

INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO ED INFLUENZA DELLA TETTONICA SUGLI ACQUIFERI DI SUBALVEO DELLE PIANURE MARCHIGIANE

T. NANNI* & P. VIVALDA*

INTRODUZIONE

Vengono riportati i risultati di una indagine idrogeologica condotta sulle pianure alluvionali dei fiumi Metauro, Esino, Musone, Potenza, Chienti, Tenna, Aso, Tronto ed Aspio (Fig. 45). Gli acquiferi di subalveo presenti in tali pianure costituiscono una delle principali fonti di approvvigionamento idrico per la regione marchigiana, ed in particolare per l'area collinare e la fascia costiera. I quantitativi precisi di acqua da essi emunti non sono conosciuti, ma da una stima approssimativa, sicuramente in difetto, è risultato che dalle falde delle pianure alluvionali marchigiane vengono emunti annualmente, per usi civili ed industriali, circa 10^2-10^6 m³ di acqua. Pur essendo tali falde di così fondamentale importanza per l'approvvigionamento idrico della regione, non sono mai state adeguatamente studiate, ad eccezione di quelle della pianura alluvionale del F. Tronto. Il loro sfruttamento è avvenuto in passato, e prosegue tuttora, senza la base di elementi idrogeologici conoscitivi necessaria per un razionale utilizzo delle risorse idriche sotterranee e per la loro protezione dall'intrusione marina e dall'inquinamento antropico. Le problematiche legate all'inquinamento antropico delle acque superficiali e sotterranee sono state in passato affrontate marginalmente: notizie al riguardo si possono avere in PELLEGRINI & VITALI (1967), PROVINCIA DI ANCONA (1971-74), GUERRA ed altri (1973), CRESCENTI ed altri (1977), GOBBI & NANNI (1979).

Solo recentemente gli acquiferi di subalveo marchigiani sono stati oggetto di studi, da parte di NANNI & MEDI (1980), ELMI ed altri (1981) e COLTORTI & NANNI (1983-1986), mentre un quadro idrogeologico schematico, a carattere regionale, è stato condotto da NANNI (1985).

Con la presente nota si intende fornire uno schema riassuntivo delle conoscenze acquisite negli ultimi anni sui caratteri idrogeologici, sulla qualità delle acque e sullo stato di inquinamento delle falde di subalveo presenti nelle pianure alluvionali marchigiane; si vuole inoltre sottolineare l'influenza della tettonica nei riguardi della geometria dei depositi alluvionali e del chimismo delle acque sotterranee (OLIVIERO ed altri, 1986; NANNI & ZUPPI, 1986).

CENNI DI CLIMATOLOGIA

I dati climatologici sono stati desunti dagli Annali Idrografici del M.L.L.P.P., integrati con i dati pubblicati dall'OSSERVATORIO GEOFISICO DI MACERATA (1981; CENSI, 1975; MURRI ed altri, 1980) e dall'OSSERVATORIO METEOROLOGICO DI PESARO.

Precipitazioni

Si osserva una differenza, nel regime pluviometrico,

*Dipartimento di Scienze dei Materiali e della Terra - Università degli Studi di Ancona.

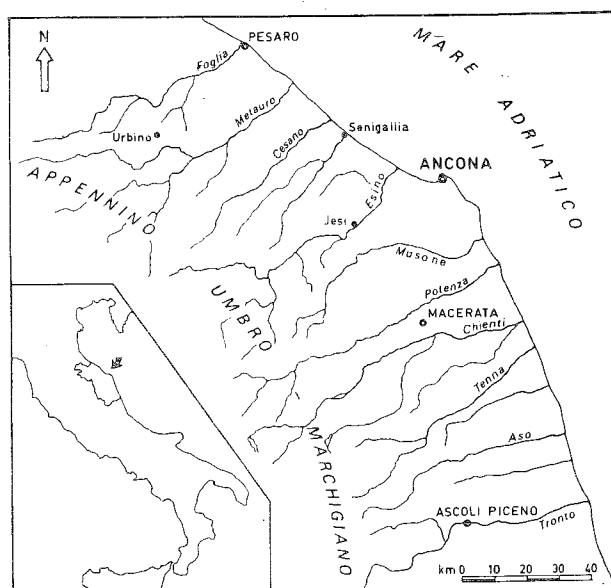


Fig. 45 - Ubicazione dell'area indagata. Le pianure alluvionali esaminate sono quelle dei fiumi Metauro, Esino, Musone, Potenza, Chienti, Tenna, Aso e Tronto.

co, tra la fascia costiera e la zona appenninica (Fig. 46). Il regime della fascia costiera è caratterizzato da un massimo ed un minimo assoluti (da settembre ad ottobre ed in luglio) e da un massimo ed un minimo relativi (in maggio ed in aprile). Il regime della zona appenninica presenta invece un unico massimo e minimo (in autunno ed in luglio). Il regime pluviometrico della regione è quindi di tipo sublitoraneo appenninico con influenze marittime (MORI, 1957; TONINI, 1974; PINNA, 1978).

Riguardo il numero dei giorni piovosi non risulta esserci differenza tra la fascia costiera e la zona appenninica; a parità di giorni piovosi c'è però diversità nell'intensità delle precipitazioni, che è molto più elevata nell'Appennino. Nella zona costiera, inoltre, il lato posto in destra idrografica delle valli riceve maggiori apporti meteorici rispetto a quello posto in sinistra. La distribuzione e l'intensità delle precipitazioni sono quindi strettamente dipendenti dalle caratteristiche anemometriche e morfologiche della regione.

Utilizzando il metodo dei topoi è stata valutata l'entità delle precipitazioni, sia nei bacini idrografici, sia nelle zone alluvionali esaminate; i risultati sono riportati in parte di tabella 5.

