



**Regione Emilia-Romagna**

Assessorato Agricoltura Ambiente e Sviluppo Sostenibile

# **MISURA DELLA RETE REGIONALE DI CONTROLLO DELLA SUBSIDENZA, MISURA DI LINEE DELLA RETE COSTIERA NON COMPRESI NELLA RETE REGIONALE, RILIEVI BATIMETRICI**

## **RELAZIONE FINALE**

**arpa**  
agenzia  
regionale  
prevenzione e  
ambiente dell'emilia-romagna

Ingegneria Ambientale

Bologna, ottobre 2001







Hanno collaborato alla realizzazione del progetto:

Flavio Bonsignore (ARPA, Ingegneria Ambientale) - Responsabile di progetto;  
Mentino Preti (ARPA, Ingegneria Ambientale) - Coordinamento rilievi batimetrici;  
Monica Branchi, Leda Ferrari e Irene Montanari (ARPA, Ingegneria Ambientale) - Elaborazioni cartografiche  
Daniele Cristofori e Alessandro Travagli (ARPA, Ingegneria Ambientale) - Elaborazione e informatizzazione dati;  
Andrea Bondi (ARPA, Ingegneria Ambientale) - Editing;

Marco Ungendoli e Gabriele Bitelli (Università di Bologna - DISTART) - Calcolo delle reti e misure GPS;  
Paolo Russo e Nicola Perfetti (Università di Ferrara - Dipartimento di Ingegneria) - Omogeneizzazione dei dati storici e analisi delle livellazioni IDROSER;

I tecnici dei Servizi Provinciali Difesa del Suolo (RER), della Provincia di Bologna, del Comune di Bologna, SEABO e AMI - Controlli di campagna;

Gli studi professionali:

Scuderi & C. - Coordinamento delle operazioni di campagna e collaudi;  
Giovannini snc (Rieti), GST snc (Reggio Emilia), STAF srl (Parma), STB di Bernagozzi (Bologna) e TOTEM srl (Milano) - Misure di livellazione;  
Geosystem Parma Srl - Rilievi batimetrici.

Si vogliono ringraziare inoltre:

Antonio Gaddi - Predisposizione della documentazione per la gara d'appalto europea.  
Vittorio Zerbini - Presidente della commissione per la gara d'appalto europea;

Foto di copertina: F. Bonsignore

## INDICE

<b>1. Premessa</b>	<b>1</b>
<b>2. Attività realizzate</b>	<b>2</b>
A) <i>Misura della rete regionale di controllo della subsidenza e di linee della rete costiera non comprese nella rete regionale</i>	<b>2</b>
A1) <i>Attività preliminari</i>	2
A2) <i>Realizzazione dei rilievi</i>	3
A2.1) <i>Misure di livellazione</i>	3
A2.2) <i>Misure GPS</i>	5
A3) <i>Calcolo e compensazione delle misure di livellazione e delle misure GPS</i>	5
A3.1) <i>Misure di livellazione</i>	5
A3.2) <i>Capisaldi di riferimento</i>	9
A3.3) <i>Misure GPS</i>	10
A4) <i>Omogeneizzazione dei dati storici relativi ai capisaldi di livellazione preesistenti</i>	12
A4.1) <i>Premessa</i>	12
A4.2) <i>Criteri adottati nell'omogeneizzazione</i>	13
A4.3) <i>Risultati</i>	15
A4.4) <i>Le campagne di livellazione "IDROSER" 1984, 1987 e 1993</i>	17
A4.4.1 <i>Premessa</i>	17
A4.4.2 <i>Modalità d'analisi del problema</i>	18
A4.4.3 <i>Rete IDROSER - campagna di misure del 1984</i>	19
A4.4.4 <i>Rete IDROSER - campagna di misure del 1987</i>	24
A4.4.5 <i>Rete IDROSER - campagna di misure del 1993</i>	29
A4.4.6 <i>Correzioni apportate e loro effetti</i>	36
A4.4.7 <i>Considerazioni conclusive</i>	39
A5) <i>Confronti ed elaborazioni</i>	39
A5.1) <i>La Via Emilia da Piacenza a Rimini</i>	43
A5.2) <i>Da Parma a Luzzara</i>	45
A5.3) <i>Da Bologna a Ferrara</i>	45
A5.4) <i>Da Portomaggiore ad Ariano Ferrarese</i>	46
A5.5) <i>Da Rimini a Ferrara</i>	46
A5.6) <i>Da Cattolica a Volano</i>	47
A5.7) <i>Carta a curve di uguale velocità di abbassamento del suolo</i>	48
A5.8) <i>Osservazioni sui capisaldi di riferimento</i>	49
A6) <i>Elaborati finali</i>	51

A7)	<i>Piano di manutenzione ordinaria della rete</i>	52
A7.1	La ricognizione	52
A7.2)	Il ripristino	52
A7.3)	L'aggiornamento del database	53
A7.4)	Costi	54
<b>B)</b>	<b><i>Rilievi batimetrici</i></b>	<b>55</b>
B1)	<i>Attività preliminari</i>	55
B2)	<i>Realizzazione dei rilievi</i>	56
B2.1	Inquadramento planoaltimetrico	56
B2.1.1	Inquadramento planimetrico	56
B2.1.2	Inquadramento altimetrico tratto Cattolica-Cesenatico	57
B2.2	Rilievi topobatimetrici	57
B2.3	Calcolo dei volumi del materiale accumulato o eroso	59
B2.3.1	Metodologia	59
B2.3.2	Variazioni volumetriche	59
B3)	<i>Elaborati finali</i>	62
<b>3.</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>63</b>
	<b>APPENDICE</b>	<b>66</b>

## **1. PREMESSA**

Con la convenzione stipulata il 16 dicembre 1998 la Regione Emilia-Romagna ha affidato ad ARPA l'incarico per la realizzazione del progetto "Misura della rete regionale di controllo della subsidenza e di linee della rete costiera non comprese nella rete regionale, rilievi batimetrici".

Il progetto è costituito da tre attività principali il cui obiettivo comune è la definizione di un quadro aggiornato del fenomeno della subsidenza relativamente all'intera area di pianura della Regione con un approfondimento particolare dell'indagine in corrispondenza della fascia litoranea.

La prima attività concerne la realizzazione dei rilievi inerenti le due reti di cui si compone la rete regionale: la rete di livellazione e la rete GPS. Il rilievo della rete di livellazione è stato realizzato, previo espletamento di una gara d'appalto europea, affidando le operazioni di misura a 5 ditte, mentre il rilievo della rete GPS è stato svolto interamente dal Laboratorio di Topografia, Fotogrammetria e Rilevamento Geologico del DISTART dell'Università di Bologna.

La seconda attività concerne la realizzazione dei rilievi inerenti la rete costiera di controllo della subsidenza. Tale rete, istituita nel 1983 e misurata nel 1984, nel 1987 e nel 1993, è stata parzialmente inglobata nella rete regionale in ragione di circa il 50% delle linee di livellazione che la compongono. Le linee della rete costiera non comprese nella rete regionale sono state oggetto della stessa gara d'appalto europea e misurate contestualmente alla misura della rete regionale. Lo sviluppo di tali linee è risultato di circa 236 km mentre lo sviluppo dell'intera rete misurata, comprese le linee della rete costiera, è di circa 2325 km.

Le misure di livellazione hanno interessato anche la rete del territorio provinciale di Bologna che si configura come un raffittimento della rete regionale. La misura di tale rete ha costituito l'oggetto di una convenzione specifica tra Provincia di Bologna ed ARPA. Le linee di tale rete, non comprese nella rete regionale, hanno uno sviluppo di circa 698 km, ragione per cui lo sviluppo complessivo delle linee di livellazione appaltate e misurate è di 3024 km a cui vanno aggiunti circa 9 km di linee di collegamento ai punti GPS (Fig. 1).



**Fig. 1** - La rete di controllo della subsidenza misurata nel 1999.

La terza attività concerne l'esecuzione di rilievi batimetrici in corrispondenza del tratto costiero che va da Cattolica a Cervia per complessive 72 sezioni. Tale attività è stata realizzata contestualmente al rilievo delle sezioni batimetriche relative all'intero litorale emiliano-romagnolo. Le sezioni comprese nel restante tratto da Cervia a Gorino sono state realizzate nell'ambito della convenzione tra Regione Emilia-Romagna ed ARPA del 13 dicembre 1999 per l'esecuzione del progetto "Rilievi topobatimetrici a supporto degli interventi urgenti di difesa della costa e per la misurazione della variazione della spiaggia emersa e sommersa".

## **2. ATTIVITÀ REALIZZATE**

### **A) MISURA DELLA RETE REGIONALE DI CONTROLLO DELLA SUBSIDENZA E DI LINEE DELLA RETE COSTIERA NON COMPRESSE NELLA RETE REGIONALE**

#### **A1) Attività preliminari**

Tale attività è relativa all'espletamento della gara d'appalto europea, mediante licitazione privata, del servizio consistente nella misura della rete regionale di controllo della subsidenza, delle linee della rete costiera non comprese nella rete regionale e della



rete di controllo della subsidenza del territorio provinciale di Bologna. Di seguito si riporta l'iter procedurale della gara e i suoi tempi di realizzazione:

- **25/1/1999** - delibera di indizione della gara;
- **29/1/1999** - spedizione al GUCE del bando di gara;
- **22/2/1999** - termine per la presentazione delle domande di partecipazione alla gara (concessi 24 gg su un minimo di 15 e un massimo di 37);
- **3/3/1999** - 1^ seduta della commissione di gara per esame domande di partecipazione. Sono giunte entro i termini fissati n° 39 domande; richiesta di chiarimenti tecnici;
- **10/3/1999** - 2^ seduta della commissione di gara: vengono ammesse n° 17 ditte;
- **15/3/1999** - spedizione lettere d'invito;
- **30/3/1999** - 1^ seduta pubblica per apertura buste e verifica documentazione di rito; risultano giunte nei termini n°12 ditte (su 17 invitate) di cui solo 11 vengono ammesse ;
- **15/4/1999** - 2^ seduta pubblica per apertura buste relative all'offerta economica;
- **5/5/1999** - delibera di aggiudicazione;
- **17/5/1999** - rinuncia da parte di una ditta all'assegnazione di due lotti;
- **20/5/1999** - 2^ delibera di aggiudicazione per i due lotti rinunciati;
- **15/6/1999** - convocazione delle ditte aggiudicatrici per consegna dei lavori: richiesta, da parte delle ditte, di rinvio della consegna dei lavori;
- **18/6/1999** - 2^ convocazione delle ditte aggiudicatrici per comunicazione nuova data di consegna dei lavori sentito il parere della equipe tecnica di controllo e del DISTART dell'Università di Bologna;
- **2/8/1999** - 3^ convocazione delle ditte aggiudicatrici per consegna dei lavori;
- **23/8/1999** - inizio dei lavori.

## **A2) Realizzazione dei rilievi**

### **A2.1) Misure di livellazione**

Le misure di livellazione sono iniziate il 23/8/1999 e si sono svolte nell'arco di 75 gg, come da capitolato, terminando il 5/11/1999. La Direzione dei Lavori è stata curata

dallo Studio Tecnico Associato Scuderi & C. coadiuvato, per i controlli di campo, da tecnici dei Servizi Provinciali Difesa del Suolo della Regione, da tecnici della Provincia e del Comune di Bologna, della SEABO e dell'AMI (Imola).

Alla D.L. sono state recapitate le librette di campagna (cartaceo o file) e la D.L. stessa ha provveduto quotidianamente a verificare il rispetto delle tolleranze previste sulla chiusura delle tratte. Nel caso di tratte fuori tolleranza, la D.L. ha provveduto ad ordinarne l'immediata ripetizione. Contemporaneamente sono stati eseguiti i collaudi in corso d'opera.

Su richiesta delle Ditte la D.L., in accordo con ARPA, ha concesso 7 giorni di proroga, oltre il termine del 5/11/1999 in considerazione delle giornate di sospensione per maltempo, al fine di consentire alle Ditte stesse di ultimare la compilazione dei riepiloghi, rispondere alle richieste di chiarimenti ed effettuare eventuali brevi collegamenti tra capisaldi provvisori e di rete. Le misure hanno interessato il complesso delle reti per un totale effettivo di 3035 km di livellazione di cui 2325 relativi alla sola rete regionale e costiera. Si è potuto constatare un aumento delle lunghezze previste (2200 km) di circa il 6%. Rispetto al progetto originale, in corso d'opera, sono state apportate tre modifiche di una certa rilevanza: la prima riguarda la prosecuzione della linea 1 (collegamento all'Appennino Parmense) per ulteriori 13 km circa, al fine di collegarsi ad una zona che desse maggiori garanzie di stabilità (M. Prinzerà) rispetto ad Ozzano Taro. La seconda riguarda l'inserimento nella rete regionale della linea di collegamento al caposaldo di riferimento di Castel de' Britti per ulteriori 5 km circa; tale inserimento porta da 5 a 6 le linee di collegamento a zone ritenute stabili nell'Appennino. La terza riguarda il mancato collegamento del caposaldo ancorato alla struttura dell'idrovora sullo scanno di Goro, collegamento non effettuato per l'oggettiva impraticabilità della zona.

Conclusa la fase dei rilievi, tutto il materiale pervenuto (librette di campagna e riepiloghi) è stato controllato ed elaborato al fine di verificare:

- la corrispondenza tra i riepiloghi pervenuti e i riepiloghi compilati dalla D.L.
- la chiusura, nel rispetto delle tolleranze, dei 139 poligoni di cui si compone la rete misurata.

Durante tale fase sono emerse alcune incongruenze successivamente risolte con ulteriori approfondimenti a tavolino nonché verifiche di campo. L'attività di rilievo è

pertanto conclusa e le misure si possono dire eseguite nel rispetto delle tolleranze previste dal capitolato, sia per quanto riguarda la chiusura delle singole tratte sia per quanto riguarda la chiusura dei poligoni. Nell'allegato 1 vengono riportati i riepiloghi dei dislivelli misurati per ogni linea di livellazione sia per la rete regionale che per le linee della rete costiera non comprese nella rete regionale.

## **A2.2)        *Misure GPS***

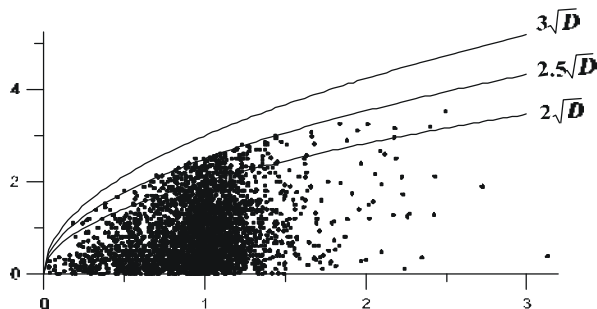
Le misure relative alla rete GPS sono state eseguite nel periodo dal 21/6/99 al 30/7/99 dal Laboratorio di Topografia, fotogrammetria e rilevamento Geologico del DISTART (Università di Bologna) ed hanno interessato i 56 punti già compresi nella rete più altri 2 punti istituiti in corso d'opera e collegamenti dentro e fuori regione a stazioni permanenti e semi-permanenti. Si è operato sempre con strumenti a doppia frequenza e misure contemporanee di almeno 5 stazioni. Oltre alla stazione permanente di Padova, si sono utilizzati i dati di altre tre stazioni permanenti ubicate a Porto Corsini, Medicina e Modena e di altre stazioni cosiddette semi-permanenti (alcuni giorni di osservazioni) ubicate nelle Prealpi Bresciane e nell'Appennino al fine sia di una determinazione più accurata di un sistema generale di riferimento nel sistema internazionale (IGS) sia quale supporto alla misura della rete regionale. Per ogni punto della rete sono state fissate sessioni di misura della durata di 270' di ricezione effettiva per un totale di 26 sessioni di misura con le quali sono state misurate circa 150 basi indipendenti. I controlli effettuati successivamente hanno evidenziato l'altissima qualità dei dati rilevati. Tale attività si può dire pertanto conclusa.

## **A3)        *Calcolo e compensazione delle misure di livellazione e delle misure GPS***

### **A3.1)        *Misure di livellazione***

La fase di calcolo e di compensazione delle misure di livellazione è stata eseguita in blocco ovvero elaborando contemporaneamente tutti i dati di campagna relativi all'insieme delle reti misurate (cfr. par. 1) dando luogo, quindi, ad un unico output di quote compensate utilizzabile per successive operazioni di confronto e di elaborazione.

Prima di eseguire la compensazione generale della rete, dato l'ampio set di dati a disposizione, è stato dato l'avvio ad un'analisi statistica dei risultati partendo dalla considerazione delle discrepanze tra andata e ritorno. Per prima cosa si è verificato l'andamento dei valori assoluti delle discrepanze in funzione delle distanze (Fig. 2).



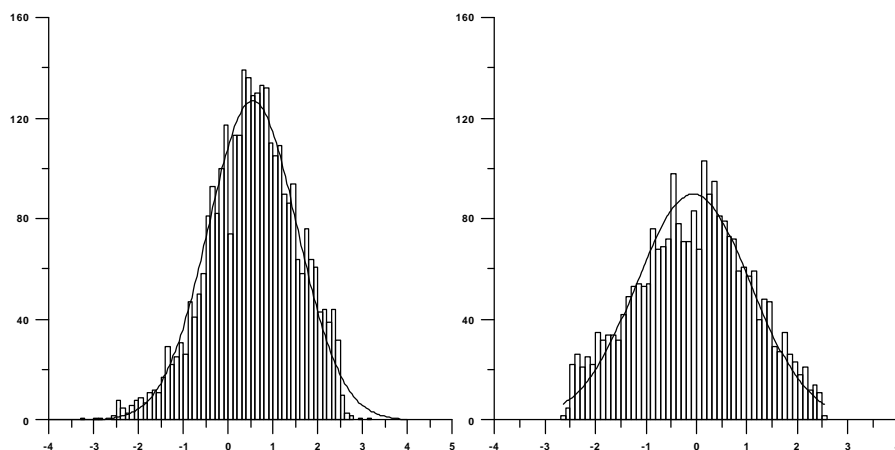
**Fig. 2** - Valori assoluti delle discrepanze (mm) rispetto alle distanze (km)

Come si può notare, un gran numero di esse è contenuto nella tolleranza  $2\sqrt{D}$ , soprattutto per distanze brevi. Ciò fa pensare alla possibilità di potere imporre nei prossimi rilievi tale ultima tolleranza, seppur con qualche aggravio di costo determinato dalla maggiore probabilità di dover ripetere tratti fuori tolleranza. Il rispetto della tolleranza  $2\sqrt{D}$  è più frequente per distanze fino a 0.7-0.75 km e questo è certamente attribuibile a due fattori: il primo riguarda l'esistenza di errori sistematici, il cui accumulo rende difficile il rispetto delle tolleranze per lunghi tratti ed il secondo è di tipo umano per la stanchezza dei portastadia che può ingenerare difficoltà nella verticalizzazione ed immobilità della stadia stessa. Il ridurre la distanza fra i capisaldi, oltre a porre rimedio a tali problemi, renderebbe anche meno penalizzante l'eventuale distruzione o manomissione di alcuni di essi.

Si è poi cercata la distribuzione statistica dei residui normalizzati, calcolati come

$$d = \frac{A + R}{\sqrt{D}} \quad (\text{dove } A \text{ e } R \text{ sono i dislivelli in andata e ritorno e } D \text{ è la distanza in km})$$

costruendo l'istogramma di figura 3 con un passo di 0.1 mm.



**Fig. 3 e 4** - Istogramma della distribuzione delle discrepanze normalizzate

Come si può notare, la distribuzione ben si adatta ad una curva normale, con scarto quadratico medio inferiore al mm, ma con valore medio non nullo e pari a +0.5 mm. Ciò conferma l'esistenza di un errore sistematico che rende il dislivello positivo sempre maggiore di quello negativo. Tale errore è noto da tempo ed è dovuto al fenomeno dello sprofondamento della stadia sul punto indietro, il che rende il dislivello trovato in salita maggiore di quello trovato in discesa. Seppure noto, tale errore ci ha sorpreso per la sua entità. Per svincolarci da questo errore si è agito nel modo seguente:

- a) si è scelto un set di tratti (2500) dei quali metà hanno avuto l'andata in salita e metà l'andata in discesa;
- b) si è poi considerata la discrepanza normalizzata ottenuta come  $d = \frac{|A| - |R|}{\sqrt{D}}$

In questo caso si ha ancora un ottimo adattamento con una curva normale (Fig. 4), con scarto quadratico medio un po' maggiore (più alta dispersione dei dati) e valore medio nullo; ciò conferma quanto sopra. Si dovrà perciò intervenire sulle specifiche tecniche imponendo per gli appoggi della stadia norme più severe (piastre di peso maggiore, uso di picchetti infissi nel caso di terreno sciolto, grandi chiodi a testa tonda infissi nell'asfalto, ecc.).

Altre analisi hanno riguardato l'influenza della rifrazione, la direzione di percorrenza, ecc. ma non sembra emergano effetti degni di nota, anche perché i dislivelli in gioco sono in genere molto piccoli e l'insolazione già abbastanza debole (misure eseguite nei mesi di settembre-ottobre).



Tutto ciò ha evidenziato con certezza la buona qualità e l'omogeneità dei dati e della loro organizzazione ed ha permesso di procedere alla compensazione in blocco di tutta la rete attraverso il metodo delle osservazioni indirette, utilizzando un sistema di 3168 equazioni in 3030 incognite. A tal fine è stato necessario implementare un nuovo programma di compensazione dato l'elevatissimo numero di incognite presenti. Dalla compensazione si è potuto ricavare, come ci si aspettava, un errore chilometrico inferiore al millimetro, mentre gli scarti quadratici medi nelle quote dei punti (inferiori al centimetro anche per i punti più lontani dall'origine delle quote, ad esempio Piacenza o Cattolica) confermano ampiamente tale dato. Da tutto ciò si può affermare che le misure sono state effettuate nel rispetto delle specifiche tecniche e delle tolleranze e che i risultati rispondono appieno alle aspettative.

Le osservazioni statistiche summenzionate rivestono un'importanza tecnica notevole. Diventa infatti indispensabile migliorare, anche di poco, le precisioni raggiungibili, qualora ci si trovi in presenza di valori di subsidenza attenuati o con campagne di misura frequenti: adottando precisioni inferiori si potrebbero conseguire errori di misura di entità pari o superiore ai valori stessi di abbassamento che si vorrebbero evidenziare.

Dopo avere verificato il rispetto delle tolleranze, si è passati al calcolo dell'errore chilometrico in funzione delle discrepanze per i rami aperti e per le lunghissime tratte Est-Ovest e Nord-Sud con la formula:

$$s = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{d^2}{Dn}}$$

dove n è il numero dei tratti, d è espresso in millimetri e D in chilometri, ottenendo errori chilometrici di 0.5-0.7 mm/km.

Si è poi eseguita la compensazione della rete considerando dapprima i soli punti nodali e i dislivelli di linea come pseudo-osservazioni con un sistema in 348 equazioni in 212 incognite ottenendo le quote dei punti nodali ed i loro errori quadratici medi che vanno da pochi millimetri per i punti prossimi all'origine fino a 5-7 mm per i capisaldi più lontani. Valutata quindi la buona qualità delle osservazioni, si è infine proceduto con la compensazione globale della rete, con 3180 equazioni e 3041 incognite, ottenendo le quote di tutti i punti ed il loro errore quadratico medio, compresi i punti delle linee di riferimento che potranno essere utilizzate in futuro per la ripetizione parziale della rete.

Fra i punti quotati, come detto, vi sono anche tutti i vertici GPS della pianura e ciò consentirà interessanti studi sull'andamento delle ondulazioni geoidiche della zona.

Nell'allegato 2 si riporta il riepilogo delle quote compensate dei capisaldi di livellazione.

### **A3.2) Capisaldi di riferimento**

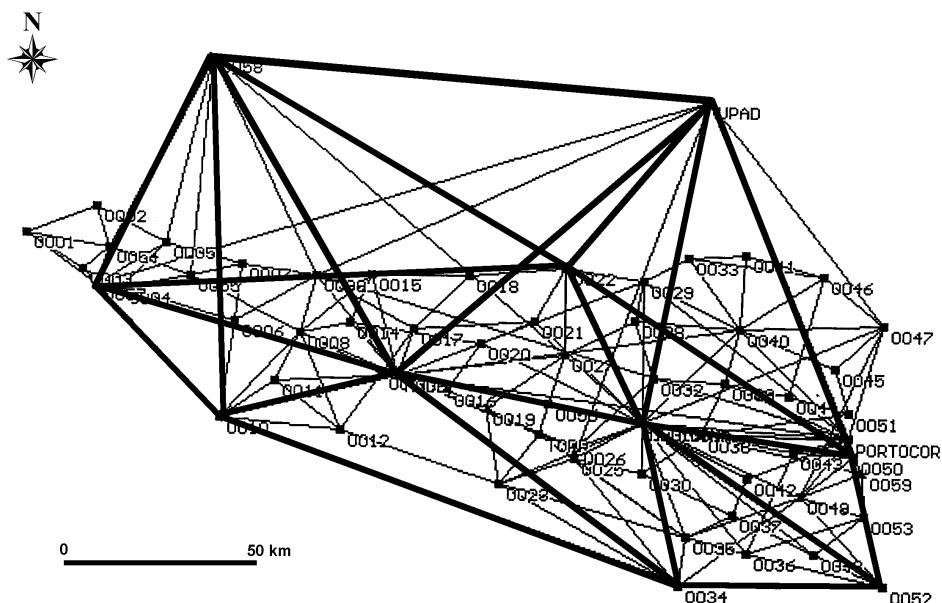
La rete di livellazione è stata ancorata, attraverso 6 linee aperte, a zone ritenute stabili sugli Appennini. Di tali linee, tre appartengono alla rete nazionale IGM e altre tre sono state istituite da altrettante reti locali di primaria importanza: Bologna (1983), Modena (1981) e Ravenna (1977). Il caposaldo da cui derivare la quota origine per tutta la rete è stato individuato nei pressi di Sasso Marconi (Appennino Bolognese). La sua posizione baricentrica, rispetto allo sviluppo della rete, consente di ottimizzare l'effetto di propagazione degli errori. Il caposaldo, denominato 025010, appartiene alla rete del Comune di Bologna (SM/2) con quota pari a 226.360 m s.l.m. determinata nel 1983 dal comune stesso - e rimasta invariata nei rilievi successivi - a partire dalla quota del caposaldo I.G.M.I. 5/162'' (verticale) determinata nel 1949. Il rilievo I.G.M.I. del 1990 ha rideterminato la quota del 5/162'' confermandone la sostanziale stabilità. Un'ulteriore conferma della sua stabilità si è avuta, *a posteriori*, dalla verifica del dislivello rilevato tra detto caposaldo e il caposaldo di riferimento di Castel de' Britti (Appennino Bolognese), dislivello rimasto invariato rispetto ai precedenti rilievi del 1983, 1987, e 1992. Rispetto al progetto originale della rete sono state attuate tre modifiche:

1. i capisaldi di riferimento sono passati da 5 a 6 essendo stata inserita la linea 121 di collegamento al caposaldo istituito dal Comune di Bologna come CB/01 nel 1983 nei pressi di Castel de' Britti lungo la valle del T. Idice. Tale caposaldo risulta particolarmente utile per la verifica della stabilità relativa del già citato caposaldo origine di Sasso Marconi;
2. la linea lungo il F. Taro che collega Parma al caposaldo di riferimento di Ozzano Taro istituito dall'I.G.M.I. come 33/111 nel 1952 è stata allungata di circa 13 km sino a raggiungere una zona considerata più stabile (M. Prinzero) assumendo come caposaldo di inizio linea il caposaldo istituito dall'I.G.M.I. come 33/97 nel 1952;

3. non è stato rilevato il caposaldo ancorato alla struttura dell'idrovora sullo scanno di Goro per l'oggettiva impraticabilità della zona; si può ipotizzare che, in futuro, tale caposaldo, possa essere rilevato tramite misure GPS.

#### **A3.3)        *Misure GPS***

Per la misura della rete GPS è stato utilizzato un sistema abbastanza complesso sia per l'esistenza in loco di alcune stazioni permanenti, sia per la presenza di alcune basi di lunghezza molto elevata necessarie per collegare la rete ad almeno due punti stabili a Nord. Si è quindi proceduto in cascata, con la determinazione prima dell'*ossatura* della rete attraverso sessioni molto lunghe (96 ore) coinvolgendo le stazioni permanenti di Padova, Medicina, Porto Corsini e Modena (nonché altre per l'inquadramento nella rete IGS) ed altri 6 punti al contorno della rete. Successivamente, usando alcuni di questi punti come stazioni semi-permanenti e le stazioni permanenti vicine a seconda della zona di operazione (per non avere basi troppo lunghe), si è passati alla misura della vera e propria rete con sessioni di 270 minuti ed usando lo schema di occupazione multipla per ogni punto. Per le baselines più lunghe sono state spesso usate sessioni multiple e cioè di 540 e 810 minuti. Si è quindi ottenuto, ragionando in termini di baselines indipendenti, lo schema di figura 5 con ben 160 baselines osservate e quindi con una sovrabbondanza pari a 3, il che garantisce una grande affidabilità per i risultati.



**Fig. 5 - Schema delle misure GPS**

Il calcolo e la compensazione sono stati eseguiti con diverse modalità usando anche diversi programmi sia per il controllo della qualità che per il calcolo a basi singole o in multibase-multisessione. In particolare sono stati usati il Geotracer, il Bernese e per la rete di inquadramento anche il Gipsy.

Ciò non significa che i risultati ottenuti siano definitivi. Infatti, avendo immagazzinato i dati di misura, la rete potrà essere ricalcolata, quando si ripeteranno le misure, se esisteranno programmi di calcolo più raffinati di quelli attualmente in uso. La compensazione effettuata è comunque servita, da un lato, per ottenere le coordinate dei punti utili ad effettuare studi sul geoide e, dall'altro, per valutare la qualità delle misure che sembra rispondere in pieno alle attese. Infatti, prendendo in considerazione la compensazione a basi singole, che dà parametri di errore realistici, si può fare affidamento su di una precisione per le quote dell'ordine di un centimetro, poco diversa da quella ottenibile con la livellazione di precisione per i punti più lontani dall'origine.

#### **A4) Omogeneizzazione dei dati storici relativi ai capisaldi di livellazione preesistenti**

##### **A4.1) Premessa**

Come è noto la Rete Regionale di controllo della subsidenza e, in particolare, la rete di livellazione, è costituita da capisaldi di livellazione di nuova istituzione e da capisaldi preesistenti materializzati nel corso del tempo da enti vari che hanno svolto operazioni di rilevamento altimetrico nel territorio regionale. Lo scopo dell'attività, svolta in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Ferrara, è stato quello di verificare se e in quale modo i capisaldi preesistenti potessero essere utilizzati per ottenere informazioni sul fenomeno della subsidenza fin dal primo rilievo della rete.

Tra gli enti che in passato hanno eseguito livellazioni geometriche nella Pianura Padana sono stati presi in esame i seguenti:

- L'Istituto Geografico Militare Italiano (I.G.M.I.)
- Direzione Generale del Catasto e degli uffici tecnici erariali (D.G.C.)
- Magistrato per il Po
- IDROSER
- Comune di Ravenna
- Comune di Bologna
- Comune di Modena
- ERSA
- Consorzio di Bonifica Forlivese
- AGIP
- Consorzio di Bonifica Renana
- Provincia di Ferrara
- Consorzio di Bonifica Ravennate
- Azienda Municipalizzata dei Servizi di Parma, (AMPS).

Per tali enti si è proceduto ad una ricostruzione storica di tutte le campagne di misura eseguite e, per verificare la possibilità di rendere omogenee le quote determinate nei vari rilievi, si è analizzata con particolare attenzione la scelta del caposaldo o dei capisaldi di riferimento e la quota assunta per esso o per essi dai diversi enti. Si sono



inoltre considerati i capisaldi di intersezione tra reti differenti per verificare la concordanza tra le quote rideterminate per tali capisaldi a seguito dell'omogeneizzazione.

Si riportano di seguito i criteri adottati per l'omogeneizzazione delle quote e i risultati finali di tale operazione. Per quanto riguarda lo studio dettagliato di ogni campagna di misura e il procedimento di calcolo della relativa correzione d'omogeneizzazione si rimanda all'allegato 3.

