LA RIDUZIONE ALTIMETRICA DEL TERRITORIO VENEZIANO E LE SUE CAUSE

LAURA CARBOGNIN, PAOLO GATTO E GIUSEPPE MOZZI

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

Estratto da: « *Rapporti e Studi* » - VOL. VIII - Tipografia I.T.E. - Dolo (Ve)

LA RIDUZIONE ALTIMETRICA DEL TERRITORIO VENEZIANO E LE SUE CAUSE (*)

LAURA CARBOGNIN, PAOLO GATTO E GIUSEPPE MOZZI

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

SOMMARIO

Si analizzano i tre processi che hanno concorso a ridurre il franco altimetrico della città di Venezia sul livello del mare: l'eustatismo, la subsidenza naturale e quella antropica.

Particolare attenzione viene rivolta all'analisi della subsidenza per sfruttamento intensivo delle risorse idriche sotterranee operato nella zona industriale di Marghera. Confermata la quiescenza e l'arresto del fenomeno nel 1975 a seguito del ridimensionamento dei consumi artesiani e la conseguente ripressurizzazione delle falde, si formula un bilancio globale del contributo delle tre componenti al deficit altimetrico accumulato al 1980. Dall'inizio del secolo il franco altimetrico di Venezia sul livello del mare è stato ridotto di circa 22 cm, in gran parte in modo irreversibile. Si dimostra che tale riduzione è la principale causa dell'aumentata frequenza delle acque alte.

(*) Lavoro eseguito nell'ambito del Progetto Finalizzato «Conservazione del Suolo», Unità Operativa n. 7. Pubblicazione n. 192.

1. INTRODUZIONE

La subsidenza di Venezia è un fenomeno venuto alla ribalta negli ultimi decenni, quando la città fu coinvolta da sempre più frequenti ed estesi allagamenti. All'inizio degli anni sessanta si ipotizzarono responsabili del processo diverse cause naturali ed antropiche, tra le quali persino l'estrazione di gas metano nel vicino Polesine.

Tuttavia, per quanto suggerito dalla casistica mondiale, appariva evidente il ruolo primario svolto dai pompaggi di acque sotterranee. Per questo s'iniziarono studi specifici e sistematici da parte del «Comitato per lo studio dei provvedimenti a difesa della città di Venezia e dei suoi caratteri ambientali e monumentali» dal 1966 e del «Laboratorio per lo studio della dinamica delle grandi masse» del Consiglio Nazionale delle Ricerche, istituito a Venezia nel 1969.

Fu realizzato dapprima il censimento dei pozzi artesiani e quindi analizzati il sistema acquifero e il suo sfruttamento. Per ricostruire la struttura del sottosuolo si eseguirono rilievi sismici e sondaggi esplorativi ad hoc a piccola, media e grande profondità. Fra questi il VE 1 CNR dell'isola del Tronchetto, a carotaggio continuo fino ai – 950 metri, per le avanzate tecniche operative, per le numerose registrazioni geofisiche in pozzo e per le migliaia di analisi a carattere diverso (idrologiche, geotecniche, sedimentologiche, micropaleontologiche, ecc.) eseguite sui campioni ricuperati, è stato l'elemento base delle operazioni investigative del sottosuolo veneziano. Esso rappresenta inoltre per interesse geologico un documento unico, avendo campionato ed analizzato con dettaglio l'intera serie quaternaria. Venivano inoltre acquisiti i dati disponibili sull'evoluzione della subsidenza nel passato.

Contemporaneamente a questa fase investigativa, fu attrezzata una rete piezometrica e ampliata quella geodetica esistente; venivano così posti sotto controllo i processi in atto con registrazioni in continuo e rilevamenti a periodicità annuale. Sono state altresì realizzate elaborazioni analitiche nei singoli settori studiati e simulazioni numeriche dei fenomeni.

I risultati conclusivi, argomento del presente lavoro, hanno evidenziato che le cause della riduzione altimetrica del territorio rispetto al livello del mare sono state primariamente lo sfruttamento artesiano ad uso industriale e in modo subordinato l'eustatismo e la subsidenza

naturale. Come si vedrà in seguito il loro contributo ha penalizzato con diversa incidenza e in modo irreversibile l'altimetria già precaria del centro storico.

2. LE COMPONENTI NATURALI

2.1. La subsidenza naturale

Il processo è dovuto alle deformazioni tettoniche del substrato, ma soprattutto, nel nostro caso, alla progressiva consolidazione dei depositi fini recenti.

Il fenomeno coinvolge tutta la pianura padana ed ha il suo valore massimo nella zona del delta del Po. Anche il territorio veneziano dunque ne è interessato, ma in misura decisamente inferiore, trovandosi sui fianchi del grande insellamento padano ed essendo qui la coltre quaternaria molto meno spessa che nell'area del Delta.

Fino ad oggi non è stato possibile valutare separatamente il contributo tettonico e quello di consolidazione naturale dei sedimenti ed è risultato anche difficile accertarne l'entità complessiva, considerati i piccoli valori in gioco e i processi che vi interagiscono. Tuttavia con criteri qualitativi è stato ottenuto un ordine di grandezza attendibile per gli ultimi seimila anni circa, ossia dall'origine della laguna ad oggi. Infatti la stima di 1 mm/anno, dedotta dalla profondità di reperti archeologici in laguna (Leonardi, 1960), rappresenta un valore coerente con quello ottenuto dalla radiodatazione di resti organici della serie olocenica (1 ÷ 1,5 mm/anno) (Fontes e Bortolami, 1972; Gatto, 1980). Il tasso medio di subsidenza del periodo evolutivo naturale della laguna prima dell'intervento dell'uomo sarebbe stato pertanto dell'ordine di 1,3 mm/anno.

Il processo in questa fase non è stato tuttavia costante nel tempo e nello spazio, in relazione ai diversi eventi deposizionali succedutisi e ai complessi fenomeni di collasso dei sedimenti fini esplicatisi con la sostituzione delle originarie acque interstiziali dulcicole con quelle saline. Ne è così risultato un abbassamento del suolo nettamente differenziato dalla terraferma al litorale, con valori massimi verso il mare e nella zona di Chioggia e con una netta distinzione tra le aree occupate dalla laguna primordiale e quella più estesa odierna, come

dimostra l'assetto del «caranto», nota argilla sovraconsolidata e ottimo orizzonte guida al tetto della serie pleistocenica nell'area lagunare veneziana (Fig. 1) (Gatto e Previatello, 1974; Gatto e Carbognin, 1981).

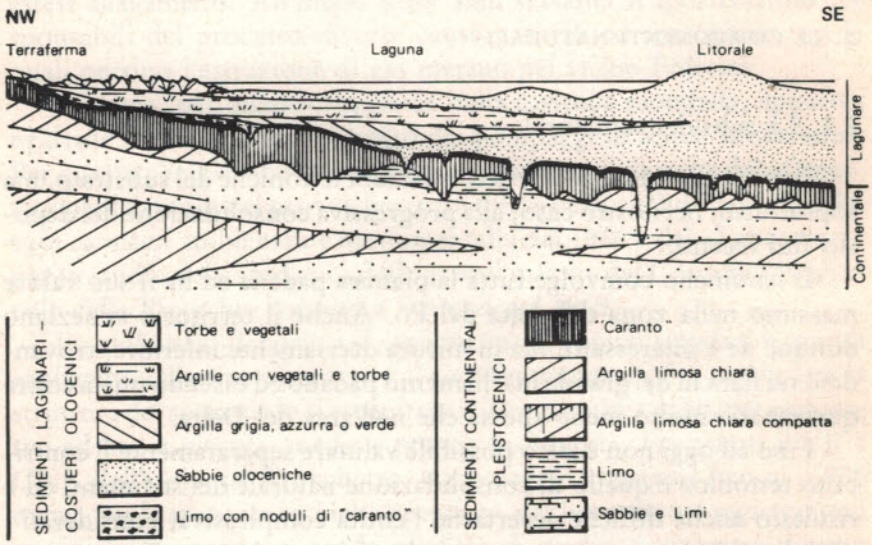

Fig. 1 – Schema dei rapporti stratigrafici del tardo Pleistocene e dell'Olocene (da Gatto e Previatello, 1974).

Intorno al 1400 inizia la grandiosa opera di diversione dei fiumi immissari in laguna che, pur concludendosi solo alcuni secoli dopo, modificò fin dall'inizio il trend di subsidenza naturale. Infatti il collasso dovuto all'accentuata salinizzazione dei depositi argillosi, non compensato da ulteriori apporti alluvionali, causò lo sprofondamento di estesi territori di gronda e quindi l'allargamento del bacino. Alla fine la consolidazione dei sedimenti, non più favorita dal sovraccarico alluvionale, diminuì la sua velocità e la subsidenza naturale si attenuò progressivamente fino ai valori attuali (Gatto e Carbognin, 1981).

L'odierno tasso di subsidenza naturale, dedotto dalle variazioni altimetriche di alcuni capisaldi prima della fase di sfruttamento artesiano (1908-1930) e dalle differenze dei livelli medi marini tra Venezia e Trieste, è risultato di 0,4 mm/anno, valore che si è ritenuto lecito

estrapolare linearmente fino ad oggi, considerate le caratteristiche evolutive del fenomeno.

La subsidenza naturale dunque avrebbe inciso sulla riduzione altimetrica del territorio dall'inizio del secolo per quasi 3 cm.

2.2. L'eustatismo

È questo un fenomeno indipendente dal processo di subsidenza, che ha però concorso a ridurre sensibilmente l'altimetria della città sul livello marino.

Com'è noto, con questo termine si definisce il fenomeno di variazione del livello del mare indotto da oscillazioni climatiche terrestri: durante i periodi freddi le precipitazioni vengono ritenute in gran parte sui continenti sotto forma di ghiaccio e di conseguenza il livello del mare si abbassa; il contrario avviene nei periodi caldi.

