

ANTONIO VEGGIANI

STRATIGRAFIE ARCHEOLOGICHE E ABBASSAMENTO DEL SUOLO NELLA PIANURA EMILIANO-ROMAGNOLA

Premessa

Per individuare i movimenti verticali del suolo e determinarne la loro entità nel tempo si fa uso attualmente delle misure di livellazione di precisione eseguite sui medesimi capisaldi in epoche diverse. Per quanto riguarda l'Italia settentrionale e in modo particolare la Pianura Padana è stata di recente eseguita una prima sintesi da parte di Salvatore Arca e di Giovanni Pietro Beretta sulla base del confronto fra i dati delle livellazioni eseguite nel periodo 1877-1903 inerenti la vecchia rete altimetrica nazionale fondamentale e quelli del periodo 1950-1956 relativi alla nuova rete (1). Queste livellazioni riguardano un arco di tempo durante il quale la natura dei movimenti verticali, sia positivi, sia negativi, del suolo si può ritenere prevalentemente di tipo geologico. Successivamente agli anni Cinquanta, agli effetti dei fattori geologici si sono aggiunti in varie zone quelli indotti dalle attività antropiche. Infatti in questi ultimi decenni si è molto discusso sui fenomeni di subsidenza, o abbassamento del suolo, verificatisi a seguito della estrazione di fluidi dal sottosuolo con depressurizzazione degli strati soggetti a sfruttamento. Particolarmente vistosi quelli legati all'estrazione delle acque dal sottosuolo padano da Cesenatico a Ravenna, Bologna, Modena e Venezia e quelli ancora dovuti all'abbassamento della falda freatica superficiale per drenaggi o emungimenti di acqua. Altre attività umane, quali la costruzione di vasti complessi industriali e l'estensione stessa delle città, con i loro carichi di edifici hanno contribuito a compattare i terreni alluvionali superficiali e in modo particolare le argille, i limi e le torbe determinando estesi affondamenti del suolo (2).

(1) S. ARCA e G.P. BERETTA, *Prima sintesi geodetico-geologica sui movimenti verticali del suolo nell'Italia Settentrionale (1897-1957)*, «Boll. Geodesia e Scienze Affini», 44 (1985), n. 2, pp. 125-156.

(2) M. BONDASAN, A. MINARELLI, P. RUSSO, *Studio dei movimenti verticali del suolo nel-*

L'analisi degli spostamenti verticali dei capisaldi delle linee di livellazione di alta precisione rilevati dall'Istituto Geografico Militare, omogeneizzati al periodo 1897-1957, ha in qualche modo consentito di mettere in rilievo la dinamica della superficie del suolo nei suoi lineamenti più generali. È stata anche ricercata una corrispondenza tra i movimenti verticali e le strutture geologiche del sottosuolo padano che in vari casi si è rilevata buona. Da tutto ciò risulta che nel corso di 60 anni si è avuto un valore massimo di sollevamento di 250 mm (4 mm/anno) nel Monferrato e un valore massimo di abbassamento del suolo di 450 mm (7 mm/anno) nella zona del delta del Po (Fig. 1). Le aree con movimenti del suolo negativi si trovano a Sud-Est dell'allineamento Genova-Piacenza-Brescia. L'asse della maggiore subsidenza si mantiene poco a Nord della via Emilia fino all'altezza di Bologna deviando poi verso Nord-Est per rincongiungersi al settore del delta del Po dove, come si è detto, si raggiungono le punte massime negative. Si è potuto constatare comunque che si ha una buona corrispondenza tra i dati geodetici e i dati geologici. Infatti gli alti strutturali, individuati nel sottosuolo della Pianura Padana centro-orientale dalle prospezioni geofisiche e dalle perforazioni profonde dell'AGIP per la ricerca di idrocarburi, coincidono nella maggior parte dei casi con zone di sollevamento relativo. Gli abbassamenti del suolo non sono quindi uniformi ma si presentano in maniera differenziata. Si affondano di più le zone dove nel sottosuolo si trovano i bassi strutturali (sinclinali) e meno quelle dove si sviluppano gli alti strutturali (anticlinali).

Una grande area in abbassamento, nella zona di pianura a Sud del Po, si estende con asse Nord.Ovest-Sud.Est, da Piacenza (0,5 mm/anno) a Bologna (3,5 mm/anno), indirizzandosi poi a Nord-Est verso la vasta depressione (7 mm/anno) del delta del Po (Fig. 2). L'area in abbassamento sopra indicata è delimitata a Sud dalle emergenze appenniniche e a Nord dal grande alto strutturale detto *Dorsale Ferrarese* in corrispondenza della quale gli abbassamenti vanno da 1,5 mm/anno a 3,5 mm/anno. Si può infine accennare ai valori di subsidenza annua, per i 60 anni considerati, di alcune città romagnole: Imola-Municipio 2,27 mm/anno, Faenza-Municipio 2,72 mm/anno, Cesena-Municipio 2,93 mm/anno, Forlimpopoli-Municipio 3,55 mm/anno, Ravenna-Porta Adriana 5,37 mm/anno.

I dati messi in evidenza dal lavoro di sintesi geodetico-geologico di Arca e Beretta mostrano un quadro molto dettagliato dei movimenti verticali. Sostanzialmente si conferma nelle linee generali quanto aveva ipotizzato il Salvioni (3),

la provincia di Ferrara, «Studi Idrologici sulla pianura padana», 1986, n. 2, pp. 1-31; L. CARBOGNIN, *La subsidenza indotta dall'uomo nel mondo. I casi più significativi*, «Boll. Assoc. Mineraria Subalpina», 23 (1986), n. 4, pp. 433-468; F. IPPOLITO, *La subsidenza di Ravenna*, «Le Scienze», 1976, n. 99, pp. 104-111; P. RUSSO, *Stato delle conoscenze sui movimenti verticali recenti del suolo nella Pianura Padana e nuovi orientamenti di ricerca*, «Stato delle conoscenze sulla geologia della Pianura Padana», Torino 1985, pp. 40-49; ID., *L'abbassamento del suolo nella zona di Modena (1950-1982)*, «Tecnica Sanitaria», 23 (1985), pp. 293-315.

(3) G. SALVIONI, *I movimenti del suolo nell'Italia centro-settentrionale. Dati preliminari dedotti dalla comparazione di livellazioni*, «Boll. Geodesia e Scienze Affini», 16 (1957), n. 3, pp. 325-366.

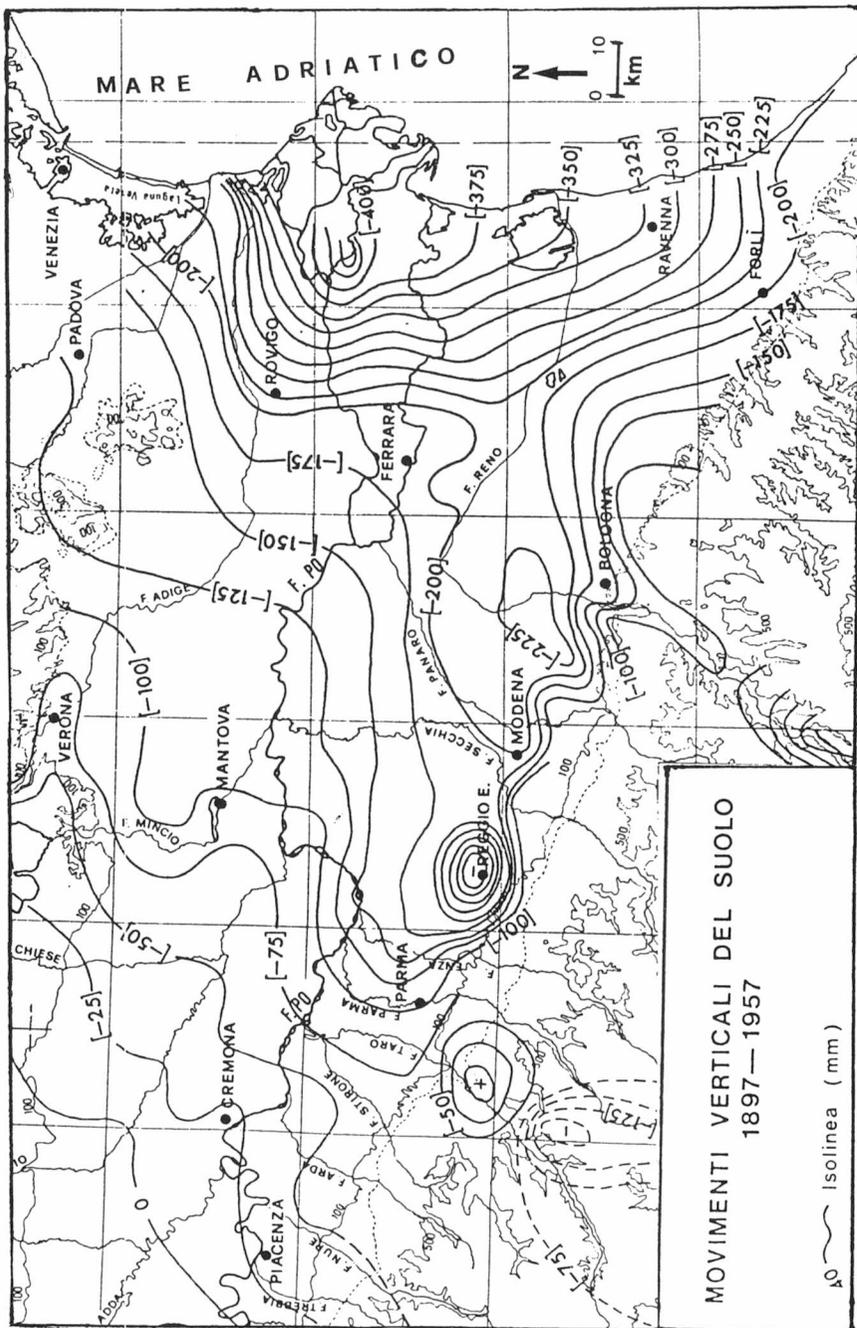


Fig. 1. Movimenti verticali del suolo, in millimetri, verificatisi nella pianura emiliano-romagnola nel periodo 1897-1957. Da ARCA e BERETTA, 1985.