Temperatura ed indici di aridità

L'andamento termometrico è simile per tutta la regione. I valori minimi di temperatura si raggiungono nel mese di gennaio ed i massimi in luglio, con un'escursione annuale media di 19,2 °C. Dai dati delle precipitazioni e delle temperature sono stati ricavati gli indici di aridità di De Martonne, dai quali deriva che nella

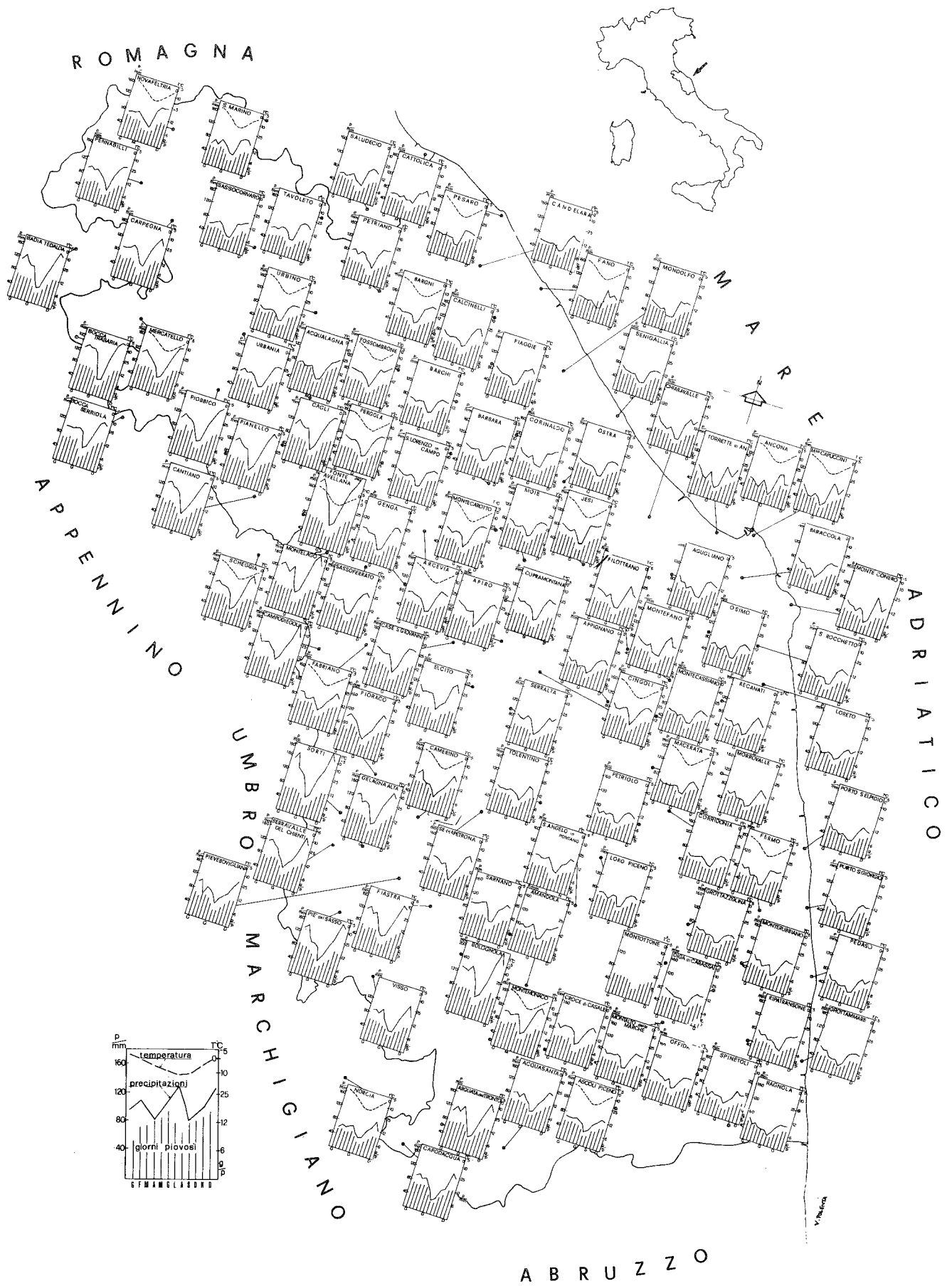


Fig. 46 - Regime pluviometrico della regione marchigiana ottenuto dai dati desunti dagli Annali Idrografici del M.L.L.P.P. (da NANNI, 1985).

Tabella 5 - Estensione dei bacini idrografici dei subalvei esaminati con i valori orientativi di alcuni parametri idologici.

	Area bacino Km ²	Precip. bacino × 10 ⁶ m ³	ETr bacino × 10 ⁶ m ³	Apporto efficace bacino × 10 ⁶ m ³	Area alluv. km ²	Precip. Area alluv. × 10 ⁶ m ³	ETr Area alluv. × 10 ⁶ m ³	Apporto efficace Area all. × 10 ⁶ m ³
Metauro	1405	1547	837	709	82	90	60	30
Esino	1254	1309	392	916	140	125	86	39
Musone	659	588	405	184	107	85	65	20
Potenza	810	794	488	307	115	93	68	25
Aso	276	279	162	116	66	61	39	22

regione marchigiana si possono distinguere due aree con differenze climatiche sensibili (NANNI, 1985). Un'area è data dalla fascia costiera, con condizioni di aridità e semiaridità nel periodo estivo e di subumidità e umidità negli altri periodi dell'anno; l'altra area è rappresentata dalla catena appenninica, con condizioni di semi aridità soltanto nel mese di luglio e di periumidità ed umidità nel resto dell'anno (Fig. 47).

Infine, sulla base dei dati delle stazioni pluviometriche, sono stati elaborati con il metodo di Thorntwaite (Fig. 47) i bilanci idrologici (FARBRIDGE, 1967; REMAINERAS 1976; TREWARTHA, 1980), i cui risultati forniscono un quadro generale e schematico delle principali caratteristiche idrologiche delle Marche (Tab. 5).