#### **A4.2) Criteri adottati nell'omogeneizzazione**

Si applica la costante d'omogeneizzazione (o correzione d'omogeneizzazione) delle quote a tutte le campagne di livellazione nelle quali la quota assunta per il caposaldo origine è affetta da un errore di cui è possibile stimare il valore e il segno. Ciò si verifica allorquando l'ente o la ditta che ha eseguito le misure si è collegata direttamente o indirettamente a linee di livellazione dell'I.G.M.I. o del Catasto presenti nel territorio in prossimità del luogo del rilievo. Un'ulteriore possibilità si ha quando il caposaldo di origine appartiene ad una rete od una linea, istituita da altri enti, di cui sono già state omogeneizzate le campagne di misura. Il calcolo della correzione richiede, quindi, la determinazione della quota del caposaldo origine in base ad un criterio di congruenza. Fatto ciò, si trasla rigidamente l'intera linea, o rete, di livellazione in esame fino a quando la quota del caposaldo origine non coincide con il valore calcolato. Il modello geometrico che corrisponde all'omogeneizzazione è una **traslazione lungo la verticale** per il caposaldo di riferimento. La procedura seguita si può riassumere sinteticamente nelle seguenti fasi:

- un'indagine preliminare porta alla definizione di quello che è *il sistema di riferimento*, in base al quale viene verificata la congruenza delle singole campagne di misura: a tale fine sono state utilizzate le linee di livellazione degli enti cartografici nazionali I.G.M.I. e Catasto, dopo averne verificato l'omogeneità interna;
- il passo successivo è stato quello di cercare, per ogni campagna di misura da controllare, il/i caposaldo/i di riferimento;

- verificato se il caposaldo di riferimento appartiene alle linee di livellazione costituenti il sistema di riferimento sopra citato (come avviene nella gran parte dei casi), si cercano i due valori di quota, uno anteriore e uno posteriore alla data del rilievo, determinati dall'I.G.M.I. e/o dal Catasto. Per semplice interpolazione lineare si determina il valore della quota del caposaldo di riferimento alla data del rilievo. Se  $t$  è l'epoca del rilievo e  $j+1$  e  $j$  sono le date, rispettivamente, posteriore e anteriore si ha:

$$Q_{interp}=Q_{j+1}+(Q_{j+1}-Q_j) (t-t_j) (t_{j+1}-t_j)^{-1}.$$

relazione valida nell'ipotesi che il caposaldo in oggetto sia abbassato con velocità costante dall'epoca  $j$  all'epoca  $j+1$ ;

- la costante d'omogeneizzazione è calcolata, quindi, come la differenza tra la quota così determinata ( $Q_{interp}$ ) e il valore di quella assunta dall'ente che ha eseguito la campagna ( $Q$ ):

$$C=Q_{interp}-Q.$$

- Qualora il caposaldo di riferimento per la campagna di misure non appartenga ad una linea di livellazione del sistema di riferimento si ricercano tra quelli della campagna in esame i capisaldi (sia  $n$  il loro numero) comuni con le linee che costituiscono il sistema di riferimento. Per ciascuno è determinata la correzione d'omogeneizzazione con i criteri riportati; in questo caso si è assunto come valore della costante d'omogeneizzazione la media aritmetica di quelli calcolati per i capisaldi suddetti, nell'ipotesi che gli stessi mostrino una variabilità interpretabile come effetto stocastico degli errori accidentali delle misure:

$$C=(S_i C_i)/n \quad i=1,...,n$$

Una volta determinate le correzioni di omogeneizzazione più plausibili, si sono ricalcolate le quote dei capisaldi comuni a più enti rilevati sulle campagne di misura corrette, per verificare se l'andamento delle quote nel tempo presentasse un'accettabile regolarità. Questo controllo *a posteriori* non ha dato sempre risultati soddisfacenti. In alcuni casi, è apparso chiaramente che il modello di "semplice traslazione" non era sufficiente per rendere congruente il complesso delle campagne di misura studiate. Non si è ritenuto opportuno, tuttavia, adottare altri criteri di correzione perché questi ultimi

avrebbero comportato la modifica dei dislivelli e quindi dei risultati originali delle misure forniti dagli enti.

#### **A4.3) Risultati**

I risultati conclusivi della procedura di omogeneizzazione sono riportati nelle Tab. 1 e 2. La struttura delle tabelle e dei diagrammi è descritta di seguito:

- **Tab. 1:** correzioni calcolate. Sono riportati i valori calcolati per le costanti d'omogeneizzazione. Oltre a questi, per una lettura più completa dei dati, si forniscono anche i moduli delle velocità medie d'abbassamento calcolate nei periodi di tempo in cui sono state determinate le correzioni e le lunghezze dei periodi stessi. Quando la costante risulta dalla media di diversi valori calcolati, si riporta il valore medio anche per il dato della velocità e del periodo (quando ciò è possibile).
- **Tab. 2:** contiene le costanti d'omogeneizzazione che si ritiene si debbano effettivamente applicare. Essa è ottenuta dalla tabella 1 eliminando le campagne di livellazione in cui le quote dei capisaldi sono state determinate con un grado d'incertezza superiore all'entità della costante d'omogeneizzazione.

**Tab. 1 – Correzioni calcolate**

<b>ENTE</b>	<b>C (m)</b>	<b>V (mm/anno)</b>	<b>PERIODO (anni)</b>
IGMI 1972 – 73	-0.0793	-	-
IGMI 1980	-0.0268	-	-
DGC	-	-	-
MAGISTRATO PER IL PO 1970	-0.0173	1	32
MAGISTRATO PER IL PO 1975	-0.00555	0.3	27
IDROSER 1984	-0.0019	0.3	13
IDROSER 1987	-0.0028	0.3	13
IDROSER 1993	-0.0044	0.3	13
COMUNE DI RAVENNA 77, 82, 86, 92	-0.0851	4	14
COMUNE DI BOLOGNA 83, 87, 92	-	-	-
COMUNE DI MODENA 77, 82, 86, 92	-	-	-
ERSA I° tr 1958 (Mesola)	-0.0240	6.8	-
ERSA I° tr 1959 (Mesola)	-0.0352	6.5	-

ENTE	C (m)	V (mm/anno)	PERIODO (anni)
ERSA III° tr 1960 (Mesola)	-0.0213	5.1	12
ERSA III° tr 1961 (Mesola)	0.0251	7.2	12
ERSA IV° tr 1962 (Mesola)	-	-	-
ERSA V° tr 1963 (Mesola)	0.0064	7.2	12
ERSA VI° tr 1964 (Mesola)	0.0028	7.2	12
ERSA VII° tr 1965 (Mesola)	-0.0044	7.2	12
ERSA VIII° tr 1967 (Mesola)	-0.0210	7.2	12
ERSA IX° tr 1968 (Mesola)	-0.0248	1.8	2
ERSA X° tr 1969 (Mesola)	-0.0265	1.8	3
ERSA XI° tr 1973 (Mesola)	-0.0336	1.6	7
ERSA XII° tr 1974 (Mesola)	-0.0353	1.6	7
ERSA XIII° tr 1975 (Mesola)	-0.0368	1.6	7
ERSA VII° tr 1967 (Pega)	-0.01	-	-
ERSA VIII° tr 1970 (Pega)	-0.03	-	-
ERSA IX° tr 1971(Pega)	-0.03	-	-
C. B. FORLIVESE 1980	-0.0606	3	14
AGIP 1974	0.0130	0.2	16
AGIP 1976	0.0141	0.2	16
AGIP 1979	0.0151	0.2	16
C. B. RENANA 1970	-0.1026	4.7	42
PROVINCIA DI FERRARA 1979		C media:	
Lin. Nuova Chiavica Pilastresi.-	0.0780	0.0740	6.5
Volano	0.0700		5
Ex. Con. Grande Bon. Ferrarese	0.0734		8.4
Consorzio II° circondario			15

**Tabella 2 – Correzioni da applicare**

<b>ENTE</b>	<b>C (m)</b>
IGMI 1972 – 73	-0.079
IGMI 1980	-0.027
COMUNE DI RAVENNA 77, 82, 86, 92	-0.041
ERSA I° tr 1958 (Mesola)	-0.024
ERSA I° tr 1959 (Mesola)	-0.035
ERSA III° tr 1960 (Mesola)	-0.021
ERSA III° tr 1961 (Mesola)	0.025
ERSA VIII° tr 1967 (Mesola)	-0.021
ERSA IX° tr 1968 (Mesola)	-0.025
ERSA X° tr 1969 (Mesola)	-0.026
ERSA XI° tr 1973 (Mesola)	-0.034
ERSA XII° tr 1974 (Mesola)	-0.035
ERSA XIII° tr 1975 (Mesola)	-0.037
ERSA VII° tr 1967 (Pega)	-0.01
ERSA VIII° tr 1970 (Pega)	-0.03
ERSA IX° tr 1971(Pega)	-0.03
C. B. FORLIVESE 1980	-0.061
AGIP 1974	0.013
AGIP 1976	0.014
AGIP 1979	0.015
C. B. RENANA 1970	-0.103
PROVINCIA DI FERRARA 1979	0.074

#### **A4.4)        *Le campagne di livellazione “IDROSER” 1984, 1987 e 1993***

##### **A4.4.1        *Premessa***

Il confronto tra le campagne “IDROSER” 1984, 1987 e 1993 con le misure relative al rilievo 1999 ha messo in luce alcune incongruenze:

- Prendendo come “riferimento di zero” la campagna di misure del 1984, gli abbassamenti evidenziati nella campagna del 1993 rispetto alla campagna del 1987 presentano nella zona sud del litorale un deciso rallentamento del fenomeno mentre nella zona nord (litorale ferrarese) mostrano un notevole incremento quindi, in sostanza, un’inversione di tendenza;



- il confronto con la campagna del 1999 evidenzia, rispetto al 1993, una assoluta congruenza per quanto riguarda la tendenza, tuttavia gli abbassamenti si presentano ridottissimi e, nell'area ferrarese, vengono evidenziati persino degli apparenti innalzamenti.

Di tali problemi è stato interessato il Dipartimento d'Ingegneria dell'Università di Ferrara che già aveva collaborato per l'attività di omogeneizzazione dei dati storici. Nel seguito vengono descritti i risultati dello studio condotto dal Dipartimento.

#### *A4.4.2          Modalità d'analisi del problema*

Si è proceduto ad un doppio controllo delle campagne di misura: dapprima è stata verificata la congruenza interna di ognuna di esse, in secondo luogo si verificata la loro congruenza rispetto ad altre linee di livellazione.

##### **Analisi della congruenza interna di ogni campagna di misure.**

Per quanto riguarda la prima verifica, si è proceduto, quando si è ritenuto necessario, ad un controllo dell'errore di chiusura degli anelli (analisi pre-compensazione) ed ove necessario alla determinazione dello scarto quadratico chilometrico. Sempre in un ambito d'analisi a priori è stata svolta una ricerca d'eventuali errori sistematici, utilizzando le misure dei dislivelli in andata e ritorno.

##### **Analisi della congruenza di ogni campagna di misure rispetto ad altre linee di livellazione: definizione di un sistema di riferimento altimetrico.**

Ultimata la prima fase è stata svolta un'analisi per determinare la congruenza rispetto ad un sistema di riferimento opportunamente definito. Il più attendibile e consolidato è costituito dalla rete di livellazione fondamentale dell'IGMI unitamente alle linee misurate dal Catasto negli anni settanta.

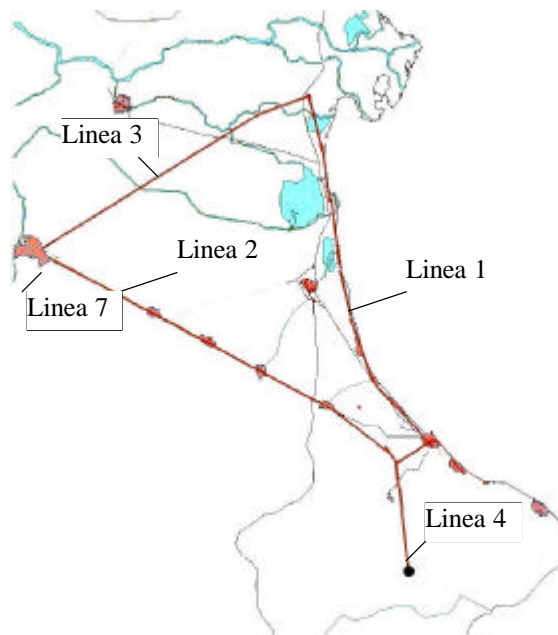
Un'analisi delle linee che costituiscono il riferimento adottato era già stata affrontata nel lavoro di omogeneizzazione delle quote storiche nel quale viene messo in luce come le linee IGMI siano fundamentalmente congruenti internamente, ad eccezione di talune anomalie presenti in alcune delle linee rilevate fra il 1972 e il 1973 e nel 1980. Proprio

per ovviare a tale fatto, si sono considerate come facenti parte del sistema di riferimento in oggetto, anche le linee di livellazione misurate dal Catasto.

Dopo avere controllato la congruenza interna ed esterna delle singole campagne di misura, si è cercato di risolvere i problemi indicati in precedenza proponendo l'applicazione di un semplice modello di correzione alle quote stabilite nelle campagne stesse.

#### *A4.4.3 Rete IDROSER - campagna di misure del 1984*

La rete è costituita da diverse linee di livellazione, cinque delle quali possono essere considerate le principali; le altre non fanno parte del corpo vero e proprio della rete e hanno la funzione di quotare capisaldi siti in zone periferiche della rete stessa. In figura 6 è riportato uno schema della rete.



**Fig. 6** - Schema della rete IDROSER rilevata nel 1984.

La rete è costituita da un grande anello che va dalla costa emiliano-romagnola fino alla provincia di Bologna. Le linee principali sono: la n°1 che, lungo la costa, va da Santarcangelo di Romagna fino alla zona del delta nel Basso Ferrarese, la n°2 che da

Santarcangelo va fino a Bologna seguendo la Via Emilia, infine la n°3 che da Bologna prosegue fino alla zona del delta nel Basso Ferrarese.

Il trasporto di quota avviene partendo dalla zona di Pennabilli, caposaldo 4/1 IDROSER (di quota m 369.4733), tramite la linea 4 che arriva fino a Santarcangelo di Romagna. Un'ulteriore linea collega l'anello formato dalle linee 1, 2 e 3 con il caposaldo istituito dal Comune di Bologna a Castel de' Britti, linea 7. I capisaldi di Pennabilli e di Castel de' Britti sono i punti di riferimento stabili della rete.

Per l'analisi della campagna di misure ci si è limitati a considerare solo questi elementi della rete, trascurando le linee secondarie.

### **Analisi della congruenza interna.**

La rete è stata compensata con il criterio ai minimi quadrati. L'anello formato dalle linee 1, 2 e 3 è stato compensato per osservazioni condizionate.

Le quote ottenute sono identiche a quelle originali. Un quadro riassuntivo, anche se non completo, della qualità delle misure viene fornito di seguito.

LINEE 1, 2 E 3:

ERRORE DI CHIUSURA DELL'ANELLO:

$w=0.051$  m

LUNGHEZZA ANELLO:

$L=330.361$  km

TOLLERANZA ERRORE DI CHIUSURA ANELLO:

$2(\sigma^*L^{1/2})=0.109$  m

VARIANZA DELL'UNITA' DI PESO A PRIORI:

$\sigma_0^2=9.0$  mm<sup>2</sup>/km<sup>2</sup>

VARIANZA DELL'UNITA' DI PESO A POSTERIORI:

$s_0^2=7.72$  mm<sup>2</sup>/km<sup>2</sup>

RAPPORTO  $s_0^2/\sigma_0^2$ :

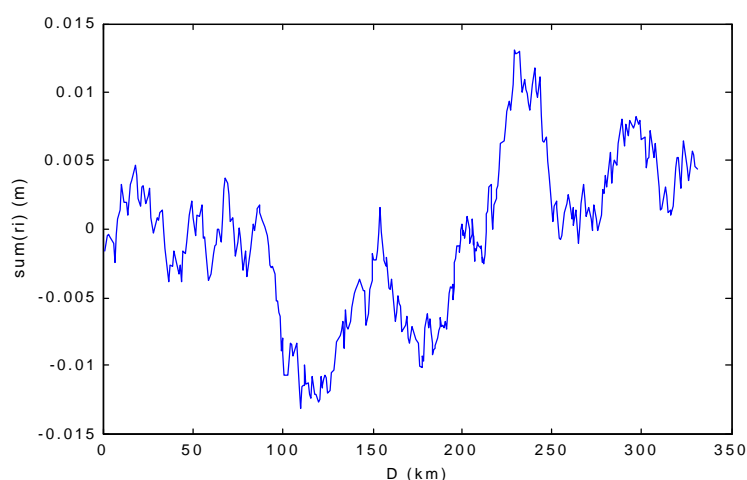
$s_0^2/\sigma_0^2=0.86$

La compensazione non evidenzia, quindi, la presenza di errori grossolani. Si è rivolta l'attenzione, allora, agli errori sistematici.

Le misure sono costituite dai dislivelli e dalle distanze tra i capisaldi determinati in andata e ritorno. Le differenze tra le misure di dislivello in andata e ritorno, in presenza di soli errori accidentali, dovrebbero essere distribuite attorno al valore atteso, che in questo caso è zero.

Anche la loro funzione cumulata dovrebbe oscillare attorno allo zero. Un diagramma della funzione cumulata è presentato nella figura 7: in ascissa è indicata la distanza progressiva dei capisaldi, in ordinata invece è riportato il valore cumulato delle differenze tra i dislivelli misurati in andata e ritorno.

Il tratto tra 0 e 100 km, circa, è quello relativo alla linea 2, da Bologna verso Santarcangelo di Romagna; il tratto tra 100 e 230 km è costituito dalla linea costiera 1 da Santarcangelo fino al Basso Ferrarese; infine la terza parte è quella relativa alla linea 3 da Ferrara fino a Bologna.



**Fig. 7** -Grafico delle discrepanze cumulate fra i dislivelli in andata e ritorno per le linee 1, 2 e 3.

Per meglio interpretare il diagramma si nota che la linea 1 ha un ben definito orientamento Nord–Sud, mentre le altre linee attraversano la Pianura Padana orientale trasversalmente.

Solo la parte centrale del diagramma, relativa alla linea 1, rivela un modesto effetto sistematico: la differenza tra il valore massimo e minimo della funzione è di poco superiore a 2 cm che è confrontabile con l'errore di chiusura dell'anello.

Il diagramma consente solo un'analisi qualitativa delle misure, non essendo in alcun modo possibile stabilire entità e caratteristiche degli errori sistematici, e correggere di conseguenza le osservazioni.

Per le linee 4 (da Pennabilli a Santarcangelo di Romagna) e 7 (linea che collega l'anello a Castel de'Britti), con tale tipo di indagine, non è stata messa in luce alcuna anomalia.

#### **Analisi della congruenza esterna.**

Si sono realizzati i diagrammi quota tempo per alcuni capisaldi della rete IDROSER rispondenti ai seguenti requisiti:

- I capisaldi sono comuni anche ad IGMI e Catasto.
- Le quote fornite da detti enti sono ritenute utilizzabili.
- Sono distribuiti planimetricamente in modo sufficientemente uniforme.

I capisaldi selezionati sono i seguenti:

Cod. IDROSER	Cod. ARPA	Cod. IGMI	EST (UTM) m	NORD (UTM) m
2/12	000720	15/9	776156,00	4884867,00
2/55	115010	15/49	743412,23	4900893,39
2/115	078010	15/104	694885,58	4925517,35
3/53	059070	19/7	726066,53	4958666,22
3/75	084080	19/28	740080,00	4968608,00

Per mezzo di un'interpolazione lineare si è determinata la quota da attribuire ai capisaldi nel 1984, anno della campagna di misure IDROSER e quindi, si è calcolata la discrepanza  $c$  tra la quota IDROSER e la quota interpolata.

Nel seguito si utilizza la denominazione dei capisaldi data da IDROSER. Riportando le discrepanze su una planimetria della rete (Fig. 8) si può notare che presso il caposaldo 2/55 il valore è pressoché nullo, a SUD di esso è negativo, il che significa che le quote IDROSER sono più alte di quelle interpolate, mentre, a NORD è positivo.

Si può ritenere, in prima approssimazione, che le discrepanze  $c$  seguano una legge lineare rispetto alle coordinate cartografiche  $x,y$ , del tipo:

$$c(x,y)=ax+by+d \quad (1)$$



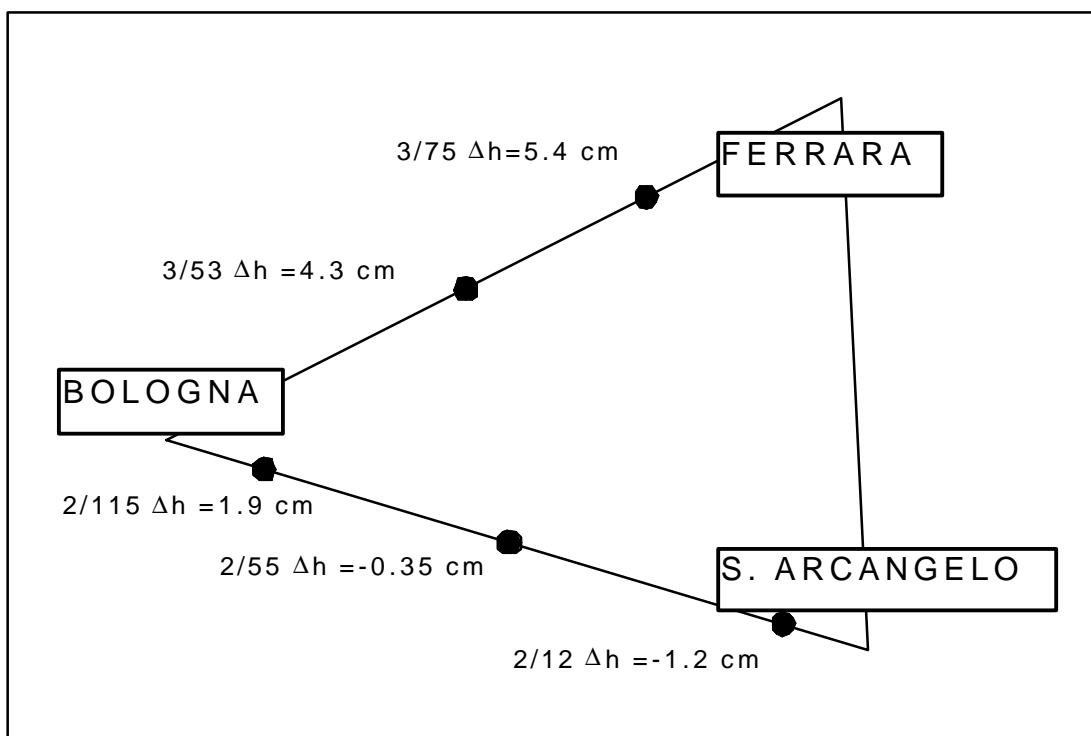
Stimando i parametri con il criterio dei minimi quadrati si ha:

$$\begin{aligned} a &= 0.00000001843099 \\ b &= 0.00000079804847 \\ d &= -3.92601915043613 \text{ m} \end{aligned}$$

I residui calcolati sono:

$$\begin{aligned} v_1 &= -0.0014 \text{ m} \\ v_2 &= 0.0023 \text{ m} \\ v_3 &= -0.0014 \text{ m} \\ v_4 &= 0.0016 \text{ m} \\ v_5 &= -0.0012 \text{ m} \end{aligned}$$

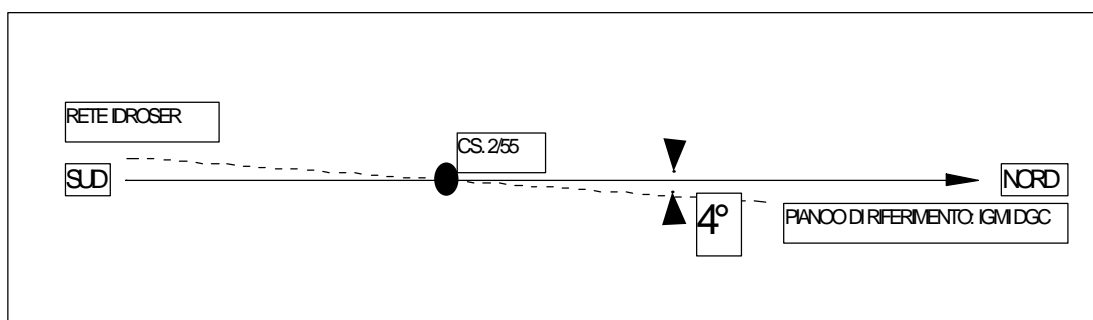
Un'interpretazione della formula può essere la seguente: la campagna di misure IDROSER del 1984 fornisce quote un po' più alte nella parte SUD della rete e un po' più basse nella parte NORD.



**Fig. 8** - Valori delle differenze fra le quote originali e quelle interpolate.

Trascurando il fattore **a** rispetto a **b**, più piccolo di circa due ordini di grandezza, la congruenza è facilmente ripristinata con una rotazione destrogira attorno ad un asse parallelo all'asse della coordinata EST (uscente dal foglio) del piano della rappresentazione e che passa in prossimità del caposaldo 2/55 (Fig. 9).

Il valore della funzione **c(x,y)**, della quale sono stati calcolati i parametri, può essere determinato per tutti i capisaldi della campagna del 1984.



**Fig. 9** - Posizione relativa fra il “piano IDROSER” e quello di riferimento.

#### *A4.4.4 Rete IDROSER - campagna di misure del 1987*

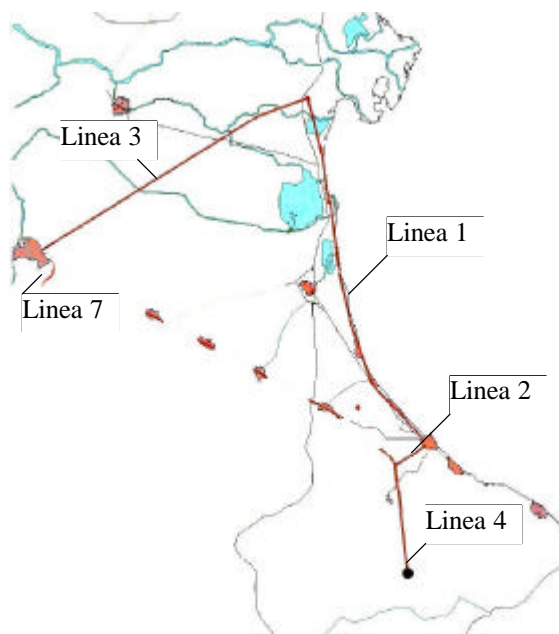
In questa prima ripetizione della campagna di misure è escluso dalla rete il tratto della linea 2 che va da Santarcangelo fino a Bologna: capisaldi dal 2/13 a fine linea. Sono mantenute le linee 1 e 3, nonché la 4 da Pennabilli a Santarcangelo di Romagna e la 7 di collegamento della rete a Castel de' Britti.

Con questa nuova geometria l'unico controllo possibile rimane quello sul dislivello fra i capisaldi di Pennabilli e di Castel de' Britti.

#### **Analisi della congruenza interna.**

Non si è ritenuto opportuno compensare nuovamente la rete, in quanto già eseguita nel 1987 dal Prof. M. Barbarella dell'Università di Ancona.

Si è eseguita, pertanto, la sola analisi delle differenze fra i dislivelli misurati in andata e ritorno.

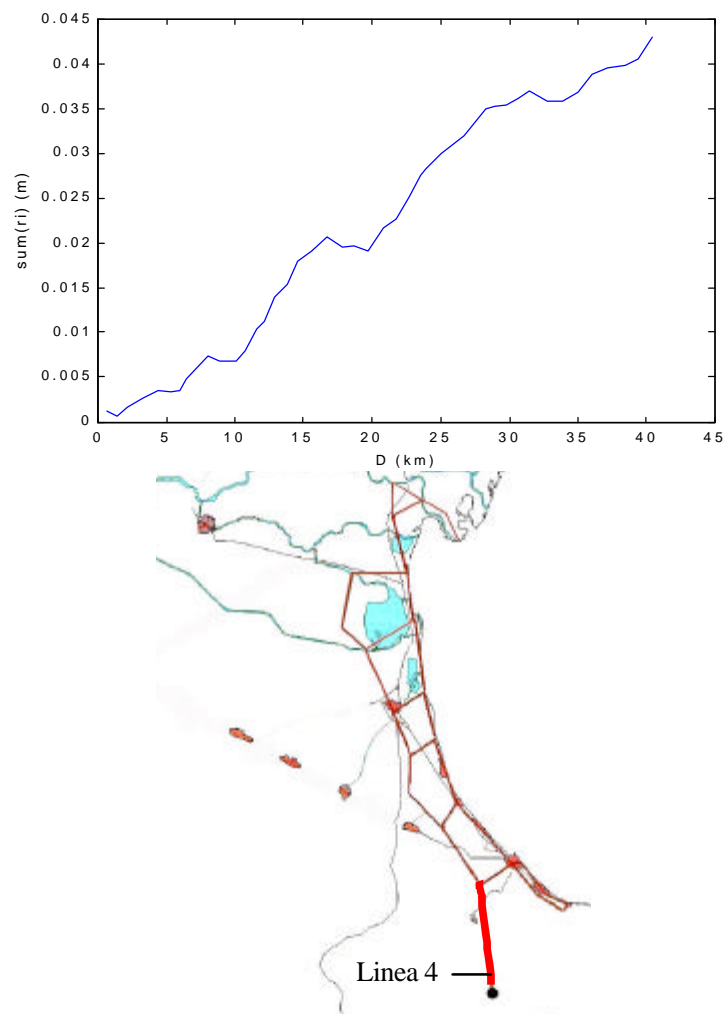


**Fig. 10** - La rete IDROSER rilevata nel 1987.

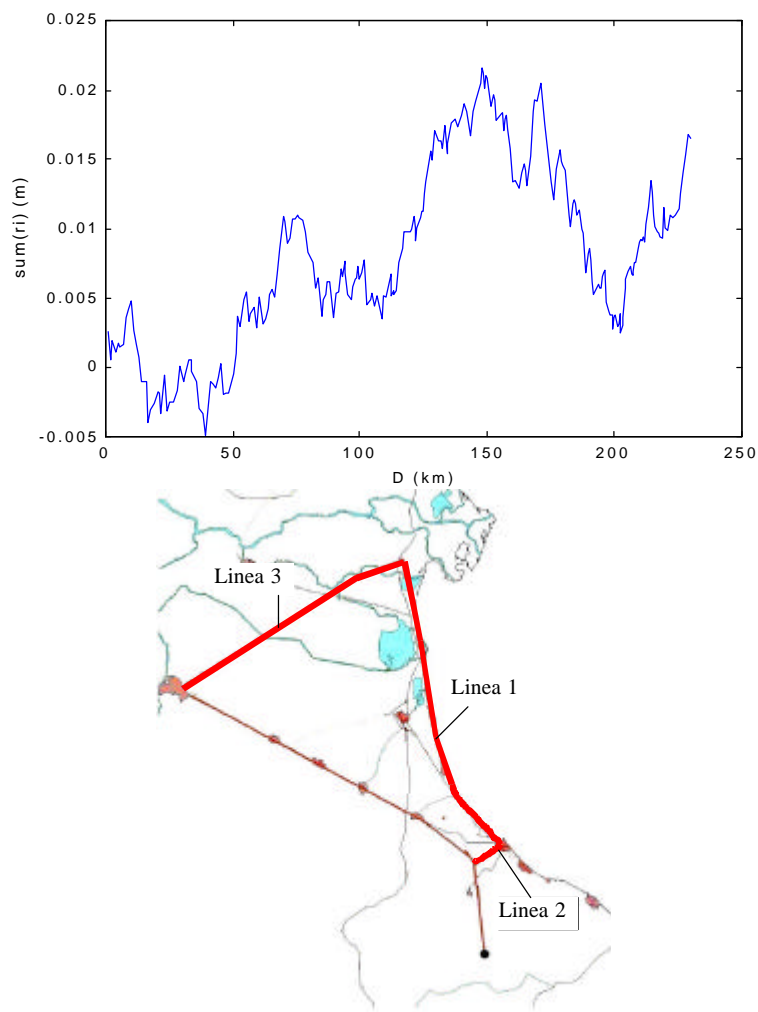
Per la linea 4, orientata da Sud a Nord, il diagramma di detta funzione è riportato in figura 11.

In questo caso, si ha un evidente effetto sistematico che porta ad un errore cumulato finale di oltre 4 cm.

L'indagine successiva ha riguardato le linee 1, 2 (la prima decina di capisaldi) e la 3. La situazione che si presenta è illustrata nella figura 12.



**Fig. 11** - funzione cumulata per la linea 4.



**Fig. 12** - Funzione cumulata per le linee 1, 2 e 3.

I primi 100 km si riferiscono alla linea 3, la restante parte del diagramma è relativa alla linea 1 e 2.

In questo caso l'errore cumulato finale è di poco superiore a 1.5 cm. Per la linea 7 questo tipo di indagine non ha evidenziato problemi. Come in precedenza non è possibile correggere le osservazioni.