sulla base di uno studio preliminare, comparando i valori della vecchia rete altimetrica fondamentale 1877-1903 con quelli della nuova rete 1950-1956 e cioè una rotazione dell'Italia centro-settentrionale intorno ad un ipotetico asse Genova-Brescia, innalzandosi verso Nord-Ovest ed abbassandosi verso Sud-Est. Anche nel lavoro del Salvioni veniva rimarcato il notevole abbassamento della zona del delta del Po (Fig. 3).

Da tutto ciò risulta che anche ad una scala di tempi molto brevi è possibile misurare il lento ma continuo affondamento, sia pure differenziale, della Pianura Padana indotto dai movimenti profondi della crosta terrestre e dal costipamento naturale dei sedimenti.

La Pianura Padana e l'alto Adriatico posti tra le catene montuose in continuo innalzamento, le Alpi a Nord e gli Appennini a Sud, sono esempi di un bacino subsidente. Le ricerche di idrocarburi hanno individuato notevoli accumuli di terreni prevalentemente marini del Pliocene e del Quaternario con spessori di migliaia di metri. Ciò comprova che nel Pliocene, alla fine dell'Era Terziaria, e nel corso dell'Era Quaternaria la subsidenza è stata particolarmente attiva. Occorre ribadire, però, che la subsidenza non è avvenuta in maniera uniforme ma in maniera differenziata. Le cause di tale disuniformità vanno ricercate nella conformazione strutturale del bacino subsidente e nella tipologia dei terreni quivi accumulatisi con vari meccanismi di sedimentazione. Prima della ricerca profonda a scopo minerario, si ipotizzava che tra le Alpi a Nord e gli Appennini a Sud esistesse un'unica conca prima occupata dal mare, poi da lagune ed infine da ambienti continentali. Si è poi scoperto che le strutture appenniniche continuano, anche se sepolte, nel sottosuolo padano fino al corso attuale del Po. Nei settori lombardo e veneto si trovano invece i rilievi sepolti legati al sistema alpino.

Sulla base quindi delle più recenti ricerche geologiche e geofisiche la Pianura Padana meridionale, compresa la pianura romagnola, è costituita da una successione di culminazioni sepolte (pieghe anticlinali) intervallate da depressioni (pieghe sinclinali) che hanno assunto il nome di pieghe ferraresi, pieghe romagnole e pieghe adriatiche a seconda del settore geografico in cui si sviluppano (4). Sono state così ricostruite carte strutturali del sottosuolo padano con l'andamento della base dei terreni pliocenici e con riferimento al livello del mare attuale. Si può così notare che la subsidenza maggiore si è avuta in corrispondenza delle sinclinali e quella minore in corrispondenza delle anticlinali. In generale grosse pile di materiali sabbiosi, intervallate da argille e marne, riempiono le sinclinali mentre sulle anticlinali predominano i sedimenti silteosi e argillosi. In queste strutture i sedimenti fluviali rappresentano l'ultimo stadio della storia geologica della Pianura Padana. Infatti questi sedimenti di tipo continentale più superficiali chiudono il ciclo di sedimentazione prevalentemente marino del Pliocene e del Quaternario. In definitiva, subsidenza, deposizione di sedimenti marini, lagunari ed infine alluvionali, hanno contribuito alla costruzione della Pianura Padana.

(4) A. CASTELLARIN, C. EVA, G. GIGLIA e G.B. VAI con un contributo di E. RABBI, G.A. PINI e G. CRESTANA, *Analisi strutturale del fronte appenninico padano*, «Giornale di Geologia», 47 (1985), n. 2, pp. 47-75.

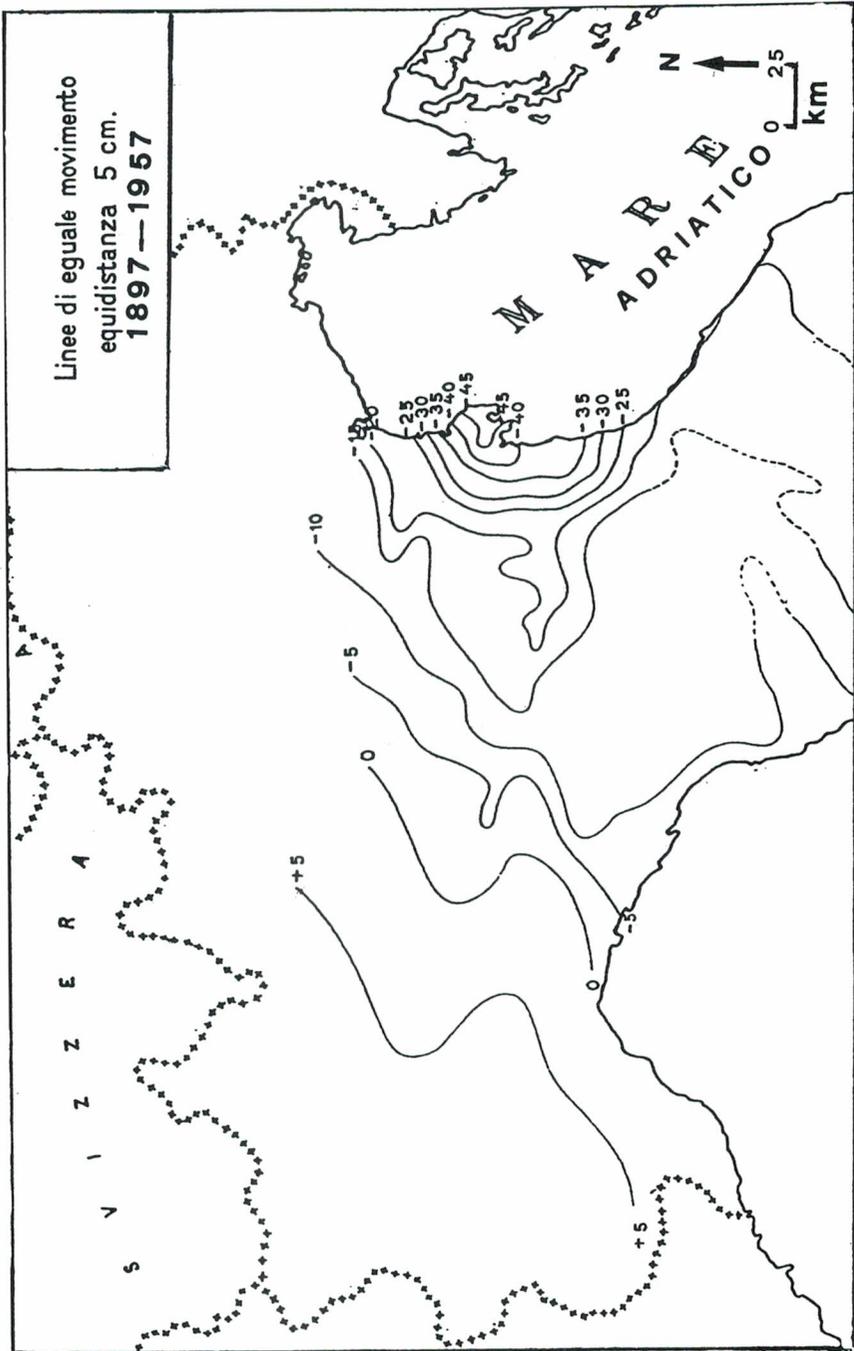


Fig. 3. Movimenti verticali del suolo, in centimetri, nell'Italia settentrionale nel periodo 1897-1957. Da SALVIONI, 1957.