LE PIANURE ALLUVIONALI MARCHIGIANE

Le pianure alluvionali sono state esaminate soprattutto dal punto di vista idrogeologico. I limiti delle aree alluvionali sono stati desunti dalla cartografia geologica ufficiale con controlli speditivi di campagna. Le pianure alluvionali sono costituite da unità terrazzate che, dalla bibliografia, risultano in numero di quattro e sono indicate con numeri romani progressivi a partire dalle più elevate (VILLA, 1942; SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1966; CRESCENTI, 1972; GUERRERA ed altri, 1978; COLTORTI, 1979; 1981; LIPPARINI, 1983). La loro messa in posto era attribuita ad oscillazioni eustatiche, riferendo i due terrazzi inferiori all'Olocene ed i due superiori ai due interglaciali precedenti (VILLA, 1942; LIPPARINI, 1983); sulla base di ricerche condotte recentemente (ALESSIO ed altri, 1979; COLTORTI, 1979; 1981; DRAMIS, 1983) i materiali alluvionali rappresenterebbero un'elaborazione di depositi detritici stratificati prodotti per crioclastismo nell'area montana durante le fasi fredde del Quaternario. Nell'area montana dell'Esino, ad esempio, sono stati individuati depositi detritici stratificati di versante interstratificati con materiali alluvionali (COLTORTI ed altri, 1979; 1983; COLTORTI, 1981).

Sulla base di dati radiometrici, il terrazzo di III ordine si sarebbe depositato durante l'ultima fase fredda del Pleistocene superiore. Quello di II ordine, da dati paleontologici e pedologici, apparterebbe anch'esso all'ultima fase fredda pleistocenica. Per il terrazzo di I

ordine è più difficile fare ipotesi; si ritiene comunque che, sulla base di meccanismi genetici simili a quelli citati per gli altri, possa essere attribuito ad una fase fredda del Pleistocene medio e/o inferiore.

Il terrazzo di IV ordine si sarebbe depositato durante un interglaciale (Olocene); da datazioni radiometriche, eseguite su legni contenuti all'interno di tali depositi, si è potuto accertare che la maggior parte dei materiali è più recente di 2000 anni.

Il rilevamento geomorfologico di dettaglio condotto nella parte medio-bassa della valle del F. Esino, ha messo in luce notevoli differenze rispetto alla cartografia ufficiale (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1966; 1971); a seguito di sbancamenti eseguiti a fini industriali e/o urbanistici, ad esempio, nella valle del F. Esino è stata ampliata l'estensione dei depositi terrazzati. E' stata inoltre individuata una scarpata di erosione, a valle di Jesi, delimitante una ulteriore unità alluvionale. Tale scarpata, che separa i terrazzi di III e II ordine, già riportata nella cartografia ufficiale (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA) del 1966, viene trascurata nella recente edizione del foglio Jesi (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1971). Per evitare di incorrere in errori con il metodo del "count from the top" sono state istituite unità litologiche e morfostratigrafiche informali (GARNER, 1974; HEDBERG, 1976; BOWEN, 1978) con i nomi delle località tipo dove sono presenti sezioni esposte (Fig. 48). Tali unità sono: Terrazzo di C. Giovacchini, Terrazzo di Colonia Montani, Terrazzo di Colle Ulivo, Terrazzo di Jesi stazione, Terrazzo di Chiusa Pallavicino (COLTORTI & NANNI, 1983-1986). Si ritiene che anche nelle altre vallate alluvionali siano presenti caratteristiche simili a quelle riscontrate per il F. Esino.

La distribuzione areale dei depositi terrazzati, inoltre, è indicativa della diversa evoluzione recente della fascia collinare marchigiana. Ad esempio, a N dell'asse Cingoli-Monte Conero e tra i fiumi Tenna e Tronto, i terrazzi di III ordine, da quanto risulta dalla cartografia ufficiale, sono presenti in tutto il lato in sinistra idrografica, fino alla costa. Nelle valli dei fiumi Musone, Potenza e Chienti invece, i terrazzi di III ordine si chiudono nella parte media della valle, a notevole distanza dalla costa. Questa diversa configurazione geomorfologica è senz'altro in relazione con una differente evoluzione tettonica recente nelle due zone.