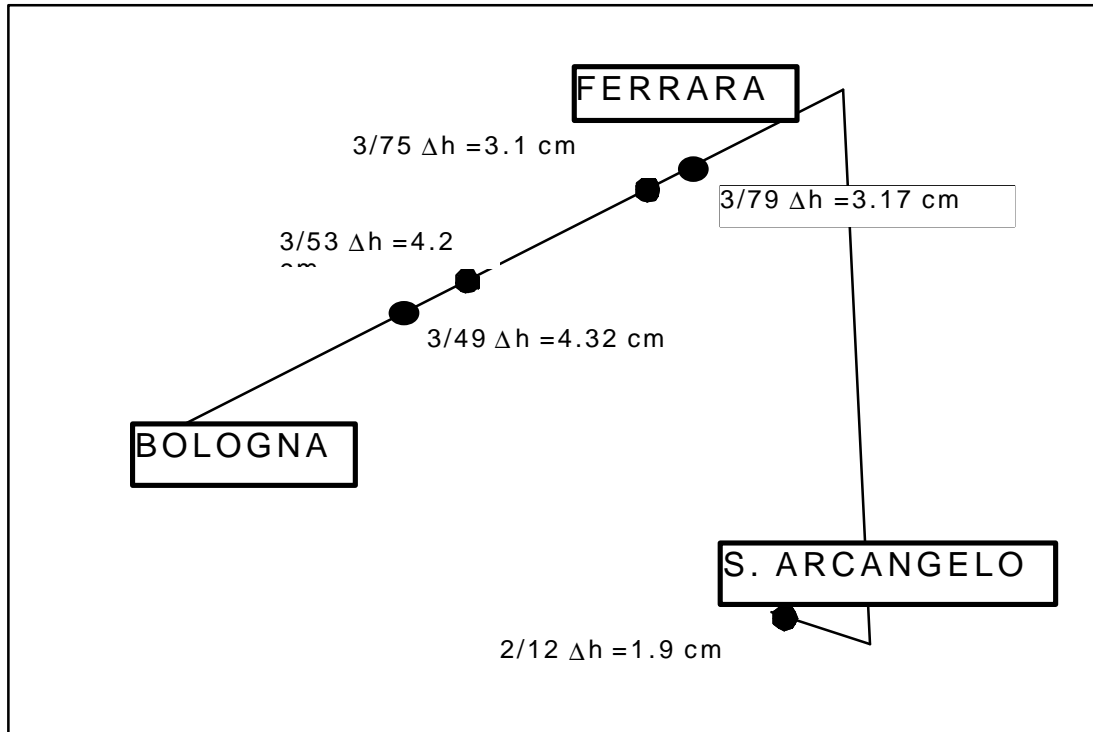
### Analisi della congruenza esterna.

Si è proceduto come per la rete del 1984. I capisaldi utilizzati sono:

Cod. IDROSER	Cod. ARPA	Cod. IGMI	EST (UTM) m	NORD (UTM) m
2/12	000720	15/9	776156.00	4884867.00
3/49	059030	19/3	723601.00	4955816.00
3/53	059070	19/7	726066,53	4958666,22
3/75	084080	19/28	740080,00	4968608,00
3/79	084120	19/32	742633.00	4969298.00

Calcolati i valori delle discrepanze  $c$  tra le quote IDROSER e le quote interpolate è possibile stimare con il criterio dei minimi quadrati il valore dei coefficienti  $a$ ,  $b$  e  $d$  della formula (1).

Non essendo più utilizzabili i capisaldi della linea 2, sono stati aggiunti due capisaldi della linea 3. La rappresentazione planimetrica è riportata in figura 13.



**Fig. 13** - Valori delle differenze fra le quote originali e quelle interpolate.

I parametri a, b e d calcolati sono:

$$a = -0.00000059834493$$

$$b = -0.00000009972488$$

$$d = 0.9705607885936 \text{ m}$$

I residui calcolati sono:

$$v_1 = 0.00005 \text{ m}$$

$$v_2 = -0.0004 \text{ m}$$

$$v_3 = 0.0012 \text{ m}$$

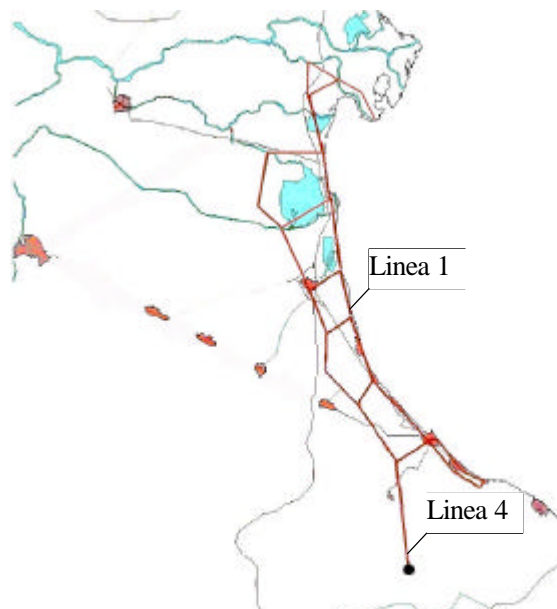
$$v_4 = 0.0002 \text{ m}$$

$$v_5 = -0.0011 \text{ m}$$

La funzione di correzione ha una pendenza discendente da OVEST verso EST, la pendenza Nord-Sud è quasi di due ordini di grandezza più piccola.

#### A4.4.5 Rete IDROSER - campagna di misure del 1993

È la campagna di misure che presenta maggiori difficoltà di analisi. Nella figura 14 è riportata la geometria della rete.

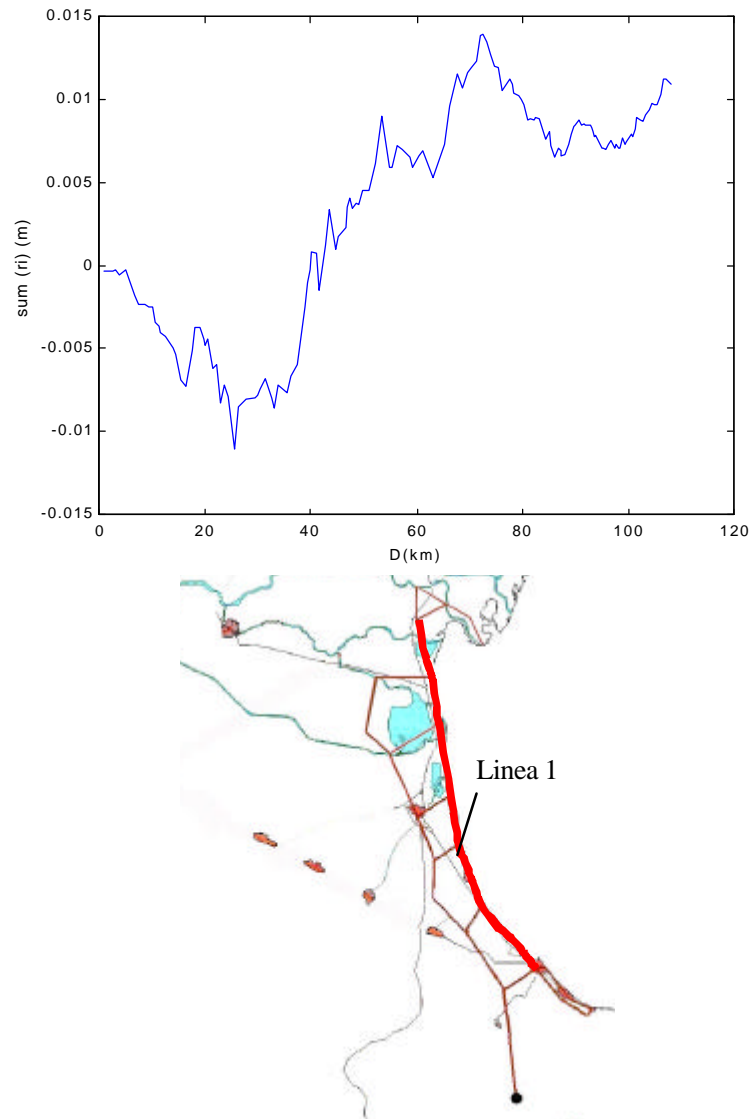


**Fig. 14** - La rete IDROSER rilevata nel 1993.

### **Analisi della congruenza interna.**

Non si è ritenuto opportuno compensare la rete, dato che ciò è stato già fatto dal DISTART dell'Università di Bologna con la supervisione del Prof. G. Folloni.

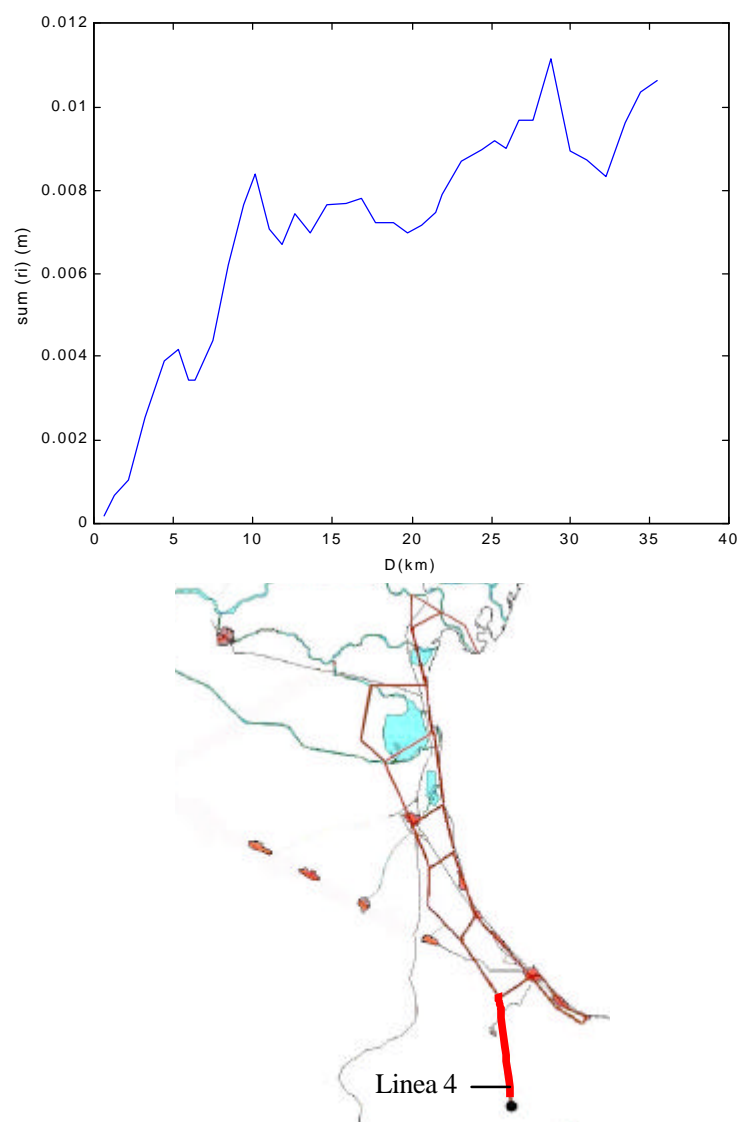
Lo studio sulla presenza di effetti sistematici eseguito con le modalità utilizzate in precedenza, ha prodotto per la linea 1 il risultato seguente:



**Fig. 15** - Grafico delle discrepanze cumulate per la linea 1.

La medesima analisi è stata condotta per la linea 4 che collega Pennabilli a Santarcangelo di Romagna. Il risultato è illustrato nella figura 16.





**Fig. 16** - Grafico delle discrepanze cumulate per la linea 4.

L'andamento del grafico per entrambe le linee mostra la presenza di un effetto sistematico circa della stessa entità. Per la linea 1 l'ordine di grandezza è pressoché uguale a quello evidenziato per la campagna IDROSER 1984.

#### **Analisi della congruenza esterna.**

La rete del 1993 non contiene capisaldi IGMI o del Catasto che consentano il calcolo delle correzioni come fatto in precedenza; si è quindi deciso di fare le seguenti ipotesi:

- Le campagne precedenti, del 1984 e 1987, una volte corrette con la procedura descritta in precedenza sono da considerarsi affidabili.
- La campagna di misure del 1999 è da considerarsi congruente, sia rispetto a se stessa sia rispetto alle linee IGMI e Catasto usate per definire il sistema di riferimento qui adottato.

Si è proceduto seguendo due strade:

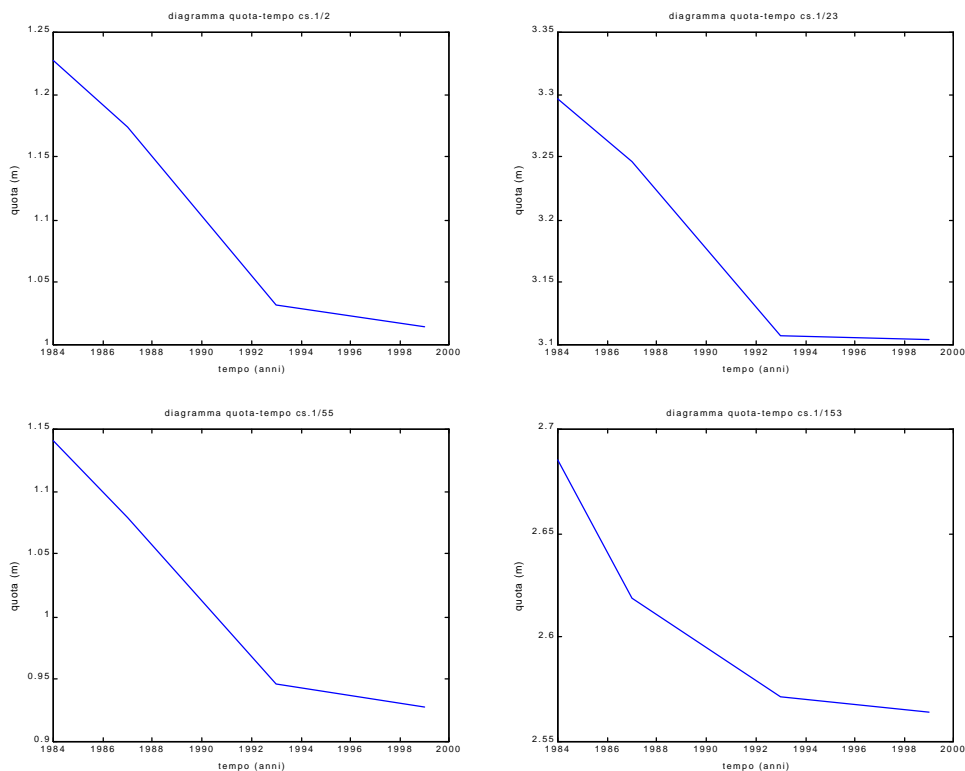
- a) si è utilizzato un numero minimo di capisaldi comuni selezionati tra quelli che sembrano seguire un modello lineare “ragionevole” nello scostamento tra quote rilevate e quote interpolate nel 1993.
- b) Si è utilizzato un numero più elevato di capisaldi selezionati in modo da essere distribuiti in maniera abbastanza omogenea nello spazio.

### **Soluzione A**

Si è proceduto utilizzando i capisaldi IDROSER comuni anche alla rete ARPA 1999, riportati nella tabella seguente. Per quanto riguarda le campagne del 1984 e del 1987 si precisa che sono riportate le quote corrette sulla base del modello adottato; le quote delle campagne del 1993 e 1999 sono ovviamente quelle originali.

Cod. ARPA	Cod. IDROSER	Quota				EST (UTM) (m)	NORD (UTM) (m)
		1984 (m)	1987 (m)	1993 (m)	1999 (m)		
097190	1/2	1.2272	1.1735	1.0315	1.0139	757955.605	4965888.653
102180	1/23	3.2965	3.2465	3.1064	3.1035	757341.685	4951810.408
111340	1/55	1.1407	1.0790	0.9463	0.9281	761077.516	4931375.928
-	1/153	2.6853	2.6187	2.5714	2.5641	784117.283	4887259.216

Nella figura 17 si riportano i diagrammi quota tempo dei capisaldi utilizzati, con quote corrette per le campagne del 1984 e del 1987.



**Fig. 17** - Diagrammi quota tempo dei capisaldi utilizzati nel calcolo delle correzioni per la campagna del 1993 con quote relative al 1984 e al 1987 corrette.

Procedendo con una stima “minimi quadrati” dei parametri  $a$ ,  $b$  e  $d$  della formula 1, si sono ottenuti, per la campagna di misure del 1993, i valori seguenti:

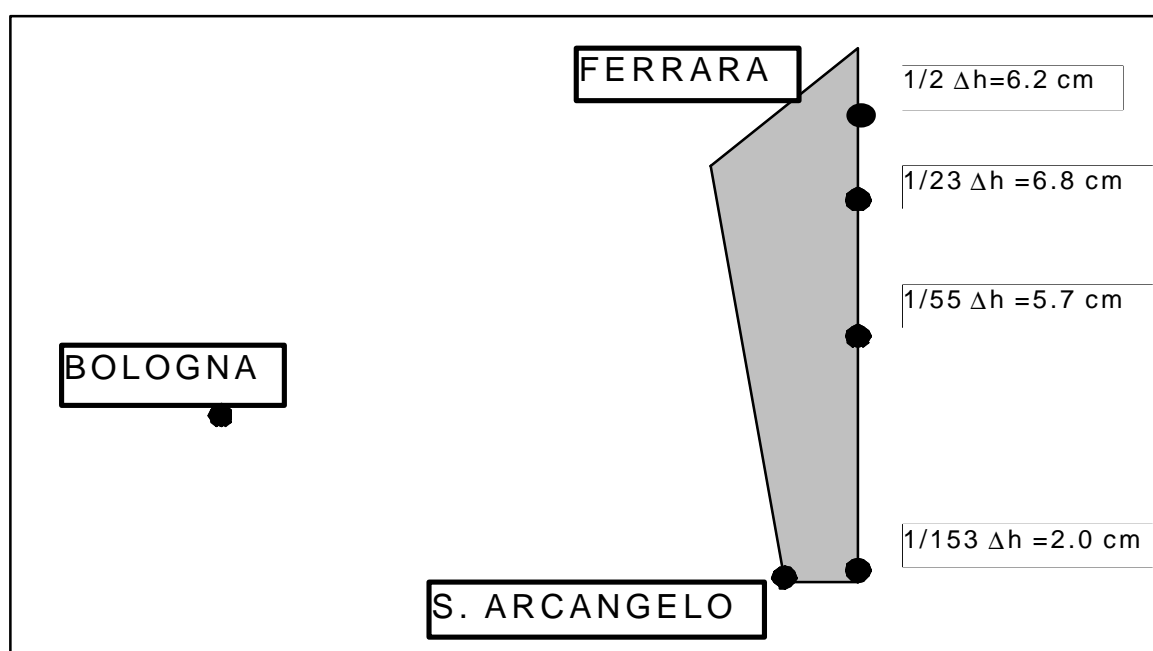
$$\begin{aligned} a &= -0.00000179198709 \\ b &= -0.00000003605946 \\ d &= 1.60093596608834 \text{ m} \end{aligned}$$

I residui sono:

$$\begin{aligned} v_1 &= 0.0015 \text{ m} \\ v_2 &= -0.0032 \text{ m} \\ v_3 &= 0.0021 \text{ m} \\ v_4 &= -0.0003 \text{ m} \end{aligned}$$

In figura 18 sono riportate le differenze tra le quote originali e quelle interpolate. È opportuno osservare che tali valori non consentono di dare un'interpretazione geometrica del tipo di quella fornita per le precedenti campagne.

Essi sono di poco superiori a quelli calcolati per le campagne del 1984 e del 1987. Questa soluzione, che presenta valori dei residui piccoli, è stata ottenuta con un numero limitato di capisaldi opportunamente selezionati.



**Fig. 18** - Valori delle differenze fra le quote originali e quelle interpolate.

### Soluzione B

Come già detto si è utilizzato un numero più elevato di capisaldi selezionati in relazione ad un criterio di distribuzione sufficientemente omogenea nello spazio. Nella tabella seguente si riportano i capisaldi utilizzati. Anche in questo caso le quote delle campagne del 1984 e del 1987 sono quelle corrette.

Cod. ARPA	Cod. IDROSER	Quota				EST (UTM) (m)	NORD (UTM) (m)
		1984 (m) corretta	1987 (m) corretta	1993 (m)	1999 (m)		
097190	1/2	1.2272	1.1735	1.0315	1.0139	757955.605	4965888.653
097090	1/12	3.0991	3.0352	2.8864	2.8587	756923.470	4959551.974
102180	1/23	3.2965	3.2465	3.1064	3.1035	757341.685	4951810.408
102050	1/35	1.9310	1.8614	1.6689	1.6316	757674.358	4944118.858
104080	1/45	1.1475	1.0963	0.9747	0.9695	760566.392	4938416.401
111340	1/55	1.1407	1.0790	0.9463	0.9281	761077.516	4931375.928
111260	1/65	0.9483	0.9018	0.8149	0.8164	762328.633	4925174.951
111150	1/76	1.1204	1.0680	0.9644	0.9297	764162.160	4920084.236
111070	1/85	4.2271	4.1549	4.0504	4.0243	766217.479	4912888.712
111010	1/96	1.5709	1.4858	1.3908	1.3606	767932.784	4907267.635
-	1/106	1.9290	1.8601	1.7821	1.7610	769951.646	4902955.244
-	1/115	1.1947	1.0516	0.9325	0.9146	772440.101	4899649.094
-	1/122	2.0422	1.9348	1.7989	1.7601	774857.182	4897074.606
-	1/133	1.2205	1.1164	1.0372	1.0200	777701.662	4893890.568
-	1/144	2.7496	2.6794	2.6531	2.6630	780554.514	4890625.973
-	1/152	1.9439	1.8859	1.8414	1.8335	783684.631	4887644.049

La stima “minimi quadrati” dei parametri a, b e d della formula 1, ha fornito i valori seguenti:

**a= -0.00000140102175**  
**b= 0.00000019902793**  
**d= 0.13919166616084 m**

I residui calcolati valgono:

v1=0.0035 m  
v2= 0.0053 m  
v3=-0.0048 m  
v4=-0.0159 m

v5=-0.0016 m
v6=-0.0028 m
v7=0.0073 m
v8=0.0135 m
v9=0.0044 m
v10=0.0077 m
v11=0.0079 m
v12=-0.0183 m
v13=-0.0109 m
v14=-0.0073 m
v15=0.0091 m
v16=0.0029 m

Come si nota dalla tabella dei residui alcuni di questi sono superiori al centimetro; in particolare i valori di alcuni di essi sono confrontabili con quelli delle correzioni date alle quote dei capisaldi.

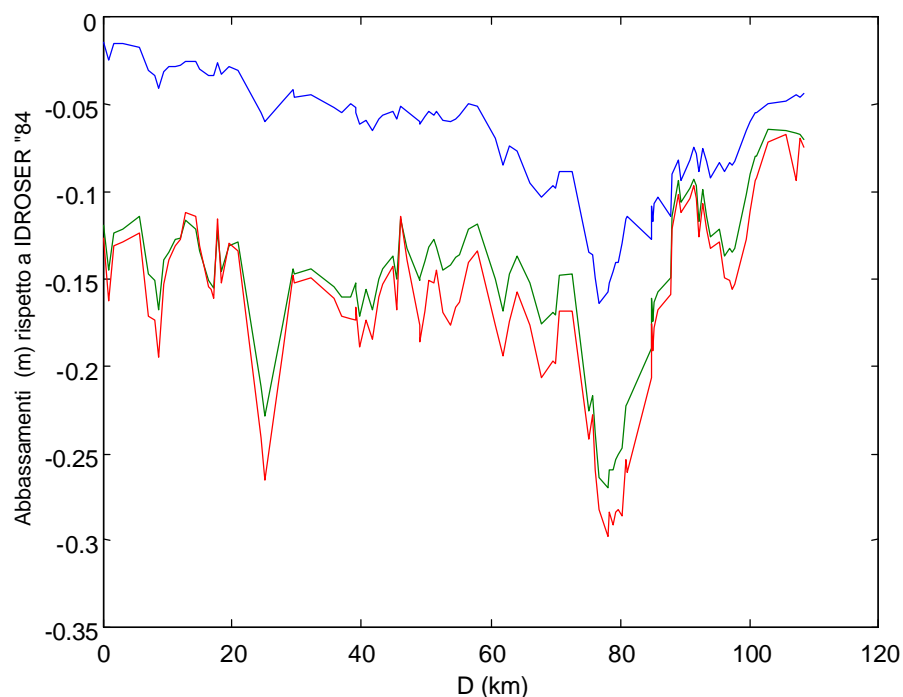
#### *A4.4.6           Correzioni apportate e loro effetti*

Nessuna delle due soluzioni studiate è da ritenersi ottimale: la soluzione a) fornisce residui abbastanza piccoli, ma presenta il difetto di essere stata elaborata con un numero limitato di capisaldi; la soluzione b) mostra invece che, aumentando il numero di capisaldi, il modello lineare ipotizzato per la funzione di correzione non è adeguato, come si vede dai valori dei residui. Molto probabilmente le anomalie presenti nei diagrammi di abbassamento (per la campagna di misura del 1993) devono essere imputate ad effetti a carattere locale.

Nel seguito verranno illustrati i risultati ottenuti con la soluzione A.

Lo scostamento tra le tre quote determinate nelle campagne IDROSER ed il loro valore più plausibile (ammesso che quest'ultimo coincida con quello interpolato), è riducibile attribuendo alle quote le correzioni illustrate in precedenza (soluzione A). Questo risultato è evidenziato nei grafici che seguono.

Nella figura 19 si riporta il confronto tra le quote dei capisaldi della linea 1 (linea costiera IDROSER) prima della correzione.



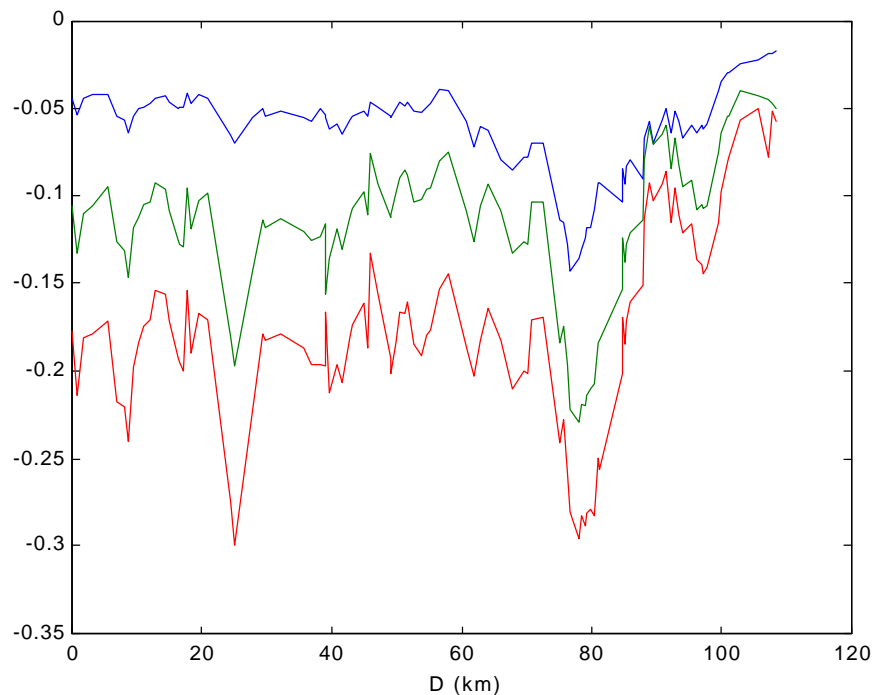
**Fig. 19** - In blu gli abbassamenti che risultano dalle campagne del 1987, in verde quelli del 1993 e in rosso quelli del 1999 rispetto al 1984.

Sull'asse delle ascisse in figura è riportata la distanza tra i capisaldi della linea 1 orientata da Nord a Sud, in ordinata invece sono riportati gli abbassamenti, assumendo come campagna di zero quella del 1984.

Come si nota dalla figura sono presenti zone in cui la campagna di misure del 1999 denuncia abbassamenti rispetto al 1993 di entità minore di quelli avvenuti tra il 1987 e il 1993. In generale queste due campagne di livellazione appaiono altimetricamente “un po’ troppo vicine” fra loro, tenendo conto anche del fatto che sono separate da 6 anni ed interessano zone sicuramente subsidenti.

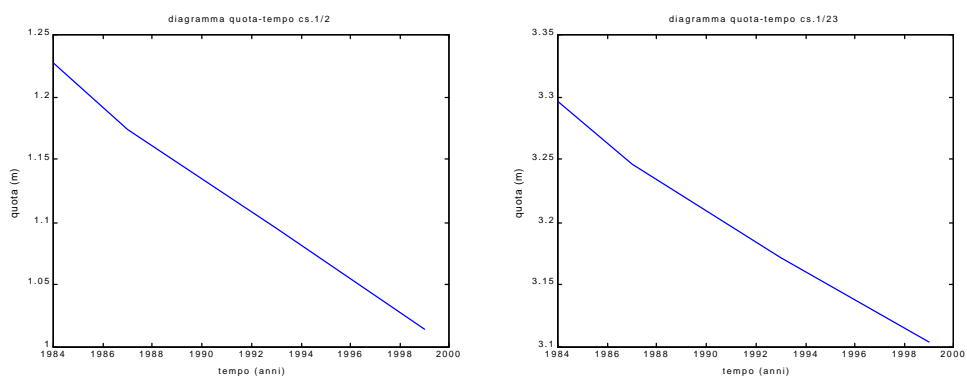
Nella figura 20 è riportato lo stesso diagramma dopo aver apportato le correzioni calcolate con la soluzione A; come si può notare le incongruenze vengono ridotte.

Si può osservare che il *trend* dell’abbassamento evidenziato dal grafico non è lineare rispetto al tempo dal 1984 al 1999.

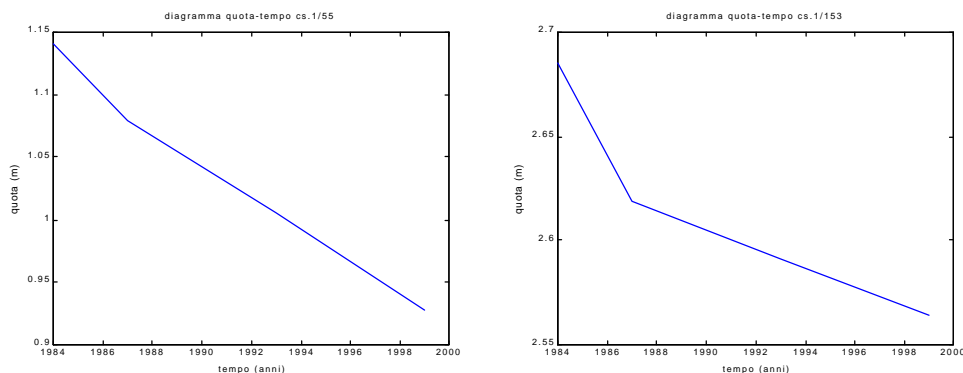


**Fig. 20** - In blu gli abbassamenti (m) che risultano dalle campagne del 1987, in verde quelli del 1993 e in rosso quelli del 1999 rispetto al 1984. Tutte le campagne di misura precedenti il 1999 sono state corrette.

Nella figura 21 sono riportati i diagrammi quota tempo dei capisaldi utilizzati nella soluzione a) con le quote corrette per gli anni 1984, 1987, 1993.







**Fig. 21** - Diagrammi quota tempo tempo dei capisaldi utilizzati per il calcolo delle correzioni con le quote corrette per gli anni 1984, 1987 e 1993.

#### A4.4.7 *Considerazioni conclusive*

Le correzioni apportate alle quote delle singole campagne di misura derivano dall'applicazione di un semplice modello geometrico finalizzato a minimizzare gli scostamenti tra le quote originali ed il loro valore più plausibile. Tale modello, oltre a non dare risultati del tutto soddisfacenti, purtroppo, non trova alcuna ragione fisica, legata a fenomeni sistematici ben precisi ed alla determinazione del loro effetto sulle misure.

I dati in nostro possesso, infatti, ci hanno permesso di mostrare la presenza di errori sistematici in alcune linee di livellazione. Essi possono essere dovuti a molteplici cause: affondamento della stadia e del treppiede, non perfetta calibrazione delle stadie, rifrazione, ecc. e forse anche il cosiddetto “non parallelismo” delle superfici equipotenziali.

#### A5) **Confronti ed elaborazioni**

Dopo aver applicato opportunamente le correzioni di cui al punto A4.3) alle quote storiche e, in tal modo, aver creato un piano di riferimento il più possibile comune, si è proceduto ad effettuare il confronto tra le quote omogeneizzate dei precedenti rilievi e le quote rilevate nella campagna del 1999. L'analisi dei movimenti verticali del suolo che in tal modo è possibile evidenziare si presenta, tuttavia, particolarmente complessa essendo le quote storiche riferite a periodi spesso diversi tra loro. Inoltre, è necessario

precisare che, laddove i confronti coinvolgono misure omogeneizzate, i movimenti verticali evidenziati possono presentare un grado d'incertezza difficilmente valutabile che consiglierebbe di osservare tali risultati con una certa precauzione in attesa di una verifica che potrà esserci solo con la ripetizione del rilievo. In particolare, per quanto riguarda il confronto con le campagne IDROSER 1984, 1987 e 1993 si è ritenuto di non applicare le correzioni scaturite dall'approfondimento d'indagine eseguito dall'Università di Ferrara (cfr. par. A4.4) infatti, tale studio, da una parte, non spiega le cause del problema, dall'altra propone un modello di correzione che non dà risultati del tutto soddisfacenti. In sostanza un'eventuale correzione risulterebbe, in una certa misura, arbitraria e non troverebbe alcuna ragione fisica a supporto.