Così durante l'ultima grande espansione glaciale del Würm (22.000 anni orsono) il livello del mare era più basso dell'attuale di circa 90 m e il bacino altoadriatico risultava allora emerso fino all'altezza di Pescara; esso s'identificava con una pianura solcata da fiumi, i cui paleoalvei sono ancora riconoscibili nella morfologia del fondo marino. Con il successivo miglioramento climatico il livello del mare subì un progressivo innalzamento che lo ha portato da alcuni millenni intorno all'attuale quota, pur con oscillazioni secondarie. Nell'ambito di queste oscillazioni minori è in atto da circa un secolo un incremento generale, registrato localmente anche dalle stazioni mareografiche dell'alto Adriatico; fra queste è stata considerata in particolare la stazione di Trieste per la sua stabilità costiera e per la continuità di dati registrati.

Il tasso eustatico medio, calcolato dall'inizio del secolo al 1961, è stato di 1,27 mm/anno, in accordo con i valori accertati in tutto il mondo (Mosetti, 1969). Si fa tuttavia rilevare che da circa un ventennio le stazioni dell'alto Adriatico registrano una progressiva attenuazione dell'incremento del livello del mare. Ciò sembrerebbe evidenziare l'inizio di un nuovo ciclo climatico, correlabile con l'avanzata delle fronti dei principali ghiacciai alpini registrata nello stesso periodo (Comitato Glaciologico Italiano, Bollettini dal 1960 ad oggi).

Malgrado la nuova fase quiescente, ancora in corso di analisi e verifica, si è ritenuto lecito estrapolare il valore di 1,27 mm/anno all'intero periodo 1908-1980, durante il quale l'innalzamento eustatico viene valutato in 9 cm complessivi.

3. LA COMPONENTE ANTROPICA

La subsidenza indotta dagli sfruttamenti intensivi delle risorse idriche sotterranee è un noto fenomeno che ha avuto in diverse parti del mondo aspetti evolutivi anche spettacolari (California 9 m; Mexico City 7,5 m; Tokyo 4,5 m; ecc.) (Benini, 1971; Carbognin *et al.*, 1978a).

Com'è noto il processo trae origine dal fatto che la depressurizzazione delle falde operata con gli emungimenti, riducendo la spinta idrostatica sui sedimenti, per la nota equivalenza di Terzaghi ($\sigma_c = p+\sigma_z$) incrementa la pressione intergranulare e provoca la compattazione degli orizzonti più deformabili ossia di quelli argilloso-siltosi. La subsidenza causata dallo sfruttamento artesiano altro non è dunque che un processo accelerato della naturale consolidazione dei terreni coesivi.

È pertanto evidente che per quantificare il fenomeno nel rapporto di causa ed effetto è necessario conoscere a fondo la struttura e le caratteristiche dell'ambiente in cui il processo si esplica (Carbognin e Gatto, 1976). Il censimento dei pozzi artesiani (*) ha fornito le prime informazioni utili per ricostruire lo schema strutturale del sottosuolo secondo il quale furono poi programmate le investigazioni dirette (prospezioni geofisiche, sondaggi, analisi di laboratorio, ecc.).

3.1. Il sistema acquifero veneziano

Il sistema multifalde veneziano ha la sua area di alimentazione nel potente complesso indifferenziato ghiaioso-sabbioso che si estende dalla pedemontana alpina fino grossomodo all'allineamento Cittadella-Castelfranco-Treviso. A Sud Est di tale allineamento si sviluppa il complesso differenziato dove gli orizzonti sabbiosi, confinati da quelli argillosi, sono sede di falde acquifere in pressione (Fig. 2) (Gambolati *et al.*, 1973; Gambolati e Gatto, 1975).

Nel territorio lagunare l'intervallo che interessa è quello delle falde sfruttate ossia fino ai 350 m di profondità. Lo schema idrogeologico,

(*) Nel Comune di Venezia ne sono stati censiti 3000 circa (Alberotanza et al., 1972), mentre nella bassa pianura veneta, compresa tra i fiumi Brenta e Piave ne sono stati accertati circa 19000 (Ministero LL.PP., 1972a).

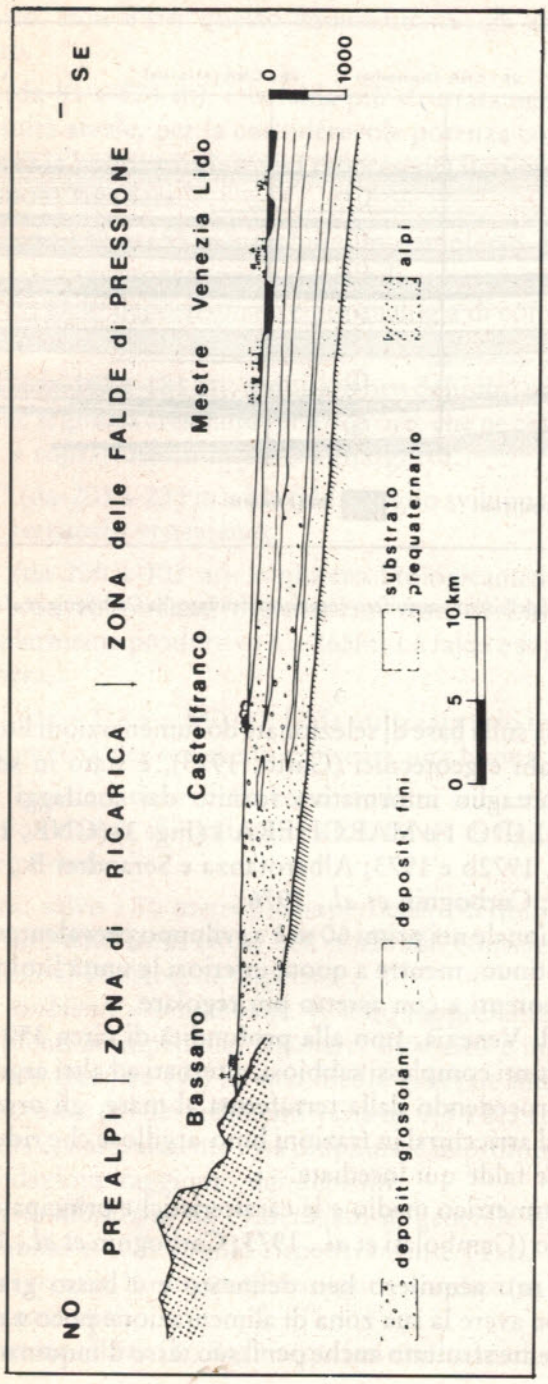

FIG. 2 – Sezione schematica della pianura veneta: sono evidenziati il complesso indifferenziato (zona di ricarica delle falde) e il sistema differenziato (zona delle falde in pressione) (da Gambolati e Gatto, 1975).

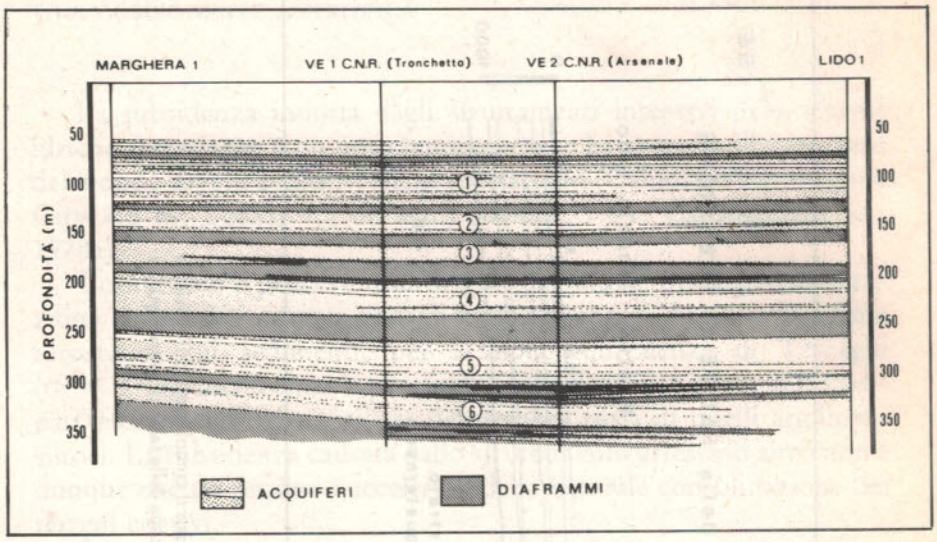

FIG. 3 – Sezione schematica del sistema acquifero veneziano sfruttato (da Carbognin *et al.*, 1976).

ricostruito dapprima sulla base di selezionate documentazioni litologiche di pozzi artesiani e geotecnici (Gatto, 1973), è stato in seguito perfezionato col dettaglio informativo fornito dai sondaggi VE 1 CNR, VE 2 CNR, LIDO 1 e MARGHERA 1 (Fig. 3) (CNR, 1971a; Ministero LL. PP., 1972b e 1973; Alberotanza e Serandrei B., 1974; Mozzi *et al.*, 1975; Carbognin *et al.*, 1976).

Lo stile deposizionale nei primi 60 m è a sviluppo prevalentemente lentiforme e discontinuo, mentre a quote inferiori le unità litologiche si presentano più potenti e con assetto più regolare.

Sulla verticale di Venezia, fino alla profondità di circa 350 m, si succedono sette distinti complessi sabbiosi, alternati ad altri argilloso-limosi e torbosi; procedendo dalla terraferma al mare, gli orizzonti sabbiosi tendono ad arricchirsi in frazioni limo-argillose che riducono la produttività delle falde qui insediate.

Lo sviluppo batimetrico medio e le caratteristiche principali delle unità acquifere sono (Gambolati *et al.*, 1973; Carbognin *et al.*, 1972):

A (da-55 a-74 m): acquifero ben delineato e a basso grado di risalienza, dovrebbe avere la sua zona di alimentazione poco a monte di Mestre. Scarsamente sfruttato anche per il suo tasso d'inquinamento

organico, non è per questo enumerato tra gli acquiferi del sistema emunto.

I° (da-81 a-124 m): è la falda più sfruttata nel passato; per la sua continuità areale, per la considerevole potenza complessiva e soprattutto per la buona produttività rappresenta il primo vero acquifero del sottosuolo lagunare.