In generale, comunque, i depositi alluvionali ter-

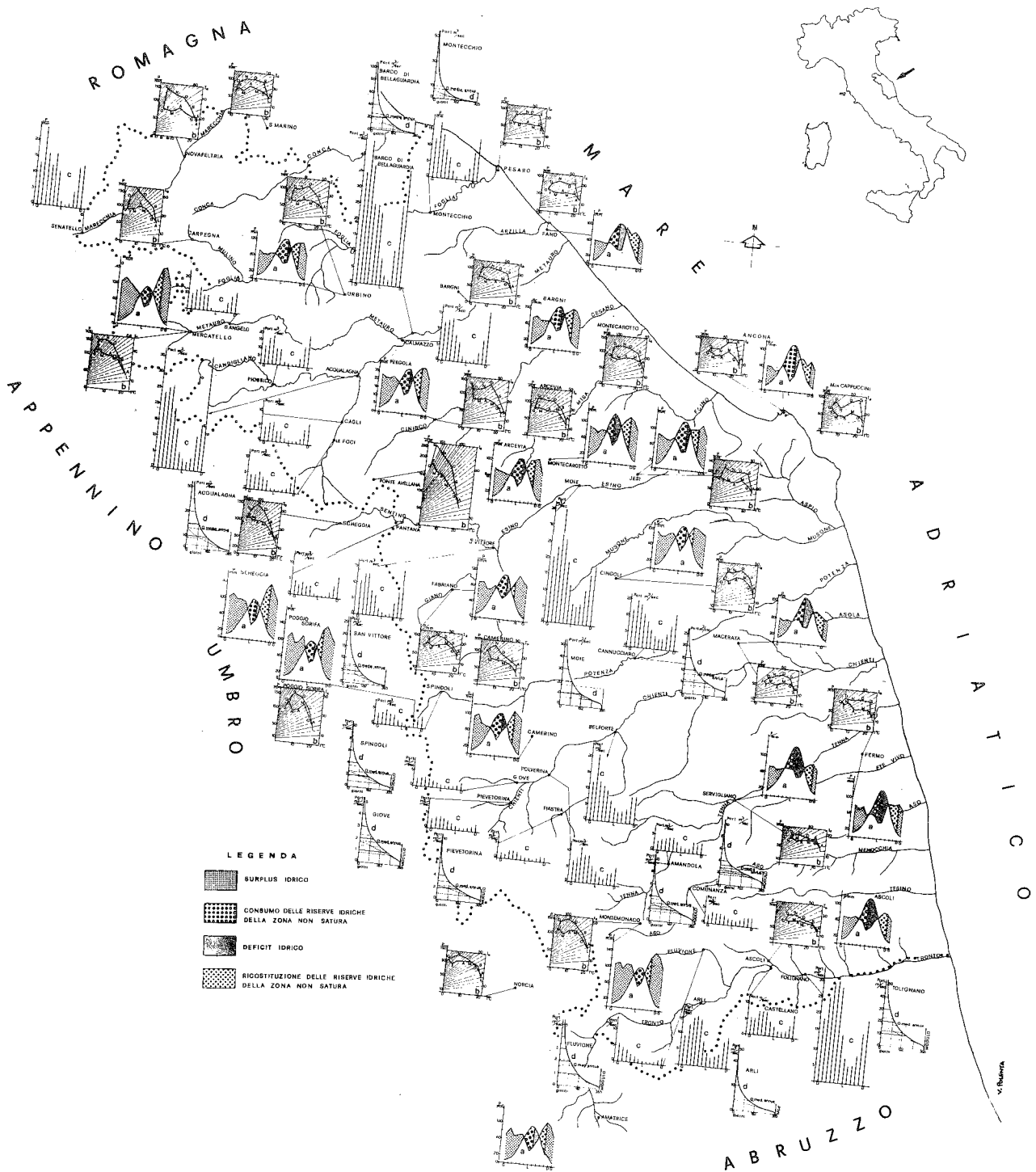


Fig. 47 - Diagrammi schematici dei principali elementi idrologici della regione marchigiana: a - bilancio idrologico elaborato con il metodo di Thornthwaite, b - indici di aridità di De Martonne, c - portate dei principali fiumi marchigiani, d - curve di durata delle portate fluviali (da NANNI, 1985).

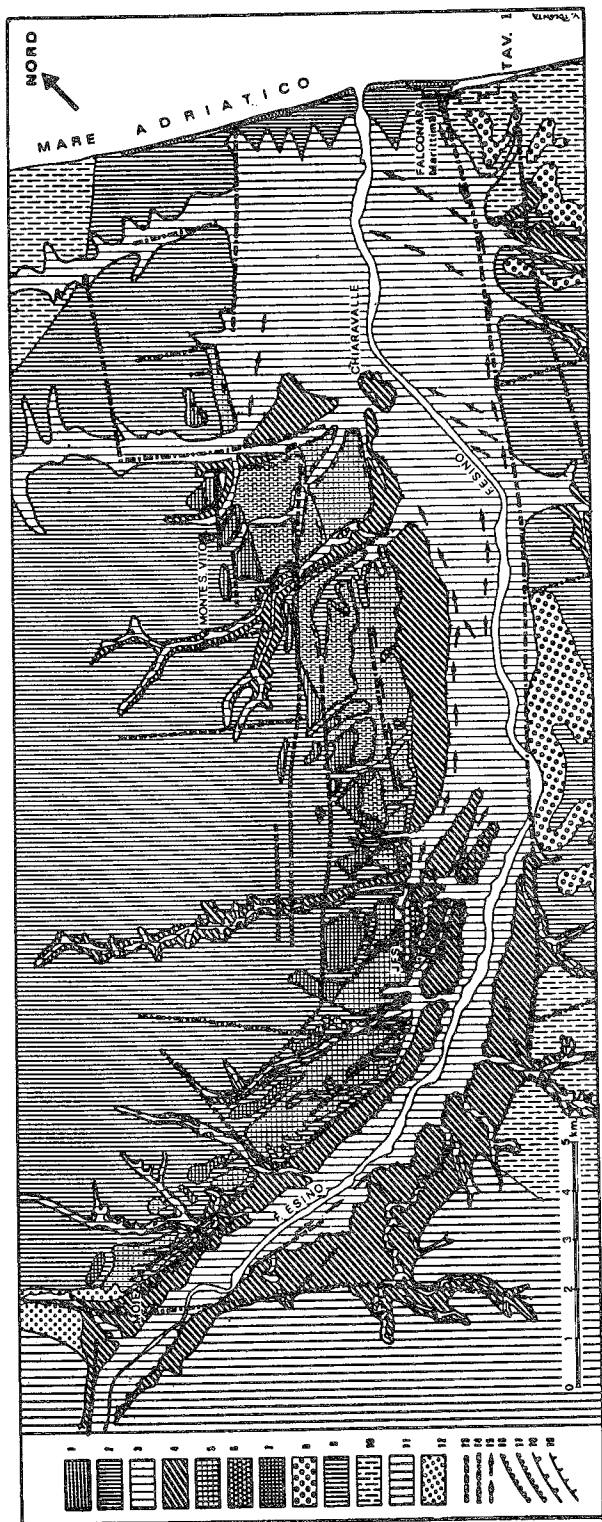


Fig. 48 - Schema geomorfologico della bassa vallesina (da COLTORTI & NANNI, 1986): 1 - depositi di spiaggia; 2 - depositi lacustri e palustri; 3 - terrazzo di chiusa Pallavicino; 4 - terrazzo di Jesi stazione; 5 - terrazzo di Colle Ulivo; 6 - terrazzo di Colonia Montani; 7 - terrazzo di Colonia Giovacchini; 8 - sabbie ed arenarie (Pleistocene); 9 - argille marnose (Pleistocene); 10 - argille marnose (Pliocene medio-inferiore); 11 - arenarie ed argille (Pliocene inferiore); 12 - argille marnose e gessi (Messiniano); 13 - faglie; 14 - faglie presunte; 15 - paleoalvei; 16 - 19 - scarpate di erosione fluviale: 16 (> 25 m); 17 (5 - 25 m); 18 (2 - 5 m); 19 (< 2 m).