Negli ultimi millenni è predominato l'alluvionamento dato dall'apporto di materiale solido disperso dai fiumi in occasione di rotte e straripamenti. Questi processi geomorfologici, nei trascorsi millenni, erano meno controllabili da parte dell'uomo. Sono soprattutto i processi di sedimentazione operata dai corsi d'acqua appenninici e dello stesso fiume Po, in occasione di rotture d'argine, che via via colmano e fanno accrescere con le loro torbide gli avvallamenti indotti dalla subsidenza alla superficie del suolo. Nel corso dell'Olocene, praticamente negli ultimi diecimila anni, vi è stato un accrescimento della pianura sia in senso orizzontale, caratterizzato dal giustapporsi dei vari e successivi corpi di alvei fluviali, sia in senso verticale con il sovrapporsi di successivi cicli di riempimento dei bacini di esondazione. Tutti i sedimenti che si sono comunque depositi nel bacino padano hanno subito poi un costipamento che contribuisce, assieme ai fenomeni tettonici profondi, a provocare la subsidenza. Infatti mano a mano che i sedimenti vengono ricoperti da quelli più recenti subiscono un carico via via più elevato e diminuiscono progressivamente di volume compattandosi. Il costipamento è rilevante nelle argille e nei limi e ancora di più nelle torbe.

Sono stati fatti vari tentativi per valutare la subsidenza geologica in modo da confrontarla con quella che risulta dalle livellazioni e quella che si può dedurre dall'esame delle stratigrafie archeologiche. Conoscendo la profondità in cui si trovano ora nella Pianura Padana i vari livelli geologici, quali la base del Pliocene o quella del Quaternario, è possibile in qualche modo valutare la velocità del loro affondamento. Tenendo conto dell'andamento strutturale della base del Pliocene medio ed attribuendo ad essa un'età di quattro milioni di anni da oggi, è stata calcolata per il Ravennate una velocità di sedimentazione, e quindi di affondamento, variabile da 0,3 a 1,1 mm/anno. Facendo riferimento invece alla base del Quaternario, la velocità media sarebbe compresa fra 0,67 e 1,3 mm/anno. Si tratta di valori affetti da errori perché non tengono conto del costipamento, tuttavia danno un ordine di grandezza del fenomeno (5). Questi calcoli si possono estendere in vaste parti della pianura emiliano-romagnola sulla base della ricostruzione fornita dall'AGIP degli andamenti delle strutture geologiche sepolte (6). Nella sinclinale romagnola, che si estende tra gli alti strutturali di Monestirolo, Alfonsine e Ravenna a Nord e quelli di Minerbio, Selva, Cotignola e Cervia a Sud, dove i valori massimi di profondità dei terreni pliocenici raggiungono i 5000 e gli 8000 metri, si ha una subsidenza massima di 1 e 1,6 mm/anno, valutando l'inizio del Pliocene a cinque milioni di anni da oggi. Nella sinclinale di Bologna, compresa tra gli alti strutturali di Bagnolo in Piano, Cavone, Minerbio a Nord e quelli di Albareto, Castelfranco Emilia a sud, la base del Pliocene raggiunge una profondità massima di 8000 metri ed anche qui la subsidenza geologica massima si può valutare intorno a 1,6 mm/anno. A Nord degli alti strutturali

(5) R. SELLI e M. CIABATTI, *L'abbassamento del suolo della zona litoranea ravennate (Relazione geologico-tecnica)*, «L'abbassamento del suolo della zona litoranea ravennate», a cura del Consorzio di Bonifica di Ravenna, Ravenna 1976, pp. 11-58.

(6) M. PIERI e G. GROPPI, *Subsurface geological structure of the Po Plain, Italy*, C.N.R., Progetto Finalizzato Geodinamica, n. 144, Roma 1981.

di Cortemaggiore, Parma e Reggio Emilia, la profondità massima della base del Pliocene raggiunge i 7000 metri con una subsidenza massima quindi di 1,4 mm/anno. I valori della subsidenza diminuiscono verso Nord dove scompaiono le strutture appenniniche sepolte e dove invece dominano le strutture a monoclinale con spessori dei terreni pliocenici e quaternari via via sempre più ridotti.

Se si prendono in considerazione solo gli spessori dei terreni quaternari sedimentatisi nel corso di 1.850.000 di anni, la velocità di subsidenza non subisce variazioni di una certa consistenza. Nell'area dei massimi valori dello spessore dei terreni quaternari, intorno a 2500 metri, ad Est dell'allineamento Comacchio-Codigoro-Adria, la subsidenza massima raggiunge 1,35 mm/anno. Per spessori dei terreni del Quaternario variabili da 1000 a 2000 metri, valori questi molto estesi nella Pianura Padana centro-orientale, si hanno velocità di subsidenza variabili da 0,54 a 1,08 mm/anno.

Non è facile valutare separatamente il valore di subsidenza provocata dai movimenti tettonici e quella provocata dal costipamento naturale dei sedimenti. Il costipamento si deduce con riduzione del volume espresso in percentuale del volume iniziale e si estrinseca con fuoruscita di acqua dai sedimenti. Il costipamento dei depositi terrigeni varia in rapporto alle dimensioni e alla forma delle particelle, nonché al fattore tempo e alla profondità. È noto che i sedimenti a grana fine subiscono una maggiore costipazione di quelli a grana grossa. Le argille si costipano più delle sabbie e le sabbie più delle ghiaie. Prendendo come esempio i sedimenti argillosi, essi subirebbero una riduzione progressiva di volume, per successivo seppellimento, del seguente ordine di grandezza: dalla profondità di m 500 alla profondità di m 1000, riduzione del 8,5%; da m 1000 a m 1500, riduzione del 7,0%; da m 1500 a m 2000, riduzione del 6,0%; da m 2000 a m 2500, riduzione del 3,0%; da m 2500 a m 3000, riduzione del 1,5%. In totale la riduzione di volume passando da 500 a 3000 metri è del 26% (7).

Particolare attenzione è stata data ai problemi dell'abbassamento del suolo lungo la fascia costiera adriatico-padana da Rimini a Ravenna, al delta del Po e Venezia, dato il precario equilibrio in cui questo territorio si è trovato nel corso dei tempi storici. Oltre alla subsidenza è da tenere conto inoltre della oscillazione del livello medio del mare indotto dalle variazioni climatiche. Infatti quando si ha un periodo di riscaldamento generale il livello medio marino aumenta sia a causa dello scoglimento dei ghiacciai e delle calotte glaciali, sia per l'espansione termica degli strati superiori degli oceani. In questi ultimi cento anni i mareografi di tutto il mondo hanno messo in evidenza un aumento del livello medio marino per complessivi 12 centimetri, cioè 1,2 mm/anno (8). Per quanto riguarda l'Adriatico, l'esame dei dati registrati nel mareografo di Trieste per il periodo

(7) AGIP MINERARIA, *Costipamento dei sedimenti argillosi nel bacino padano*, «*Giacimenti gassiferi dell'Europa occidentale. Atti del Convegno di Milano, 30 settembre-5 ottobre 1957*», Accademia Nazionale dei Lincei, Roma 1959, pp. 519-544; G. DAL PIAZ, *Il Bacino quaternario polesano-ferrarese e i suoi giacimenti gassiferi*, *ibid.*, pp. 433-471.

(8) V. GORNITZ, S. LEBEDEFF, J. HANSEN, *Global sea level trend in the past century*, «*Science*», 215 (1982), pp. 1611-1614.

1890-1985 ha rilevato un aumento totale del livello medio del mare di 13,2 centimetri pari quindi a 1,32 mm/anno (9).

Per quanto riguarda la subsidenza di alcune zone particolari della fascia costiera adriatica, l'attenzione è stata rivolta al caposaldo di Ravenna-Porta Adriana di cui si possiede il maggior numero di livellazioni geodetiche dal 1885 al 1973 (10). L'esame delle variazioni delle quote assolute di questa stazione può dare un'idea dell'andamento e dei caratteri della subsidenza nel tempo a Ravenna (Fig. 4). Così risulta che per il periodo 1885-1953 la subsidenza è stata di 2,67 mm/anno. Questo valore può essere considerato la subsidenza naturale che subiva Ravenna nell'economia prevalentemente agricola di quel tempo. Intorno al 1953 l'affondamento ha poi subito un notevole incremento che è stato messo in relazione con l'inizio della industrializzazione di quel territorio. Per il caposaldo di Porta Adriana le indagini di Arca e Beretta già ricordate davano un affondamento fino al 1957 di 5,37 mm/anno, valore ben superiore a quello di 2,67 mm/anno sopra indicato e valutato fino al 1953. Occorre però rilevare che nel periodo 1953-1957 la subsidenza indotta dall'uomo a Ravenna si era già fatta sentire. I valori quindi delle isocinetiche riportati nella carta di Arca e Beretta (Fig. 3) sono da ritenere calcolati in eccesso rispetto ai valori naturali.

Per la zona costiera dell'alto Adriatico sono stati forniti alcuni valori di subsidenza naturale relativi a Venezia sulla base di stratigrafie archeologiche, confermate anche da datazioni radiometriche. In via di massima è risultato un valore di 1 mm/anno (11). Secondo altri studi, che tengono conto delle datazioni di resti organici rinvenuti in una successione di terreni quaternari, la subsidenza sarebbe stata, tra 40.000 e 22.000 anni fa, di 1,2 mm/anno (12).