II° (da-132 a-153 m): include un complesso di falde minori, che sono state raggruppate per la probabile appartenenza dei sedimenti ad un unico ciclo deposizionale e per analogia di comportamento piezometrico.

III° (da-163 a-181 m): acquifero ben definito; per la presenza di una frazione argillosa crescente verso il mare, che ne condiziona la permeabilità, è soprattutto utilizzato a Marghera.

IV° (da-203 a-235 m): è la falda meglio sviluppata e la più produttiva del territorio veneziano;

V° (da-206 a-302 m): acquifero litologicamente molto vario; un livello con abbondanti e grossolani resti di Lithothamni lo rende particolarmente produttivo a −265m. La falda è soprattutto sfruttata a Marghera.

VI° (da −318 a −340 m): falda utilizzata solo in terraferma dove la granulometria dei sedimenti consente una buona produttività.

Le caratteristiche della serie studiata sono riassunte nel profilo multiplo relativo al sondaggio VE 1 CNR di figura 4. In particolare sono riportati:

l'età: salvo i 10 metri più superficiali riferibili all'Olocene, ossia agli ultimi 6000 anni circa, nell'intervallo considerato i terreni sono ascrivibili al Pleistocene superiore;

gli *ambienti deposizionali*: vi sono rappresentati in modo alterno gli ambienti continentale, lagunare, litoraneo e marino (neritico);

il *peso specifico* (γs) ha una media generale intorno a 2,7 g/cm^3;

la *porosità* (n) dei sedimenti varia da 0,3 a 0,5 con un una media di $\bar{n}$ = 0,412; naturalmente essa diminuisce in profondità con il grado di consolidazione raggiunto dai depositi;

la *granulometria* ha evidenziato in generale il prevalere dei silts sulle sabbie e sulle argille rispettivamente (Tab. 1); l'assenza quasi totale di termini litologicamente «puri» condiziona i parametri idrologici e geotecnici.

la *permeabilità* (K) degli acquiferi risulta mediamente bassa e non

Tabella 1

PROFONDITÀ (metri)	LITOTIPI Frazione grossolana	Sabbia	Limo	Argilla
0 = 50	0.3	38.0	41.7	20.0
51 = 100	0.7	50.0	35.0	14.3
101 = 150	-	46.2	42.2	11.6
151 = 200	0.4	33.6	48.2	17.8
201 = 250	-	26.0	54.0	20.0
251 = 300	5.6	38.4	34.8	21.2
301 = 350	-	13.5	61.6	24.9
media	1.0	35.1	45.4	18.5

Valori granulometrici medi negli intervalli considerati (da Gambolati *et al.*, 1973).

molto differenziata rispetto a quella dei diaframmi, come mostra la tabella 2;

la *compressibilità* (C_b) dei diaframmi varia da 10^{-2}cm^2/Kg in superficie, a 10^{-3}cm^2/Kg dei sedimenti più profondi, evidenziando la progressiva consolidazione raggiunta dai depositi più antichi. Circa il grado isteretico dei sedimenti coesivi, il C_b è stato calcolato anche sulle curve edometriche in espansione; si dimostra così che non più del 20% della deformazione indotta è reversibile elasticamente e che quindi la

Tabella 2

PROFONDITÀ (metri)	ACQUIFERI (permeabilità orizzontale media)	DIAFRAMMI (permeabilità verticale media)
74 = 81		3×10^{-5} cm/sec
81 = 124	1×10^{-3} cm/sec	
124 = 132		7×10^{-8} cm/sec
132 = 153	1×10^{-3} cm/sec	
153 = 163		3×10^{-6} cm/sec
163 = 181	4×10^{-5} cm/sec	
181 = 203		5×10^{-7} cm/sec
203 = 235	6×10^{-4} cm/sec	
235 = 260		6×10^{-7} cm/sec
260 = 302	2×10^{-4} cm/sec	
302 = 318		6×10^{-6} cm/sec
318 = 340	10^{-6} cm/sec (°)	

Permeabilità medie calcolate in laboratorio con permeametro a carico variabile (da Carbognin *et al.*, 1976).

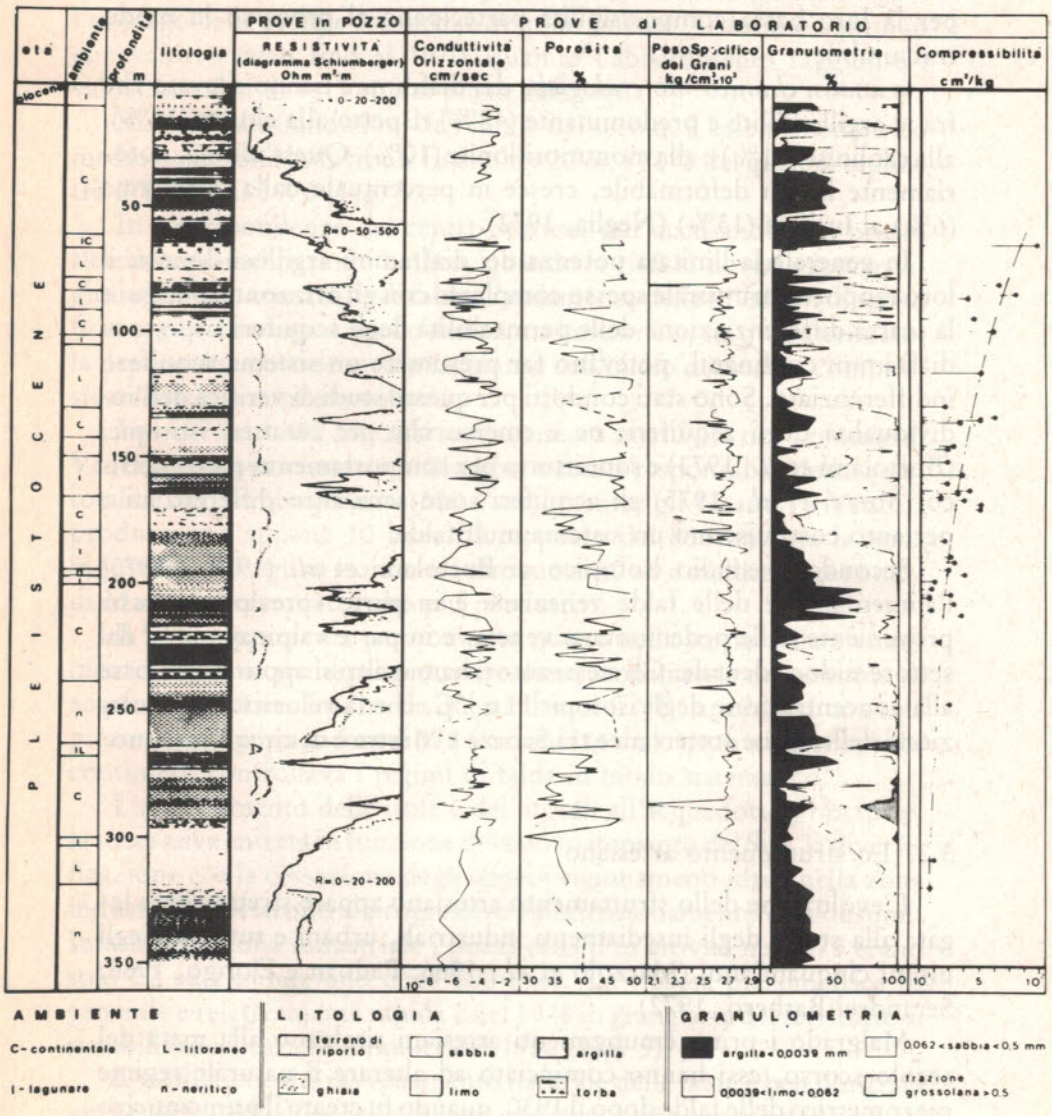

FIG. 4 – Profilo multiplo relativo all'intervallo delle falde sfruttate: sintesi delle principali analisi condotte sui campioni del pozzo VE 1 CNR (da Gambolati *et al.*, 1974).

deformazione del sistema è pressoché permanente. Viceversa le sabbie per la loro bassa compressibilità partecipano al processo in modo trascurabile;

le *analisi chimico-mineralogiche* dei diaframmi hanno rilevato che fra le argille l'illite è predominante (48%) rispetto alla clorite (31%), alla caolinite (11%) e alla montmorillonite (10%). Quest'ultima, notoriamente la più deformabile, cresce in percentuale dalla terraferma (6%) al litorale (13%) (Neglia, 1972).

In generale la limitata potenza dei diaframmi argilloso-limosi, il loro rapporto strutturale spesso complesso con gli orizzonti contigui e la scarsa differenziazione delle permeabilità degli acquiferi rispetto ai diaframmi confinanti, potevano far presumere un sistema acquifero indifferenziato. Sono stati condotti per questo studi di verifica dell'individualità degli acquiferi; ne è emerso che per caratteri isotopici (Bortolami *et al.*, 1973) e soprattutto per comportamento piezometrico (Mozzi *et al.*, 1975) gli acquiferi sono senz'altro differenziati e pertanto costituiscono un sistema multifalde.

Secondo lo studio isotopico di Bortolami *et al.* (1970 e 1973) l'alimentazione delle falde veneziane è in parte «prealpina», ossia proveniente dalla pedemontana veneta, e in parte «alpina», ossia dal settore sudoccidentale. Gli stessi autori hanno altresì appurato, in base alla concentrazione degli isotopi ^{3}H e ^{14}C, che la velocità di percolazione delle acque sotterranee tra Scorzè e Mestre è di circa 1 m/anno.

3.2. Lo sfruttamento artesiano

L'evoluzione dello sfruttamento artesiano appare strettamente legata alla storia degli insediamenti industriali, urbani e turistici degli ultimi cinquant'anni (Marzolo *et al.*, 1966; Padoan e Dorigo, 1966; Serandrei Barbero, 1972).

Malgrado i primi emungimenti artesiani risalgano alla metà del secolo scorso, essi hanno cominciato ad alterare il naturale regime piezometrico delle falde dopo il 1930, quando fu creato il primo nucleo industriale di Porto Marghera. Lo sfruttamento si incrementò nel tempo, ma fino al 1945 le perdite di carico furono limitate a pochi metri e interessavano le sole falde più superficiali.