razzati sono presenti in sinistra idrografica, mentre in destra affiorano soltanto i depositi più recenti. Le unità alluvionali sono disposte a quote progressivamente inferiori dai crinali ai fondovalle. Ciò inizialmente venne attribuito al fatto che il fiume seguirebbe depressioni sinclinali, trasversali alla catena appenninica, derivate dalla tettonogenesi post-pliocenica (LIPPARINI, 1983; VILLA, 1942). Successivamente GIROTTI (1969) e più recentemente GUERRERA ed altri (1978), attribuirono tale fenomeno a sollevamenti più marcati delle parti settentrionali; CRESCENTI (1972) spiegò lo stesso fenomeno con la legge di Ferrel, e cioè con lo spostamento verso destra a cui è soggetto ogni corpo in movimento nell'emisfero boreale.

Le ricerche sulla successione plio-pleistocenica ultimamente condotte sul bacino quaternario marchigiano (NANNI ed altri, 1986), hanno evidenziato come l'evoluzione delle valli alluvionali delle Marche sia in relazione con la tettonica plio-pleistocenica. La tettonica quaternaria è infatti responsabile dell'assetto morfostrutturale di tale successione, sulla quale insistono i depositi alluvionali terrazzati.

Tale assetto si è sviluppato nelle seguenti fasi tettoniche (NANNI ed altri, 1986):

- fase principale della tettonogenesi appenninica medio-pliocenica, di tipo compressivo. Si formano i principali elementi strutturali e si ha la parziale emersione dell'area, ad eccezione forse delle zone più depresse. Si imposta il futuro assetto strutturale del bacino quaternario;
- fase plio-pleistocenica durante la quale si ha il collassamento dell'area da sud verso nord, probabilmente lungo linee tettoniche attuate nella fase precedente. Al passaggio plio-pleistocene si ripristinano in tutta l'area condizioni di sedimentazione marina. L'assetto morfostrutturale è caratterizzato da una depressione appenninica articolata da alti intrabacinali NO-SE, e da alti antiappenninici bordati da faglie trasversali;
- fase di sollevamento dell'area, iniziata nel Pleistocene inferiore. Nel Santerniano l'attuale zona tra i fiumi Esino e Metauro era completamente emersa, mentre in quella tra i fiumi Esino e Tronto persistevano condizioni di sedimentazione marina. Quest'ultima zona emerge probabilmente nel pre-Crotoniano. Il sollevamento di tutta l'area continua fino a portare i termini regressivi a quote massime di circa 500 m sul livello del mare.

L'attuale configurazione morfostrutturale conferisce a tutta l'area un aspetto simile a quello ad *horst* e *graben*, nel quale i *graben* corrispondono ai principali assi vallivi. La fase tettonica che più delle altre ha influenzato l'evoluzione geomorfologica della zona è stata quella finale, e l'attuale assetto morfostrutturale delle valli fluviali è stato condizionato soprattutto dalla tettonica trasversale. Dopo l'emersione dell'area infatti, le faglie trasversali hanno controllato l'evoluzione del reticolo idrografico ed in particolare delle valli fluviali. I principali alti strutturali antiappenninici (NANNI ed altri, 1986), bordati da faglie trasversali, hanno subito maggiori sollevamenti e probabilmente corrispondono agli attuali crinali che suddividono i bacini idrografici. Le principali valli fluviali, ad esempio quella del F. Esino, impostatesi su linee tettoniche trasversali, possono considerarsi come valli di faglia (COLTORTI & NANNI, 1986) e corrispondono alle zone che hanno subito minori sollevamenti (Fig. 49). Le valli alluvionali individuano quindi blocchi strutturali, presenti in tutto il Pleistocene, che hanno subito sollevamenti dif-