Le elaborazioni attraverso le quali si è cercato di evidenziare i movimenti verticali del suolo sono di tre tipi:

1. **Profili costruiti lungo direttrici principali** costituite da più linee di livellazione. Lungo tali direttrici sono stati analizzati i movimenti verticali del suolo in termini di velocità annue (mm/anno) calcolate sulla base di periodi diversi a seconda delle linee considerate e cercando, comunque, di mettere in evidenza sempre il periodo più recente possibile; tale periodo, anche all'interno dello stesso profilo, può essere variabile, dipendendo sostanzialmente dai dati storici disponibili, in generale si è fatto riferimento al periodo 1980/93-1999; la variabilità del periodo, quindi, va da un massimo di 19 anni sino ad un minimo di 6 anni. Sono state evidenziate con linea tratteggiata le parti del profilo per le quali sono stati utilizzati dati omogeneizzati. Vengono inoltre comparati nel corso della relazione, ove possibile, gli ultimi risultati con il trend del periodo precedente anch'esso variabile da zona a zona ma, in generale, relativo all'intervallo temporale 1950-1980/92.
2. **Diagrammi quota-tempo di capisaldi rappresentativi.** Tali diagrammi sono stati costruiti riportando in ascissa gli anni corrispondenti ai rilievi effettuati su un dato caposaldo e, in ordinata, la corrispondente quota eventualmente omogeneizzata.
4. **Carta a curve di uguale velocità di abbassamento.** E' riportata in app.-fig. 31 (formato A3) e in allegato 6 in scala 1:250.000. La costruzione di tale carta ha presentato non pochi problemi e, in ogni caso, una rappresentazione a scala regionale in questa fase di rilievo "zero" della rete si presenta inevitabilmente lacunosa, relativamente o parzialmente aggiornata e, comunque, fortemente

disomogenea data la diversa copertura spaziale e temporale dei dati storici. Una volta calcolato il movimento totale su ogni singolo caposaldo disponibile, possibilmente considerando il periodo più recente, tale movimento si è considerato lineare nel tempo, calcolando un movimento annuo. La carta a isolinee rappresenta quindi movimenti verticali ridotti in termini di velocità medie annue (isocinetiche), pur essendo tali velocità riferite a periodi diversi a seconda delle linee di livellazione. La forte disomogeneità temporale, quindi, fa sì che la carta possa essere utilizzata solo per una lettura sommaria e d'insieme del fenomeno subsidenza, ricorrendo, per una lettura più approfondita e puntuale, ai profili di abbassamento lungo linee o ai diagrammi quota-tempo. Nella tab. 3 vengono riassunti i dati fondamentali con i quali è stata sviluppata la carta: attraverso il codice del rilievo, che associa l'ente rilevatore all'anno del rilievo, sono stati richiamati dal database i dati altimetrici successivamente elaborati. Come si può notare la carta contiene dati rilevati in un arco temporale che va dal 1970 al 1993 confrontati con i dati del rilievo 1999. Per una lettura più agevole dei diversi periodi presi in considerazione è stata predisposta anche una carta che, su base regionale, visualizza per ogni linea di capisaldi il periodo a cui si è fatto riferimento per il calcolo delle velocità di abbassamento. Tale carta viene riportata in app.-fig.32 (formato A4) oltre a trovarsi inserita all'interno della carta a curve di uguale velocità di abbassamento in scala 1:250.000 (allegato 6), in basso a sinistra, ritenendo consigliabile che, per una migliore interpretazione del dato, le due carte vengano lette in parallelo.

**Tabella 3** - Distribuzione temporale dei rilievi utilizzati per la carta a curve di uguale velocità di abbassamento del suolo

<b>ENTE RILEVATORE</b>	<b>ANNO RILIEVO</b>	<b>CODICE RILIEVO</b>
IGM	1980	71
IGM	1985	73
IGM	1982	28
IGM	1984	26
IGM	1988	41
IGM	1986	19

IGM	1986	20
IGM	1990	3
IGM	1990	5
IGM	1990	13
IGM	1990	15
MAGISTRATO PER IL PO (PARMA)	1975	54
AGIP-TR.155	1986	105
AGIP-TR.130	1983	103
AGIP-TR.130	1986	106
AGIP-TR.31	1979	97
AGIP-TR.32	1979	97
AGIP-TR.2	1979	98
AGIP-TR.24	1979	99
AGIP-TR.25	1979	99
AGIP-TR.33	1979	100
AGIP-TR.123	1976	158
AGIP-TR.123	1976	172
AGIP-TR.124	1976	92
AGIP-TR.127	1976	93
AGIP-TR.156	1992	166
AGIP-TR.2	1992	108
AGIP-TR.23	1973	155
AGIP-TR.34	1973	156
AGIP-TR.35	1973	87
COMUNE DI MODENA	1985	142
COMUNE DI MODENA	1992	143
COMUNE DI BOLOGNA	1992	57
COMUNE DI RAVENNA	1992	61
IDROSER	1987	44
IDROSER	1993	45
PROVINCIA DI FERRARA	1979	86

CONS. BON. RENANA	1970	144
CONS. BON. RENANA	1970	145
CONS. BON. RENANA	1970	146

#### **A5.1)        *La Via Emilia da Piacenza a Rimini***

Si è voluto comporre in un unico grafico (app.-fig.1) l'andamento degli abbassamenti lungo tale direttrice - che costituisce la principale arteria di comunicazione in Emilia-Romagna - al fine di sintetizzare visivamente il più possibile il fenomeno di subsidenza che interessa i territori altamente antropizzati che tale direttrice attraversa ed agevolare, in tal modo, una comparazione immediata tra le diverse aree. Il periodo per il quale è stata calcolata la velocità di abbassamento, 1980/92-1999, tiene conto dei periodi diversi in cui sono stati eseguiti i rilievi precedenti il 1999 lungo le varie linee di cui si compone questa direttrice di circa 280 km. Nel seguito si cercherà di approfondire l'analisi specificando, zona per zona, i periodi a cui fanno riferimento le velocità di abbassamento calcolate.

Si può osservare come la subsidenza, in generale, interessi in misura maggiore le province più occidentali a partire dal territorio di Bologna il quale, in particolare, conferma il suo poco invidiabile primato in quanto area a più alta velocità di abbassamento che, lungo la via Emilia, arriva a superare i 4 cm/anno nel periodo 1992-99 (confronto con i dati della rete del Comune di Bologna). Tale dato risulta in flessione rispetto al periodo precedente (1983-1992) in cui, sulla stessa linea, veniva registrato un massimo di oltre 6 cm/anno, tale flessione si può notare nel diagramma in app.-fig.8. (Bologna – Porta Mazzini), mentre a Lavino di Mezzo (app.-fig. 7) si evidenzia una tendenza pressoché costante.

Il Modenese presenta, nel periodo considerato, 1985-99, velocità massime di oltre 1.5 cm/anno (confronto con i dati della rete del Comune di Modena). In generale lungo tutto questo tratto si registra un leggero aumento degli abbassamenti sia rispetto al periodo 1981-85 sia rispetto al periodo 1985-1992. In particolare in app.-fig. 6 viene riportato il grafico delle quote relativo al caposaldo del Palazzo Comunale di Modena nel quale è possibile notare un aumento, seppur contenuto, dell'abbassamento nell'ultimo periodo rispetto al periodo precedente. Velocità anche superiori presenta l'area Reggiana da

Rubiera a Pieve Modolena con valori massimi intorno a 2.5 cm/anno (periodo 1980-1999); nel grafico in app.-fig. 5 viene evidenziato l'andamento del caposaldo di Pieve Modolena che registra un aumento piuttosto deciso del movimento negativo nell'ultimo periodo. Subito dopo quest'ultima località, procedendo verso il Parmense, si registrano valori inferiori a 1 cm/anno con qualche incremento in corrispondenza dei centri di Parma e Roveleto intorno a 1.5 cm/anno nel periodo 1982/84-1999 (app.-fig. 4 e 3).

Gli abbassamenti registrati nel Parmense e nel Piacentino risultano, in generale, nettamente superiori rispetto a quelli evidenziati nel periodo precedente 1952/55-1982/84 in cui, ad eccezione dei due centri summenzionati, la subsidenza presentava valori prossimi a livelli naturali. A Piacenza i valori si aggirano intorno a 0.5 cm/anno (app.-fig. 2). Una conferma di tale inversione di tendenza la si ha proseguendo da Piacenza verso Cremona lungo la SS. 10 che si snoda a ridosso del F. Po. Gli abbassamenti, anche lungo tale linea, segnano un deciso incremento: da 0.2-0.5 cm/anno nel periodo 1952-1984 a 0.6-0.9 cm/anno nell'ultimo periodo 1984-1999 (app.-fig.13 e 14).

Osservando la Via Emilia da Bologna verso Rimini si nota in corrispondenza di Ozzano un picco di oltre 2 cm/anno nel periodo 1990-99 che, pur essendo già presente negli anni precedenti, risulta ora quasi raddoppiato (app.-fig. 9). Altri picchi sono presenti in corrispondenza dei centri di Castelbolognese e Cosina (Faenza) con valori di circa 2 cm/anno nello stesso periodo (app.-fig. 10), Forlimpopoli (app.-fig. 11), e Savignano sul Rubicone con valori intorno a 1 cm/anno. Al di là di tali picchi si possono notare anche ampie zone di relativa stabilità con valori inferiori a 0.5 cm/anno come Castel San Pietro, Imola, Cesena, Forlì e Rimini; in particolare queste due ultime località fanno registrare una completa inversione di tendenza rispetto al periodo 1950-90 in cui venivano registrati abbassamenti di oltre 1 cm/anno (app.-fig. 12). In definitiva lungo la via Emilia le ultime misure evidenziano un incremento degli abbassamenti nelle aree da Modena a Piacenza, una diminuzione nell'area Bolognese - pur rimanendo questa un'area particolarmente subsidente - e un deciso decremento per quanto riguarda le province orientali.

#### **A5.2)        *Da Parma a Luzzara***

Lungo la SS. 62 da Parma a Luzzara gli abbassamenti calcolati per il periodo 1985-1999 risultano mediamente di poco superiori a 1 cm/anno (app.-fig. 15). Da notare che subito a nord della Via Emilia, ancora in corrispondenza dell'abitato di Parma, è presente un aumento degli abbassamenti che passano da un massimo di 1.3 cm/anno sulla Via Emilia a 1.7 cm/anno poco più a nord. Uscendo da Parma i valori si attestano poco sopra 1 cm/anno presentando tuttavia alcuni picchi di circa 1.4 cm/anno in corrispondenza di Sorbolo (app.-fig. 16), Fontana e Tagliata. Tali valori risultano, in generale, decisamente superiori rispetto al periodo precedente 1953-85 in cui gli abbassamenti erano quasi sempre ben al di sotto di 0.5 cm/anno e in molti casi si potevano ricondurre ad un fenomeno di tipo naturale.

#### **A5.3)        *Da Bologna a Ferrara***

Lungo la SS. 64 da Bologna a Ferrara si possono notare abbassamenti alquanto diversificati (app.-fig. 17) Valori intorno a 3.5 cm/anno nel periodo 1992-1999 caratterizzano la zona di Bologna dalla prima periferia nord fino a Castelmaggiore. Un abbassamento puntuale si può ancora osservare a S.Giorgio di Piano con oltre 2.5 cm/anno, dopo di che si nota un deciso decremento attestandosi i valori intorno a 0.5 cm/anno fino a Pontelagoscuro (F.Po). Il confronto con il periodo precedente 1983-1992 mette in evidenza per l'area bolognese fino a S. Giorgio di Piano un decremento degli abbassamenti - così come era già stato notato per la stessa area lungo la Via Emilia - mediamente di circa il 30%. Decrementi superiori si possono notare lungo quasi tutta la restante linea sino a Ferrara, si registrano, invece, aumenti degli abbassamenti da Ferrara a Pontelagoscuro di oltre il 30%. In particolare, in app.-fig. 18 viene riportato il grafico delle quote relativo ad un caposaldo rappresentativo dell'area più subsidente a nord di Bologna (Castelmaggiore): è possibile notare come il periodo di massimo affondamento sia in corrispondenza degli anni '70, la velocità appare invece diminuita, ma pressoché costante, lungo tutto il periodo successivo; è interessante notare anche il valore totale dell'abbassamento nel periodo 1943-1999 di circa 3 m.

#### **A5.4)        *Da Portomaggiore ad Ariano Ferrarese***

Lungo la SS. 495 da Portomaggiore ad Ariano Ferrarese (F. Po di Goro) nel periodo 1988-1999 si riscontra un progressivo aumento degli abbassamenti procedendo verso Ariano Ferrarese (app-fig. 19). Dall'inizio della linea sino a Dogato i movimenti oscillano intorno a 0.6 cm/anno, successivamente si nota una zona da Migliaro a Mezzogoro con abbassamenti intorno a 1 cm/anno fino ad un picco negativo di circa 1.4 cm/anno in prossimità del Po di Goro. Il confronto con il periodo precedente 1977-1988 mette in evidenza un incremento degli abbassamenti generalizzato e progressivamente più accentuato procedendo verso il Po di Goro; in particolare gli abbassamenti risultano pressoché raddoppiati a partire dal territorio di Mezzogoro sino ad Ariano Ferrarese (app.-fig. 20).

#### **A5.5)        *Da Rimini a Ferrara***

Lungo questa lunga direttrice di circa 140 km che attraversa le province di Rimini, Forlì, Ravenna e Ferrara le velocità di abbassamento nel periodo 1990-1999 presentano un andamento alquanto vario (app.-fig. 21). Nel Riminese si riscontrano movimenti negativi che oscillano da 0.2-0.5 cm/anno in prossimità di Rimini sino ad un massimo di oltre 0.8 cm/anno ad Igea Marina. Nel Cesenate viene evidenziato un approfondimento piuttosto esteso che ha il suo massimo a Villa Marina (app.-fig. 22) con oltre 1 cm/anno per poi attestarsi intorno a 0.6 cm/anno a nord di Cesenatico. L'entroterra di Cervia presenta valori intorno a 0.5 cm/anno (app.-fig. 23) mentre, proseguendo verso nord, si può notare un altro picco negativo in corrispondenza di Savio con 1 cm/anno. Attraversando la città di Ravenna le velocità di abbassamento oscillano intorno a 0.6-0.7 cm/anno (app.-fig. 24) per poi andare bruscamente aumentando sino ad un massimo di oltre 1.2 cm/anno in località Taglio Corelli subito a Nord di Alfonsine mantenendosi su valori intorno a 1 cm/anno per un tratto di oltre 10 km. Successivamente, in territorio ferrarese, gli abbassamenti si attestano intorno a 0.4-0.5 cm/anno. Il confronto con il periodo precedente 1970/77-1999 mette in evidenza una fortissima diminuzione degli abbassamenti con riduzioni fino all'80% nel Riminese e nel Cesenate, di varia entità ma mai inferiori al 50% nel Ravennate e tra il 10 e il 50% nel Ferrarese - in quest'ultimo



territorio gli abbassamenti, anche in precedenza, erano di entità più modesta rispetto agli altri territori oscillando tra 0.5 e 1 cm/anno (app.-fig. 25).

Lungo la linea IGM che va da Ravenna a Marina di Ravenna (app.-fig. 26) è possibile notare come le velocità di abbassamento, procedendo verso la costa, tendano ad aumentare passando da circa 0.6 cm/anno ad oltre 1 cm/anno. In particolare, in app.-fig. 27 è riportato il grafico delle quote relativo al caposaldo terminale di quest'ultima linea (Faro di Marina di Ravenna) dal quale si può vedere come negli ultimi 30 anni tale caposaldo sia sprofondato di circa 40 cm con andamento pressoché costante ad eccezione di una velocità leggermente superiore nel periodo 1970-77. Questo dato, limitatamente al litorale antistante Ravenna, evidenzia come la vistosa diminuzione degli abbassamenti nell'entroterra Ravennate non trovi riscontro approssimandosi al litorale.

#### **A5.6) *Da Cattolica a Volano***

Lungo tale direttrice sono state confrontate le quote del rilievo 1999 con le quote relative alle precedenti campagne di livellazione IDROSER del 1984, 1987 e 1993. I risultati di tale confronto sono stati evidenziati in due diversi grafici. Su un primo grafico (app.-fig. 28) sono stati riportati gli abbassamenti registrati nei tre periodi disponibili: 1984-87, 1984-93 e 1984-99. Nel periodo più ampio si può notare che le punte di massimo sprofondamento si trovano in corrispondenza di Cesenatico e Dosso degli Angeli rispettivamente con 30 cm e oltre 26 cm in 15 anni. In generale si nota una forte diminuzione degli abbassamenti tra il 1993 e il 1999 rispetto ai periodi precedenti.

Sul secondo grafico (app.-fig.29) sono state riportate le velocità di abbassamento relative ai singoli periodi ed al periodo più ampio (1984-87, 1987-93, 1993-99, 1984-99). Il grafico mette in evidenza:

- le maggiori velocità di abbassamento sono riscontrabili nel primo periodo (1984-87) con punte di oltre 5 cm/anno a Cesenatico, circa 3 cm/anno a Rimini e circa 2 cm/anno a Dosso degli Angeli. Inoltre si nota una progressiva diminuzione delle velocità procedendo da Marina di Ravenna (circa 2 cm/anno) verso Volano (0.8 cm/anno);

- nel periodo 1987-93 si può notare da Cattolica fino a Milano Marittima un fortissimo rallentamento delle velocità da 1/3 a 1/4 delle velocità precedenti fino ad 1/10 nella zona di Torre Pedrera. Da Milano Marittima fino a Marina di Ravenna si nota un rallentamento delle velocità via via sempre meno marcato sino a che, in corrispondenza di Casalborgorsetti, si evidenzia un'inversione di tendenza rispetto al periodo precedente: le velocità di abbassamento aumentano progressivamente mediamente raddoppiando i loro valori con punte di circa 2 cm/anno in prossimità di Lido delle Nazioni e di Volano. Anche il tratto già critico di Dosso degli Angeli registra un incremento, seppure più contenuto, sino a 2.8 cm/anno.
- Nel periodo 1993-99 si nota una diminuzione fortissima delle velocità di abbassamento lungo l'intero litorale sino a valori molto prossimi e in taluni casi coincidenti con valori attribuibili a cause naturali. In particolare si notano valori intorno a 3-4 mm/anno immediatamente a sud di Rimini; punte di 5-6 mm/anno tra Gatteo Mare e Cesenatico, tra Lido di Dante e Lido Adriano, a Dosso degli Angeli e a Lido delle Nazioni. L'analisi relativa a quest'ultimo periodo può differire, anche se non di molto, da quanto esposto nel par. A5.5 ove per alcune località del litorale da Rimini a Marina di Ravenna si evidenziano abbassamenti di poco superiori relativi al confronto operato su linee IGM in un periodo un po' più ampio, 1990-99. Si può supporre, quindi, che proprio nel periodo più recente si sia verificata un'ulteriore diminuzione dei ratei di subsidenza in tali paraggi.

#### ***A5.7) Carta a curve di uguale velocità di abbassamento del suolo***

Ferme restando tutte le riserve già espresse al punto 4 del par. A5) su questo elaborato, la sua osservazione può aggiungere comunque ulteriori informazioni sull'andamento dei movimenti verticali del suolo - o semplicemente sulla carenza di dati - in areali non presi in esame nell'ambito delle altre elaborazioni sin qui analizzate. Come già detto è consigliabile osservare questa carta in parallelo all'elaborato che riporta, in corrispondenza dei capisaldi utilizzati per la costruzione della carta, i diversi periodi per i quali si sono linearizzati gli abbassamenti (app.-fig.32).

Risultano particolarmente significativi gli abbassamenti in corrispondenza della provincia di Bologna, in parte già descritti nel par. A5.1. La carta amplia tale analisi

evidenziando ulteriori coni di sprofondamento (oltre 3 cm/anno) a nord di Ozzano dell'Emilia in corrispondenza dell'autostrada, a nord di Ponte Samoggia e in corrispondenza di Bagno di Piano. Abbassamenti più circoscritti e di minor entità (oltre 2 cm/anno) si notano tra Rubiera e Campogalliano. Altre due zone critiche non evidenziate dai profili già descritti sono, la prima, in corrispondenza, all'incirca, del quadrilatero che ha come vertici i centri di Cotignola, Alfonsine, Ponte la Bastia e Ponte Massa; la seconda particolarmente concentrata immediatamente a nord di Savignano sul Rubicone. In entrambi i casi i valori massimi si aggirano intorno ai 3 cm/anno.

Su un altro versante si deve notare anche la rarefazione dei dati disponibili in corrispondenza di ampie zone della pianura piacentina, parmense, reggiana e modenese, rarefazione che limita molto la significatività degli abbassamenti rappresentati per tali zone.

#### **A5.8) Osservazioni sui capisaldi di riferimento**

Si vogliono riportare in questo paragrafo alcune osservazioni sui confronti operati tra le quote storiche e le quote 1999 dei capisaldi di riferimento della rete.

L'intera rete è stata quotata a partire dal caposaldo denominato 025010 istituito dal Comune di Bologna (SM/2) con quota pari a 226.360 m s.l.m. determinata nel 1983 dal comune stesso - e rimasta invariata nei rilievi successivi - a partire dalla quota del caposaldo I.G.M.I. 5/162'' (verticale) determinata nel 1949 e pari a 225.9222. Il rilievo I.G.M.I. del 1990 ha rideterminato la quota del 5/162'' pari a 225.9378 evidenziando una differenza di + 1.56 cm. Tale segno positivo che, peraltro si riscontra anche su altri capisaldi più a monte lungo la linea 5 IGM (Bologna-Firenze) nel 1990 può essere interpretato come un'indicazione di sostanziale stabilità dell'area e la discrepanza essere imputata alla quota del caposaldo di partenza utilizzato dall'IGM per il rilievo del 1990, nonché alle oggettive difficoltà incontrate per il trasporto di tale quota in condizioni di forti variazioni altimetriche che caratterizzano la linea summenzionata. In definitiva, quindi, si è scelto di mantenere come quota di riferimento quella determinata nel 1949. Tale scelta è stata corroborata anche dall'osservazione del dislivello tra il caposaldo 5/162'' (Sasso Marconi) e il caposaldo di riferimento di Castel de' Britti (121010)

misurato nel 1999 rispetto ai dislivelli misurati nei precedenti rilievi del Comune di Bologna:

1983: -44.0652

1987: -44.0842

1992: -44.0852

**1999: -44.0844**

Come si può notare, ad esclusione del primo rilievo, il dislivello negli ultimi tre rilievi si mantiene pressoché identico. Ciò confermerebbe la stabilità dei due capisaldi (oppure un loro movimento sincronico praticamente impossibile da dimostrare).

Vediamo ora il confronto con le quote storiche dei vari capisaldi di riferimento.

**Tabella 4** – Capisaldi di riferimento: confronto fra le quote storiche e le quote misurate nel 1999.

ID RETE	Ente e anno	Quota storica	1999	Differenza	Località
001010	IGM 1952	552.4520	552.3541	-0.0979	M. Prinzerà
010020	Co.di Mo 1992	199.8808	199.8399	-0.0409	Pescale
025010	Co.di Bo 1992	226.3600	226.3600	0.0000	Sasso M.
121010	Co.di Bo 1992	181.837	181.8310	-0.0060	Castel de' Britti
050030	Co.di Ra 1977/98	126.1687	126.1176	-0.0511	Brisighella
100430	IGM 1990	369.8099	369.8045	-0.0054	Pennabilli

Bisogna premettere che la determinazione delle quote 1999 ha comportato la compensazione di una rete molto vasta e, quindi, la ripartizione degli errori può falsare in qualche misura tale confronto, tuttavia, gli errori per i punti più lontani, non influiscono sulla precisione delle quote per più di 5-7mm (cfr. par. A3.1).

Tenuta ferma la quota di Sasso Marconi vediamo che Castel de' Britti e Pennabilli si rivelano congruenti con le precedenti determinazioni, Brisighella (caposaldo di riferimento del Comune di Ravenna) evidenzia uno scostamento di circa 5 cm che sostanzialmente conferma il valore di correzione calcolato per tale ente (-4.1 cm). Gli scostamenti relativi al Pescale (caposaldo di riferimento del Comune di Modena) e al M. Prinzerà (linea 33 IGM mai ripetuta dal 1952) rispettivamente di 4 cm e di circa 10 cm risultano invece inspiegabili alla luce delle attuali conoscenze. In entrambi i casi

potrebbe trattarsi di errori nelle precedenti determinazioni: nel caso della rete di Modena inserire una correzione alle misure storiche pari a 4 cm vorrebbe dire attenuare leggermente gli abbassamenti evidenziati rimanendo comunque il fenomeno sostanzialmente presente. Nel caso della linea 33 IGM è già stata apportata una correzione alle misure IGM degli anni '80 pari a 2.7 cm (cfr. par. A4.3) L'applicazione di una correzione più consistente andrebbe verificata con una ripetizione del rilievo. In particolare la ripetizione della linea in questione è già stata programmata dall'IGM e potrebbe chiarire il problema ancor prima della ripetizione del rilievo dell'intera rete.

#### **A6) Elaborati finali**

Gli elaborati finali relativi alla attività A) sono costituiti da:

1. Relazione finale.
2. Allegato 1 - Riepilogo dei dislivelli misurati.
3. Allegato 2 - Riepilogo delle quote compensate dei capisaldi di livellazione e GPS.
4. Allegato 3 - Università di Ferrara – Facoltà di Ingegneria:
  - “Omogeneizzazione dei dati storici relativi ai capisaldi di livellazione preesistenti”;
  - “Omogeneizzazione dei dati storici relativi ai capisaldi di livellazione preesistenti” - Relazione integrativa;
  - “Analisi e correzione delle campagne di livellazione IDROSER”.
5. Allegato 4 - Riepilogo delle variazioni di quota relative ai capisaldi preesistenti.
6. Allegato 5 - Università di Bologna - DISTART - Relazione finale.
7. Allegato 6 - Carta a curve di uguale abbassamento del suolo - scala 1:250.000.
8. Profili delle velocità di abbassamento lungo le principali direttrici (in appendice).
9. Diagrammi quota-tempo di capisaldi preesistenti rappresentativi (in appendice).
10. Carta a isolinee dei movimenti verticali del suolo nella Regione (formato A3 - in appendice).

## **A7) Piano di manutenzione ordinaria della rete**

Il periodo intercorso tra l'istituzione della rete (1997-98) e la sua misura (1999) è variabile da 1 a 2 anni a seconda delle zone. Durante tale periodo si è verificata la scomparsa di 91 capisaldi di livellazione. La rete regionale comprensiva della rete costiera ha una consistenza complessiva di circa 2350 capisaldi. Sulla base di questi dati si può ipotizzare che ogni anno scompaiano circa 60 contrassegni ovvero più del 2% dell'intera rete. Una percentuale analoga può essere considerata per quanto riguarda la rete GPS (58 punti).

Si ritiene che, in termini generali, sia necessario procedere ad una ricognizione completa della rete ogni 2-3 anni. Se si prevede la realizzazione della misura della rete di livellazione ogni 5 anni, si dovrà realizzare una ricognizione sola tra due campagne successive considerando che, normalmente, prima di ogni campagna, viene svolta una ricognizione con gli eventuali ripristini direttamente dagli stessi incaricati delle operazioni di misura. Comunque, la manutenzione della rete non riguarda solo la verifica di eventuali contrassegni scomparsi ed il loro ripristino, bensì comporta inevitabilmente l'aggiornamento del database di gestione e, inoltre, potrebbe comportare anche l'effettuazione di brevi collegamenti altimetrici al fine di non perdere la serie storica di un caposaldo di prossima demolizione. Nel seguito si vogliono riportare alcune indicazioni di dettaglio che si ritiene debbano essere osservate per ciascuno degli aspetti sin qui evidenziati.

### **A7.1 La ricognizione**

Il lavoro di ricognizione dovrà

- accertare tramite sopralluogo l'esistenza dei capisaldi;
- verificare la corrispondenza delle attuali monografie e registrare eventuali variazioni sia nella descrizione sia nell'elaborato fuori scala e nella fotografia;

### **A7.2) Il ripristino**

I lavori di ripristino riguarderanno i casi di:

a) accertata scomparsa;

b) di precarie condizioni o di prossima demolizione del caposaldo.

In particolare i lavori comprenderanno:

- la ricerca del sito più idoneo alla posa del nuovo contrassegno;
- la messa in opera del contrassegno del tipo a pomello (Regione Emilia-Romagna/ARPA) o di altro tipo nel caso di particolari condizioni (borchia o pilastrino);
- la stesura della scheda monografica corredata di estratto di planimetria in scala 1:50.000 con ubicazione del caposaldo, fotografia ed elaborato fuori scala (prodotti anche su file in formato .jpg ai fini dell'inserimento nel database);
- per i casi di cui al punto b), oltre ai lavori già detti, si dovrà eseguire anche il collegamento altimetrico tra il caposaldo di prossima demolizione ed il nuovo caposaldo, posto possibilmente nelle immediate vicinanze, al fine da poter attribuire a quest'ultimo la serie storica del precedente opportunamente corretta con il dislivello misurato.

#### **A7.3) L'aggiornamento del database**

L'aggiornamento del database verrà realizzato recependo le informazioni derivanti dalle ricognizioni sul campo, ovvero, attraverso l'inserimento di tutte le informazioni che costituiscono una variazione rispetto ai dati già registrati. Dovranno essere caricate *ex novo* le monografie complete dei capisaldi ripristinati e, in particolare, per quanto riguarda il primo aggiornamento (quello immediatamente successivo alla prima misura della rete) si dovranno osservare le seguenti indicazioni:

- il codice capisaldi rimane 0 nella cifra finale per tutti i contrassegni demoliti e ripristinati **prima** della misura (sia due anni prima come un giorno prima). Per tali capisaldi bisognerà eliminare tutte le quote storiche. Nell'eventuale contrassegno secondario bisognerà variare il dislivello rispetto al nuovo principale o, in ogni caso, eliminare il dislivello precedente;

per i **capisaldi a chiuso** – con riferimento C e A – il riferimento principale è sempre C, tuttavia bisognerà riportare in nota (scheda contrassegno principale) il dislivello con il rif. A. Qualora, in livellazione, sia stato misurato il rif. A, nel database andrà inserita

la quota del rif. C calcolata togliendo alla quota del rif. A il dislivello misurato, o dedotto dalle monografie originali. La stessa operazione si dovrà compiere nel caso sia stato misurato un altro contrassegno vicino a quello indicato come principale (ad es.: borchia, pomello o, nel caso di nodali IGM, il rif. B). Se si ha la certezza che il principale non sia più misurabile (ad es.: impossibilità di accesso, impossibilità a posizionare la stadia o altro) verrà assunto come nuovo principale il più affidabile tra i secondari presenti variando sia la scheda monografica sia il report quote. Al fine di non perdere l'andamento nel tempo del caposaldo non più misurabile, si potrà operare in due modi a seconda dei casi:

1. Se esistono le quote storiche del secondario che si assume come principale, queste andranno a sostituire le precedenti quote;
2. Se non esistono le quote storiche si può ricostruire una serie virtuale calcolando le nuove quote sulla base del dislivello, presupposto costante nel tempo, tra i due contrassegni e, quindi sommando o sottraendo tale dislivello alle quote precedenti;

L'operazione di cui al punto 2) potrà essere svolta anche nei casi in cui si ha notizia della prossima demolizione di un contrassegno e si provvede a materializzarne uno nuovo, prima che avvenga la scomparsa, effettuando anche il collegamento fra i due. Tale collegamento servirà ad attribuire la serie storica del precedente contrassegno al nuovo opportunamente corretta con il dislivello misurato.

#### **A7.4) Costi**

Si riporta in Tab. 5 una stima dei costi delle principali fasi di manutenzione della rete relativamente a 5 annualità. Come si può notare quando la ricognizione viene eseguita in corrispondenza della misura il suo costo è compreso nel costo della misura stessa. Nel 2001 il costo per la fornitura dei contrassegni è nullo in quanto si utilizzano le scorte ancora presenti, mentre nel 2003 bisognerà ricostituire le scorte per una quantità minima di 600 pezzi (costo stimato 20 ML).