Con il boom industriale del dopoguerra lo sfruttamento divenne intensivo, arrivò ad interessare anche il sesto acquifero e la depressurizzazione portò il livello statico delle falde sotto il piano campagna. In

questo periodo iniziò l'uso dei pozzi multifiltri a largo diametro e l'impiego delle pompe sommerse di sollevamento. Il declino continuò con valori elevati fino al 1970, quando l'abbattimento raggiunse i valori massimi di −19 m dal piano campagna.

Rispetto alle condizioni dell'inizio del secolo, il calo piezometrico medio nella zona industriale fu di oltre 20 m, l'80% del quale si esplicò tra il 1950 e il 1970 (Fig. 5).

In corrispondenza del centro storico, pur accusando una brusca flessione già nel periodo bellico, quando la città si dovette approvvigionare in sito con acque di falda, l'andamento delle pressioni di strato fu in seguito analogo a quello della zona industriale, sia pure attenuato; la depressurizzazione media raggiunse dall'inizio del secolo complessivamente oltre un'atmosfera.

Nel 1970 dei 402 pozzi artesiani ancora in attività nel Comune di Venezia, i 56 in esercizio a Marghera erano responsabili della quasi totalità degli emungimenti (500 l/sec), mentre gli 11 attivi a Venezia producevano appena 10 l/sec. Il rapporto dei consumi tra la zona industriale e il centro storico era dunque di 50 a 1 e mediamente i pozzi di Marghera erano 10 volte più produttivi.

Il 1970 rappresenta un momento nuovo nella storia dello sfruttamento artesiano per il progressivo ridimensionamento dei consumi di acque sotterranee. Inoltre da questa data il CNR, attrezzata una rete piezometrica permanente di 112 stazioni (24 delle quali a registrazione continua), controllava i regimi di falda in modo sistematico.

L'allacciamento delle isole e dei litorali all'acquedotto principale, la successiva entrata in funzione del nuovo impianto del Sile, la diversificazione e/o la cessazione degli approvvigionamenti idrici nella zona industriale portarono al progressivo ridimensionamento dei consumi. Infatti nella zona industriale i pozzi censiti in attività nel 1975 erano solo 22 ed emungevano circa 200 l/sec. La ripresa piezometrica fu generale e relativamente rapida e nel 1978 in gran parte del territorio si ristabilivano i carichi idraulici del 1950 (Fig. 5).

L'evoluzione del ravvenamento naturale delle falde è ben illustrata anche dalla sequenza delle mappe superfici piezometriche (*) del IV acquifero (Fig. 6). Il cono di depressione, presente ancora nel 1973 con

(*) È possibile oggi procedere alla mappatura automatica delle isopieze con un metodo obiettivo che consente una rapida visualizzazione del regime delle falde e rappresenta quindi un efficace strumento di controllo (Gambolati e Volpi, 1979; Volpi et al., 1979; Carbognin e Volpi, 1981).

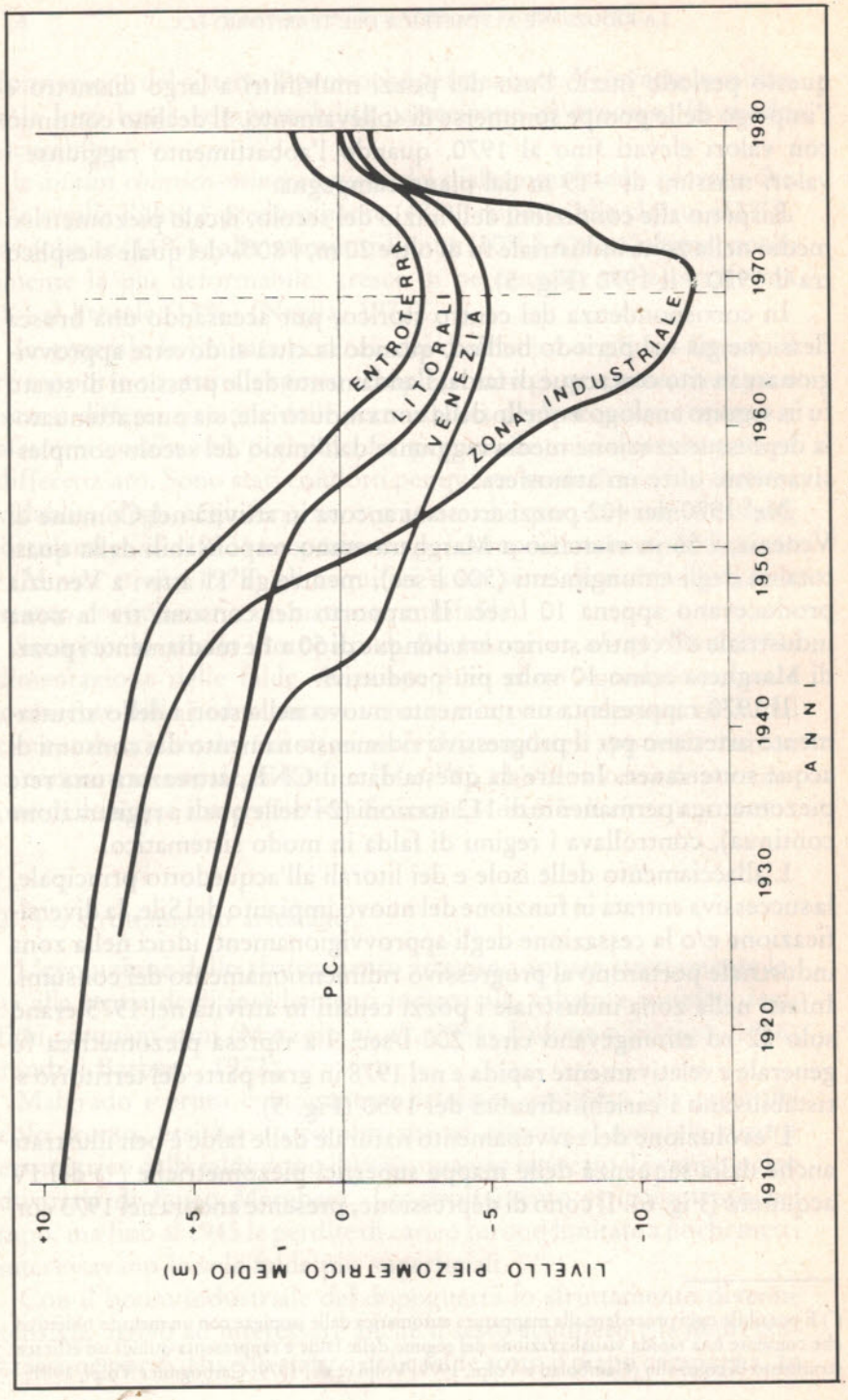

FIG. 5 – Evoluzione della piezometria media nei diversi settori del territorio veneziano.

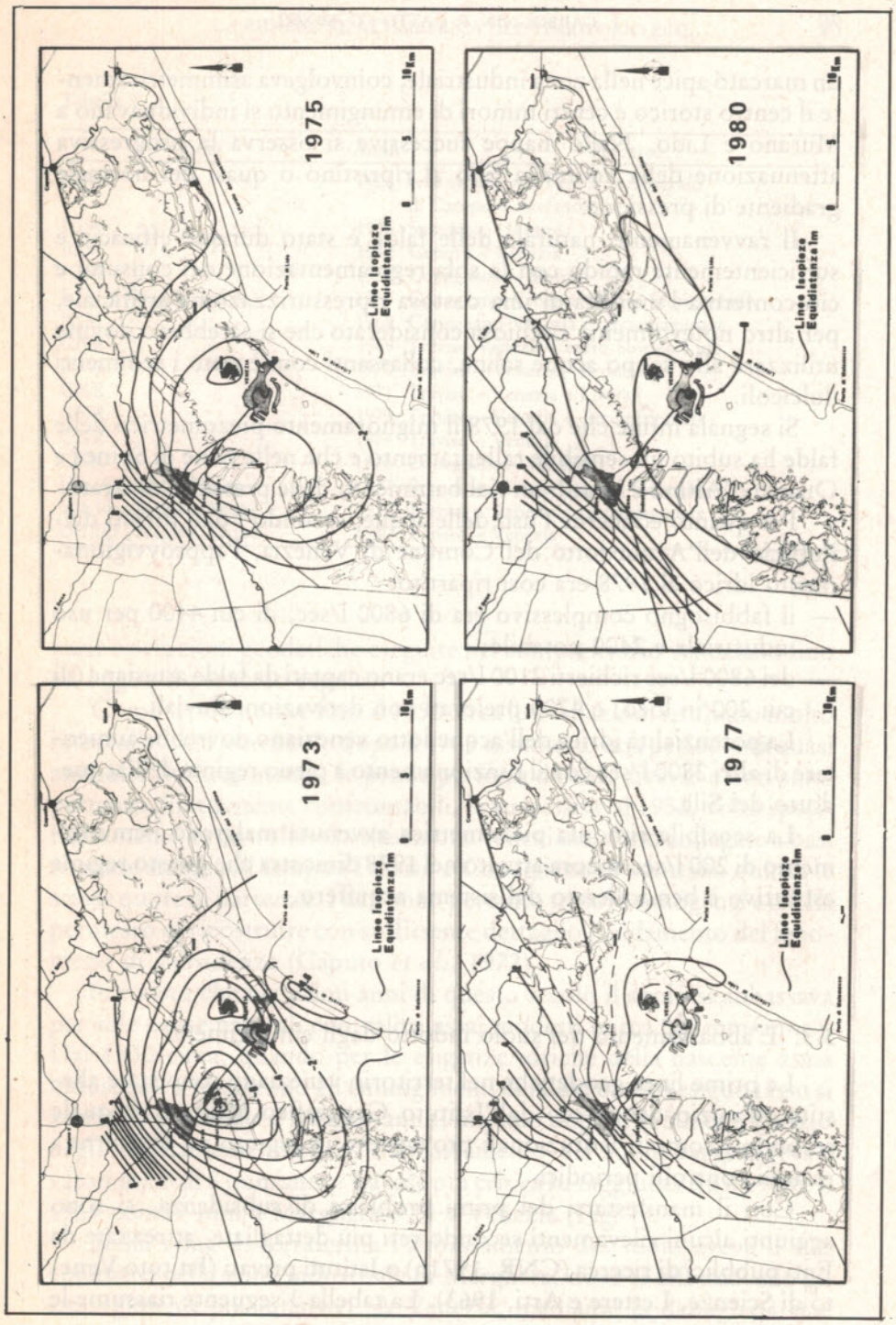

FIG. 6 – Evoluzione della superficie piezometrica del IV acquifero.

un marcato apice nella zona industriale, coinvolgeva asimmetricamente il centro storico e centri minori di emungimento si individuavano a Murano e Lido. Nelle mappe successive si osserva la progressiva attenuazione della anomalia fino al ripristino o quasi del normale gradiente di pressione.