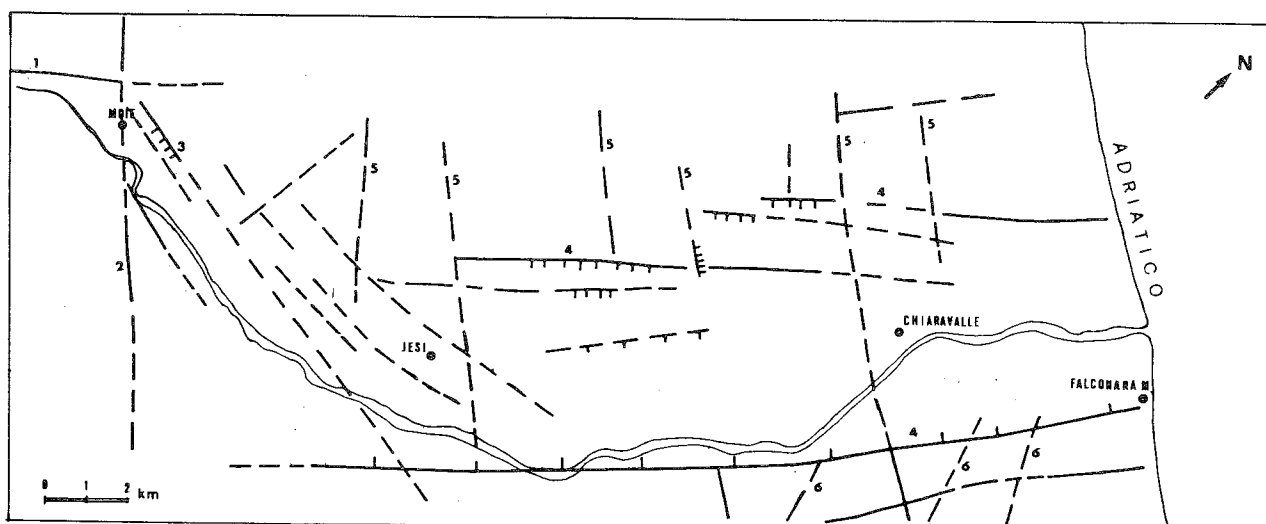


Fig. 49 - Schema strutturale della bassa vallesina (da COLTORTI & NANNI, 1985): 1 - linea dell'Esino; 2 - linea Castelbellino - Moie - Montecarotto; 3 - linea Moie - Pantiere; 4 - linea della bassa vallesina; 5 - linee dei torrenti Granita, Triponzio e Rubino; 6 - linee dei fossi Catenacci e Fossatello.

ferenziati, e probabilmente basculamenti in senso N-S, guidati dalle faglie trasversali.

Un esempio si ha nella zona tra i fiumi Misa e Musone, dove la bassa valle esina risulta situata tra due blocchi strutturali bordati da faglie NE-SO tra i fiumi Misa ed Esino a nord ed Esino e Musone a sud (Fig. 50). I margini settentrionali dei blocchi hanno subito sollevamenti maggiori rispetto a quelli meridionali e corrispondono generalmente agli alti strutturali antiappenninici, coincidenti morfologicamente con gli spartiacque. Stessa situazione è stata riscontrata tra i fiumi Metauro e Cesano, Cesano e Misa e probabilmente Fiumicello, Musone e Potenza (Figg. 50 e 51).

I movimenti recenti lungo le faglie trasversali (sollevamenti differenziati, basculamenti ed abbassamenti in senso N-S), hanno quindi controllato l'assetto morfostrutturale delle valli alluvionali.

Anche la presenza dei depositi terrazzati, soprattutto in sinistra idrografica, e la migrazione dei fiumi verso sud, sono fenomeni dovuti probabilmente al minore sollevamento ed al basculamento del bordo meridionale dei blocchi strutturali individuati nelle principali vallate fluviali. La migrazione dei fiumi verso nord in prossimità della foce, invece, oltre che a fattori antropici (bonifiche condotte negli ultimi secoli) è dovuta al sollevamento differenziato delle strutture appenniniche costiere limitate da faglie trasversali, che ha provocato un innalzamento maggiore del bordo in destra idrografica delle vallate (NANNI, 1985; NANNI ed altri, 1986).

GEOMETRIA DEGLI ACQUIFERI

Tutti i depositi alluvionali studiati presentano tra loro forti analogie litologiche e granulometriche, essendo principalmente costituiti da ghiaie, da ghiaie sabbiose e sabbioso-argillose e da argille limose. I depositi del III e IV ordine (terrazzi bassi), sempre in continuità tra loro, rappresentano il vero acquifero di subalveo, mentre quelli del I e II ordine (terrazzi alti) costituiscono spesso acquiferi isolati e sono legati ai terrazzi bassi da depositi detritici di spessore variabile. I terrazzi alti quindi fungono da zona di ricarica per le alluvioni di III e IV ordine.

I depositi alluvionali di tutti i fiumi indagati sono strutturati in complessi lenticolari ghiaiosi o ghiaioso-sabbiosi con lenti di argilla-limo.

Queste ultime sono in genere di modeste dimensioni; soltanto in prossimità della fascia costiera esse sono ampie e separano localmente la falda di subalveo in più orizzonti acquiferi. Da quanto detto risulta che tutti i subalvei, ad eccezione di fenomeni locali, possono considerarsi come acquiferi indifferenziati.

Lo spessore dei depositi terrazzati è molto variabile sia in senso laterale sia longitudinalmente rispetto all'asta fluviale. Gli spessori massimi, variabili per ogni subalveo, vanno da 35 ai 60 m e si riscontrano nei terrazzi del IV ordine, in prossimità della costa, ed in alcuni casi anche in quelli del III.

Gli spessori minimi, tra i 10 i 15 m, si osservano nei terrazzi di I ordine.

I volumi delle alluvioni, ed in particolare delle alluvioni bagnate, sono riportati in tabella 6. La porosità effettiva dei depositi alluvionali, sulla base di dati ottenuti da Enti Pubblici, è nel complesso simile per tutti i subalvei, aggirandosi intorno ad una media del 10%, con forti variazioni all'interno di ogni subalveo.

Il substrato delle alluvioni è costituito principalmente dalla successione argilloso-marnosa plio-pleistocenica e può quindi considerarsi praticamente impermeabile. Soltanto nella parte alta dei subalvei, per un breve tratto, esso è costituito dalla successione arenacea e pelitico-arenacea del Pliocene. Livelli arenacei, spessi a volte 60-70 m, sono presenti anche nella successione argilloso-marnosa plio-pleistocenica e, per limitate estensioni, vanno a costituire il substrato dei depositi alluvionali; tali livelli sono intercalati alle peliti che tendono a chiudersi procedendo dall'Appennino verso costa. E' probabile che alcuni di essi, ricaricati dalle acque meteoriche e da quelle dei subalvei, possano rappresentare interessanti acquiferi per usi locali.