**Tabella 5** - Stima dei costi delle principali fasi di manutenzione della rete.

FASI	Costi in milioni di lire				
	2001	2003	2005	2007	2009
Ricognizione	50	misura	50	misura	50
Ripristino – fornitura contrassegni	scorta	20	scorta	scorta	scorta
Ripristino – materializzazione	10	10	10	10	10
Aggiornamento database	10	10	10	10	10
TOTALE	70	40	70	20	70

## **B) RILIEVI BATIMETRICI**

### **B1) Attività preliminari**

I 72 profili batimetrici previsti nel tratto di litorale da Cattolica a Cervia sono stati integrati in un progetto più ampio che prevede l'esecuzione di rilievi topobatimetrici anche sul restante tratto di litorale oggetto di specifica convenzione tra Regione Emilia-Romagna ed ARPA approvata con determinazione 9230 del 13/10/1999 per l'affidamento ad ARPA dell'intervento 802001 "Rilievi topobatimetrici a supporto degli interventi urgenti di difesa della costa e per la misurazione della variazione della spiaggia emersa e sommersa". La predisposizione di tale progetto ha comportato lo slittamento delle attività di rilievo delle 72 sezioni il cui svolgimento era previsto nell'autunno del 1999. Le metodologie che verranno di seguito descritte sono state utilizzate per l'espletamento dell'attività di rilievo lungo l'intero arco costiero. Le attività preliminari, consistenti nelle procedure relative all'affidamento dei lavori di rilievo, si sono svolte tramite trattativa privata.

## **B2) Realizzazione dei rilievi**

I rilievi topobatimetrici sono stati eseguiti da un'unica Ditta, la Geosystem Parma S.r.l., dal 17/1/2000 al 17/4/2000, ed hanno interessato il litorale dalla località di Cattolica sino alla Foce del Po di Goro.

Lo scopo dei rilievi è stato l'acquisizione dei dati planobatimetrici relativi:

1. al litorale emerso: dalle prime dune e/o infrastrutture alla linea di battigia;
2. ai fondali: dalla linea di battigia alla quota batimetrica  $-8$  da Cattolica a Porto Garibaldi e alla quota batimetrica  $-6$  da Porto Garibaldi alla Foce del Po di Goro.

L'esecuzione dell'attività ha comportato la realizzazione delle seguenti fasi operative:

- Inquadramento planoaltimetrico
- Rilievi topobatimetrici del litorale emerso e sommerso

### **B2.1 Inquadramento planoaltimetrico**

#### **B2.1.1 Inquadramento planimetrico**

Rispetto ai precedenti rilievi questa terza campagna ha costituito una svolta per quanto riguarda la scelta del sistema di riferimento planimetrico **principale**, si è passati infatti dal Sistema Cassini-Soldern, impiegato durante le campagne precedenti, al **Sistema WGS84 proiezione UTM**.

L'adozione del sistema internazionale **WGS84** ha consentito di ottenere due risultati: uno di carattere **cartografico** ed uno di ordine **operativo**.

**Risultato cartografico:** l'adozione del sistema WGS84 oltre a permettere, rispetto al Sistema Cassini-Soldern, una migliore leggibilità degli elementi analitici, consentirà di integrarsi con le cartografie realizzate nel prossimo futuro le quali, secondo le intenzioni dell'IGM, dovranno presentare come unico sistema di riferimento nazionale il reticolato WGS84-UTM.

**Risultato operativo:** il vantaggio derivato dall'uso della tecnologia GPS per la realizzazione di questo tipo di rilievi, uso che consente di ottenere una riduzione dei tempi operativi ed un miglioramento della qualità dei dati rilevati, tutto a condizione che venga impiegato come sistema di riferimento di restituzione l'ellissoide WGS84.

Per il momento si è preferito evidenziare sugli elaborati analitici restituiti sia il reticolato relativo al Sistema Cassini-Soldner sia quello relativo al Sistema WGS84, pertanto ogni singolo punto è stato espresso nel doppio sistema: Nord, Est nel reticolo WGS84-UTM e X,Y nella rappresentazione Cassini-Soldner.

A tal fine è stato indispensabile adottare due reti di appoggio planimetriche: una costituita dalla rete WGS84 (IGM95) e l'altra costituita dai capisaldi della **rete costiera** (IDROSER) già inquadrati nel sistema Cassini-Soldner con origine Portonovo.

Per quanto riguarda il tratto Cattolica-Cesenatico sono stati interessati i seguenti vertici IGM95:

1. Misano Adriatico: Vertice n. 109801;
2. Rimini Grattacielo: Vertice n. 101801;
3. Tagliata: Vertice n. 100703;

per la rete Cassini-Soldner sono stati utilizzati i capisaldi delle linee di livellazione IDROSER 1 e 5.

#### *B2.1.2 Inquadramento altimetrico tratto Cattolica-Cesenatico*

Per quanto attiene al riferimento altimetrico sono state adottate le quote ortometriche misurate nel 1999 per i capisaldi delle linee di livellazione IDROSER 1 e 5

#### *B2.2 Rilievi topobatimetrici*

L'evolversi della tecnologia GPS ha permesso di impiegare per l'esecuzione dei rilievi del litorale emerso e sommerso lo stesso tipo di strumentazione. Questa condizione ha consentito non solo di garantire l'assoluta omogeneità dei dati raccolti ma, in particolare, di ottenere per i rilievi batimetrici :

- una precisione planimetrica < 10 cm;
- l'acquisizione in tempo reale dell'escursione di marea presente.

A tal fine è stato impiegato un sistema differenziale GPS Trimble con l'opzione RTK-OTF a doppia frequenza L1/L2 in grado di raggiungere in tempo reale tolleranze ridottissime ( in planimetria +/- 1 cm, in altimetria +/- 2 cm) con un raggio di azione dalla stazione di riferimento < 10 km.

In particolare, per il tratto da Cattolica a Cesenatico, sono state materializzate due stazioni di riferimento differenziali che, opportunamente calibrate sui sistemi di riferimento adottati (planimetrici WGS84 e Cassini-Soldner e altimetrico Rete di livellazione 1999), hanno consentito di ottenere la copertura totale dell'area oggetto d'indagine.

Per i rilievi del litorale emerso e sommerso sono stati impiegati i punti notevoli delle sezioni rilevate durante la campagna del 1993 costituiti, per ogni profilo, dalle coordinate della testa di sezione a terra e dal punto terminale a mare.

L'archivio dati così costituito è stato introdotto nel sistema di controllo TDC1 che è stato utilizzato, durante le fasi operative a mare, come sistema di navigazione per l'individuazione dei percorsi teorici delle sezioni e, durante le operazioni di rilievo celerimetrico, come registratore dei punti planoaltimetrici singoli.

Nella fase di acquisizione dei dati batimetrici il sistema DGPS impiegato è stato interfacciato con un sistema idroacustico ad uscita grafico-digitale Ocean Data Bathy-500 operante alla frequenza di 200 Khz a cono di emissione ristretto (8°) in grado di ottenere una precisione pari a  $\pm 0.5\%$  della quota operativa.

L'intero pacchetto DGPS-Echo Sounder ha consentito di ottenere i seguenti vantaggi:

- completa automazione dei processi di acquisizione e memorizzazione dei dati raccolti;
- correzione automatica della variazione della marea presente durante i rilievi;
- misura della velocità del suono in acqua e relativa calibrazione;
- acquisizione per ogni profilo di due supporti: uno grafico derivato dal record cartaceo prodotto dal registratore dell'ecoscandaglio ed uno analitico che ha permesso un'acquisizione di un dato singolo tridimensionale (Nord, Est, Quota assoluta del fondale) ogni 2 metri per tutto lo sviluppo della rotta percorsa;
- compattezza dell'intero sistema in grado di essere installato su di una imbarcazione di ridotte dimensioni, caratteristica, questa, che ha permesso di rilevare in modo continuo tutto il fondale compreso tra le batimetriche -8 /-6 e la linea di battaglia.

## ***B2.3 Calcolo dei volumi del materiale accumulato o eroso <sup>1</sup>***

### ***B2.3.1 Metodologia***

Uno dei principali obiettivi realizzati attraverso l'aggiornamento dei rilievi topobatimetrici è la determinazione dei volumi di materiale accumulato o eroso lungo i vari tratti di litorale. Tale dato deriva dalla sovrapposizione dei profili relativi alle tre campagne topobatimetriche sinora eseguite e, in particolare, sono stati effettuati i confronti finalizzati a ricavare i volumi di materiale accumulati od erosi nei periodi 1984-1993 e 1993-2000.

Il calcolo è stato spinto nel dettaglio fino ad interessare, separatamente, le variazioni avvenute dalla spiaggia emersa, fino alla batimetrica dei 2,5 m e fino a quella dei 6 m.

I dati relativi ai volumi accumulati o erosi per metro lineare in corrispondenza di ogni sezione sono stati poi moltiplicati per la larghezza della cella attribuibile ad ogni sezione; successivamente questi volumi sono stati sommati per i nove tratti in cui si è ritenuto di suddividere l'intero litorale regionale.

La somma delle variazioni avvenute in questi nove tratti ha portato infine al bilancio totale riferito ai periodi 1984-1993 e 1993-2000.

### ***B2.3.2 Variazioni volumetriche***

Come precedentemente esposto, per la determinazione dei materiali accumulati o erosi lungo il litorale emilano-romagnolo, sono stati confrontati i dati relativi ai rilievi topobatimetrici eseguiti negli anni 1984, 1993, 2000. Il confronto ha interessato solamente le sezioni per le quali esistono almeno due campagne di misura. Al termine della campagna 2000 si è proceduto per ogni sezione alla:

- georeferenziazione delle coordinate plano-altimetriche secondo il sistema di riferimento geografico Cassini-Soldner;

---

<sup>1</sup> I contenuti di questo capitolo sono tratti dalla relazione finale a cura di Mentino Preti "Stato del litorale emiliano-romagnolo all'anno 2000" nell'ambito del progetto "Rilievi topobatimetrici a supporto degli interventi urgenti di difesa della costa e per la misurazione della variazione della spiaggia emersa e sommersa" al quale si rimanda per una trattazione più ampia dell'insieme delle problematiche inerenti il litorale regionale. Si è ritenuto, in particolare, di riportare qui le variazioni volumetriche calcolate relativamente all'intero litorale, anziché limitare l'osservazione alla sola parte di litorale interessata dalle 72 sezioni batimetriche previste nell'ambito del presente lavoro.

- ricostruzione del profilo altimetrico (fino alla quota -6m) relativo alle campagne 1984, 1993 e 2000;
- trasformazione delle coordinate planimetriche Cassini-Soldner in un sistema di riferimento progressivo lungo la linea perpendicolare alla costa nei pressi della sezione; tutte le progressive appartenenti alla stessa sezione sono state ricondotte alla testa del profilo datato 2000.

In seguito alla restituzione dei profili è stato possibile eseguire il confronto degli stessi mediante sovrapposizione in un sistema di assi cartesiani, avente sull'asse delle ascisse le distanze dalla testa di sezione, e sull'asse delle ordinate le quote altimetriche rilevate nelle campagne di misura.

Per il calcolo dei volumi accumulati o erosi si è proceduto in tre fasi:

1. determinazione, per ogni sezione e per ogni rilievo, delle aree di accumulo e di erosione, dalla testa di sezione fino alla batimetrica dei 6 m;
2. determinazione delle differenze fra tali aree relativamente alle diverse campagne di rilievo (1993-1984, 2000-1993, 2000-1984);
3. i valori di accumulo e di erosione relativi ad ogni sezione sono stati attribuiti ad una cella avente un'estensione pari a metà degli intervalli che separano la sezione da quelle adiacenti. In pratica i valori areali di ogni sezione sono stati moltiplicati per la larghezza della cella così definita.

In questo modo si è ottenuto un bilancio per celle che ha permesso la copertura dell'intera costa regionale.

Considerato che per diversi intervalli temporali alcune celle sono prive di confronto in quanto assente il profilo del 1984 e/o il profilo del 1993, si è provveduto ad attribuire a queste ultime il valore della cella più vicina in cui è stato possibile fare il calcolo dei volumi; il che equivale a considerare una larghezza di cella maggiore. I volumi così ottenuti per ciascuna cella sono stati sommati all'interno di ognuno dei seguenti tratti di costa significativi:

- 1) Cattolica – molo di Rimini;
- 2) molo di Rimini – foce Uso
- 3) foce Uso – molo di Cesenatico;
- 4) molo di Cesenatico – canale di via Cupa;
- 5) canale di via Cupa – molo di M. Ravenna;

- 6) molo di Porto Corsini – foce Reno;
- 7) foce Reno – Porto Garibaldi;
- 8) Porto Garibaldi – Lido di Volano
- 9) Scanni di Goro.

Nelle tab. 6 e 7 vengono riportati i volumi accumulati o erosi negli intervalli di tempo 1984-1993 e 1993-2000 in corrispondenza di ognuno dei tratti sopra menzionati a partire dalla testa di sezione posta nella parte alta della spiaggia fino alla batimetrica dei 6 metri.

**Tabella 6** - Variazioni volumetriche lungo il litorale emiliano-romagnolo nel periodo 1984 -1993.

<b>Tratto costiero</b>	<b>DV</b> (mc x 10 <sup>3</sup> )	<b>L</b> (km)
Cattolica - molo di Rimini	1	19,2
molo di Rimini - foce Uso	1565	11,4
foce Uso - molo di Cesenatico	-836	8,5
molo di Cesenatico - canale di via Cupa	-4242	11,4
canale di via Cupa - molo di M. Ravenna*	-1014	21,7
molo di P. Corsini - foce Reno*	6220	12,0
foce Reno - P. Garibaldi	3	8,5
P. Garibaldi - Lido di Volano	-4051	14,9
Scanni di Goro	6392	9,0
<b>TOTALE</b>	<b>4038</b>	<b>116,6</b>

- DV    variazione di volume ottenuta dal confronto dei profili dalla testa di sezione alla batimetrica 6 metri
- L     lunghezza dei singoli tratti
- \*     Valori con ampio grado di incertezza per l'elevata distanza tra le sezioni rilevate nel 1984 e nel 1993

**Tabella 7** - Variazioni volumetriche lungo il litorale emiliano-romagnolo 1993-2000

<b>Tratto costiero</b>	<b>DV</b> (mc x 10 <sup>3</sup> )	<b>L</b> (km)
Cattolica - molo di Rimini	241	19,2
molo di Rimini - foce Uso	-320	11,4
foce Uso - molo di Cesenatico	309	8,5
molo di Cesenatico - canale di via Cupa	3933	11,4
canale di via Cupa - molo di M. Ravenna *	-5709	21,7
molo di P. Corsini - foce Reno *	-430	12,0
foce Reno - P. Garibaldi	-3213	8,5
P. Garibaldi - Lido di Volano	-1167	14,9
Scanni di Goro	2690	9,0
<b>TOTALE</b>	<b>-3666</b>	<b>116,6</b>

DV     variazione di volume ottenuta dal confronto dei profili dalla testa di sezione alla batimetrica 6 metri

L       lunghezza dei singoli tratti

\*       Valori con ampio grado di incertezza per l'elevata distanza tra le sezioni rilevate nel 1984 e nel 1993.

### **B3)            Elaborati finali**

Gli elaborati finali relativi alla attività B), contenuti nell'**allegato 7**, sono costituiti da:

1. Planimetria generale in scala 1:50.000, derivata dalla cartografia IGM, con l'indicazione dei profili batimetrici eseguiti e delle linee isobate dalla -4 alla -10 (equidistanza 1m);
2. Planimetrie in scala 1:10.000, derivata da foto aeree, con l'indicazione delle teste di sezione, dei profili batimetrici eseguiti e delle linee isobate dalla -0.25 alla -10 (equidistanza 0.25 m);
3. Profili di 72 sezioni batimetriche da Cattolica a Cesenatico (scala orizzontale 1:2500, scala verticale 1:100) con evidenziati a 2 colori gli abbassamenti e gli innalzamenti rilevati rispetto al rilievo del 1993.



### 3. CONCLUSIONI

La misura della rete regionale di controllo della subsidenza si è svolta nei tempi previsti e nel rispetto delle specifiche tecniche predisposte. Le misure relative alla rete GPS sono state eseguite nel periodo dal 21/6/99 al 30/7/99 dal Laboratorio di Topografia e Fotogrammetria e Rilevamento Geologico del DISTART (Università di Bologna). La misura della rete di livellazione si è svolta nell'arco di 75 gg, come da capitolato, iniziando il 23/8/1999 e terminando il 5/11/1999. La Direzione dei Lavori è stata curata dallo Studio Tecnico Associato Scuderi & C. coadiuvato, per i controlli di campo, da tecnici dei Servizi Provinciali Difesa del Suolo della Regione, da tecnici della Provincia e del Comune di Bologna, della SEABO e dell'AMI (Imola) e dell'ARPA. La misura contestuale della rete del territorio provinciale di Bologna ha portato ad un aumento di circa 700 km di linee di livellazione su di una rete di per sé già molto estesa (oltre 2300 km). Tale aggravio ha sicuramente aumentato la probabilità che si ingenerassero errori nel corso delle misure e che tali errori si ripercuotessero inevitabilmente sulla qualità del rilievo nella sua globalità, tale probabilità non si è verificata, tuttavia sarebbe consigliabile, per il futuro, mettere a punto forme di collaborazione che non implicino necessariamente la fusione delle reti in un'unica campagna di misure.

Per quanto riguarda le linee della rete costiera non comprese nella rete regionale (236 km) si potrebbe ipotizzare un loro definitivo inserimento all'interno della rete regionale stessa come raffittimento in corrispondenza di un paraggio particolarmente delicato qual'è il litorale emiliano-romagnolo. Nel corso dei rilievi si è reso necessario il ripristino di 91 capisaldi di livellazione scomparsi durante il periodo intercorso tra l'istituzione della rete e l'inizio delle misure (da 1 a 2 anni a seconda delle zone). Rispetto alle lunghezze previste per le linee di livellazione, alla fine del rilievo si è rilevato un aumento di circa il 6% nello sviluppo delle stesse.

La compensazione delle misure ha messo in evidenza per la rete di livellazione errori quadratici medi variabili tra alcuni millimetri per i punti più vicini all'origine delle quote sino a 5-7 mm per i punti più lontani, mentre per la rete GPS si può fare affidamento su di una precisione per le quote dell'ordine di un centimetro, poco diversa, quindi, da quella ottenibile con la rete di livellazione per i punti più lontani dall'origine. In particolare, la rete GPS potrà essere ricalcolata, quando si ripeteranno le misure se,

per allora, esisteranno programmi di calcolo più raffinati di quelli attualmente disponibili. Le analisi statistiche effettuate sulle precisioni conseguite nelle misure di livellazione hanno rivelato la possibilità, per i rilievi futuri, di abbassare leggermente le tolleranze al fine di conseguire precisioni più raffinate utili ad evidenziare abbassamenti del suolo anche di piccola entità senza che questi rischino di confondersi con gli errori intrinseci del rilievo.

Al fine di operare un confronto con le misure storiche è stato affidato al Dipartimento di Ingegneria di Ferrara il compito di calcolare dei valori di omogeneizzazione da applicare alle misure storiche stesse; inoltre, i primi confronti lungo la rete costiera hanno evidenziato incongruenze rispetto alle precedenti campagne, ragion per cui lo stesso Dipartimento è stato interessato per cercare di risolvere tali anomalie e applicare le opportune correzioni. Attraverso lo studio supplementare che ne è seguito è stato messo a punto un modello di correzione delle tre campagne di livellazione IDROSER. Tale modello, tuttavia, per ammissione degli stessi autori, oltre a non dare risultati del tutto soddisfacenti, purtroppo, non trova alcuna ragione fisica, legata a fenomeni sistematici ben precisi ed alla determinazione del loro effetto sulle misure. Si è pertanto deciso di non applicare alcuna correzione alle campagne IDROSER che, quindi, sono state analizzate in relazione alle misure effettuate nel 1999 utilizzando esclusivamente le quote originali.

L'analisi degli abbassamenti ha preso in considerazione, in particolare, le linee IGM e la linea lungo il litorale. Da tale analisi risulta confermato, anche se in leggera diminuzione, il fenomeno nell'area bolognese (circa 4 cm/anno), in leggero aumento a Modena (oltre 1.5 cm/anno) e in deciso aumento nel Reggiano (fino a 2.5 cm/anno); in aumento anche le province di Parma e Piacenza (1 cm/anno). Risultano invece generalmente in attenuazione gli abbassamenti sul versante orientale della Regione con un netto decremento nelle aree litoranee di Rimini e Cesenatico. Lungo l'intero litorale, nell'ultimo periodo, sembra esservi stata una forte riduzione del fenomeno, anche in aree considerate storicamente critiche, come Dosso degli Angeli, Lido Adriano, Cesenatico. Infine, nel Ferrarese, a fronte di una generale diminuzione, si deve registrare solo un incremento nella zona del Basso Ferrarese verso il Po di Goro (fino a 1.5 cm/anno nel periodo 1988-99). Ulteriori informazioni si possono trarre dalla Carta a curve di uguale velocità di abbassamento del suolo ove si evidenziano ulteriori coni di

sprofondamento (oltre 3 cm/anno) a nord di Ozzano dell'Emilia, a nord di Ponte Samoggia e in corrispondenza di Bagno di Piano. Abbassamenti più circoscritti e di minor entità (oltre 2 cm/anno) si notano tra Rubiera e Campogalliano. Altre due zone critiche non evidenziate dai profili già descritti sono, la prima, in corrispondenza, all'incirca, del quadrilatero che ha come vertici i centri di Cotignola, Alfonsine, Ponte la Bastia e Ponte Massa; la seconda particolarmente concentrata immediatamente a nord di Savignano sul Rubicone. In entrambi i casi i valori massimi si aggirano intorno ai 3 cm/anno. Lungo gran parte del litorale si notano abbassamenti medi intorno a 1 cm/anno che nel riminese, in particolare, si riducono a circa 0.5 cm/anno.

In definitiva, già all'atto di questa prima misura della rete regionale, si è cercato di pervenire ad una rappresentazione del fenomeno della subsidenza, tuttavia, tale tentativo ha comportato difficoltà e semplificazioni che consiglierebbero una certa precauzione nella lettura di questi primi risultati. Una visione completa e con un minor grado di incertezza nella quantificazione del fenomeno, la si potrà acquisire solo dopo la realizzazione del secondo rilievo della rete di livellazione. Solo allora si realizzeranno le condizioni ottimali per quanto riguarda un confronto fra le misure, avvenendo tale confronto in presenza di maggiori condizioni di omogeneità dei dati di partenza come l'uguaglianza strutturale della rete o l'uguaglianza dei riferimenti. La ripetizione del rilievo si può prevedere fra 5-6 anni, nel frattempo potrebbe essere opportuna una ripetizione a più breve scadenza del rilievo della rete GPS (58 punti), che già dopo 2-3 anni è in grado di fornire un trend sufficientemente attendibile degli abbassamenti.