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. Da ciò si può dedurre che dal 1908 al 1980 la subsidenza naturale di Venezia è stata di circa 30 mm. L'innalzamento del livello marino per lo stesso periodo è stato di circa 90 mm, tenendo conto per questa zona di un valore di innalzamento annuo del livello del mare di 1,27 mm (13).

(9) F. STRAVISI, *Climatic variations at Trieste during the last century*, «Geofizika», 4 (1987), pp. 61-76.

(10) A Porta Adriana di Ravenna sono stati istituiti e quotati due capisaldi, uno più alto (Fig. 4-A) istituito nel 1885 ed uno più basso nel 1950. Per entrambi è stato ricostruito l'andamento delle variazioni delle quote nel tempo. Cf. SELLI e CIABATTI, cit., p. 40.

(11) P. LEONARDI, *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», Venezia 1960, pp. 88-103.

(12) J.CH. FONTES e G. BORTOLAMI, *Subsidence of the area of Venice during the past 40.000 years*, C.N.R., Technical Report N. 54, Venice 1972.

(13) L. CARBOGNIN, P. GATTO e G. MOZZI, *La riduzione altimetrica del territorio veneziano e le sue cause*, «Rapporti e Studi della Commissione di Studio dei Provvedimenti per la Conservazione e Difesa della Laguna e Città di Venezia», 8 (1982), pp. 55-83.

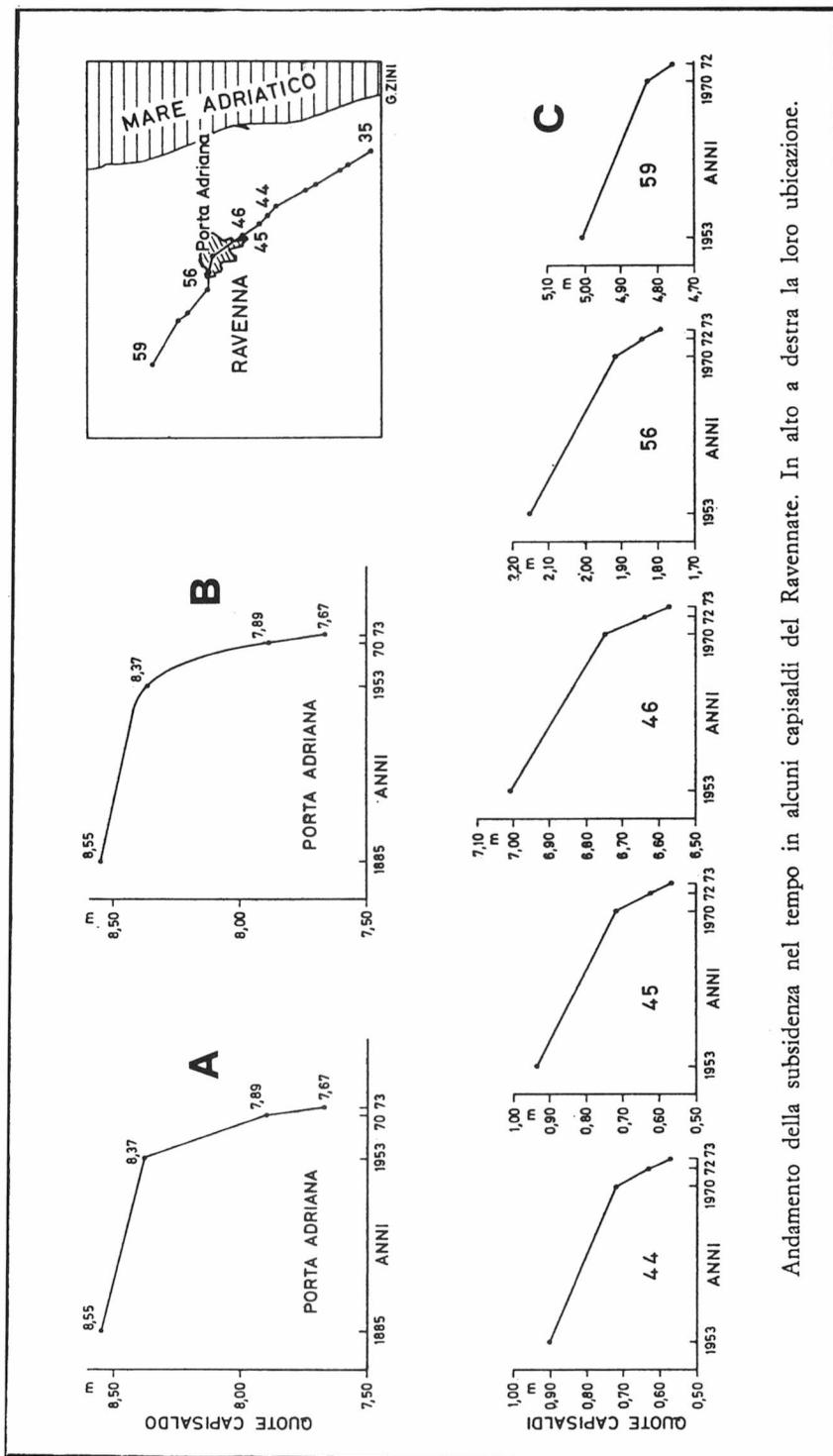


Fig. 4. Andamento della subsidenza a Ravenna-Porta Adriana (A,B) nel periodo 1885-1973 e in altri capisaldi del Ravennate (C) nel periodo 1953-1973. Da SELLI e CIABATTI, 1976.

Andamento della subsidenza nel tempo in alcuni capisaldi del Ravennate. In alto a destra la loro ubicazione.

Subsidenza e sovralluvionamenti

Succede bene spesso di dovere constatare, in occasione di sondaggi geognostici, scavi archeologici ed esami stratigrafici di serie di terreni olocenici, come i valori della subsidenza o dell'abbassamento del suolo che vengono generalmente calcolati subiscano variazioni da un punto all'altro. A volte capita che un sondaggio metta in evidenza un piano di campagna di epoca romana a vari metri di profondità ed un altro sondaggio, eseguito a qualche centinaio di metri o anche ad alcune decine di metri lontano dal primo, trova il piano pure di epoca romana a pochi decimetri di profondità dall'attuale piano di campagna. Uno dei primi casi che lo scrivente ha avuto modo di esaminare è stata la zona posta sulla sinistra del Savio tra la fornace Domeniconi e la Scuola Agraria, alla periferia del centro storico di Cesena (14). Una necropoli romana fu impostata intorno al I sec. d.C. sul terrazzo fluviale della Fornace Domeniconi (Fig. 5-A). A quel tempo il fiume Savio e l'adiacente sua piana inondabile (*flood plain*) si trovavano molto al di sotto della necropoli ed anche i livelli delle massime piene raggiungevano solo la base della scarpata del terrazzo stesso. Per spiegare la copertura dei terreni alluvionali del Savio, con uno spessore intorno ai sei metri, che fino al 1953 tene celata la necropoli romana, si è invocato il modello dell'aggradazione fluviale (*fluvial aggradation*) che viene qui illustrato. Con questo modello, che tiene conto della morfologia fluviale dell'epoca romana e delle successive modificazioni intervenute, si eliminano le incongruenze relative alla velocità di subsidenza che risultavano dalla semplice operazione, ritenuta valida per tutti i luoghi, di dividere lo spessore dei sedimenti ricoprenti i livelli romani per il tempo trascorso, praticamente per duemila anni.

Gli scavi effettuati per l'estrazione dell'argilla per laterizi alla Fornace Domeniconi incontrarono nel 1953 alla profondità di sei metri dal piano di campagna attuale uno strato di argilla grigiastra, spesso m 0,30, con abbondanti resti di Gasteropodi terrestri quali *Cyclostoma elegans Müll.* e *Stenogyra decollata L.* Al di sotto di queste argille si riscontrarono resti di tegoloni e laterizi di epoca romana (Fig. 5-C) entro un banco di argilla giallastra. Evidentemente lo strato di argilla grigiastra con i resti di Gasteropodi rappresentava il piano di campagna di epoca romana, mentre le argille giallastre ad esso soprastanti, per uno spessore di sei metri, documentavano un apporto alluvionale del Savio in epoca postromana. Poteva così risultare in questa zona una subsidenza di 3 mm/anno. Successive ricerche sul terrazzo fluviale della Scuola Agraria (Fig. 5-C), in località Ca Lugaresi a 700 metri sud-ovest dell'area della necropoli della Fornace Domeniconi, davano la possibilità di accertare un livello di epoca romana alla profondità di m 0,60 (15). In questo punto la subsidenza poteva essere valutata in 0,3 mm/anno, un valore dieci volte minore di quello risultante alla necropoli della Fornace Domeniconi.

(14) A. VEGGIANI, *Cesena (Fornace Domeniconi). Necropoli romana sotto i depositi alluvionali*, *Not Sc*, 1959, pp. 14-18.