Il ravvenamento naturale delle falde è stato dunque efficacie e sufficientemente rapido con la sola regolamentazione dei consumi e ciò conferma l'inutilità di una costosa ripressurizzazione artificiale, per altro notevolmente rischiosa considerato che si sarebbero dovute utilizzare allo scopo acque saline, collassanti com'è noto i sedimenti dulcicoli.

Si segnala infine che dal 1978 il miglioramento piezometrico delle falde ha subito un sensibile rallentamento e che nelle zone di Spinea e Quarto d'Altino è in atto un riabbattimento delle pressioni di strato.

Per quanto concerne l'uso delle acque, secondo i dati forniti dall'ufficio dell'Acquedotto del Comune di Venezia, l'approvvigionamento idrico al 1978 era così ripartito:

— il fabbisogno complessivo era di 6800 l/sec, di cui 4400 per uso industriale e 2400 potabile;
— dei 6800 l/sec richiesti 2100 l/sec erano captati da falde artesiane (di cui 200 in loco) e 4700 prelevati con derivazioni fluviali.

La potenzialità idrica dell'acquedotto veneziano dovrebbe aumentare di altri 2800 l/sec con il funzionamento a pieno regime dell'acquedotto del Sile.

La sensibile rimonta piezometrica avvenuta malgrado l'emungimento di 200 l/sec ancora attuato nel 1978 dimostra che questo regime estrattivo è ben tollerato dal sistema acquifero.

3.3. L'abbassamento del suolo indotto dagli emungimenti

Le prime linee geodetiche nel territorio veneziano sono state allestite all'inizio del secolo dall'Istituto Geografico Militare, il quale secondo i compiti istituzionali provvedeva in seguito ad eseguirne i relativi controlli periodici.

Con il manifestarsi dei primi problemi di subsidenza, si sono aggiunti alcuni rilevamenti secondo reti più dettagliate, attrezzate da Enti pubblici di ricerca (CNR, 1971b) o Istituti privati (Istituto Veneto di Scienze, Lettere e Arti, 1963). La tabella 3 seguente riassume le

Tabella 3

Ente	Anno	Percorso
IGM	1908	rete urbana con base al mareografo di Campo S. Stefano
IGM	1925	Susegana – Mestre
IGM	1942	Genova – Venezia
IGM	1952	Conegliano – Mestre
Ist.Ven.SS.,LL. e AA.	1961	Conegliano-Venezia-Centro Storico-Lido
IGM	1968	Conegliano-Venezia e circumlagunare
CNR	1969	Treviso-Venezia-Centro Storico-Lido
IGM	1970	Treviso – Venezia – Brondolo
CNR	1971	Treviso – Venezia e Litorali
CNR	1973	Treviso – Venezia e circumlagunare
CNR	1974	Treviso – Venezia
CNR	1975	Conegliano – Venezia
Dir. Generale Catasto	1977	Brondolo-Mestre-Venezia-Conegliano
Uff.Idr.-Magistr.Acque	1979	Treviso – Venezia e circumlagunare
Uff.Idr.-Magistr.Acque	1980	Treviso – Venezia

varie operazioni geodetiche eseguite nel comprensorio veneziano fino ad oggi e il percorso seguito.

Come si può notare fino al 1950 circa le livellazioni risultano molto intervallate tra loro e solo dopo il 1968 assumono una periodicità quasi annuale. Inoltre, mentre le prime partono da basi diverse e non sono pertanto direttamente confrontabili, le successive al 1952, volte specificatamente a controllare la situazione veneziana, sono collegate a basi ritenute stabili nel tempo (Treviso e Conegliano) e adottano quindi le stesse quote di partenza. I dati sono pertanto tra loro omogenei e ciò ha permesso di ricostruire con sufficiente dettaglio l'andamento del fenomeno di subsidenza (Caputo *et al.*, 1972).

Si è visto che nei primi anni di questo secolo il suolo si abbassava per sole cause naturali con valori assai modesti (circa 0,4 mm/anno). Dal 1930 circa, quando per le esigenze idriche della nascente zona industriale s'iniziarono gli emungimenti di falda, questo esiguo tasso si accentuò passando a 1,8 mm/anno; ma solo dopo il 1950, con l'inizio degli sfruttamenti intensivi l'abbassamento del suolo raggiungeva i valori medi di 8 mm/anno. La fase più critica fu raggiunta tra il 1968 e il 1969 con 17 mm a Marghera e 14 a Venezia (Fig. 7).

Nella zona di terraferma l'abbassamento del suolo aveva il suo epicentro nella zona industriale di Marghera, dove si effettuavano gli emungimenti più intensivi. A Venezia, mediante la dettagliata rete

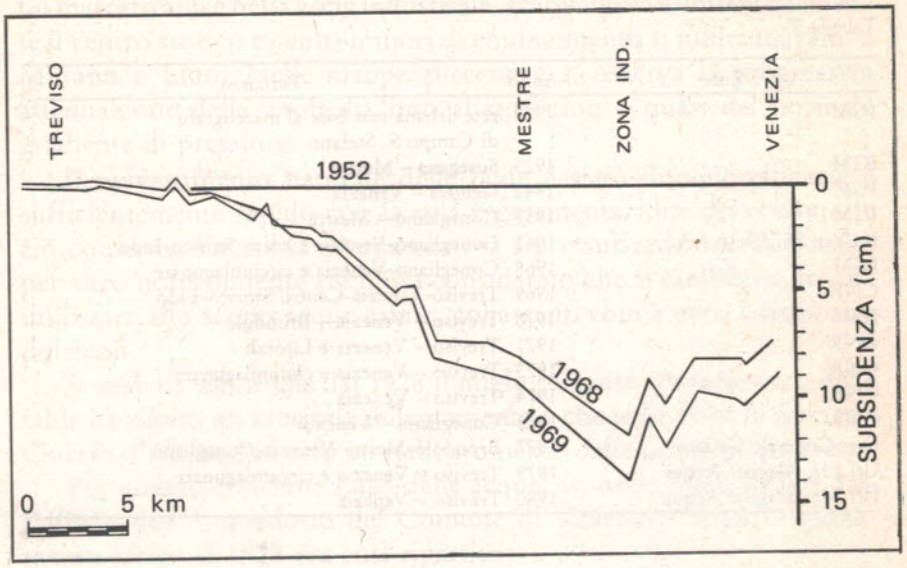

FIG. 7 – L'abbassamento del suolo nella fase critica; grafico comparativo delle livellazioni 1968 e 1969 con il 1952, assunto come base (da Caputo *et al.*, 1972).

geodetica, si evidenziava un andamento differenziato del fenomeno (Caputo *et al.*, 1972). Al Lido infine, soprattutto nel tratto centrale, l'abbassamento raggiungeva i valori più elevati dell'intero bacino lagunare con medie di 1 cm/anno tra il 1961 e il 1969 (Fig. 8).

Alla fine del 1970 il suolo risultava mediamente abbassato rispetto al 1952 di 14 cm a Marghera e di quasi 12 a Venezia, valore quest'ultimo non molto elevato che suscitava però notevoli preoccupazioni per la già limitata elevazione della città sul livello del mare.

Con la ripressurizzazione delle falde iniziata nel 1970, l'abbassamento del suolo subì dapprima un rallentamento per poi arrestarsi, come dimostra la livellazione del 1973 (Folloni *et al.*, 1974). Le successive misure del 1975 accertarono la netta inversione di tendenza e un rebound che nel centro storico è stato di oltre 2 cm (Carbognin *et al.*, 1976).

Una conferma di questa evoluzione del fenomeno si ottiene anche confrontando le differenze dei livelli marini medi di Venezia rispetto a Trieste, Rovigno e Buccari (Fig. 9) (dati mareografici dell'Hidrografski Institut Jugoslavenske Ratne Mornarice, 1960 e seguenti; comunicazione di A. Tomasin). Si osserva che mentre fino al 1970 le differenze

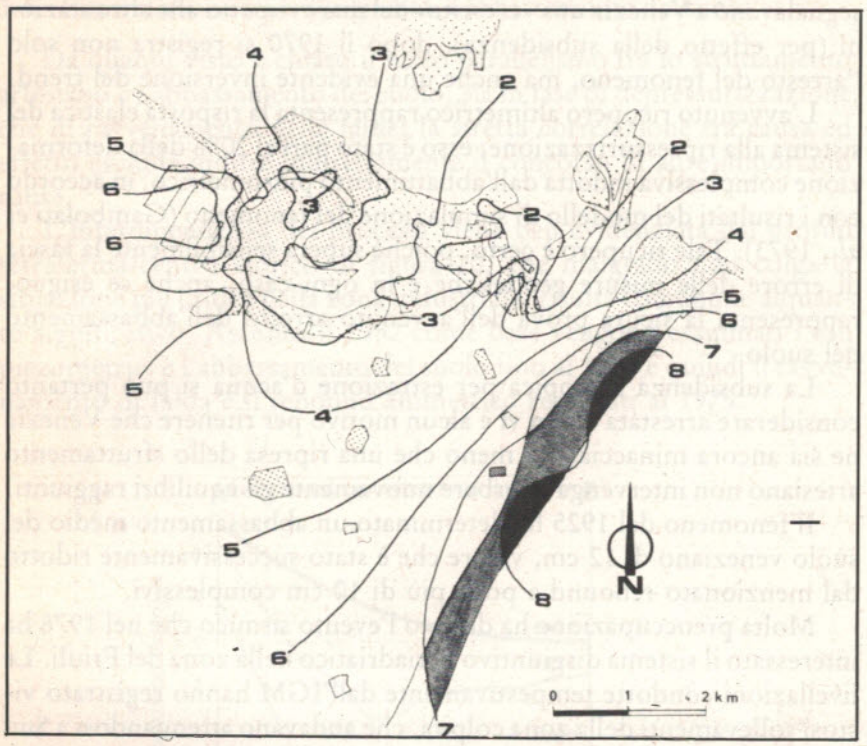

FIG. 8 – L'abbassamento del suolo di Venezia e Lido tra il 1961 e il 1969: equidistanza delle isolinee 1 cm (da Caputo *et al.*, 1972).