## **APPENDICE**

**VELOCITA' DI ABBASSAMENTO LUNGO LA VIA EMILIA DA PIACENZA A RIMINI NEL PERIODO  
1980/92 - 1999**

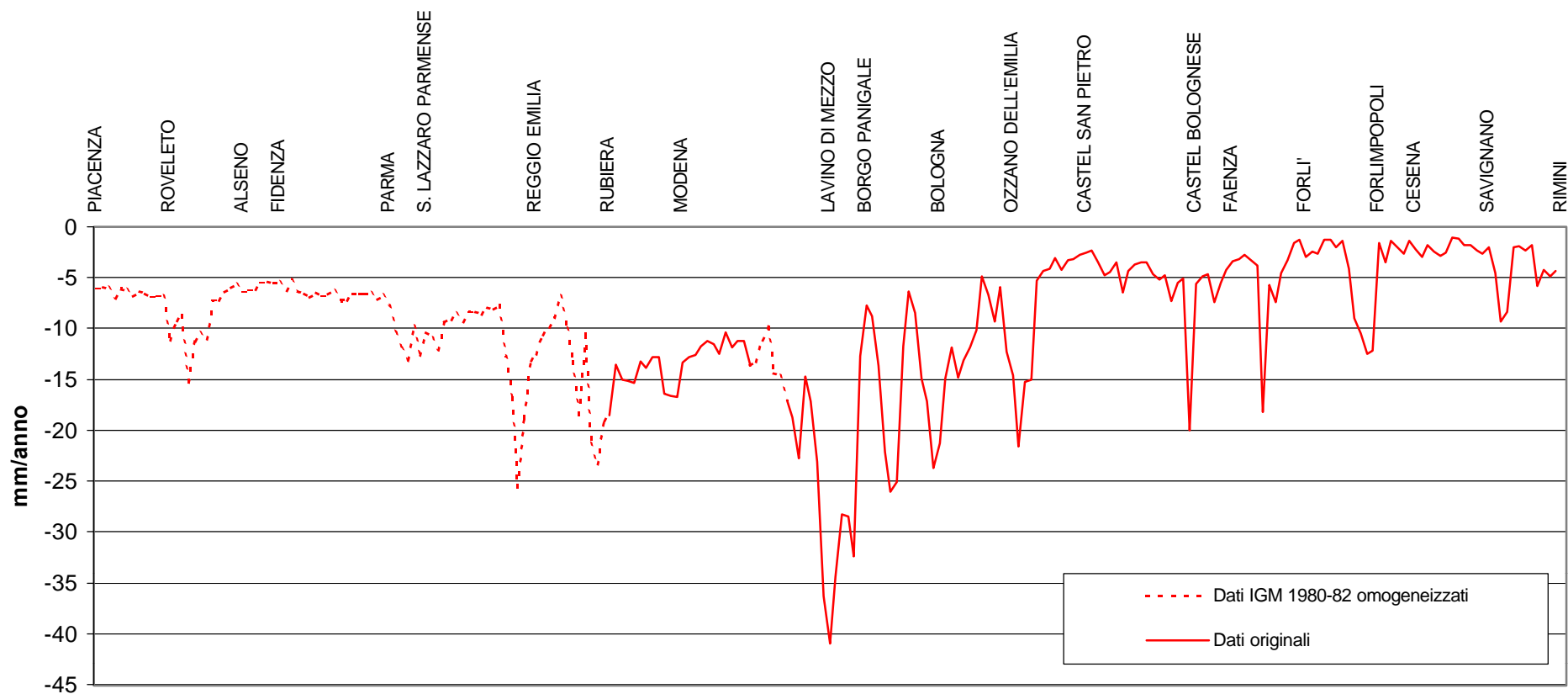


FIG. 1

**CAPOSALDO 002260 (Nodale 23 IGM) - Piacenza**

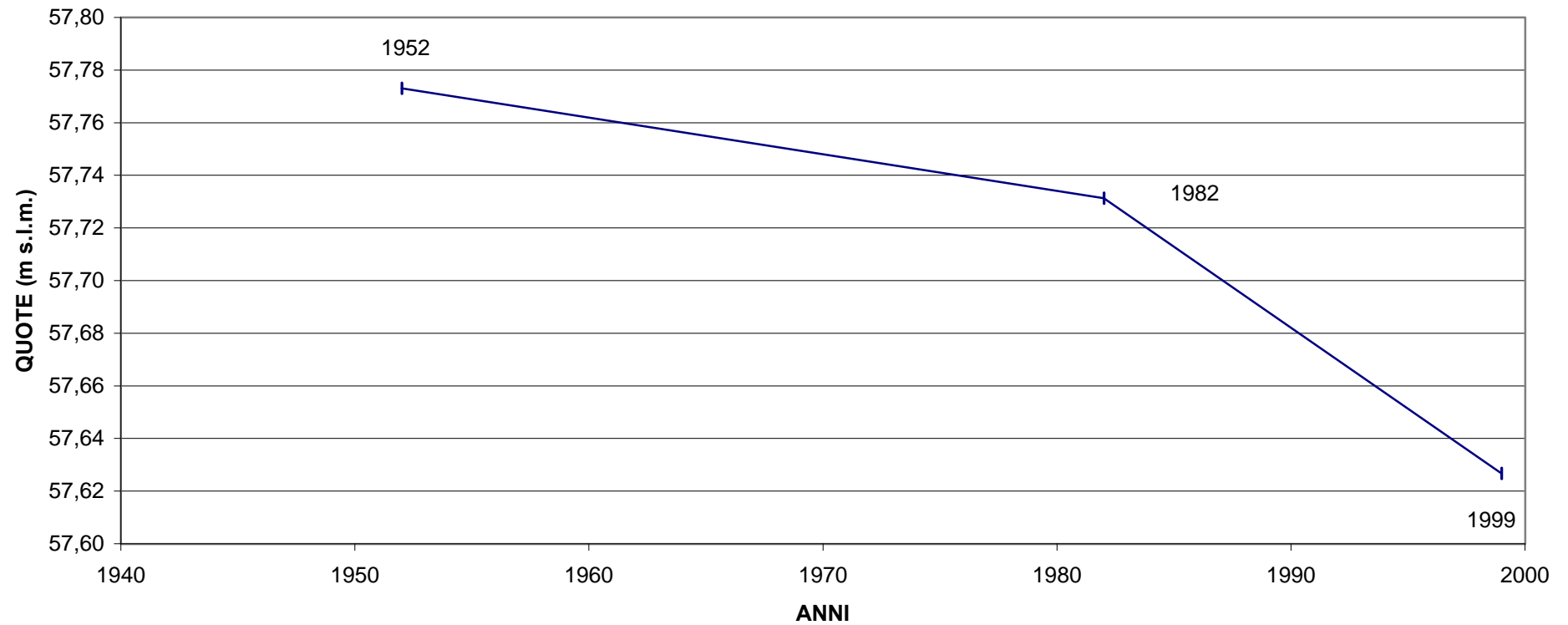


FIG. 2

**CAPOSALDO 002070 (20/44 IGM) - Roveleto di Cadeo (PC)**

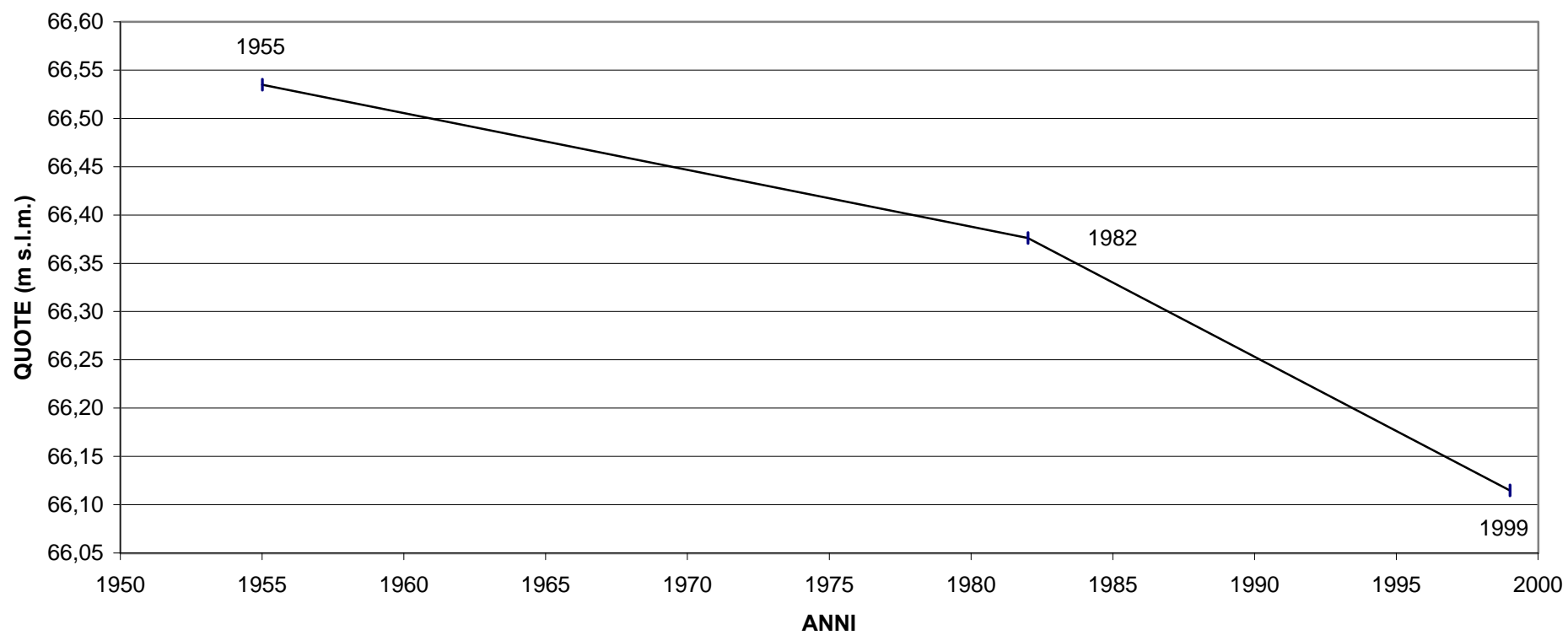


FIG. 3

**CAPOSALDO 000050 (Nodale 26 IGM) - Parma**

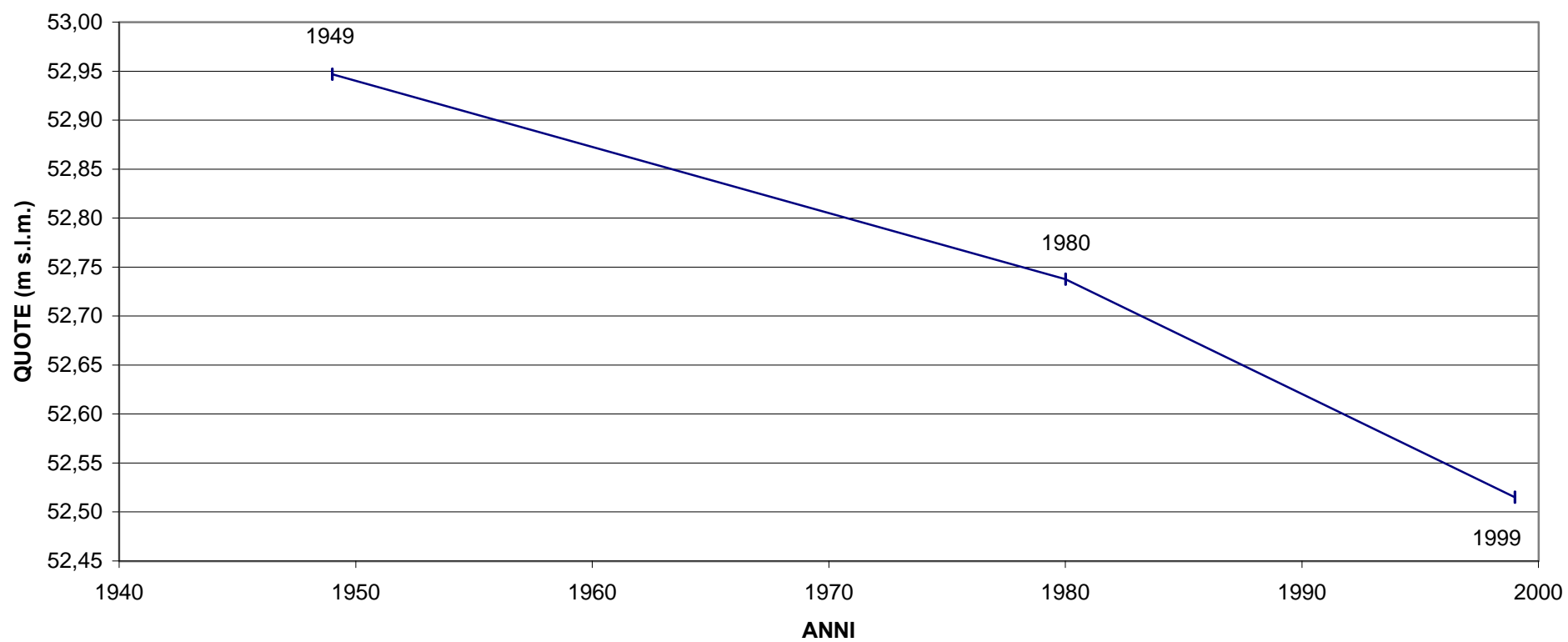


FIG. 4



**CAPOSALDO 015250 (17/70' IGM) - Pieve Modolena (Reggio Emilia)**

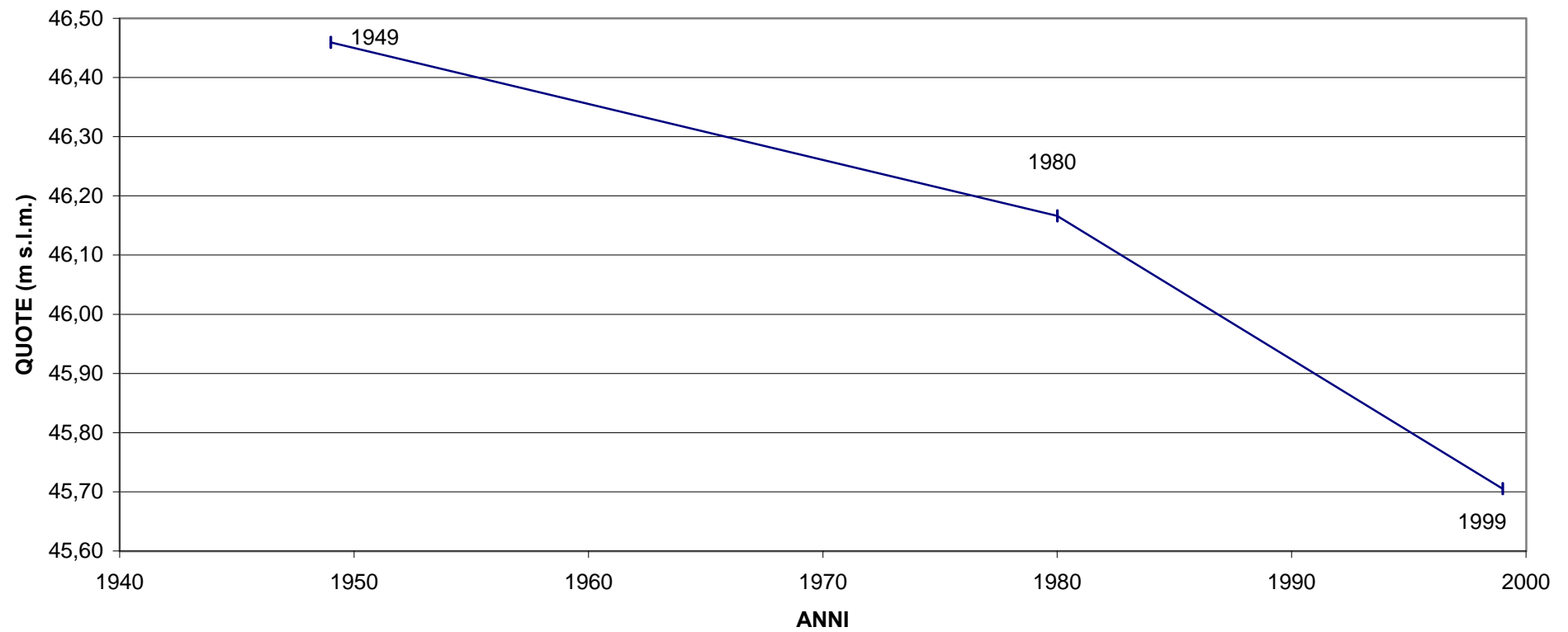


FIG. 5

**CAPOSALDO 029120 (N/23 - Rete del Comune di Modena) Palazzo Comunale di Modena**

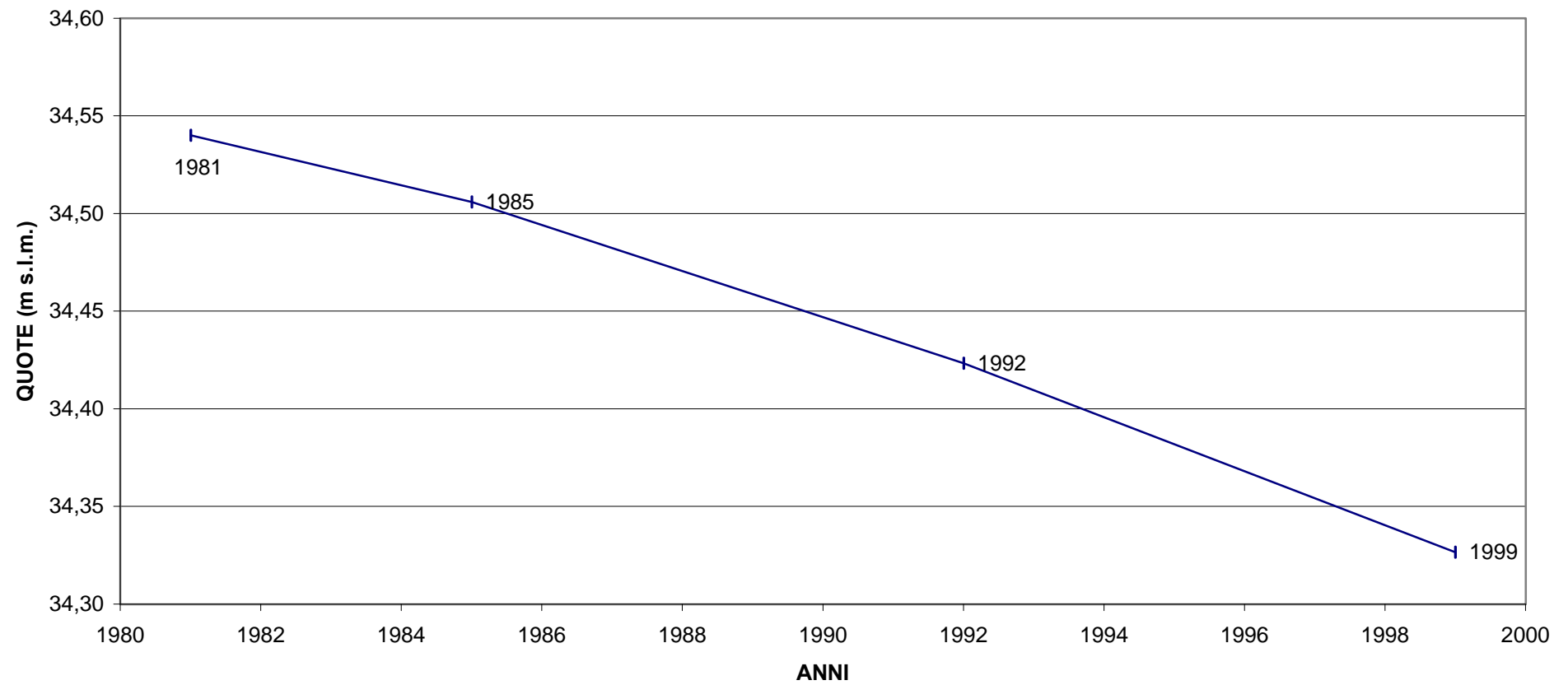


FIG. 6

**CAPOSALDO 052080 (40/1 - Rete del Comune di Bologna) Lavino di Mezzo (BO)**

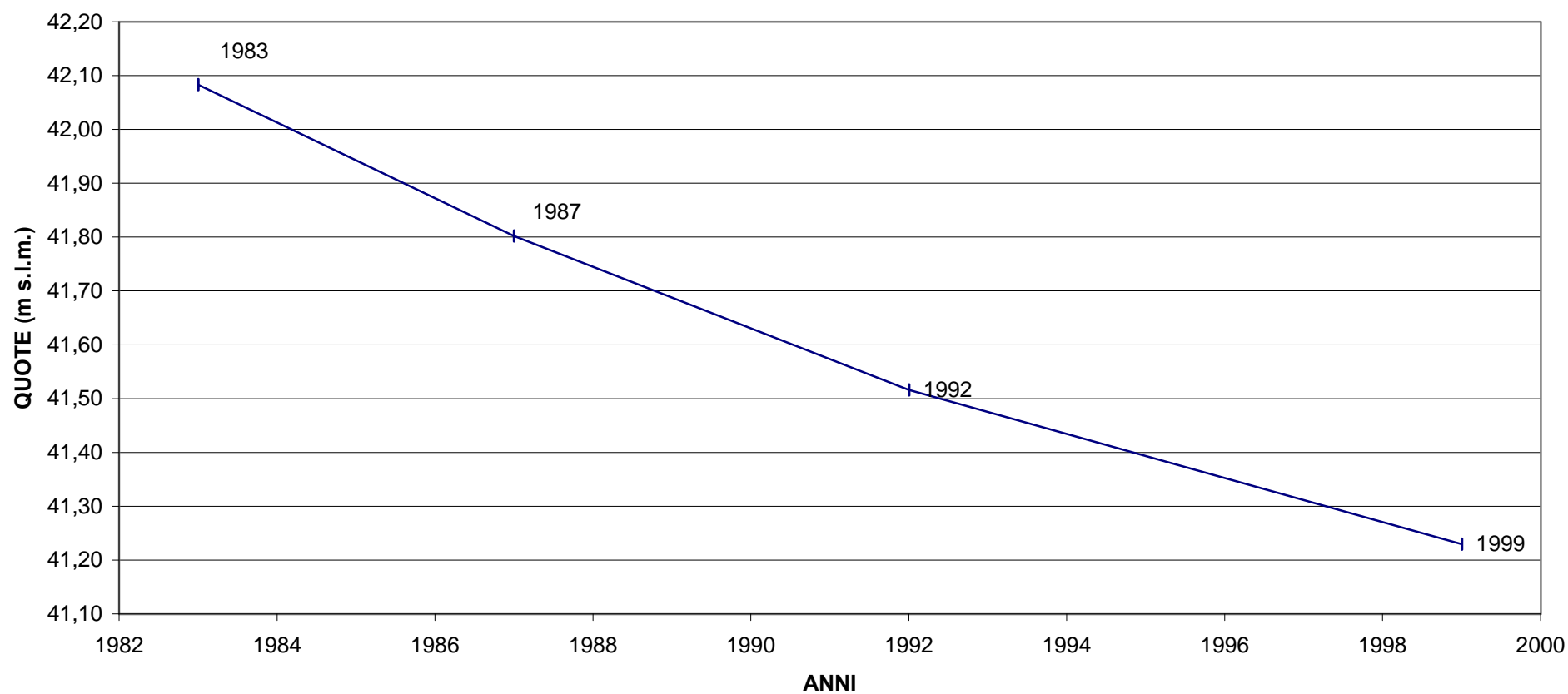


FIG. 7

**CAPOSALDO 067030 (N/46- Rete del Comune di Bologna) Bologna - Porta Mazzini**

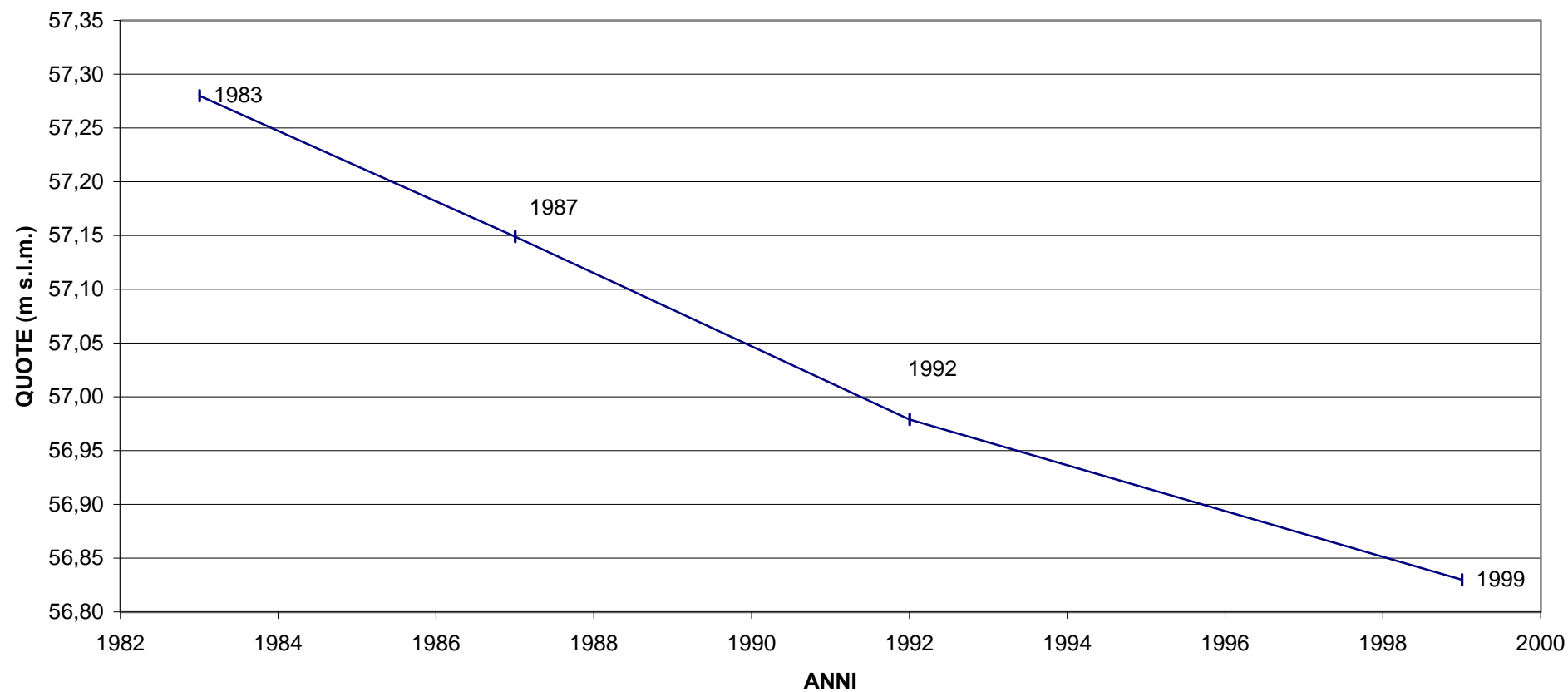


FIG. 8

**CAPOSALDO 078030 (15/102 IGM) - Ozzano dell'Emilia (BO)**

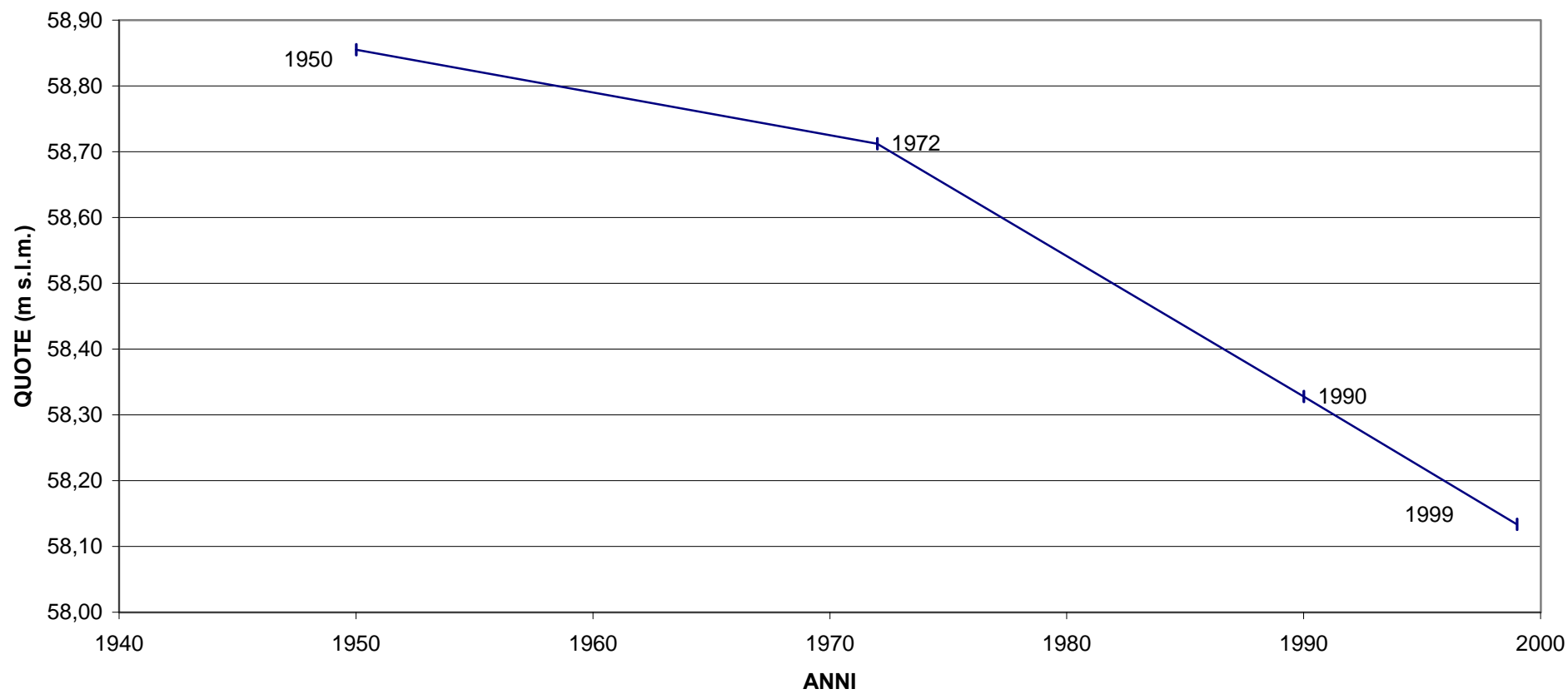


FIG. 9

**CAPOSALDO 096140 (15/66 IGM) - Faenza (RA)**

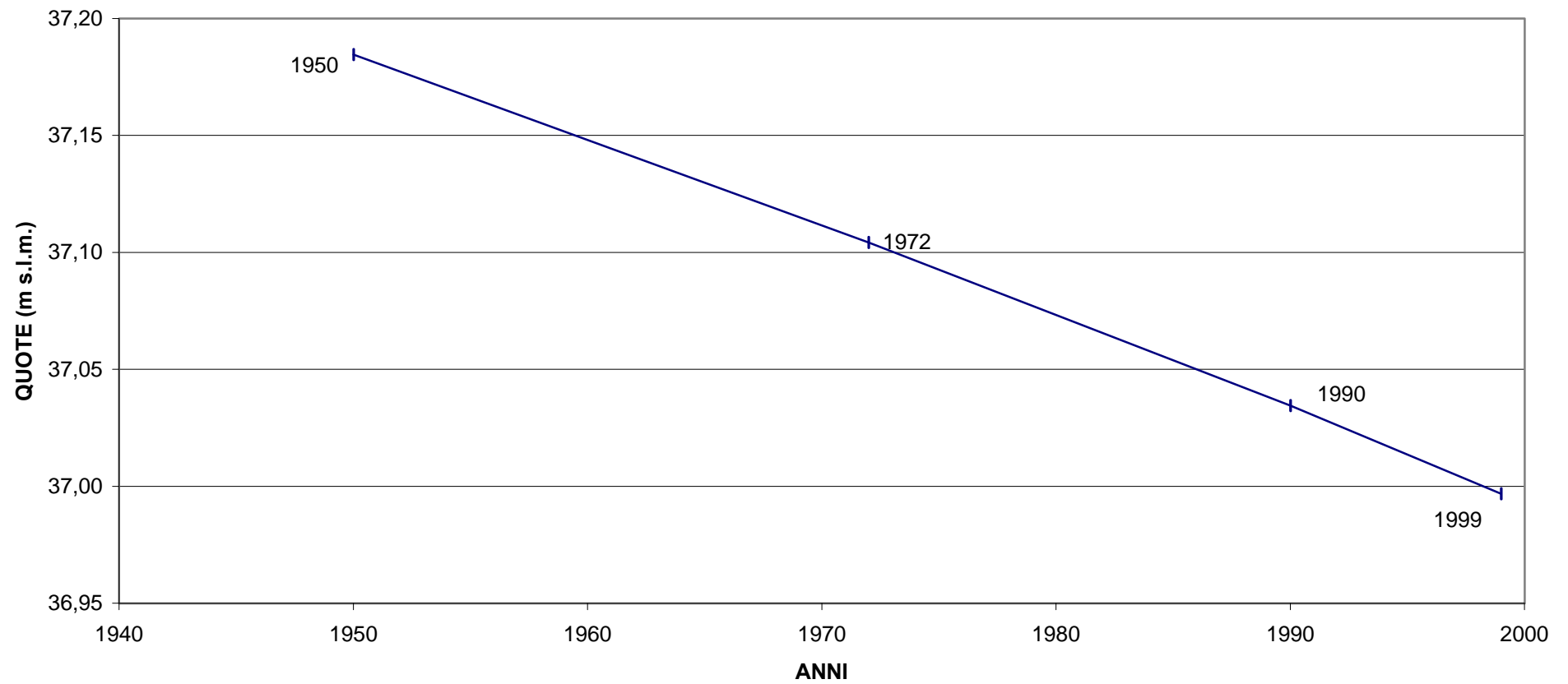


FIG. 10

**CAPOSALDO 115090 (15/42 IGM) - Sobborgo Baldieri di Forlimpopoli (FO)**

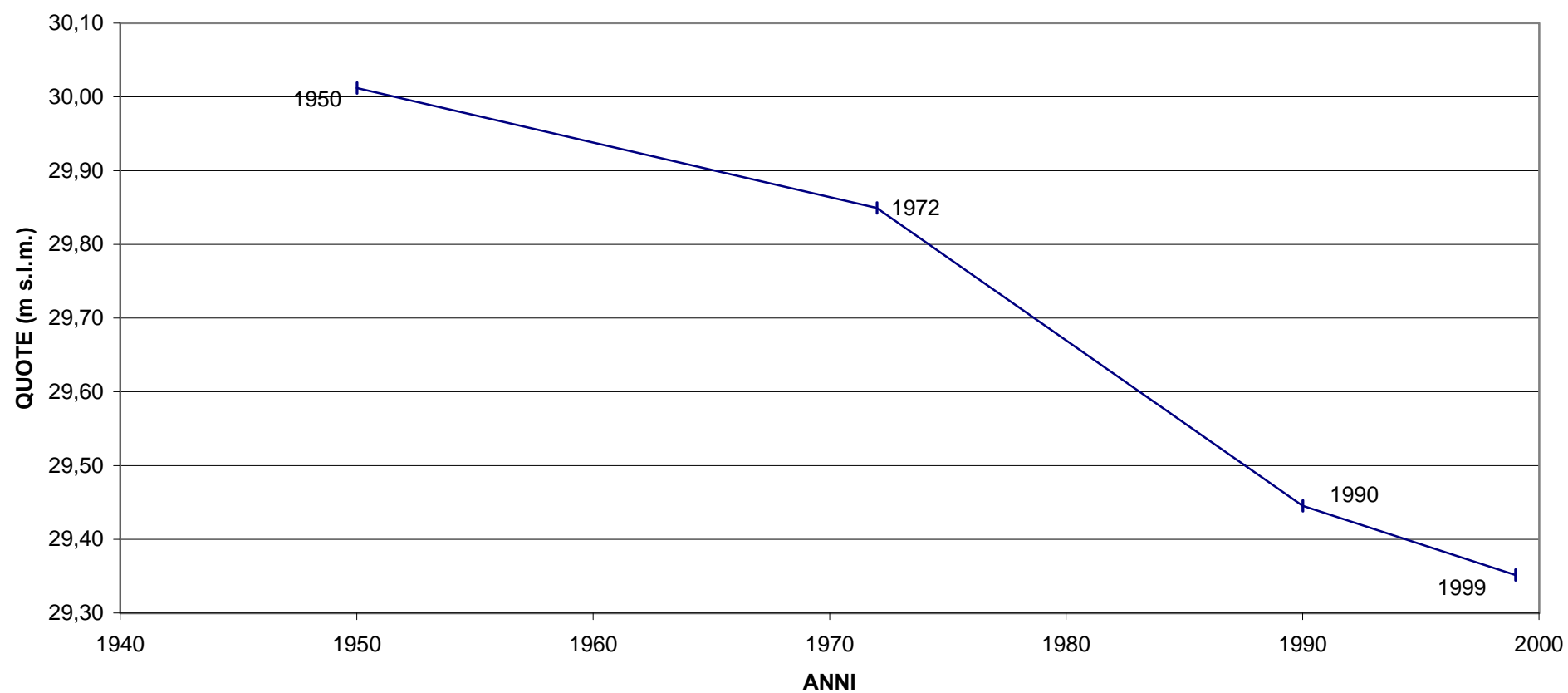


FIG. 11

### CAPOSALDO 119090 (Nodale 34 IGM) - Cimitero di Rimini

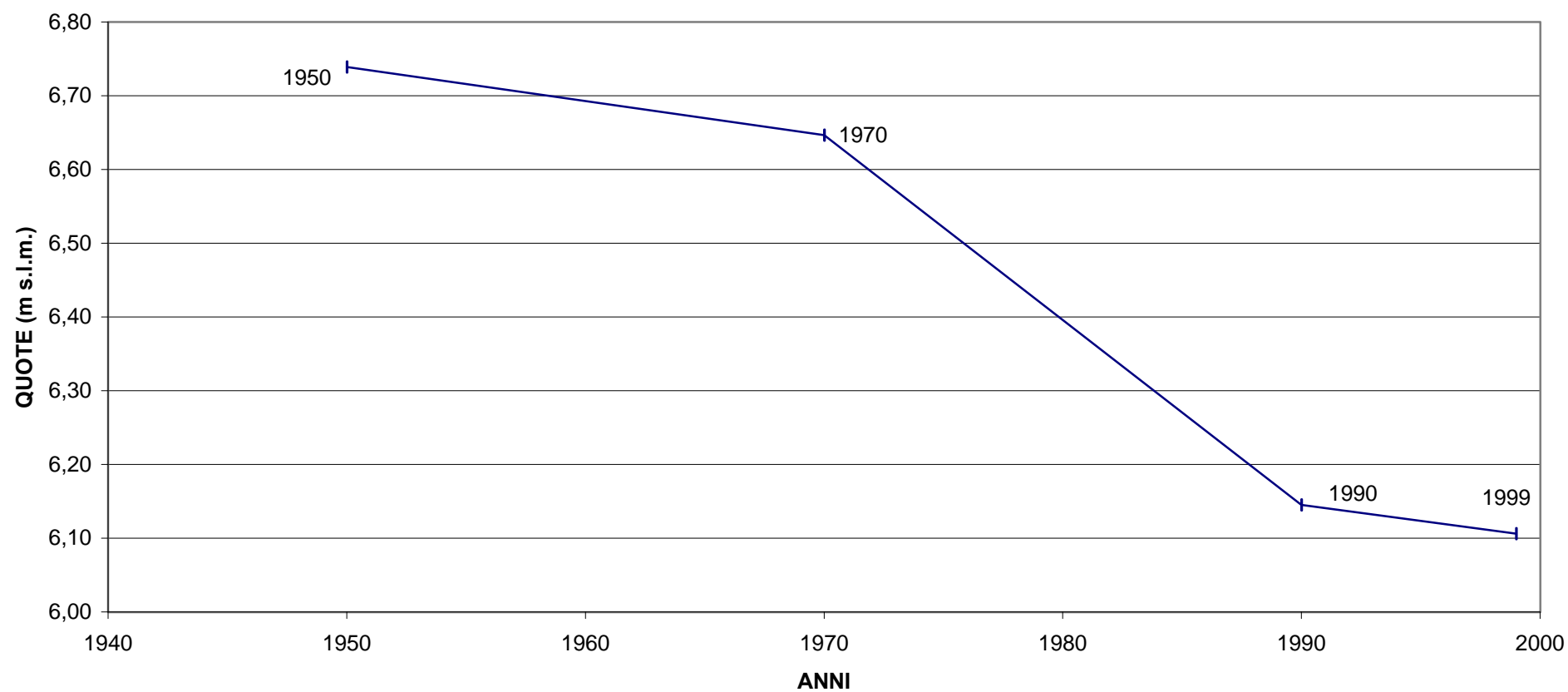


FIG. 12