(15) VEGGIANI, *L'approvvigionamento idrico di Cesena nell'antichità*, «*Ricerche Cesenati*», *Saggi e Repertori della Società di Studi Romagnoli*, 17, Faenza 1977, pp. 7-21.

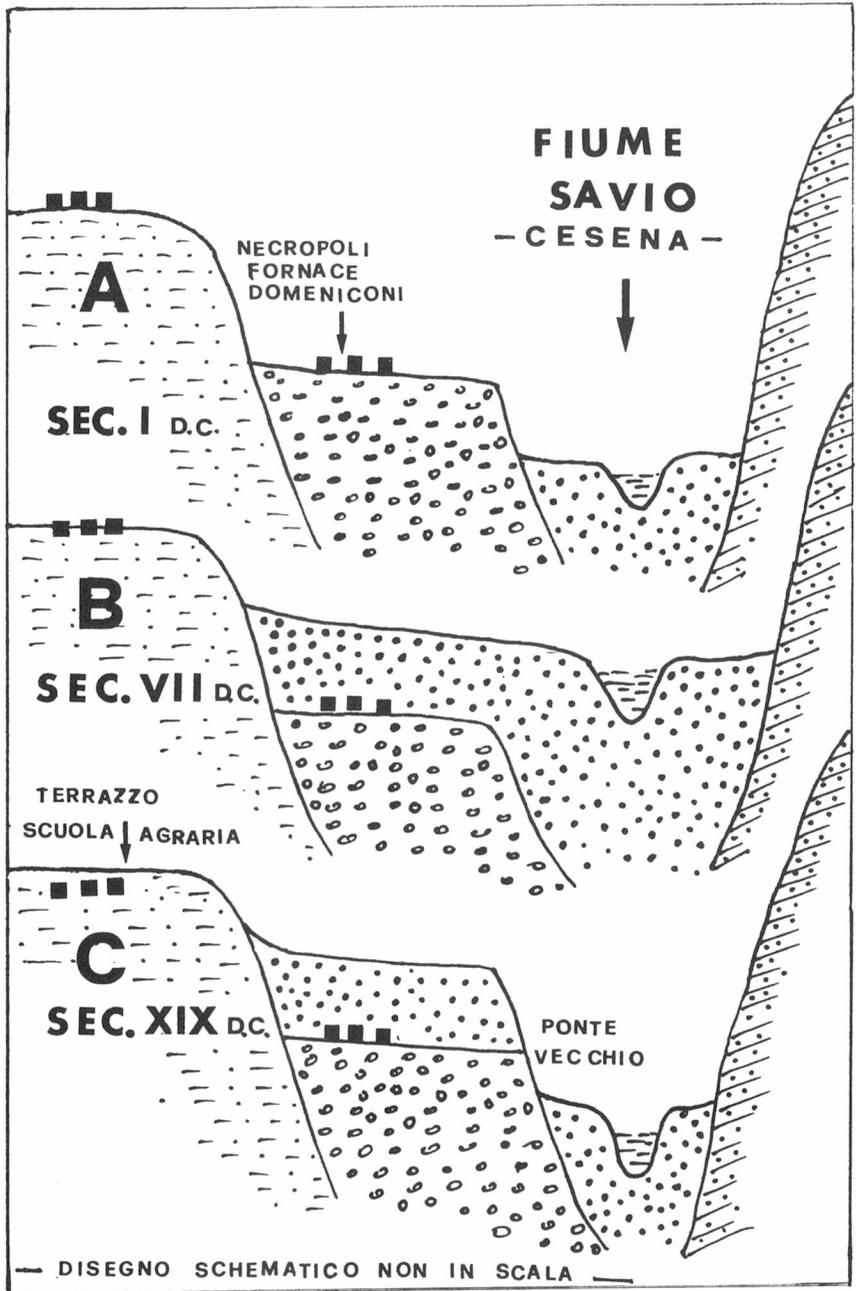


Fig. 5. Variazioni morfologiche dell'alveo del fiume Savio a Cesena dal I al XIX sec. d.C. Disegno schematico non in scala.

Queste anomalie sulla velocità di subsidenza scompaiono se si introduce il modello di aggradazione e di degradazione fluviale che dà giustificazione degli innalzamenti dei letti fluviali (*aggradation*) in occasione di cicli climatici di piovosità e di successivi abbassamenti (*degradation*) degli stessi letti in occasione di periodi di scarsa piovosità con conseguente erosione dei materiali alluvionali in precedenza depositi. Questi fenomeni sono stati riscontrati lungo i fiumi di tutto il bacino del Mediterraneo (16) ed anche in quelli dell'Europa centrale.

Nel Cesenate, come del resto in quei luoghi che in epoca romana si trovavano sui più bassi terrazzi fluviali, si sono verificati tra il 400 e il 750 d.C. fenomeni di sovralluvionamento che hanno messo in crisi le strutture antropiche che si erano su di essi insediate (Fig. 5-B). Questi fenomeni sono evidenti entro i corsi d'acqua confinati tra i rilievi collinari ma si sono estesi anche nei corsi d'acqua che incidevano le piane alluvionali (17). In alcuni casi le stesse città romane, e non solo le zone periferiche come nel caso di Cesena, sono state ricoperte da una spessa coltre di alluvioni. Il fenomeno è durato un certo tempo e l'aggradazione fluviale ha avuto periodi di sosta, come comprovano i vari orizzonti pedologici che si intercalano in mezzo ai depositi alluvionali. Un caso tipico è quello della città romana di Modena ricoperta nell'alto medioevo, tra il 500 e il 600 d.C., da un coltre di sedimenti alluvionali con spessori massimi dell'ordine di sei metri (18). Ed anche in questo caso se si fa riferimento solo allo spessore dei sedimenti che ricoprono lo strato romano, senza introdurre i fenomeni di aggradazione altomedioevali subiti dal torrente Cerca che attraversava la Modena romana, si può valutare una subsidenza di 3 mm/anno (19). I fenomeni di aggradazione si verificano quando nel corso di un periodo di piovosità, dell'ordine delle centinaia di anni, come quello altomedioevale del 400-750 d.C., si ha, a causa di una più intensa erosione del suolo, un convogliamento nei letti fluviali di grandi quantità di materiali alluvionali che l'energia fluviale non riesce più a convogliare tutti al mare. Si innesca così una deposizione sul letto fluviale della parte di materiale solido eccedente, con conseguente aumento delle quote del letto fluviale stesso. Il corso d'acqua raggiunge un nuovo profilo di equilibrio posto per un certo tratto a quote più alte di quello precedente, tratto che dal punto di sbocco in mare del fiume corre verso monte fin dentro la valle confinata tra i rilievi montuosi. Si dice anche che il punto neutro (*nickpoint*) o punto, o zona del corso fluviale dove

(15) C. VITA FINZI, *The Mediterranean Valley: geological changes in historical times*, Cambridge University Press, Cambridge 1969.

(17) VEGGIANI, *Prove di un ciclo climatico di piovosità nell'alto medioevo nel Cesenate*, «Studi Romagnoli», 30 (1979), pp. 87-101; ID., *Degrado ambientale e dissesti idrogeologici indotti dal deterioramento climatico nell'alto medioevo in Italia. I casi riminesi*, ibid., 34 (1983), pp. 123-146; ID., *Trasformazioni e continuità: motivazioni geomorfologiche*, «La centuriazione cesenate», a cura del Comune di Cesena, Cesena 1984, pp. 26-32.

(18) M. CREMASCHI, G. GASPERI, *Il sottosuolo della città di Modena. Caratteri sedimentologici, geopedologici, stratigrafici e significato paleo-ambientale*, «Modena dalla origini all'anno Mille. Studi di Archeologia e Storia», 1, Modena 1988, pp. 285-303.

(19) A. COLOMBETTI, R. GELMINI, N. PALTRINIERI, A. ZAVATTI, *Land subsidence in the area of Modena, Po Valley, Northern Italy*, «Land Subsidence», Proceedings of the third International Symposium on Land Subsidence held in Venice, Italy, 19-25 March 1984, pp. 805-815.

termina l'erosione ed inizia la deposizione, si sposta da valle verso monte. I fenomeni di aggradazione interessano però solo le aree adiacenti ai corsi d'acqua, compresi i più bassi terrazzi fluviali. Nelle piane alluvionali con l'aggradazione degli alvei, i fiumi possono diventare pensili e si creano così le condizioni più favorevoli per le trasformazioni idrografiche in caso di rottura di argini.