La forma del substrato, pur essendo tipica per ogni subalveo, ha nell'insieme caratteristiche simili; ciò è valido soprattutto quando in sinistra idrografica sono presenti terrazzi alti. In tal caso, nella parte medio alta, il substrato è generalmente inclinato verso l'asta fluviale in sinistra idrografica, mentre in destra ha una forma a truogolo. Esiste inoltre una differenza nella

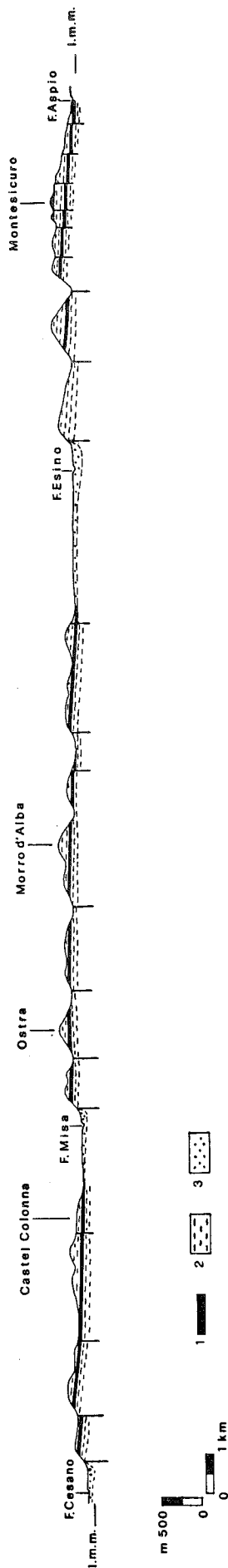


Fig. 50 - Sezione geologica schematica, orientata circa NO-SE, tra i fiumi Cesano ed Aspio nella quale vengono evidenziati i settori strutturali Cesano-Misa, Misa-Esino ed Esino-Musone. I bordi settentrionali di tali settori sono più sollevati rispetto a quelli meridionali e le valli fluviali risultano controllate dalle faglie trasversali. 1 - unità arenaceo-pelitica; 2 - peliti; 3 - depositi alluvionali terrazzati (da NANNI ed altri, 1986).

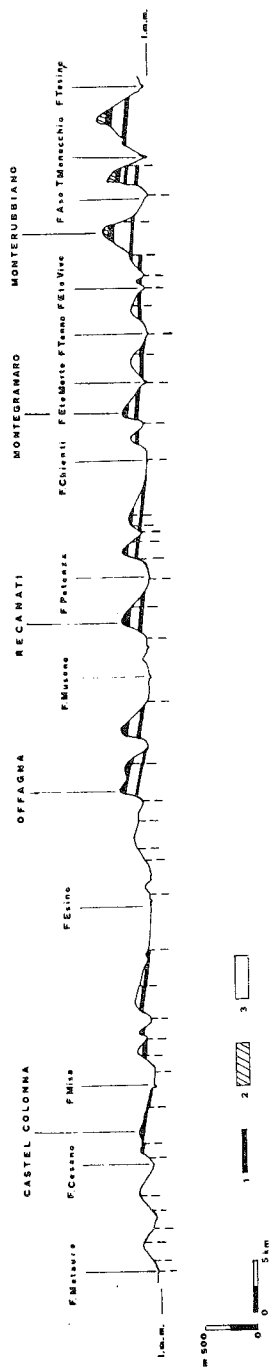


Fig. 51 - Sezione geologica schematica orientata circa NO-SE tra i fiumi Metauro e Musone e NNO-SSE tra i fiumi Musone e Tesino. Vengono evidenziate le caratteristiche viste in Fig. 48, estese tra i fiumi Metauro e Tesino (da NANNI ed altri, 1986).

forma del substrato, procedendo da monte verso valle ed in senso trasversale all'asta fluviale. Nel tratto iniziale infatti essa è caratterizzata da un'unica incisione, mentre verso valle è molto più irregolare con incisioni e dossi. Dalle poche sezioni ricostruite longitudinalmente all'asta fluviale la forma del substrato risulta generalmente piuttosto irregolare e con caratteristiche diverse da fiume a fiume (NANNI, 1985).

Gli alvei dei fiumi studiati sono caratterizzati da una forte asimmetria dell'asta fluviale rispetto ai profili trasversali delle valli, dovuta alla migrazione dei fiumi. Essi risultano infatti spostati verso la destra idrografica e corrono spesso, nella parte medio-alta delle valli, a ridosso delle formazioni pelitico-arenacee plio-

Tabella 6 - Estensioni delle aree alluvionali e valori orientativi degli spessori delle alluvioni e delle alluvioni bagnate.

	<i>Metauro</i>	<i>Esino</i>	<i>Musone</i>	<i>Potenza</i>	<i>Chienti</i>	<i>Tenna</i>	<i>Tronto</i>
Area alluvionale kmq	82	140	107	115	122	78	42
Volume totale alluvioni $\times 10^6 m^3$	1705	2000	1561	1450	2000	436	705
Volume alluvioni bagnate $\times 10^6 m^3$	912	1433	1159	743	800	275	461

pleistoceniche. Nella parte bassa delle valli invece, si osserva uno spostamento verso nord degli alvei, piú o meno evidente nei vari casi. Gli alvei infine sono generalmente impostati su depositi alluvionali e, soltanto in alcuni casi, incidono il substrato argilloso. Ciò può verificarsi in destra idrografica a causa dell'evoluzione morfostrutturale quaternaria delle pianure alluvionali marchigiane (NANNI, 1986).

FREATIMETRIA

In tutti gli acquiferi di subalveo esaminati sono state individuate tre zone con diverse caratteristiche freatiche (Fig. 52).

Una prima zona corrisponde alla parte alta dei subalvei, una seconda alle aree occupate dalle alluvioni di I e II ordine, ed una terza, piú ampia, ai depositi di IV e parte di III ordine.

Nella parte montana l'andamento delle isofreatiche è condizionato in gran parte da un'unica direzione di drenaggio sotterraneo, a volte coincidente con l'asta fluviale, a volte coi paleoalvei. Gli scambi tra falda e fiume sono intensi. Il gradiente idraulico medio è circa 0.042.

Nei terrazzi alti l'andamento delle isofreatiche è quasi parallelo ai limiti dell'area alluvionale ed all'alveo rispecchiando l'assetto morfologico superficiale. Il flusso è diretto dai limiti delle alluvioni verso i terrazzi bassi; il gradiente idraulico medio è circa 0.035.