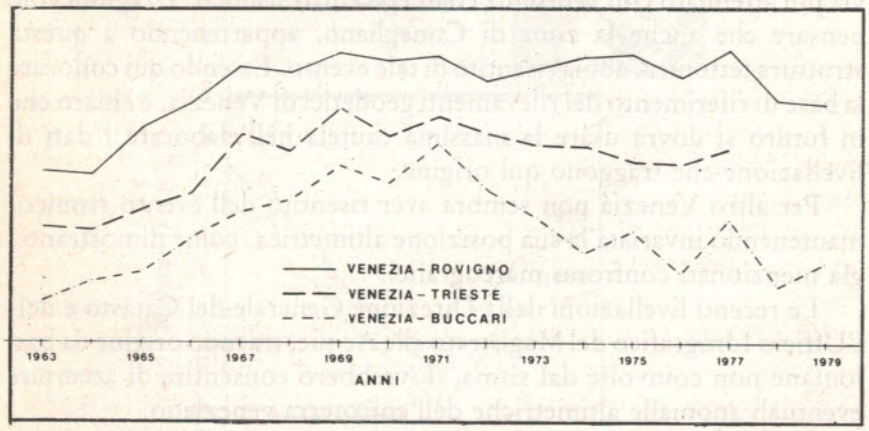

FIG. 9 – Evoluzione delle differenze dei livelli marini medi annui di Venezia rispetto a Trieste, Rovigno e Buccari.

segnalavano a Venezia una «crescita» del mare rispetto alle altre stazioni (per effetto della subsidenza), dopo il 1970 si registra non solo l'arresto del fenomeno, ma anche una evidente inversione del trend.

L'avvenuto ricupero altimetrico rappresenta la risposta elastica del sistema alla ripressurizzazione; esso è stato pari al 20% della deformazione complessiva indotta dall'abbattimento piezometrico, in accordo con i risultati del modello di simulazione del fenomeno (Gambolati *et al.*, 1973). Tale ricupero è certo, poiché supera sensibilmente la fascia di errore delle misure geodetiche e in ogni caso, anche se esiguo, rappresenta la sicura prova dell'avvenuto arresto dell'abbassamento del suolo.

La subsidenza antropica per estrazione d'acqua si può pertanto considerare arrestata e non vi è alcun motivo per ritenere che Venezia ne sia ancora minacciata, a meno che una ripresa dello sfruttamento artesiano non intervenga a turbare nuovamente gli equilibri raggiunti.

Il fenomeno dal 1925 ha determinato un abbassamento medio del suolo veneziano di 12 cm, valore che è stato successivamente ridotto dal menzionato rebound a poco più di 10 cm complessivi.

Molta preoccupazione ha destato l'evento sismico che nel 1976 ha interessato il sistema disgiuntivo periadriatico nella zona del Friuli. Le livellazioni condotte tempestivamente dall'IGM hanno registrato vistosi sollevamenti della zona colpita, che andavano attenuandosi a Sud verso la pianura veneta (Talamo *et al.*, 1978).

Tale sollevamento ha certamente interessato l'intera struttura prealpina veneta, tettonicamente legata all'area dislocata, in modo via via più attenuato con la distanza dall'epicentro sismico. È ragionevole pensare che anche la zona di Conegliano, appartenendo a questa struttura tettonica, abbia risentito di tale evento. Essendo qui collocata la base di riferimento dei rilevamenti geodetici di Venezia, è chiaro che in futuro si dovrà usare la massima cautela nell'elaborare i dati di livellazione che traggono qui origine.

Per altro Venezia non sembra aver risentito dell'evento sismico, mantenendo invariata la sua posizione altimetrica, come dimostrano i già menzionati confronti mareografici.

Le recenti livellazioni della Direzione Generale del Catasto e dell'Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque, traendo origine da basi lontane non coinvolte dal sisma, dovrebbero consentire di accertare eventuali anomalie altimetriche dell'entroterra veneziano.

3.4. Interrelazione tra emungimenti e abbassamento del suolo

Da quanto visto è chiaro il netto parallelismo tra lo sfruttamento artesiano e l'abbassamento del suolo, sia in fase di depressurizzazione che di ravvenamento delle falde; la stretta correlazione tra causa ed effetto esclude inoltre indirettamente il concorso di altre importanti cause.

L'interdipendenza dei processi viene ben evidenziata dal profilo terraferma-centro storico di figura 10, che malgrado non colga la situazione più critica della zona industriale, risulta comunque alquanto significativo. Assunto il 1952 come base vengono esaminati i cali piezometrici e l'abbassamento del suolo fino al 1969 e quindi il ravvenamento di falda e il rebound altimetrico registrati al 1975.

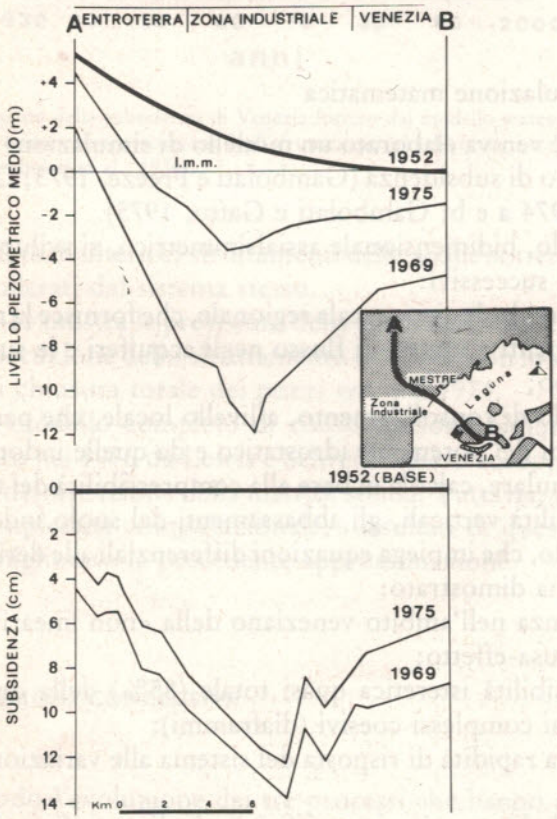

FIG. 10 – Parallelismo dei processi: confronto tra piezometria e altimetria lungo un profilo dalla terraferma verso Venezia (da Carbognin *et al.*, 1976).

Si può rilevare inoltre che mentre a Marghera una sensibile ripressurizzazione delle falde determina un ricupero altimetrico contenuto, a Venezia un minore ravvenamento da luogo ad un rebound più consistente. Questa differenza di comportamento è dovuta all'incremento verso il mare, dei terreni più compressibili. L'analisi dei rapporti $\eta/\Delta h$ (subsidenza/variazioni piezometriche) fornisce infatti per Marghera e Venezia valori di 1/100 e 1/50 rispettivamente, ad indicare che il sottosuolo del centro storico risulta due volte più deformabile di quello di Marghera (Carbognin *et al.*, 1976).

L'interdipendenza fra variazioni piezometriche e altimetriche è stata verificata anche statisticamente. Il coefficiente di correlazione, r, ha fornito un valore che con il 95% di probabilità è compreso tra 0,70 e 0,92, confermando così l'alto grado di correlazione lineare esistente tra le due variabili (Carbognin *et al.*, 1978b).

3.5. La simulazione matematica

Nel 1972 veniva elaborato un modello di simulazione matematica del fenomeno di subsidenza (Gambolati e Freeze, 1973; Gambolati *et al.*, 1973; 1974 a e b; Gambolati e Gatto, 1975).

Il modello, bidimensionale assialsimmetrico, si sviluppa a cascata in due steps successivi:

— il modello idrologico, a scala regionale, che fornisce la relazione tra emungimenti e campo di flusso negli acquiferi e le sue variazioni nel tempo;
— il modello di consolidamento, a livello locale, che partendo dalle variazioni del potenziale idrostatico e da quelle indotte di sforzo intergranulare, calcola in base alla compressibilità dei terreni e alle permeabilità verticali, gli abbassamenti del suolo indotti.

Il modello, che impiega equazioni differenziali alle derivate parziali seconde, ha dimostrato:

— l'irrilevanza nell'ambito veneziano della «non linearità» del rapporto causa-effetto;
— l'irreversibilità isteretica quasi totale (85%) della deformazione subita dai complessi coesivi (diaframmi);
— la relativa rapidità di risposta del sistema alle variazioni piezometriche;
— l'inutilità di una ricarica artificiale degli acquiferi e per contro l'efficacia di una parziale o totale chiusura dei pozzi artesiani;

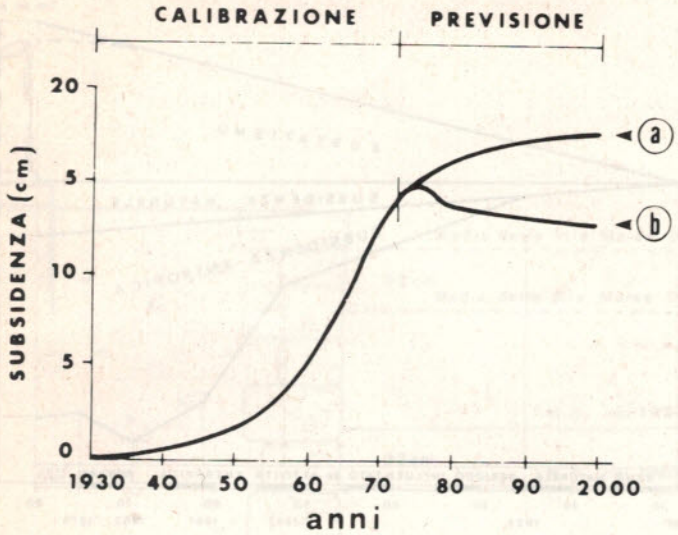

FIG. 11 – Andamento della subsidenza di Venezia fornito dal modello matematico nelle due ipotesi estreme di prosecuzione degli sfruttamenti (a) e di chiusura totale dei pozzi (b) (da Gambolati *et al.*, 1974).