**VELOCITA' DI ABBASSAMENTO LUNGO LA SS. 10 DA PIACENZA A CREMONA  
NEL PERIODO 1984 - 1999**

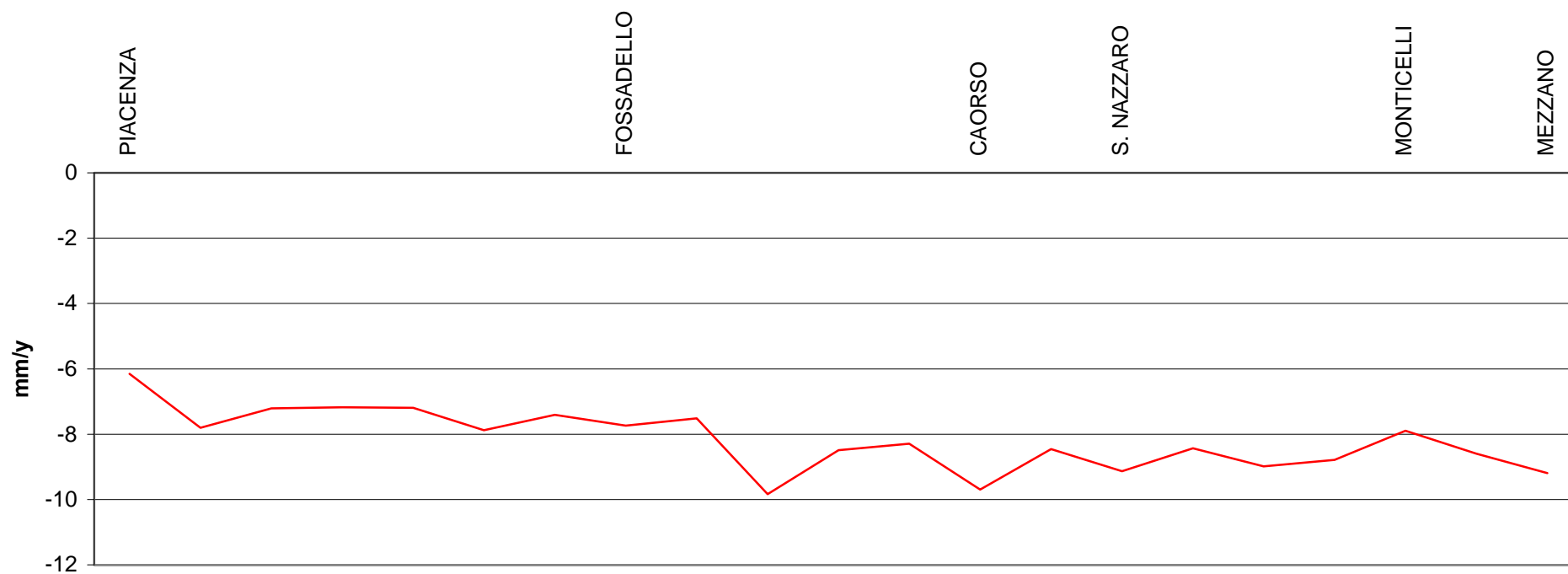


FIG. 13

### CAPOSALDO 002500 (3/26 IGM) - Mezzano (PC)

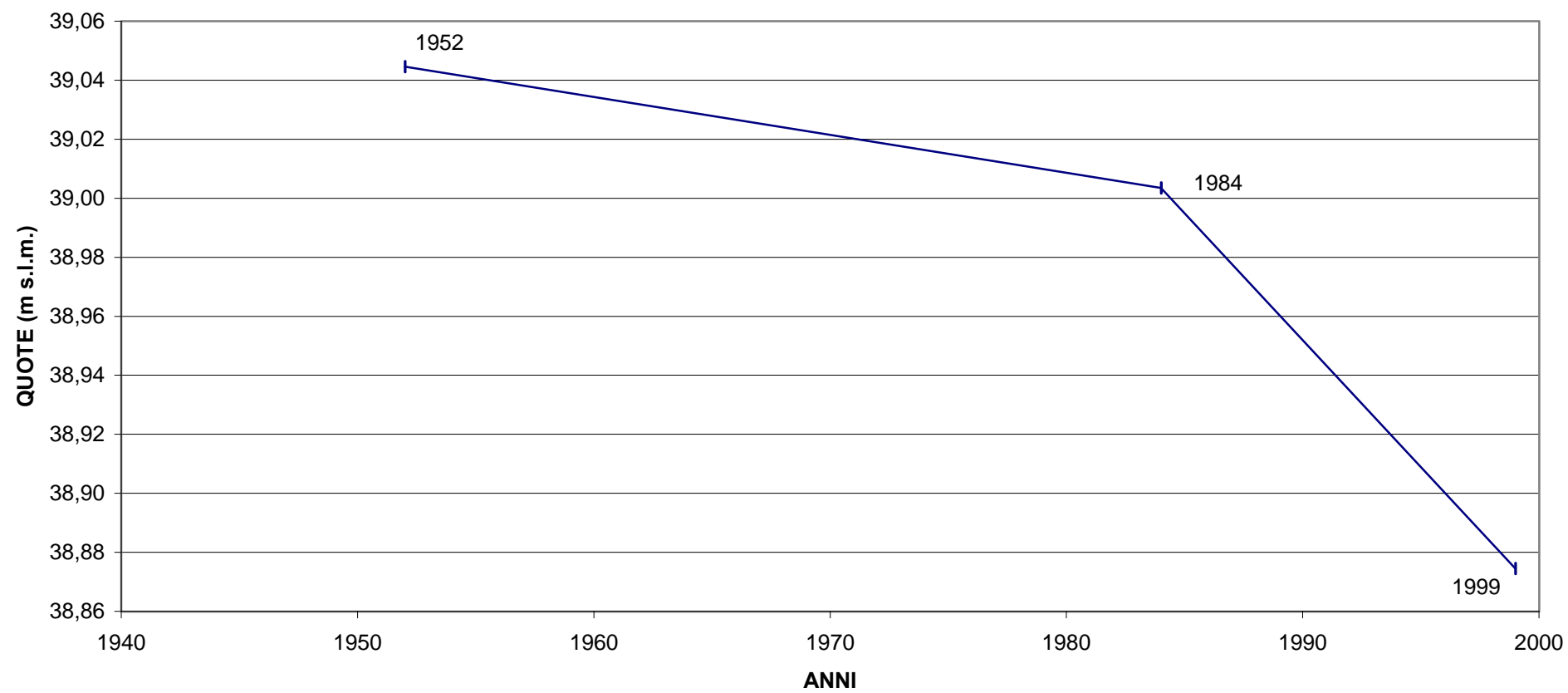


FIG. 14

**VELOCITA' DI ABBASSAMENTO LUNGO LA SS. 62 DA PARMA A LUZZARA  
NEL PERIODO 1985 - 1999**

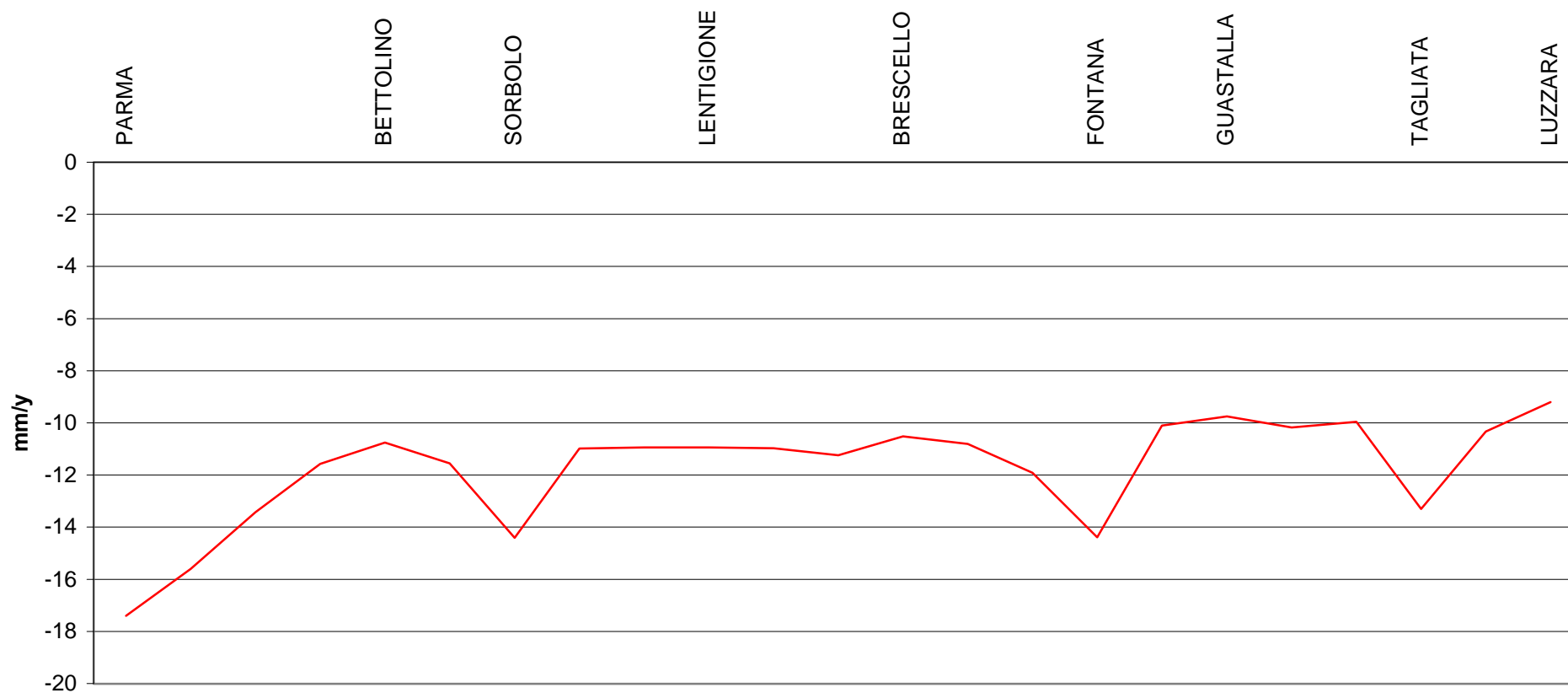


FIG. 15

**CAPOSALDO 012110 (40/11 IGM) - Sorbolo (PR)**

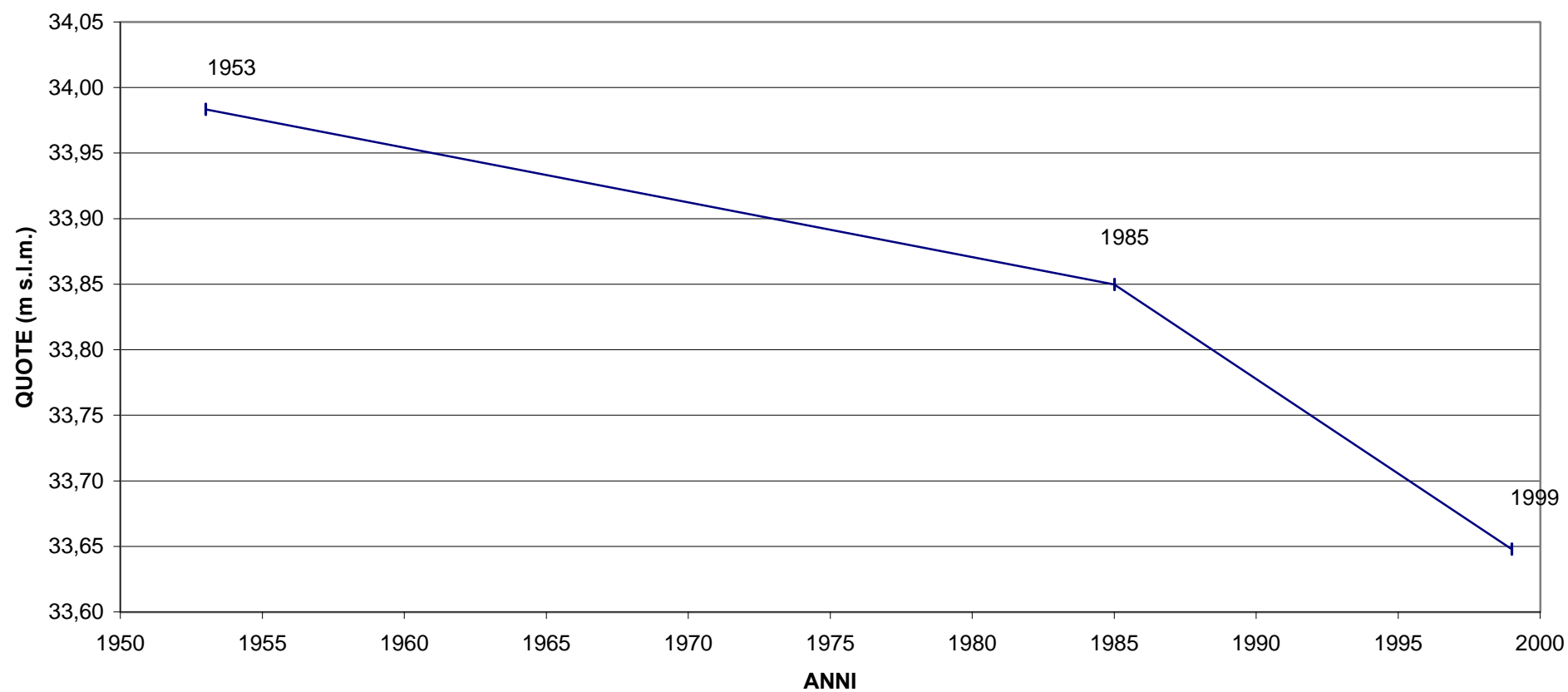


FIG. 16

**VELOCITA' DI ABBASSAMENTO LUNGO LA SS. 64 DA BOLOGNA A FERRARA  
NEL PERIODO 1990/92 - 1999**

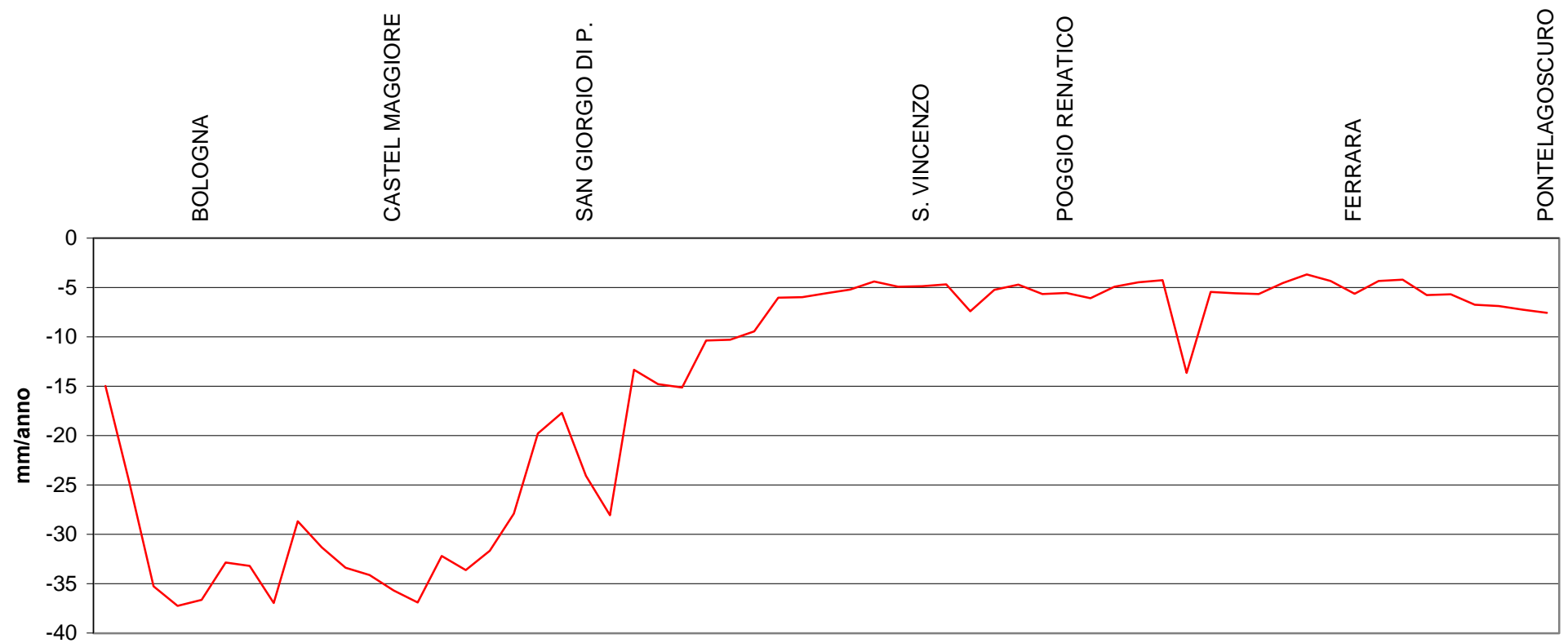


FIG. 17

### CAPOSALDO 051140 (6/16 IGM) - Castelmaggiore (BO)

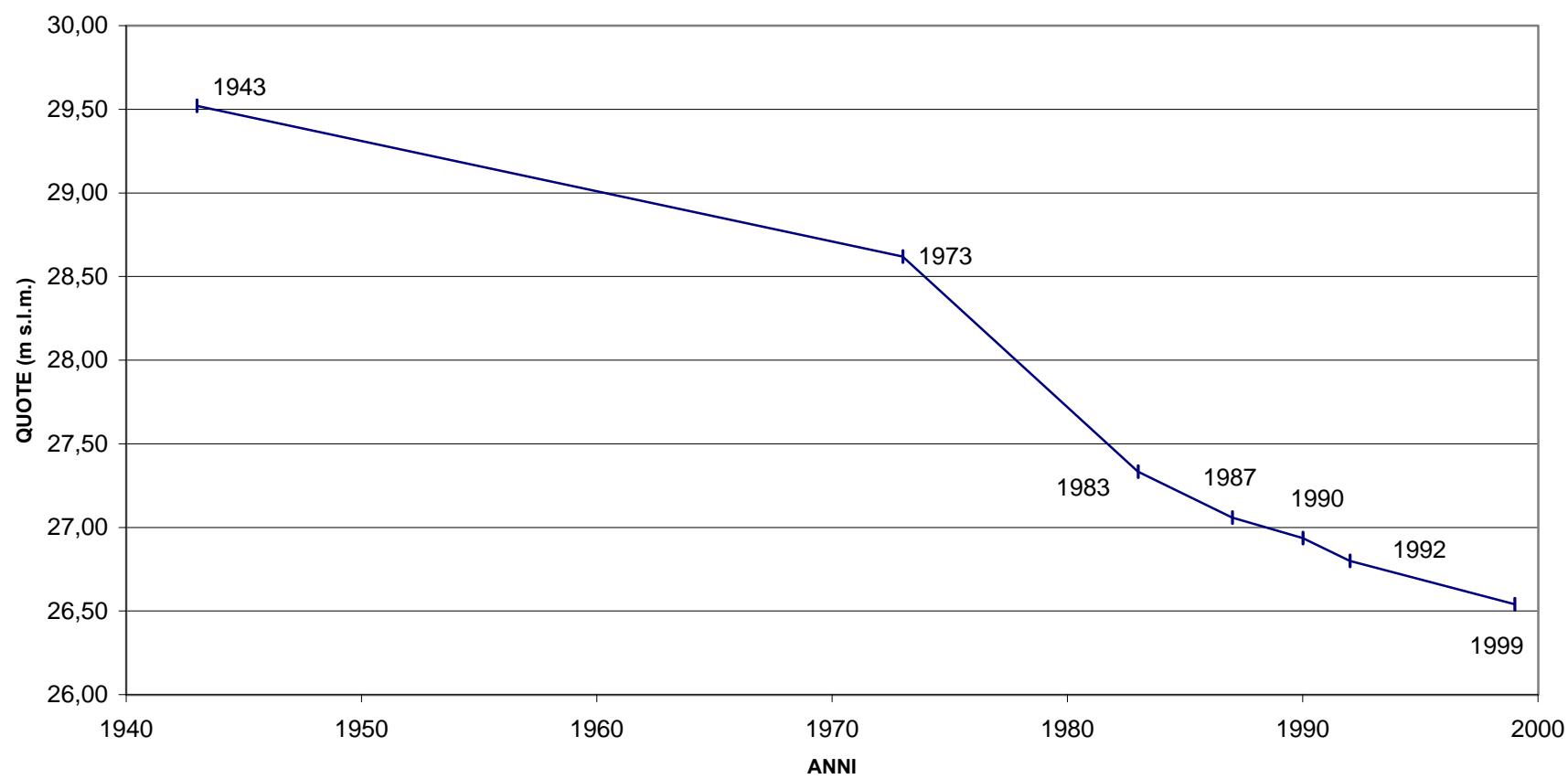


FIG. 18

**VELOCITA' DI ABBASSAMENTO LUNGO LA SS. 495 DA PORTOMAGGIORE AD ARIANO  
FERRARESE NEL PERIODO 1988 - 1999**

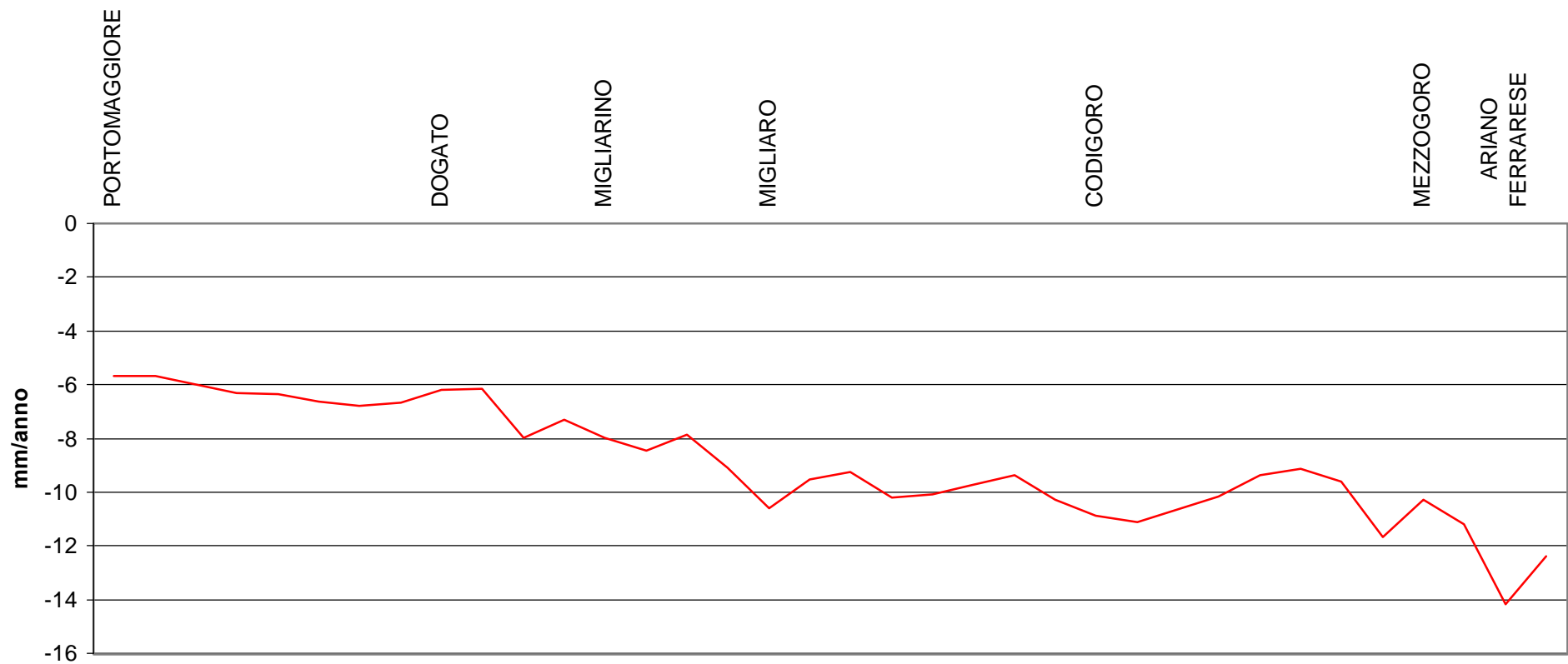


FIG. 19

**CAPOSALDO 083090 (19/43 IGM) - MEZZOGORO (FE)**

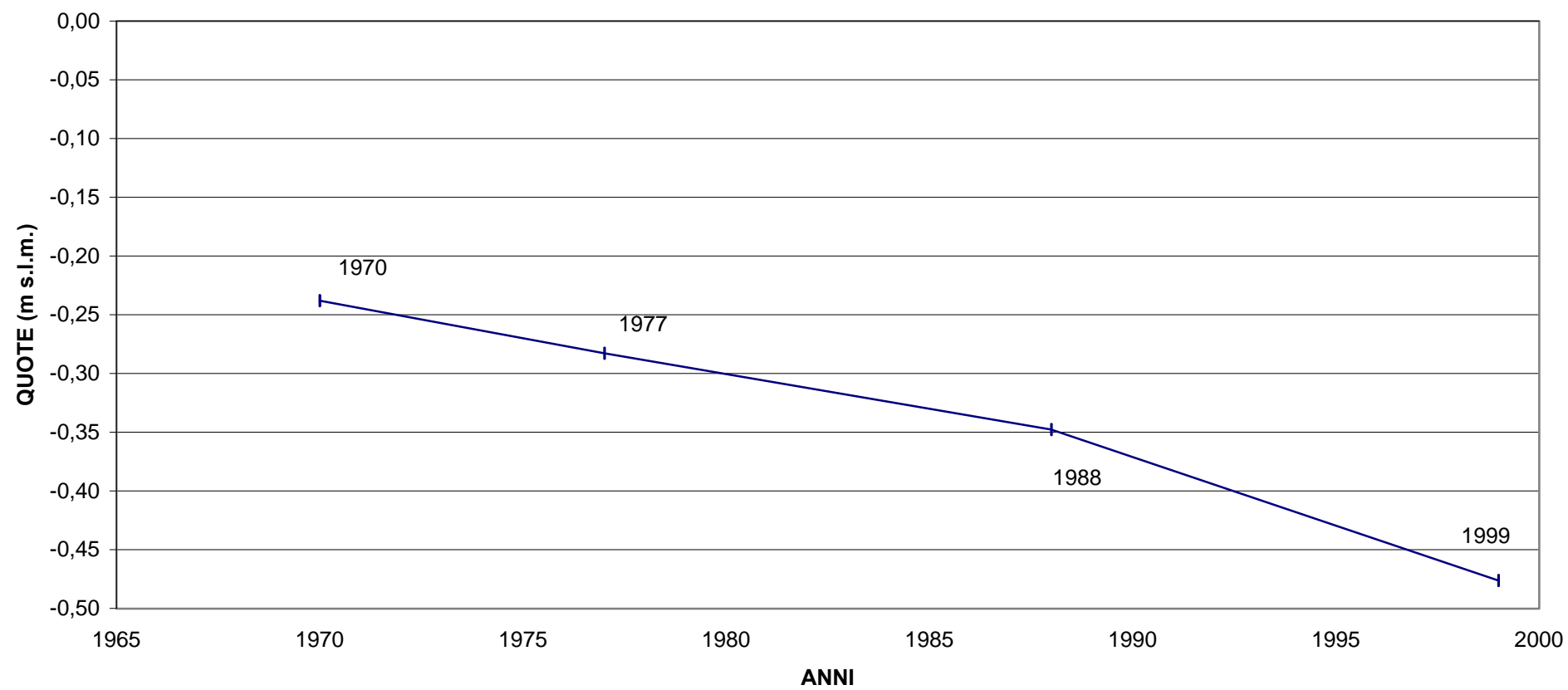


FIG. 20



**VELOCITA' DI ABBASSAMENTO LUNGO LA SS. 16 DA RIMINI A FERRARA  
NEL PERIODO 1990 - 1999**

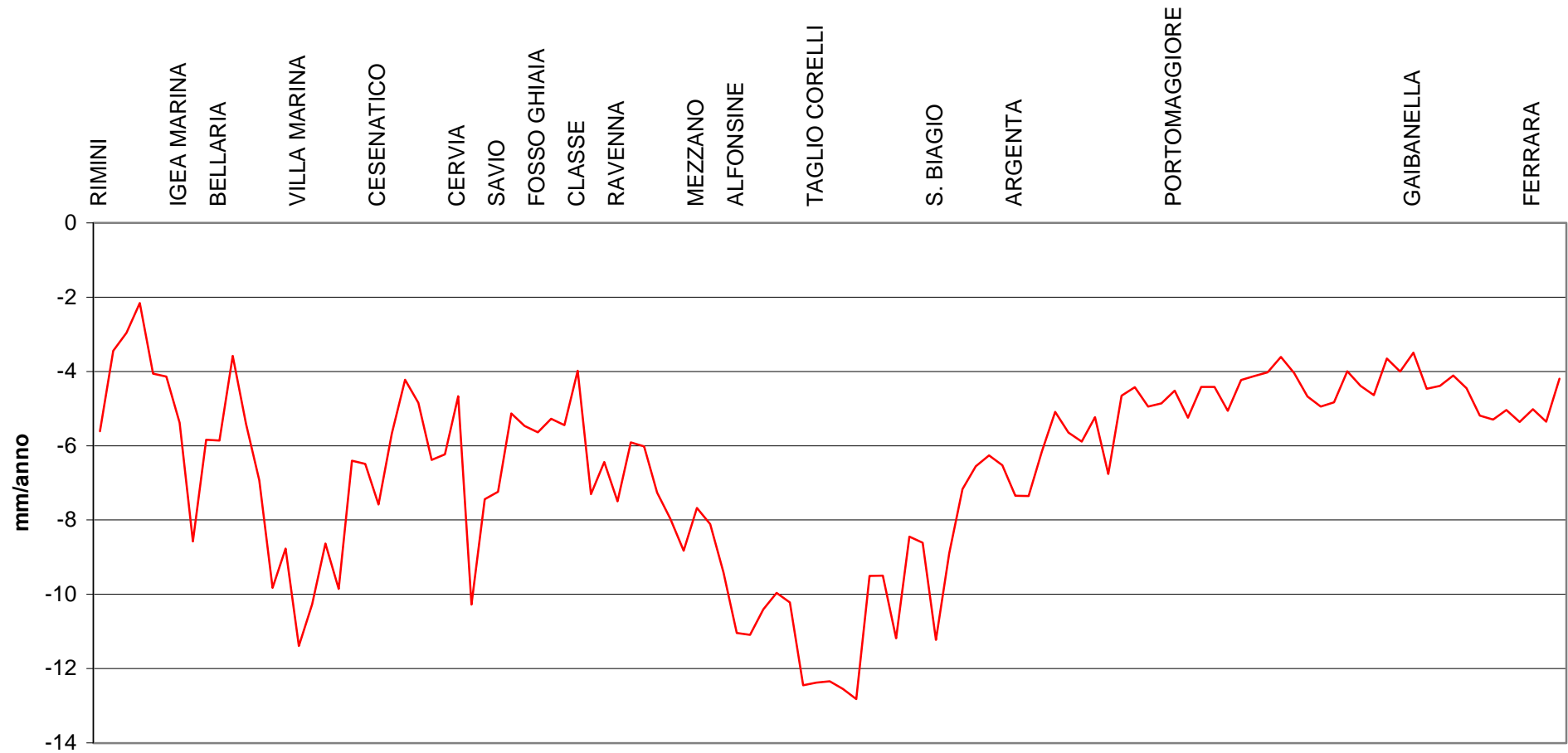


FIG. 21

**CAPOSALDO 119250 (16/16 IGM) - Villa Marina di Cesenatico (RA)**

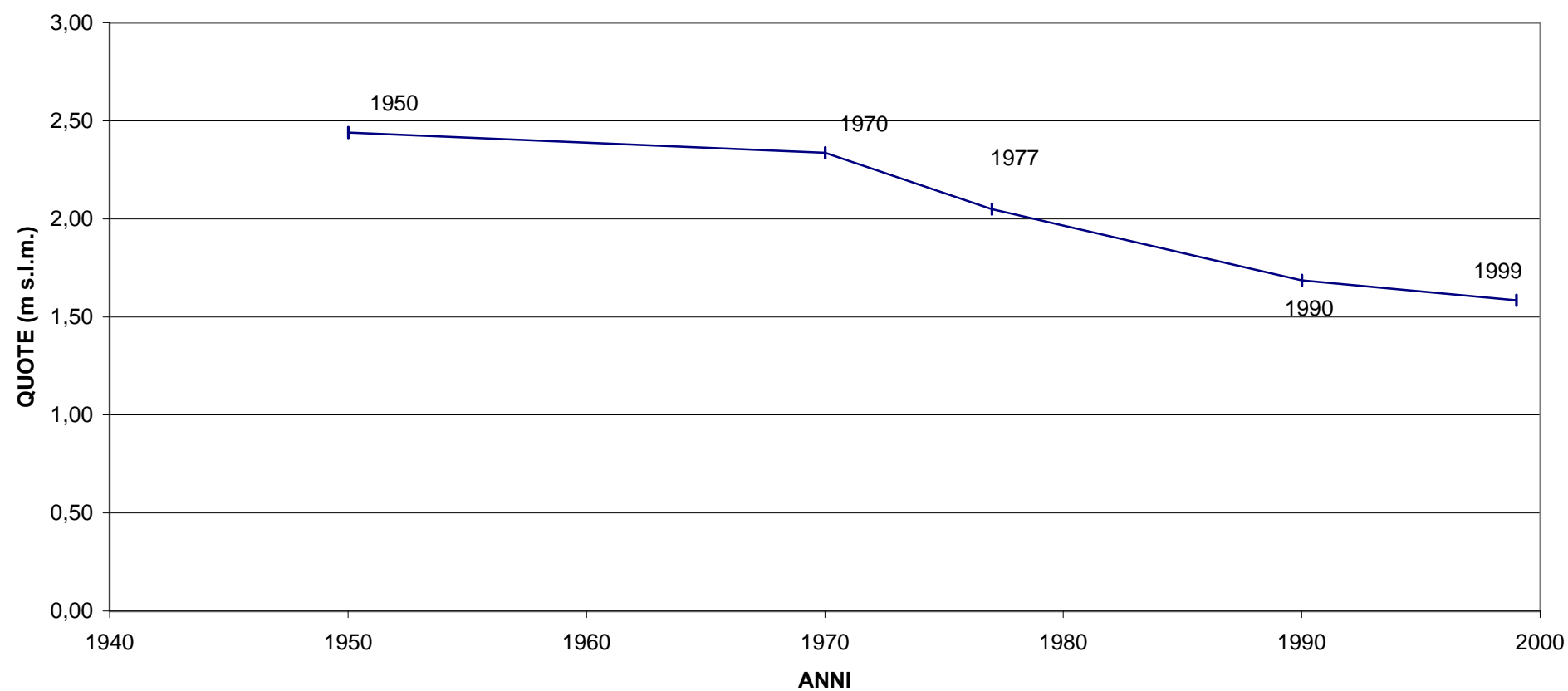


FIG. 22

**CAPOSALDO 000690 (16/29 IGM) - Cervia (RA)**

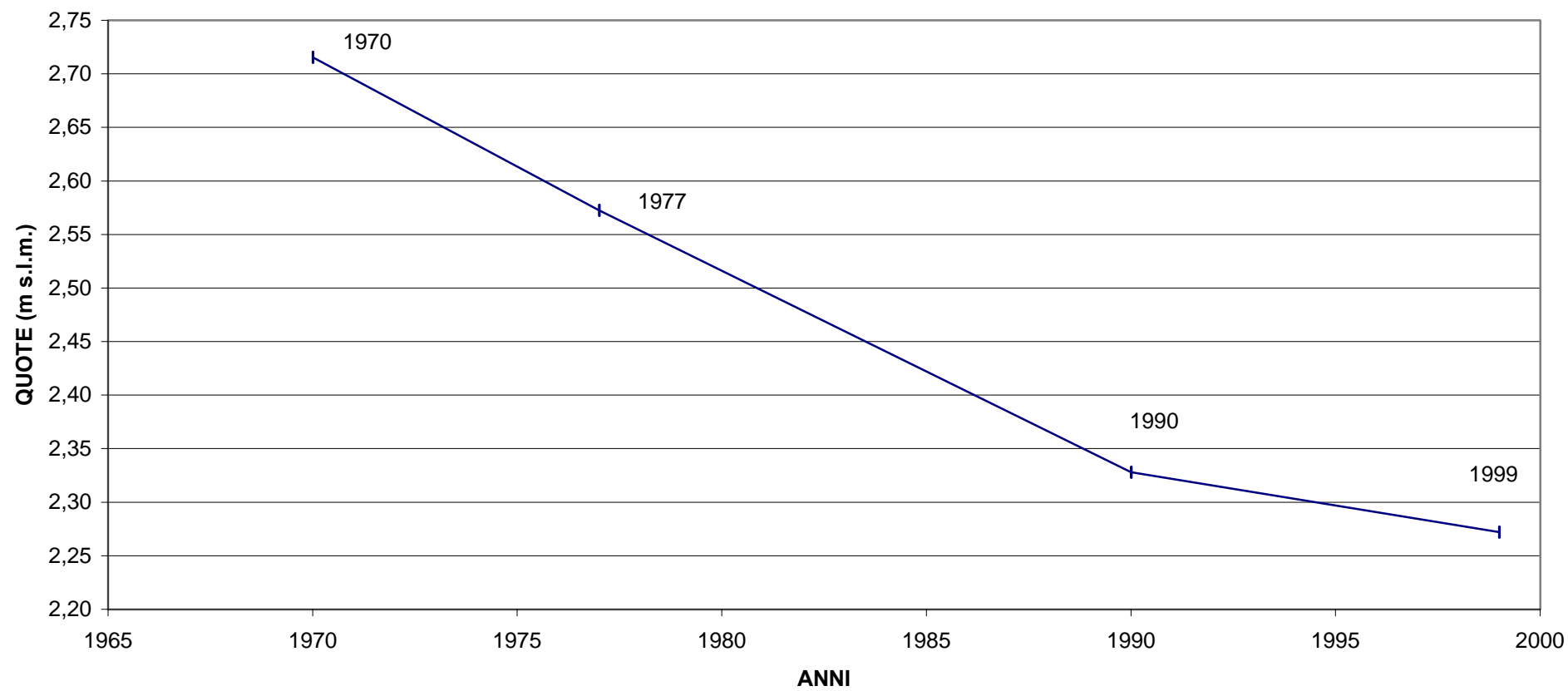


FIG. 23

### CAPOSALDO 106020 (16/50 IGM) - Ravenna

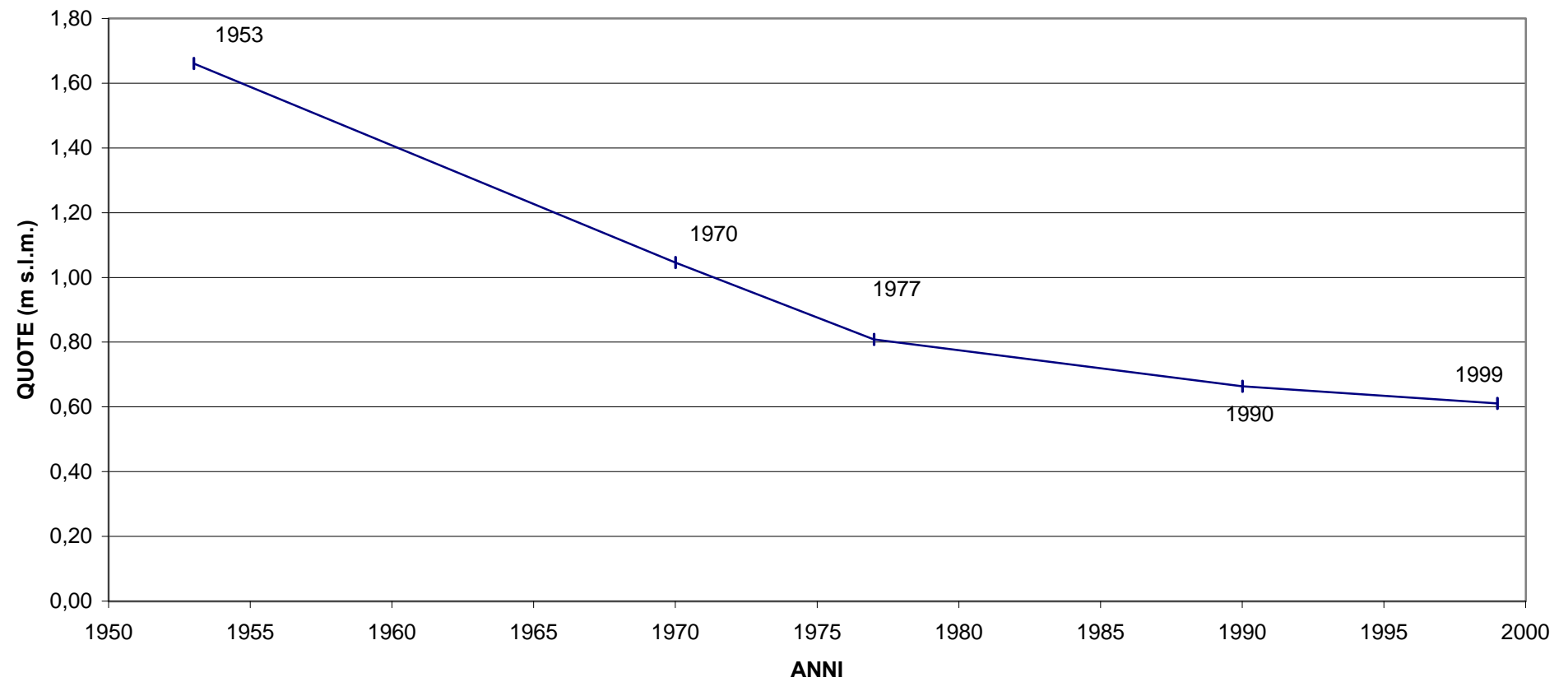