Con riferimento alle piane alluvionali, sono frequenti i casi di anomalie dei valori di subsidenza calcolati sulla base di stratigrafie archeologiche. A parte i fenomeni di subsidenza differenziata, già descritti per le piane alluvionali e messi in relazione con l'andamento strutturale del sottosuolo, resta a volte da spiegare la disparità di valori di subsidenza anche in corrispondenza di una stessa struttura geologica sepolta. Si è detto che i fenomeni di aggradazione e di degradazione si estendono anche nella piana a copertura alluvionale. In questo ultimo complesso ambientale, come si può dedurre dalla sezione qui riprodotta (Fig. 6), si possono distinguere varie unità geomorfologiche (20). La più evidente è l'unità *Argine Naturale* (Fig. 6, AN). Rientrano in essa, oltre i depositi di canale, i territori interessati da quei depositi che a seguito di processi di rotta e di tracimazione, sedimentano immediatamente a ridosso dell'asta fluviale. Inoltre all'interno di questa fascia sono comprese le modificazioni d'alveo dovute sia a cause naturali, sia a cause artificiali, quali il taglio di meandri e di raddrizzamenti. A fianco degli argini naturali seguono i depositi di *Copertura Alluvionale* (Fig. 6, CA). Le acque infatti fuoruscite dagli argini a seguito di processi di rotta e di tracimazione, dopo aver depositato i sedimenti più grossolani, si muovono lentamente verso le aree più depresse della piana e rilasciano i materiali con tessitura da media a fine. All'interno di questo ambiente sono stati distinti i *depositi di copertura alluvionale profonda* (Fig. 6, dap) dai depositi di *palude* (Fig. 6, p). I primi sono strettamente legati ai processi delle aste fluviali e si estendono fino alle zone più depresse della piana, mentre i secondi, caratterizzati da materiali molto fini, sono localizzati generalmente nelle aree topograficamente più depresse delle piane e presentano una morfologia a catino più o meno allungato.

Dal modello qui esposto risulta evidente che necropoli, ville, strade e ponti che in epoca romana erano posti ai lati dei corsi d'acqua nella piana alluvionale, possono essere stati ricoperti dalle alluvioni nel corso dei fenomeni di aggradazione altomedioevali.

Può rientrare in questo quadro l'insediamento romano di Russi posto nelle vicinanze del corso del fiume Lamone. Una villa romana sorta qui nel I sec. a.C. e rimasta attiva fino verso il 400 d.C. (21), è stata poi ricoperta per oltre dieci metri

(20) REGIONE EMILIA-ROMAGNA, *I suoli della bassa pianura ravennate*, a cura del Servizio Informativo e Statistica-Ufficio Cartografico, Bologna 1987.

La sezione B - B' riportata nella fig. 6 e che interessa una zona a valle di Lugo nel Ravennate, è stata estratta dalla carta geomorfologica - scala 1:50.000 rilevata da Domenico Preti. Si vedano dello stesso Preti i seguenti allegati: B.2. Analisi morfologica della topografia e del microrilievo, p. 71; B.3. Analisi geomorfologica e litostratigrafica, pp. 71-74; B.4. Metodo per la classificazione della tessitura, pp. 74-76; B.5. Schema geomorfologico degli ambienti sedimentari della pianura emiliano-romagnola, pp. 76-83.

(21) D. SCAGLIARINI, *La villa romana di Russi (Ravenna). Campagna di scavo 1969, «La villa romana. Giornata di studi. Russi 10 maggio 1970»*, Faenza 1971, pp. 117-142.

da depositi alluvionali. Si tratta anche in questo caso di sovralluvionamento altomedioevale di un'area che in epoca romana era avvallata perché in vicinanza di un corso d'acqua. La subsidenza di 5 mm/anno, che si poteva ipotizzare mediante la semplice divisione dello spessore per il tempo, non è più sostenibile (22). Successive ricerche hanno infatti condotto alla scoperta, a 40 centimetri di profondità al di sotto delle fondazioni della villa romana di Russi, di un gruppo di sepolture del VI sec. a.C. In questo ultimo caso la subsidenza tra il VI e il I sec. a.C. risulta di 0,8 mm/anno. Un altro caso di sovralluvionamento altomedioevale di una città sorta in epoca romana e posta in vicinanza di un corso d'acqua nella piana alluvionale è quello di Forlimpopoli. Potenti strati di limo e argille ricoprono una parte dell'impianto urbanistico di quella città. Le ricerche archeologiche hanno messo in evidenza che la via Emilia che attraversava l'abitato romano è ricoperta nella parte occidentale da tre metri di alluvione. Gli apporti alluvionali sono quelli del torrente Ausa che costeggiava quella città (23).

Oltre ai casi emiliano-romagnoli fino qui presi in esame si possono citare esempi di insediamenti di altre parti d'Italia in modo che si ci può rendere conto come effettivamente il problema del calcolo della subsidenza sulla base delle sole stratigrafie archeologiche presupponga uno studio della morfologia del territorio al momento in cui l'uomo cominciò ad insediarsi. Nel 1974, in occasione di scavi archeologici nella zona di Sibari furono eseguite anche ricerche di geologia applicata all'archeologia (24). In modo particolare furono rilevate stratigrafie archeologiche nei siti denominati Parco del Cavallo (PC), Incrocio (I), Stombi (ST) e Casa Bianca (CB) posti sulla sinistra del fiume Crati lungo la Strada Consorziale Bruscata (Fig. 7). Il piano archeologico più recente, romano e tardoromano, soggiace quasi ovunque all'attuale livello del mare ed è sepolto sotto depositi sabbiosi e limosi di spessore mediamente non inferiori ai quattro metri. Sono state inoltre effettuate datazioni con il radiocarbonio di alcuni reperti fossili organici

(22) VEGGIANI, *Geologia del sottosuolo e suoi riflessi sulla morfologia del territorio di Russi in epoca storica*, «Studi Romagnoli», 17 (1966), pp. 3-16.

In questo lavoro si fa notare che l'asse dell'anticlinale o alto strutturale miocenico sepolto di Cotignola passa a qualche chilometro a Sud-Ovest del centro abitato di Russi. Quindi nel sottosuolo di quest'ultima zona, il substrato miocenico risulta notevolmente abbassato a causa del sistema di faglie presenti sul fianco Nord della struttura. A Nord-Est di Russi, verso la grande sinclinale sepolta che divide l'anticlinale di Cotignola da quella di Alfonsine-Ravenna, il substrato miocenico si abbassa ulteriormente. Per queste ragioni strutturali ci si deve aspettare per la zona di Russi una subsidenza maggiore di quella delle zone che si trovano sull'asse dell'anticlinale di Cotignola. Si era pertanto in un primo tempo ipotizzato che la subsidenza dell'area della villa romana di Russi fosse tutta da imputare a fenomeni di subsidenza differenziata legati all'andamento strutturale del sottosuolo. In realtà occorre ora tenere conto dei fenomeni di aggradazione fluviale altomedievali. Del resto già allora si faceva notare come la profondità del livello romano nella zona di Russi non fosse costante sui dieci metri dall'attuale piano di campagna ma tendesse in alcuni punti a risalire.

(23) VEGGIANI, *Considerazioni geologiche sulla captazione e sul tracciato dell'acquedotto romano di Ravenna*, «Studi Romagnoli», 31 (1980), pp. 3-19.

(24) A. GUERRICCHIO, G. MELIDORO, *Ricerche di geologia applicata all'archeologia della città di Sibari sepolta*, «Geologia Applicata e Idrogeologia», 10 (1975), pp. 107-128.