— la possibilità di ulteriori sfruttamenti delle acque sotterranee entro i limiti tollerati dal sistema stesso.

La figura 11 mostra le previsioni della subsidenza nelle due ipotesi limite di prosecuzione dello sfruttamento artesiano con lo stesso ritmo del 1970 e di chiusura totale dei pozzi entro il 1974.

Un altro modello completo di consolidazione bidimensionale è stato elaborato nel 1976 da Lewis e Schrefler. Esso accoppia il campo di flusso alla deformazione della matrice solida. Tuttavia, malgrado la maggiore complessità computazionale; i risultati di questo modello non hanno migliorato la precedente approssimazione.

4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Conoscendo l'evoluzione dei tre processi che hanno prodotto la riduzione altimetrica del territorio veneziano, si è in grado ora di formulare un bilancio globale del fenomeno dall'inizio del secolo.

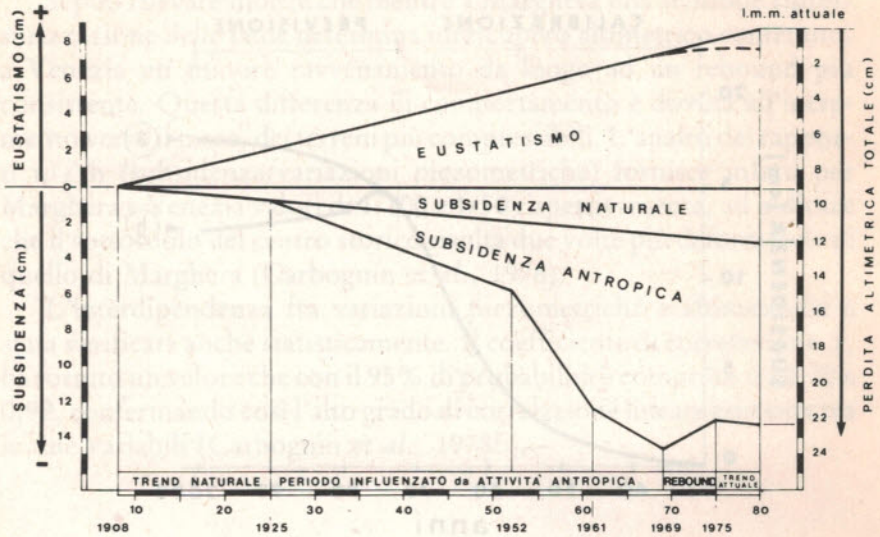

FIG. 12 – Bilancio globale dei fenomeni che hanno concorso a ridurre l'altimetria veneziana (da Gatto e Carbognin, 1981).

In figura 12 è riportato il grafico evolutivo delle tre componenti per il periodo 1908-1980; vengono così incluse le fasi precedente e successiva allo sfruttamento artesiano critico (Gatto e Carbognin, 1981).

Rispetto allo zero mareografico del 1908, i singoli processi avrebbero contribuito alla riduzione del franco altimetrico oggi lamentata nel modo seguente:

— l'*eustatismo*, assunto con trend lineare, con + 9,1 cm;
— la *subsidenza naturale*, assunta pure con trend lineare estrapolato oltre il 1930, con − 2,88 cm;
— infine la *subsidenza per estrazione d'acqua dal sottosuolo*, dopo il rebound di 2 cm, con − 10,4 cm.

L'eustatismo, la subsidenza naturale e quella antropica congiuntamente, hanno quindi «elevato» il livello marino di oltre 22 cm, concorrendovi rispettivamente per il 41, 13 e 46 per cento.

Questi 22 centimetri rappresentano una grave penalizzazione per la città di Venezia, che mediamente si eleva di 120 cm sul medio mare (Piazza S. Marco si trova a quote nettamente inferiori). Considerato che la media delle alte maree ordinarie raggiunge i 55 centimetri sullo

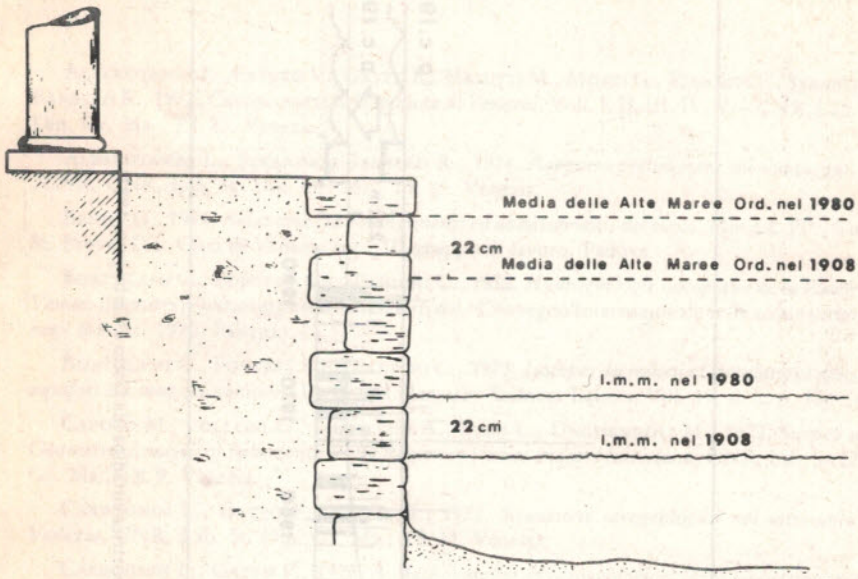

FIG. 13 – Riduzione del franco altimetrico di sicurezza rispetto al livello del mare in Piazza S. Marco (da Gatto e Carbognin, 1981).

zero mareografico, il deficit altimetrico misurato rappresenta il 34% del franco di sicurezza della città sugli alti livelli mareali ordinari (Fig. 13).

È facile dimostrare a questo punto che la perdita altimetrica del suolo cittadino è la causa principale dell'osservato incremento delle inondazioni. La figura 14 evidenzia infatti come oggi siano divenute «acque alte» quei livelli che ottant'anni orsono non avrebbero sommerso la città.

La penalizzazione della città è praticamente irreversibile. Infatti solo l'eustatismo può essere soggetto a variazioni cicliche, dovute a modificazioni climatiche terrestri, che in ogni caso si esplicano su periodi molto lunghi e, da quanto visto, nell'ordine del decimetro per secolo.

Si tenga inoltre conto che la subsidenza naturale permane e, anche se trascurabile a breve termine, assume importanza su scala secolare in considerazione dell'ormai precaria condizione altimetrica cittadina.

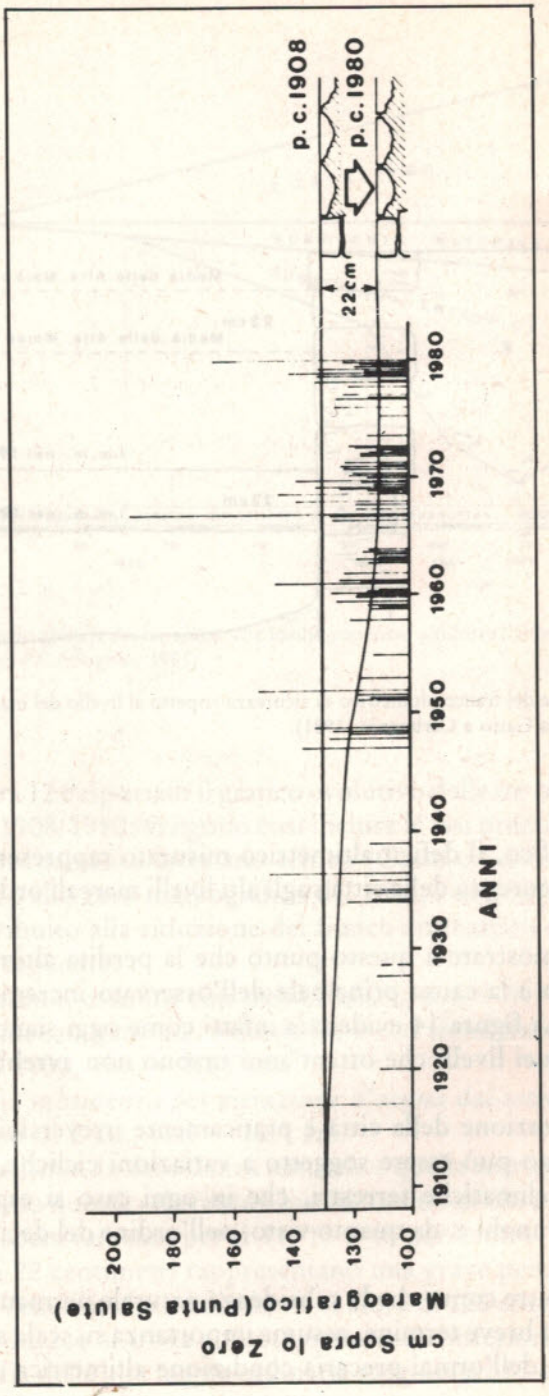

FIG. 14 – Relazione tra acque alte e riduzione altimetrica cittadina (da Gatto e Carbognin, 1981).

BIBLIOGRAFIA

ALBEROTANZA L., FAVERO V., GATTO P., MASUTTI M., MOZZI G., PIANETTI F., SERANDREI BARBERO R., 1972, *Catasto pozzi del Comune di Venezia*, Voll. I, II, III, IV, V. – CNR, Lab. St. Din. Gr. Ma., TR 23. Venezia.