FIG. 24

### CAPOSALDO 060280 (18/27 IGM) - Ferrara

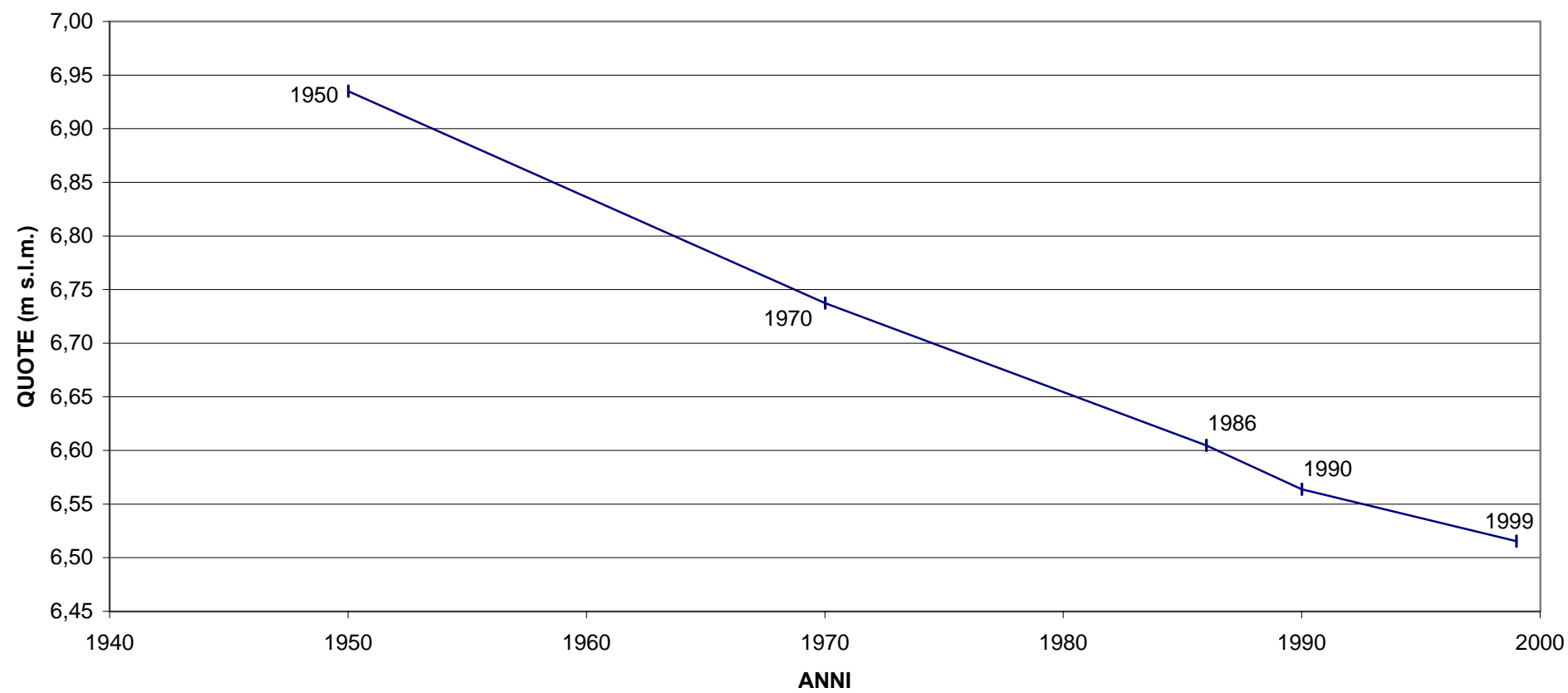


FIG. 25

**VELOCITA' DI ABBASSAMENTO DA RAVENNA A MARINA DI RAVENNA NEL PERIODO 1990 - 1999**

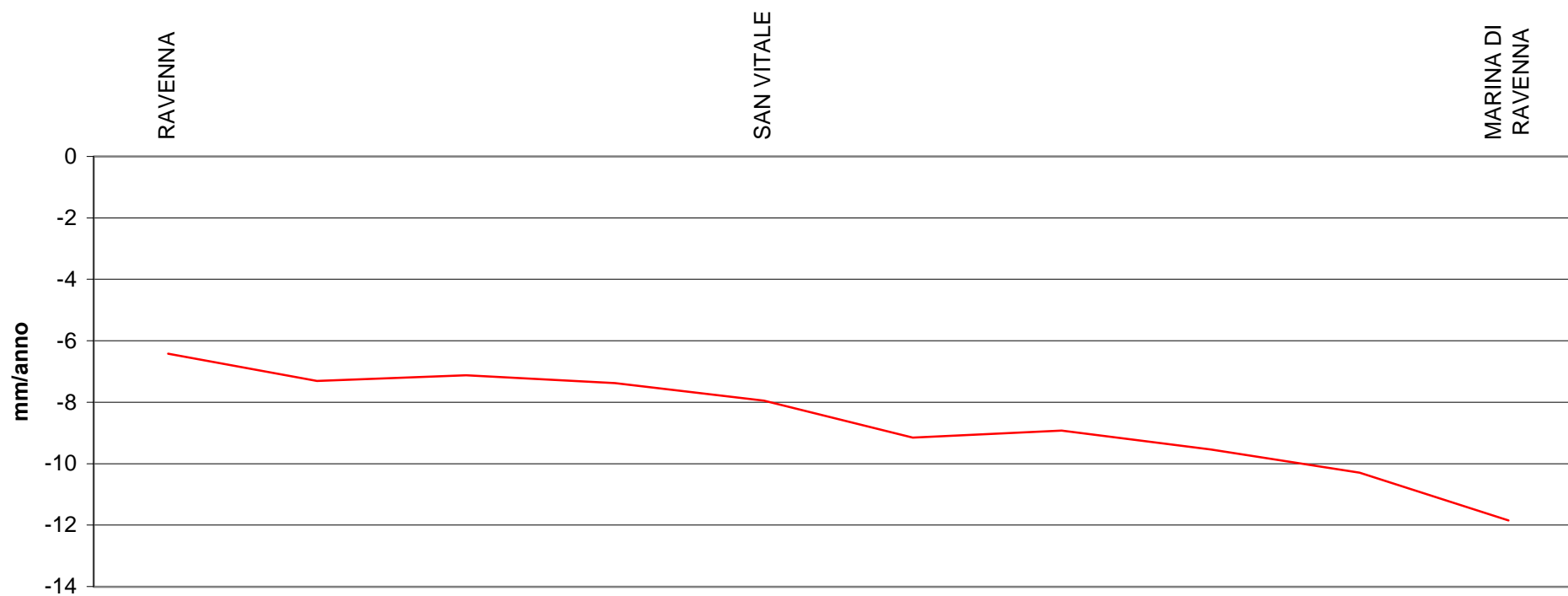


FIG. 26

**CAPOSALDO 000630 (16D1/12 IGM) - FARO DI MARINA DI RAVENNA**

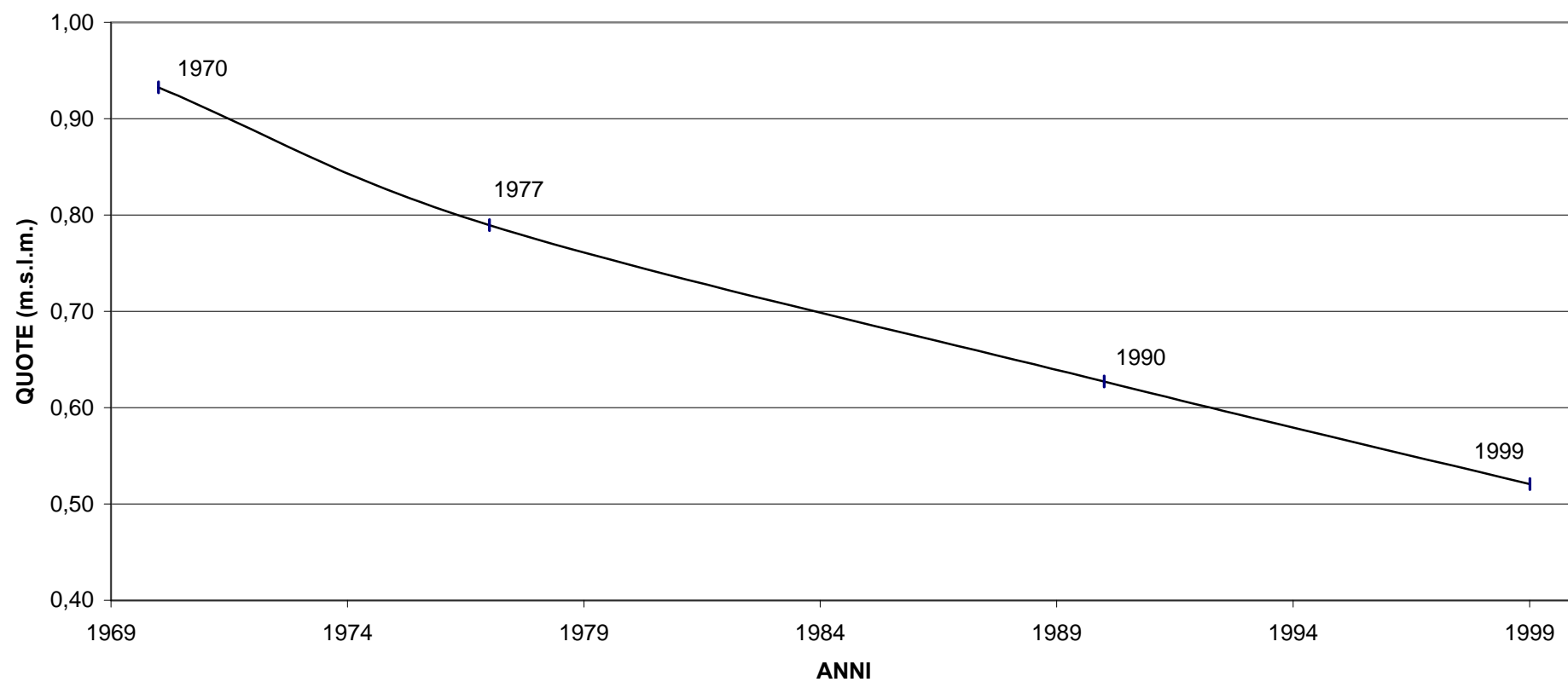


FIG. 27

**ABBASSAMENTI LUNGO IL LITORALE ADRIATICO  
NEI PERIODI 1984-1987, 1984-1993 e 1984-1999**

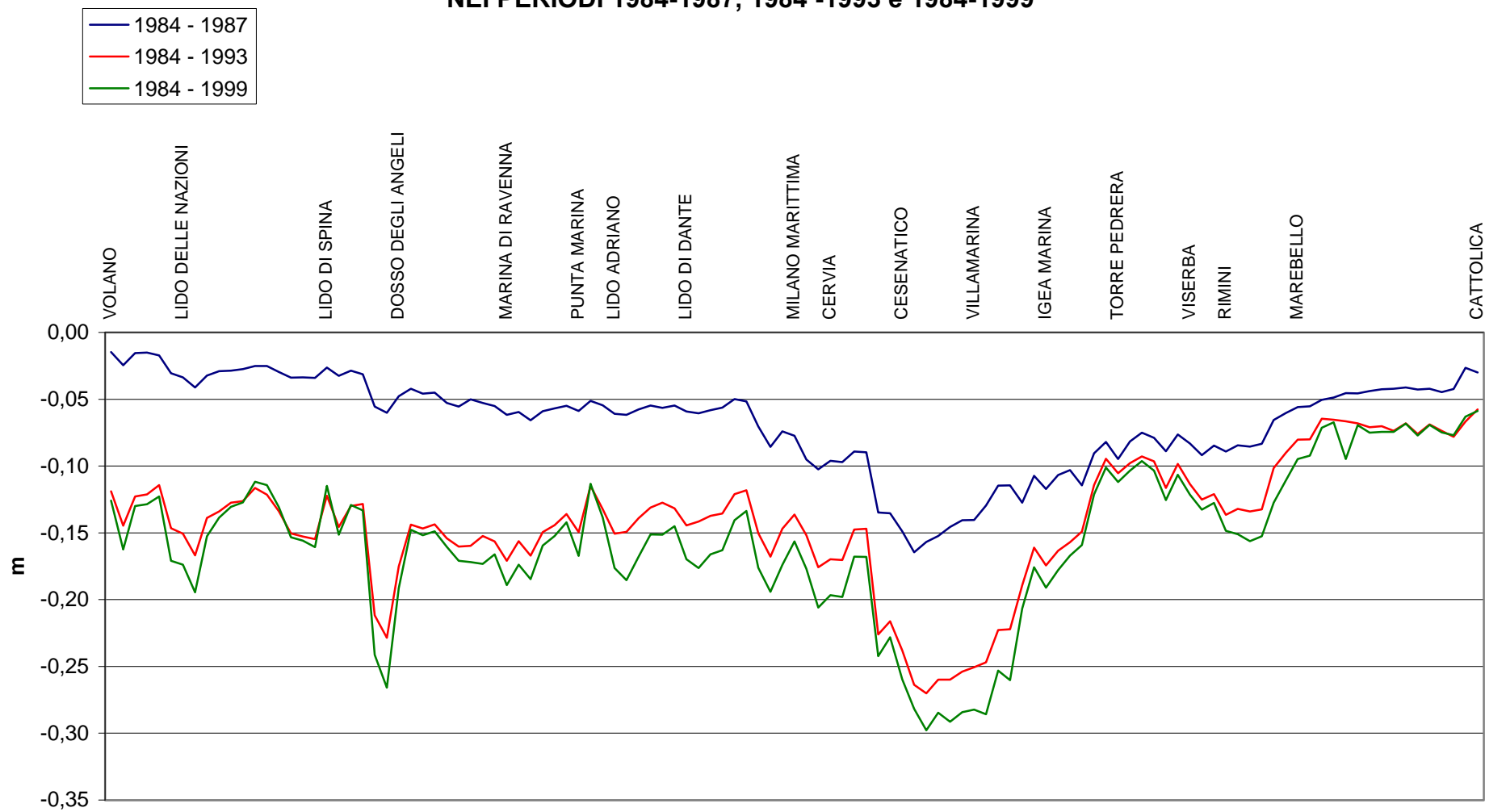


FIG. 28



**VELOCITA' DI ABBASSAMENTO LUNGO IL LITORALE EMILIANO-ROMAGNOLO  
NEI PERIODI 1984-1999, 1984-1987, 1987-1993, 1993-1999**

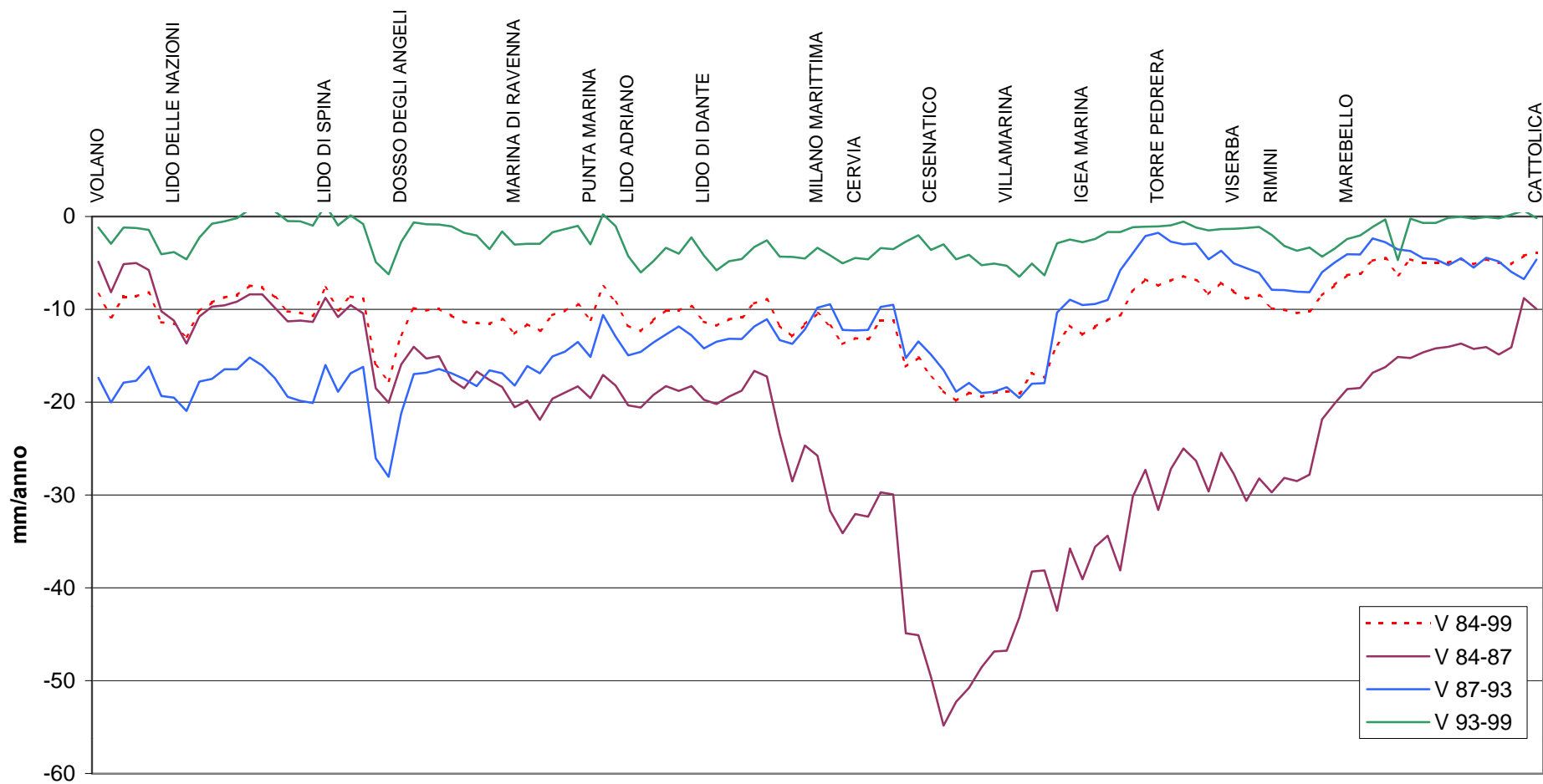
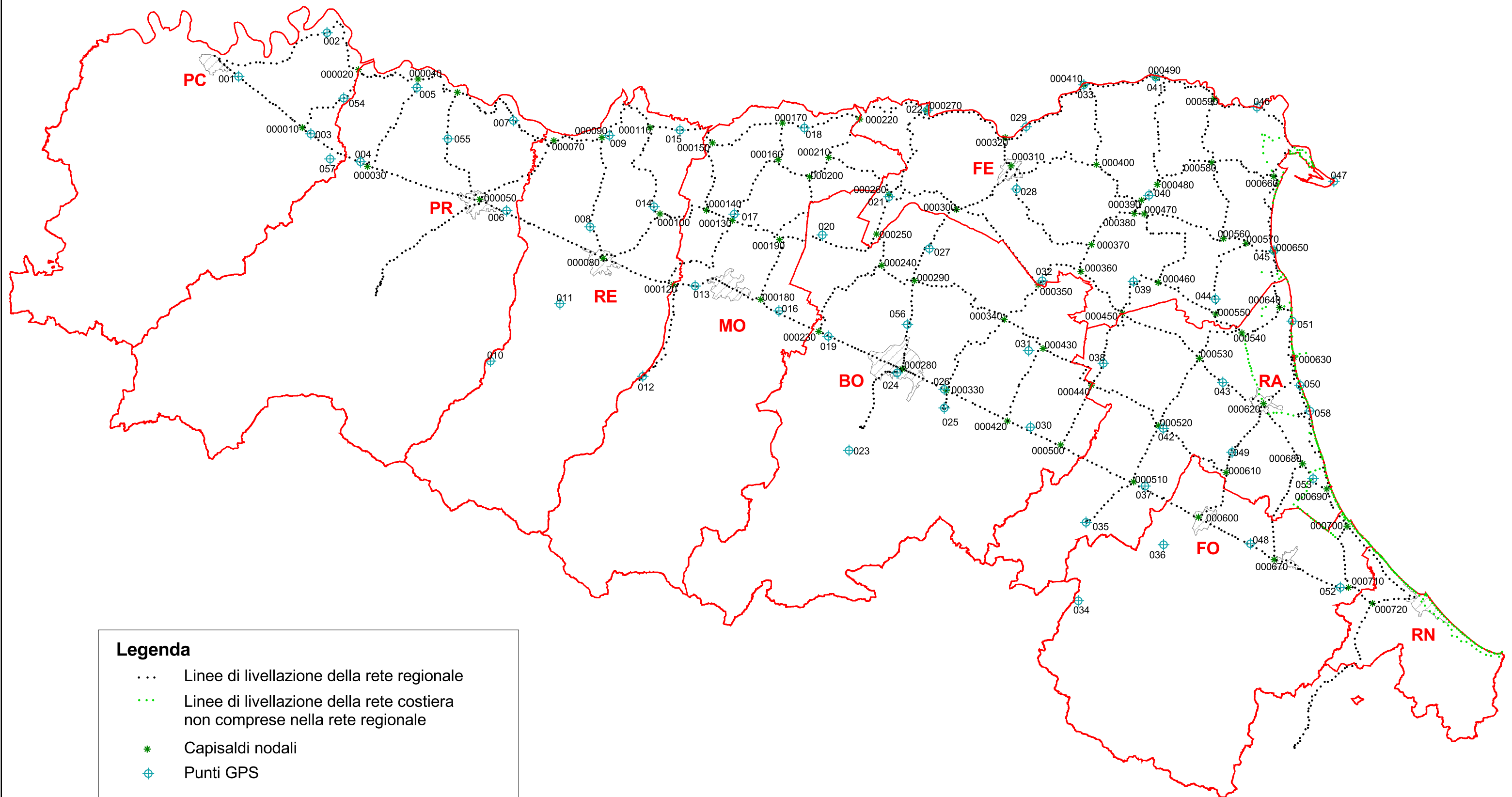


FIG. 29

# RETE REGIONALE DI CONTROLLO DELLA SUBSIDENZA

## LINEE DI LIVELLAZIONE E PUNTI GPS



**CARTA A CURVE DI UGUALE VELOCITA' DI ABBASSAMENTO DEL SUOLO  
NEL PERIODO 1970/93 - 1999 ( cm/anno)**

PIACENZA  
PARMA  
REGGIO EMILIA  
MODENA  
FERRARA  
BOLOGNA  
RAVENNA  
FORLÌ  
CESENA  
RIMINI

0 10 20 30 Km

**LEGENDA**  
 \ / Curve di uguale velocità di abbassamento del suolo (cm/anno)  
 • Capiisaldi di livellazione

**arpa**  
 agenzia  
 regionale  
 prevenzione e  
 ambiente dell'Emilia-Romagna  
 Ingegneria Ambientale

FIG. 31

FIG. 31

# CARTA DEI CAPISALDI STORICI E DEI RELATIVI PERIODI ASSUNTI PER IL CALCOLO DELLE VELOCITA' DI ABBASSAMENTO

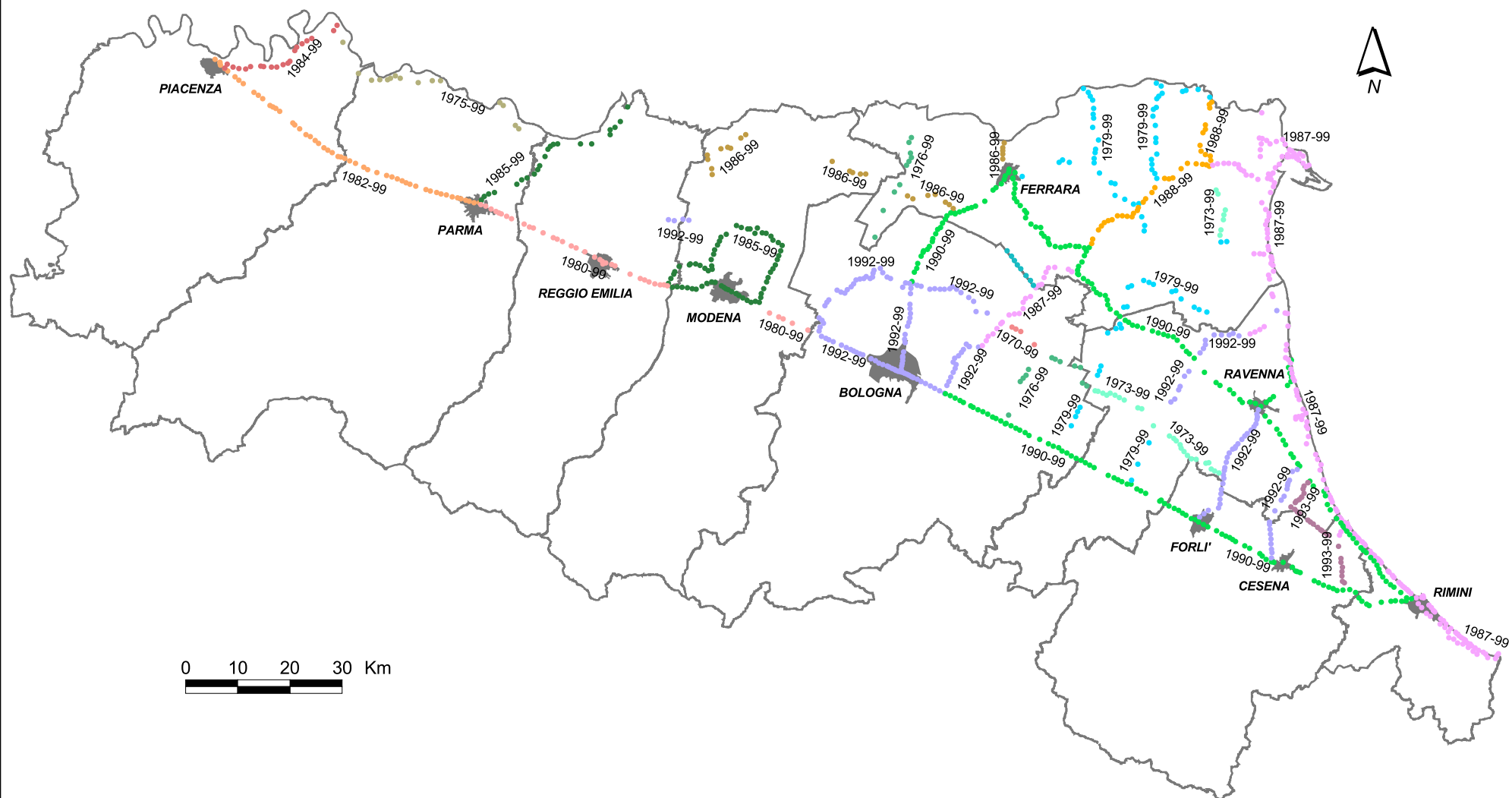


FIG. 32