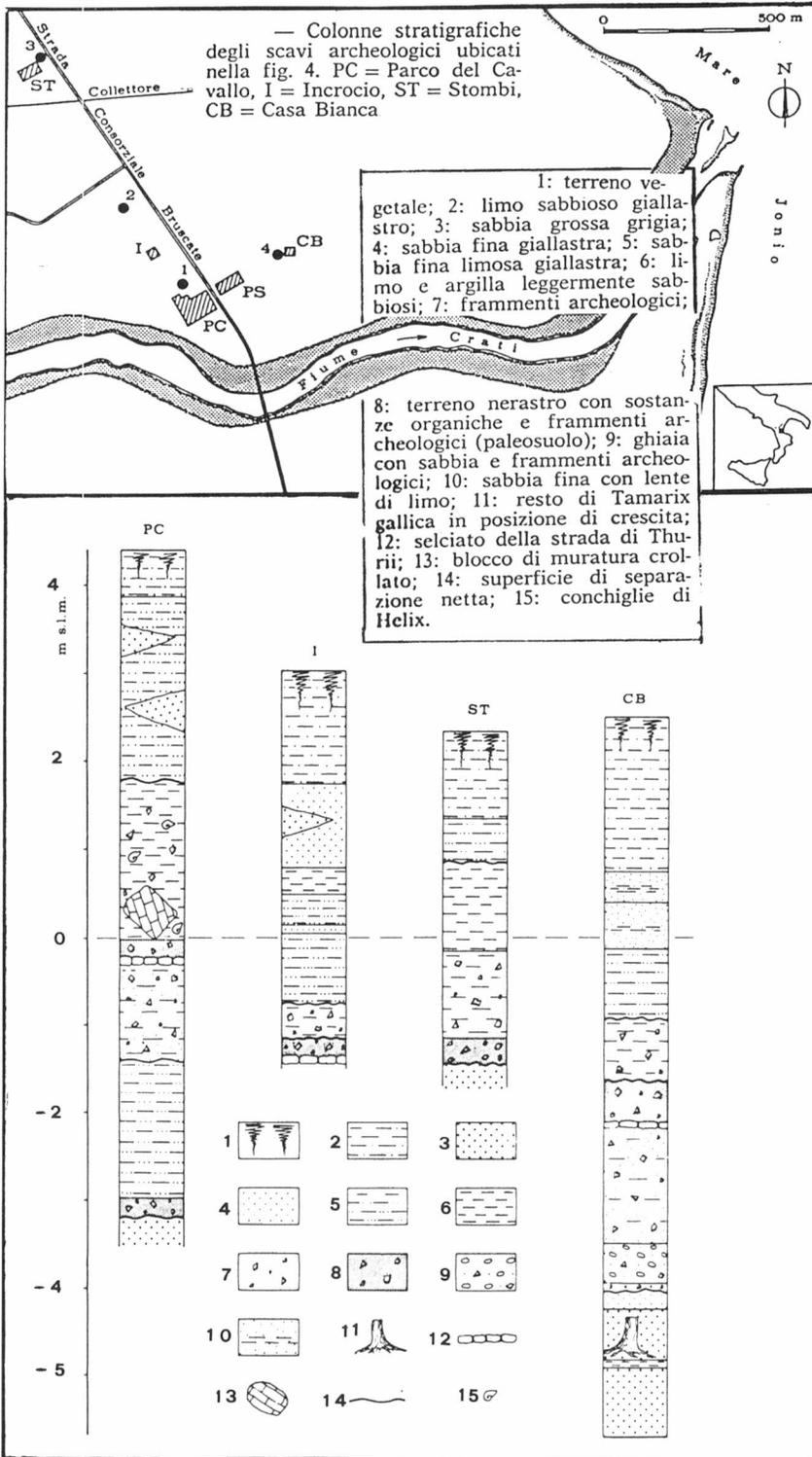


Fig. 7. Stratigrafie archeologiche nella zona di Sibari. Da GUERRICCHIO e MELIDORO, 1975.

rinvenuti nel corso degli scavi. Noti gli spessori dei depositi ed i tempi, in base alle datazioni assolute e storiche, sono state ricavate le velocità medie di sovralluvionamento nei punti considerati (Fig. 8-A). Si osserva come tali velocità di sovralluvionamento variano sensibilmente da luogo a luogo e, nello stesso luogo, nei diversi intervalli di tempo. A Stombi si è ottenuta la velocità di sovralluvionamento più bassa (Fig. 8-A, linea 3). Infatti questo sito si trova più all'esterno degli altri e doveva far parte di un alto topografico sepolto dai depositi d'inondazione fluviale soltanto molto tempo dopo la data ottenuta e quindi dopo la distruzione di Sibari. Pertanto il valore del sovralluvionamento ottenuto andrebbe diviso per un tempo più breve.

Per valutare la velocità di innalzamento del livello marino, è stata fatta l'ipotesi che all'epoca della frequentazione umana stabile, il piano di campagna si trovava ad una altezza media non inferiore a m 2,50 sul livello medio marino. Per ulteriori informazioni sulla subsidenza, si è assunta una velocità media dell'innalzamento del livello marino pari a 1,1 mm/anno (Fig. 8-B, con riferimento al livello mare: L.M.). Ad ogni modo i valori di subsidenza ottenuti variano sia nel tempo, sia nei diversi siti considerati, sebbene essi siano non molto distanti tra loro. Ciò si spiega tenendo presente che la superficie topografica dell'epoca presentava alcune irregolarità che sono state azzerate dal sovralluvionamento e che fa ora apparire valori di subsidenza tanto disomogenei tra loro.

Fenomeni di aggradazione fluviale si sono verificati non solo nell'alto medioevo ma anche in epoca protostorica, come tra il 900 e il 300 a.C. con punte particolarmente evidenti tra il 900 e il 700 a.C. (25). Piogge, alluvioni, erosioni del suolo, innalzamento dei letti fluviali, abbassamento della temperatura media provocano notevoli dissesti idrogeologici. Le prove di questa oscillazione climatica che portò all'instaurarsi di una fase fresca ed umida, emergono dagli studi dei diagrammi pollinici di numerose località dell'Appennino settentrionale (26). L'espansione dei ghiacciai in questo periodo è stata pure di recente accertata nelle Alpi Centrali (27). Altre informazioni si hanno esaminando le stratigrafie archeologiche di certi siti del Protovillanoviano. È il caso della necropoli protovillanoviana di Frattesina situata lungo un antico corso del Po, il ramo del Po di Adria, dove gli studi sedimentologici hanno evidenziato l'esistenza, nella prima metà del IX sec. a.C., di una fase alluvionale a seguito della quale l'area fu poi abbandonata dall'uomo (28).

(25) VEGGIANI, *Territorio, ambiente, clima. Le trasformazioni nei tempi protostorici. Emilia-Romagna: parte orientale*, «La formazione della città in Emilia-Romagna», I, Bologna 1987, pp. 73-80.

(26) C.A. ACCORSI, M. BANDINI MAZZANTI, L. FORLANI, *Prove di mutamenti climatici nell'Appennino Emiliano*, «Atti del Primo Convegno di Meteorologia Appenninica-Reggio Emilia, 7-10 aprile 1979», Reggio Emilia 1982, pp. 641-652.

(27) G. OROMBELLI, M. PELFINI, *Una fase di avanzata glaciale nell'Olocene superiore, precedente alla Piccola Glaciazione, nelle Alpi Centrali*, «Rend. Società Geologica Italiana», 8 (1985), pp. 17-20.

(28) G. BALISTA, *Fratte Polesine (RO). Nota geosedimentologica concernente alcuni settori di scavo della locale necropoli pre-protostorica*, «Padusa», 18 (1982), n. 1-4, pp. 28-35.

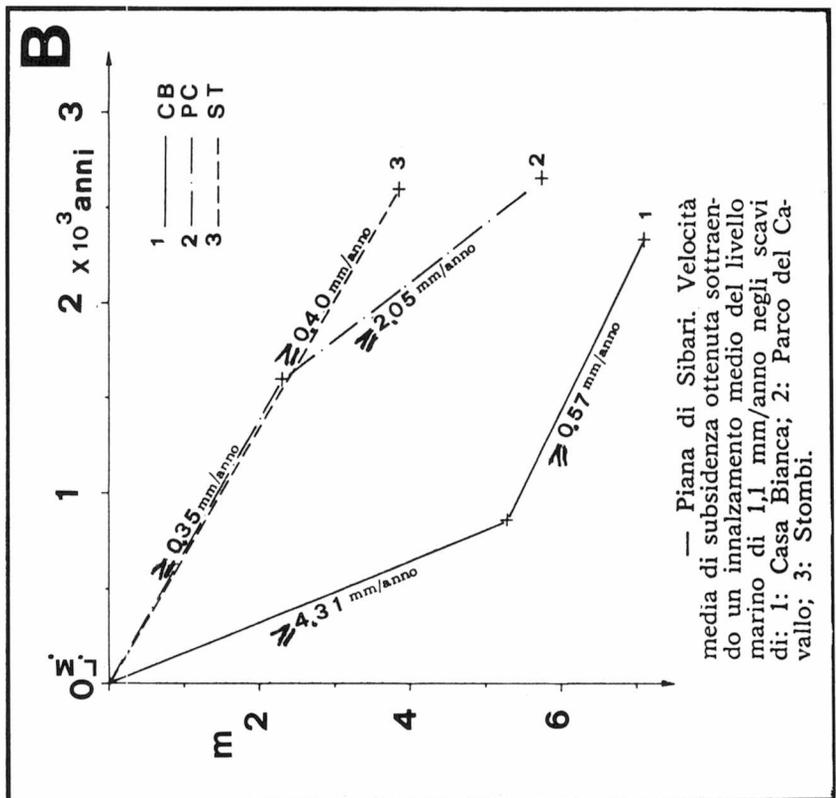
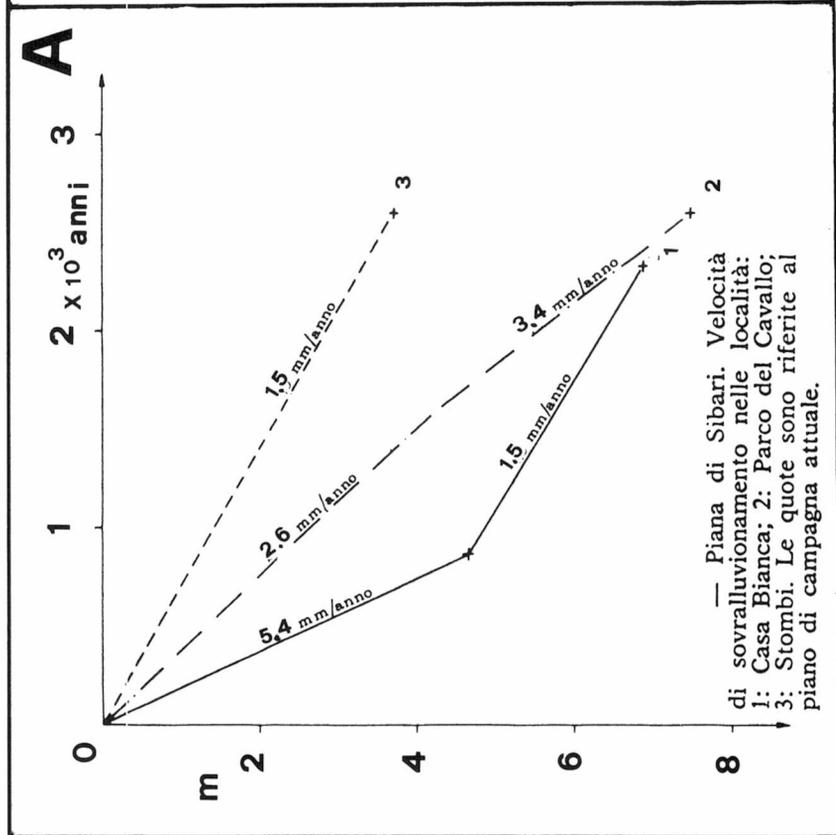


Fig. 8. Velocità di sovrallungamento (A) e velocità media di subsidenza (B) nella zona archeologica di Sibari. Da GUERRICCHIO e MELIDORO, 1975.