ALBEROTANZA L., SERANDREI BARBERO R., 1974, *Rapporto preliminare sul sondaggio VE 2CNR*, CNR, Lab. St. Din. Gr. Ma., TR 87. Venezia.

BENINI G., 1971, *Relazione fra emungimenti ed abbassamenti del suolo*, Min.LL.PP., Com. St. Provv. Dif. Città di Venezia ecc., III gruppo di lavoro, Padova.

BORTOLAMI G., FONTES J.CH., PANICHI C., 1970, *Hydrogéologie isotopique de la Plaine de Venise. Premiers résultats et perspectives*, Atti del «Convegno Internazionale sulle acque sotterranee» 6-8 dic. 1970, Palermo.

BORTOLAMI G., FONTES J.CH., PANICHI C., 1973, *Isotopes du milieu et circulations dans les aquifers du sous-sol vénitien*, Earth and Planetary Sciences Letters, Vol. 19, n. 2, p. 154-167.

CAPUTO M., FOLLONI G., GUBELLINI A., PIERI L., UNGHENDOLI M., 1972, *Survey and Geometric Analysis of Subsidence in the Region of Venice and its Hinterland*, CNR, Lab. St. Din. Gr. Ma., TR 9, Venezia.

CARBOGNIN L., GATTO P., MOZZI G., 1972, *Situazione idrogeologica nel sottosuolo di Venezia*, CNR, Lab. St. Din. Gr. Ma., TR 32, Venezia.

CARBOGNIN L., GATTO P., 1976, *A Methology for Hydrogeological Data Collection in the Venetian Plain*, IBM International Seminar on Regional Groundwater Hydrology and Modeling, p. 267-291, Venezia.

CARBOGNIN L., GATTO P., MOZZI G., GAMBOLATI G., RICCERI G., 1976, *New Trend in the Subsidence of Venice*, Pubblication n. 121 of the Intern. Ass. of Hydrol. Sc., p. 65-81.

CARBOGNIN L., GATTO P., MOZZI G., RICCERI G., 1978a, *Subsidenza e ambiente*, Atti del Convegno: I problemi della subsidenza nella politica del territorio e della difesa del suolo, Nov. 9-10, 1978, p. 3-13, Fasc. 4, Pisa.

CARBOGNIN L., GATTO P., MOZZI G., GAMBOLATI G., RICCERI G., 1978b, *Lo sfruttamento delle risorse idriche sotterranee e l'abbassamento del suolo a Venezia*, Atti del Convegno: I problemi della subsidenza nella politica del territorio e della difesa del suolo, Nov. 9-10, 1978, p. 39-50, Fasc. 4, Pisa.

CARBOGNIN L., VOLPI G., 1980, *Ricostruzione automatica di grandezze ambientali nel comprensorio Veneziano*, Geol. Tecnica, Anno XXVII, N. 4, p. 5-16.

CNR, 1971a, *Relazioni sul Pozzo VE 1 CNR*, CNR Lab. St. Din. Gr. Ma., TR da 14 a 21, Venezia.

CNR, 1971b, *Livellazione geometrica di precisione della città di Venezia – 1970*, CNR, Lab. St. Din. Gr. Ma., TR 11, Venezia.

COMITATO GLACIOLOGICO ITALIANO, 1960..., *Bollettini del CGI*.

FOLLONI G., DE SANCTIS R.G., GUBELLINI A., 1974, *Evoluzione recente del fenomeno di subsidenza della zona di Venezia e del suo entroterra*, Ist. di Topografia e geodesia dell'Università, Bologna.

FONTES J.CH., BORTOLAMI G., 1972, *Subsidence of the Venice area during the past 40.000 yrs*, Nature, Vol. 244, n. 5415, p. 339-341.

GAMBOLATI G., FREEZE R.A., 1973, *Mathematical Simulation of the Subsidence of Venice – 1 Theory*, Water Resources Research, vol. 9, n. 3.

GAMBOLATI G., GATTO P., FREEZE R.A., 1973, *Mathematical Simulation of the subsidence of Venice*, IBM Research, RC 4483, New York.

GAMBOLATI G., GATTO P., FREEZE R.A., 1974a, *Mathematical Simulation of the Subsidence of Venice – 2 Results*, Water Resources Research, vol. 10, n. 3, p. 563-577.

GAMBOLATI G., GATTO P., FREEZE R.A., 1974b, *Predictive Simulation of the Subsidence of Venice*, Science, vol. 183.

GAMBOLATI G., GATTO P., 1975, *Simulazione della subsidenza di Venezia*, in «Venezia e i problemi dell'ambiente», Ed. Il Mulino Bologna.

GAMBOLATI G., VOLPI G., 1979, *Groundwater mapping in Venice by Stochastic Interpolators – 1 Theory*, Water Resources Research, vol. 15, n. 2, p. 281-290.

GATTO P., 1973, *Ricostruzione litostratigrafica del sottosuolo nella zona di Venezia, sulla base di 120 serie stratigrafiche*, CNR, Lab. St. Din. Gr. Ma., TR 33, Venezia.

GATTO P., PREVIATELLO P., 1974, *Significato stratigrafico, comportamento meccanico e distribuzione nella laguna di Venezia di una argilla sovraconsolidata nota come caranto*, CNR, Lab. St. Din. Gr. Ma., TR 70, Venezia.

GATTO P., 1980, *Il sottosuolo del litorale veneziano*, CNR, Ist. St. Din. Gr. Ma., TR 108, Venezia.

GATTO P., CARBOGNIN L., 1981, *The Lagoon of Venice: Natural Environmental Trend and Man-induced Modification*, Hydrological Sciences Bull., 26, 4, p. 379-391.

HIDROGRAFSKI INSTITUT JUGOSLAVENSKE RATNE MORNARICE, 1963..., *Bollettini Mareografici Jugoslavi*, Split.

ISTITUTO VENETO DI SCIENZE LETTERE ED ARTI, 1963, *Livellazione geometrica di precisione della città di Venezia*, Com. Studio Provv. Conserv. della Laguna e della Città di Venezia. Ist. Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, vol. II, Venezia.

LEONARDI P., 1960, *Cause geologiche del graduale sprofondamento di Venezia e della sua laguna*, Atti del Convegno per la Conservazione e Difesa della Laguna e della Città di Venezia, Ist. Veneto di Scienze Lettere ed Arti, Venezia.

LEWIS R.W., SCHREFLER B.A., 1978, *A finite element analysis of surface subsidence*, In Evaluation and Prediction of Subsidence, ASCE, p. 400-416.

MARZOLO F., GHETTI A., DORIGO L., 1966, *Indagine preliminare sulle falde artesiane e sul loro sfruttamento attuale in 74 comuni delle province di Venezia, Treviso, Padova e Vicenza. Prima serie di rilievi*, Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti. Volume III: «Rapporti e Studi» della «Commissione di studio dei provvedimenti per la conservazione e difesa della laguna e della città di Venezia».

MINISTERO LAVORI PUBBLICI, 1972a, *Catasto dei pozzi artesiani*, Comitato per lo Studio dei Provvedimenti a Difesa della Città di Venezia e a Salvaguardia dei suoi Caratteri Ambientali e Monumentali. IV° Gruppo, VI° sottogruppo – Pubblicazione N. 1, Padova.

MINISTERO LAVORI PUBBLICI, 1972b, *Relazione finale dell'attività svolta in base alla convenzione n. 4455 e supplettiva n. 5012, «Studi per la determinazione delle stratigrafie e delle caratteristiche geotecniche dei terreni della laguna di Venezia» tra il Ministero dei LL.PP. Comitato Difesa Venezia e l'Università di Padova* – Centro Geotecnico Veneto-Comitato per lo Studio dei provvedimenti a difesa della città di Venezia ed a salvaguardia dei suoi caratteri ambientali e monumentali, Padova.

MINISTERO LAVORI PUBBLICI, 1973, *Pozzi Lido 1 e P. Marghera 1*, Comitato per lo Studio dei Provvedimenti a Difesa della Città di Venezia, III gruppo di lavoro; fascicolo con allegati.

MOSETTI F., 1969, *Le variazioni relative al livello marino nell'Adriatico dal 1896 al 1967 e il problema dello sprofondamento di Venezia*, Boll. di Geofisica Teorica ed Applicata, vol. XI, n. 43-44, sett-dic. 1969.

MOZZI G., BENINI G., CARBOGNIN L., GATTO P., MASUTTI M., 1975, *Situazione idrogeologica nel sottosuolo di Venezia – Evoluzione delle pressioni di strato negli acquiferi artesiani*, CNR, Lab. St. Din. Gr. Ma., TR 66, Venezia.

NEGLIA S., 1972, *Pozzi VE 1 e VE 1 bis CNR – Analisi geochimiche sulle carote argillose*, CNR, Lab. St. Din. Gr. Ma., TR 56, Venezia.

PADOAN G., DORIGO L., 1966, *Pozzi artesiani nella zona industriale di Porto Marghera – Prima serie di rilievi*, Ist. Veneto Scienze, Lettere ed Arti, vol. III: «Rapporti e Studi» della «Commissione di Studio dei Provvedimenti per la conservazione e difesa della laguna e della città di Venezia.

SERANDREI BARBERO R., 1972, *Indagine sullo sfruttamento artesiano nel Comune di Venezia 1846-1970*, CNR, Lab. St. Din. Gr. Ma., TR 31, Venezia.

TALAMO R., PAMPALONI M., GRASSI S., 1978, *Risultati delle misure di livellazione di alta precisione eseguite dall'Istituto Geografico Militare nelle zone del Friuli interessate dalle recenti attività sismiche*, Boll. di Geodesia e Sc. Aff., anno XXXVII, n. 1, p. 62-75, Firenze.

VOLPI G., GAMBOLATI G., CARBOGNIN L., GATTO P., MOZZI G., 1979, *Groundwater Contour Mapping in Venice by Stochastic Interpolators – 2. Results*, Water Resources Research, vol. 15, n. 2, p. 291-297.