critica", T.R. no. 193, CNR, ISDGM, Venezia.

Carbognin, L., Marabini, F. & Tosi, L. (1995a). "Land subsidence and degradation of the venetian littoral", *Proc. 5th Int. Symp. on Land Subsidence, The Hague, October 1995, IAHS Publ. no. 234*, 391-402.

Carbognin, L. & Taroni, G. (1996a). "Linearità tra due variabili: piezometria e subsidenza nell'area veneziana", *Atti dell'Istituto Veneto di Lettere Scienze ed Arti, Tomo CLIV, Classe di Sc. Fis. Mat. e Nat.*, 33-52.

Carbognin, L. & Taroni, G. (1996b). "Eustatismo a Venezia e trieste nell'ultimo secolo", *Atti dell'Istituto Veneto di Lettere Scienze ed Arti, Tomo CLIV, Classe di Sc. Fis. Mat. e Nat.*, 281-298.

Carbognin, L. & Tosi, L. (1995). "Situazione altimetrica attuale del comprensorio veneziano e i suoi riflessi sull'ambiente lagunare", *Geologia Applicata e Idrogeologia, Vol. XXX*, 303-313.

Carbognin, L., Tosi, L. & Teatini, P. (1995b). "Analysis of the actual land subsidence in Venice and its hinterland", in *Land Subsidence*, eds. F. Barends et al., Balkema, Rotterdam, 129-137.

Carbognin, L. (1987). "Venezia, La Sua Laguna, i Suoi Problemi", *Atti del VI Congresso Nazionale dell'Ordine dei Geologi, Venezia, Fondazione Cini*, 240-255.

Dazzi, R., Gatto, G., Mozzi, G. & Zambon, G. (1994). "La rete di monitoraggio delle pressioni di strato, parte seconda", in «Lo sfruttamento degli acquiferi artesiani di Venezia e i suoi riflessi sulla situazione altimetrica del suolo», *Progetto Sistema Lagunare Veneziano, Linea di Ric. 2.8, CNR, ISDGM, Venezia*.

Gambolati, G. & Freeze, R.A. (1973). "Mathematical simulation of the subsidence of Venice, 1. Theory", *Water Resour. Res.*, Vol. 9, no. 3, 721-733.

Gambolati, G., Gatto, P. & Freeze, R.A. (1974). "Mathematical simulation of the subsidence of Venice, 2. Results", *Water Resour. Res.*, Vol. 10, no. 3, 563-577.

Gambolati, G. & Gatto, P. (1975). "Simulazione della subsidenza di Venezia", in *Venezia e i problemi dell'ambiente*, ed. Il Mulino, 299-360, Bologna.

Gatto, P. & Carbognin, L. (1981). "The lagoon of Venice: natural environmental trend and man-induced modification", *Hydrological Sciences Bull.*, Vol. 26, no. 4, 379-391.

Gatto, P. (1984). "Il cordone litoraneo della Laguna di Venezia e le cause del suo degrado", *Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti, Rapporti e Studi, IX*, 163-193.

Ruol, P. (1992). "Batimetrie del litorale veneziano rilievo 1992 e confronto con il 1988", T.R. no. 35, CNR, IGM, Bologna.

Volpi, G., Gambolati, G., Carbognin, L., Gatto, P. & Mozzi, G. (1979). "Groundwater contour mapping in Venice by stochastic interpolators, 2. Result", *Water Resour. Res.*, 15,2, 291-297.

Teatini, P., Gambolati, G. & Tosi, L. (1995). "A new three-dimensional nonlinear model of the subsidence at Venice", *Proc. 5th Int. Symp. on Land Subsidence, The Hague, October 1995, IAHS Publ. no. 234*, 353-361.