In Sicilia, nella valle del Gornalunga a sud di Raddusa (Fig. 9-B), è stata individuata una fase di aggradazione fluviale datata sulla scorta di reperti archeologici. Infatti verso la base di un deposito alluvionale terrazzato, posto ad 8-10 metri di altezza dal fondovalle attuale (Fig. 9-A), sono stati ritrovati frammenti di ceramica non più giovane dell'VIII sec. a.C. (29). Nella parte più alta, invece, dello stesso terrazzo, sono state scoperte tombe in posto della seconda metà del IV sec. a.C. Evidentemente nel IV sec. a.C., quando l'uomo rioccupò quel pianoro, era da tempo terminato il fenomeno dell'aggradazione fluviale ed era già in corso avanzato il fenomeno di degradazione o di erosione dei sedimenti in precedenza depositi. Dallo studio dei sedimenti costituenti il terrazzo ora posto a 8-10 metri di altezza dal fondovalle (Fig. 9-A, zona cerchiata con lettera «C») si può constatare che non si tratta di un evento alluvionale unico ma di tutta una serie di alluvioni con varie stasi che stanno a dimostrare che il letto del corso d'acqua aveva assunto un nuovo profilo di equilibrio, più alto del precedente e con una piana inondabile (*flood plain*) adiacente che andava pure via via rialzandosi (Fig. 9-C).

Conclusioni

Sulla base delle conoscenze geologiche e geofisiche del sottosuolo della pianura emiliano-romagnola, è stato possibile valutare la velocità di subsidenza o abbassamento naturale del suolo dal Pliocene, iniziato circa cinque milioni di anni fa, ad oggi. I valori variano, a seconda dell'andamento strutturale del sottosuolo, da 1 a 1,6 mm/anno. Se si fa riferimento al solo Quaternario, iniziato 1.850.000 anni fa, si hanno valori di subsidenza che nel caso del Ravennate variano da 0,67 a 1,3 mm/anno.

Anche ad una scala di tempi molto brevi è possibile misurare il lento ma continuo affondamento naturale della pianura emiliano-romagnola. Sono stati infatti messi a confronto i dati delle livellazioni di alta precisione della vecchia rete con quelli della nuova rete geodetica italiana per il periodo 1897-1957. Ne è risultato che in un sessantennio si sono verificati nella pianura emiliano-romagnola affondamenti che aumentano da occidente verso oriente con una velocità variabile da 0,5 mm/anno nella zona di Piacenza ad un massimo di 7 mm/anno nel delta padano. Si sono esclusi gli anni dopo il 1957, anni in cui cominciano a manifestarsi in maniera rilevante i fenomeni di subsidenza accelerata indotti dalle attività antropiche. Comunque già nei primi anni Cinquanta, specialmente nella parte orientale della pianura emiliano-romagnola tra Ravenna e il delta del Po, alla subsidenza naturale va ad aggiungersi anche quella provocata dall'uomo a seguito degli interventi sul territorio, dalle bonifiche all'estrazione delle acque metanifere. Il valore massimo di 7 mm/anno riscontrato nel delta padano nel sessantennio considerato potrebbe essere già un valore in eccesso rispetto a quello naturale.

(29) S. JUDSON, *Erosion and deposition of Italian stream valley during historic time*, «Science», 140 (1963), pp. 898-899; Id., *Stream changes during historic time in east-central Sicily*, «Amer. Journ. Archaeology», 67 (1963), pp. 287-289, cf. Tavv. 67-68.

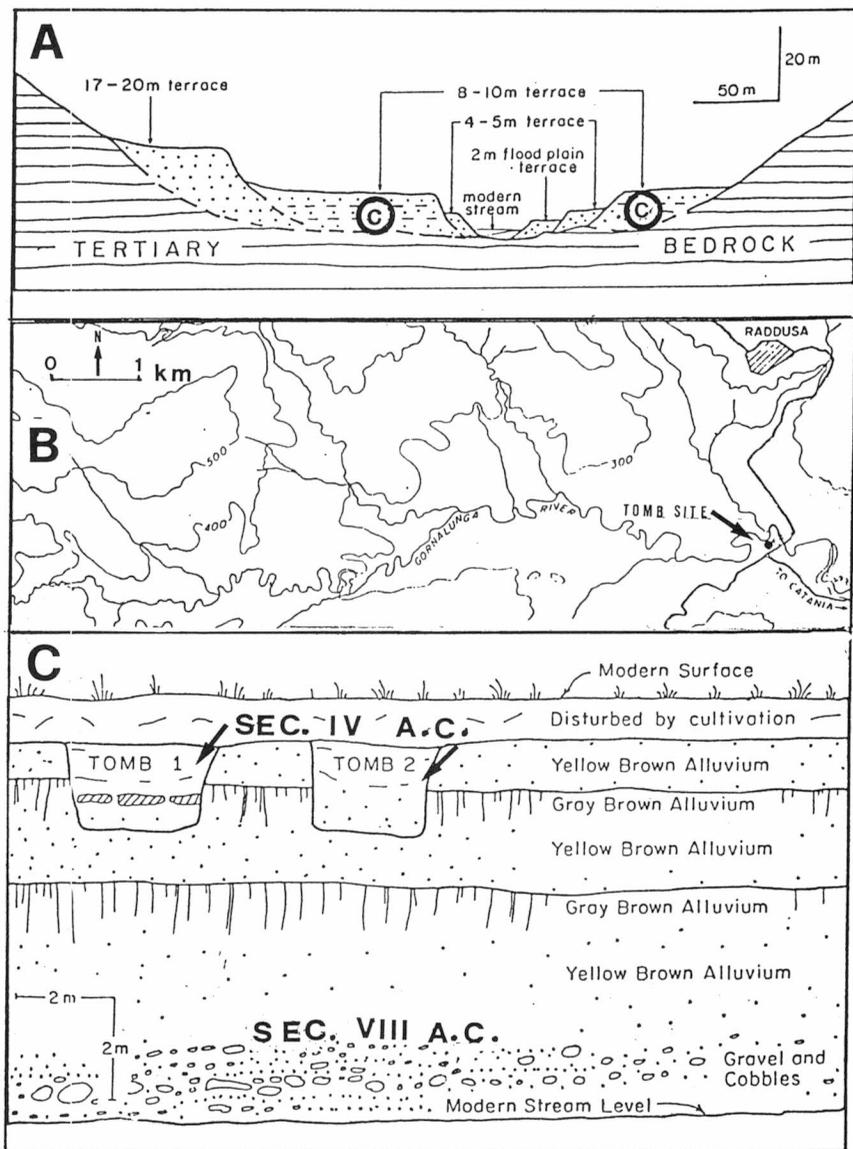


Fig. 9. Stratigrafia archeologica rilevata in un terrazzo fluviale del fiume Gornalunga in Sicilia. Da JUDSON, 1963, modificato.

Più complesso è il problema quando si deve valutare la subsidenza sulla base delle sole stratigrafie archeologiche. Si è potuto constatare che anche per una stessa zona i dati che ne risultano divergono molto tra loro. La divergenza risulta evidente quando un sito archeologico sia sorto in vicinanza di un corso d'acqua. In questo caso è indispensabile ricostruire la morfologia del territorio al momento della fondazione di quell'insediamento, ponte, strada o necropoli. Infatti i fenomeni di aggradazione che poi si sono susseguiti provocarono sovralluvionamenti del canale fluviale e dei più bassi terrazzi adiacenti azzerando l'antica morfologia e falsando gli spessori della copertura dei livelli archeologici per la valutazione della subsidenza.

Comunque anche i dati archeologici confermano i valori della subsidenza geologica e che la subsidenza stessa non è stata uniforme su tutto il territorio ma si è verificata in maniera differenziata ed è controllata dalle strutture geologiche sepolte, i cui movimenti hanno variato anche nel corso dei tempi geologici.