Nelle aree occupate dai terrazzi bassi le curve isofreatiche hanno un andamento piú complesso e diverso da un subalveo a un altro. La maggiore complessità è dovuta oltre che a differenze di permeabilità anche nel complesso alluvionale, alla morfologia del substrato, alle numerosissime opere di captazione che interessano queste zone ed all'infiltrazione delle acque superficiali dagli alvei degli affluenti. Anche in questo caso l'andamento generale del flusso è diretto dai terrazzi alti (Figg. 52 e 54) verso l'asta fluviale, ma è condizionato da direzioni di flusso ben marcate e persistenti nell'arco dell'anno.

Un caso particolare è costituito dalla zona costiera in cui le curve isofreatiche, pur essendo sempre condizionate da una direzione di flusso preferenziale, tendono a disporsi parallelamente alla costa. Le differen-

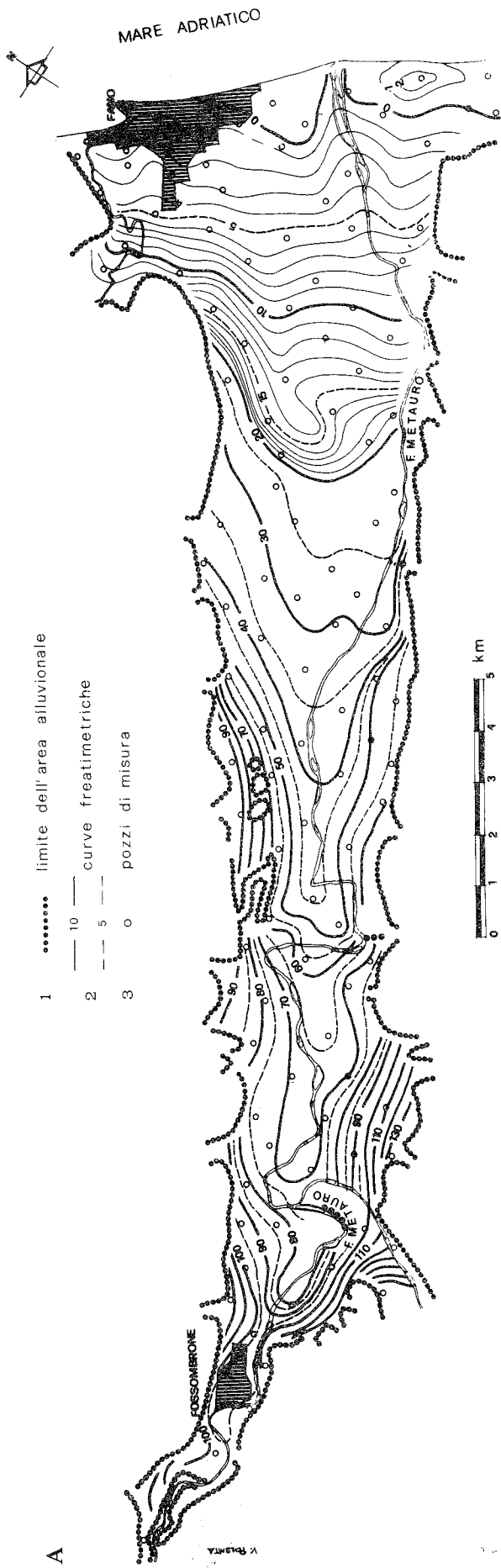
ze freatiche osservate nelle varie zone rimangono costanti per tutto l'arco dell'anno. Sensibili variazioni da una stagione ad un'altra si osservano nella parte bassa dell'acquifero e nella zona costiera. Ciò dipende principalmente dai forti prelievi dalle falde durante il periodo estivo, che conducono ad un notevole abbattimento (Fig. 52H) della tavola d'acqua (fino a 5 m sotto il livello del mare, in prossimità della costa).

L'escursione freaticca media annuale è di circa 2 m. Si hanno comunque forti variazioni tra un subalveo e l'altro, ed anche all'interno di uno stesso acquifero.

In conclusione l'andamento della superficie freatica nei subalvei esaminati è fortemente condizionato, oltre che dalle ovvie differenze di permeabilità, anche dalla particolare configurazione morfostrutturale delle alluvioni terrazzate e dalla forma del substrato. Tenendo quanto detto possono giustificarsi, nei terrazzi alti, sia l'elevato gradiente freatico, dovuto probabilmente anche ad una maggiore cementazione dei depositi alluvionali, sia l'andamento del flusso in direzione dell'asta fluviale. Inoltre, sulla base dei gradienti riscontrati nelle diverse zone dei subalvei, risulta che i depositi piú permeabili sono connessi con le alluvioni del IV e III ordine (fiumi Metauro e Tronto), mentre quelli meno permeabili coincidono con i terrazzi alti e con i depositi ubicati ai limiti dell'area alluvionale (Fig. 53).

L'analisi della freaticca storica ricostruita sulla base dei dati desunti dagli annali idrografici del M.L.L.P.P., ha permesso di rilevare che il regime delle falde di subalveo è in stretta dipendenza con il regime pluviometrico dominante nel bacino imbriferico ed in particolare nell'area alluvionale. I minimi livelli freatici si hanno nei mesi autunnali, i massimi nei mesi primaverili.

Comparando i dati pluviometrici con quelli della freaticca storica si è osservato che le falde risentono delle precipitazioni con un ritardo di 1-2 mesi e con differenze sia tra un subalveo ed un altro, sia all'interno di uno stesso acquifero. Tra gli anni '60 e '70, nei subalvei dei fiumi Esino (Fig. 54), Metauro, Chienti e Tenna, in prossimità della costa, la tavola d'acqua ha subito abbassamenti tali da raggiungere livelli preoccupanti, mentre per gli altri subalvei esaminati non sono state evidenziate sensibili modificazioni.



A

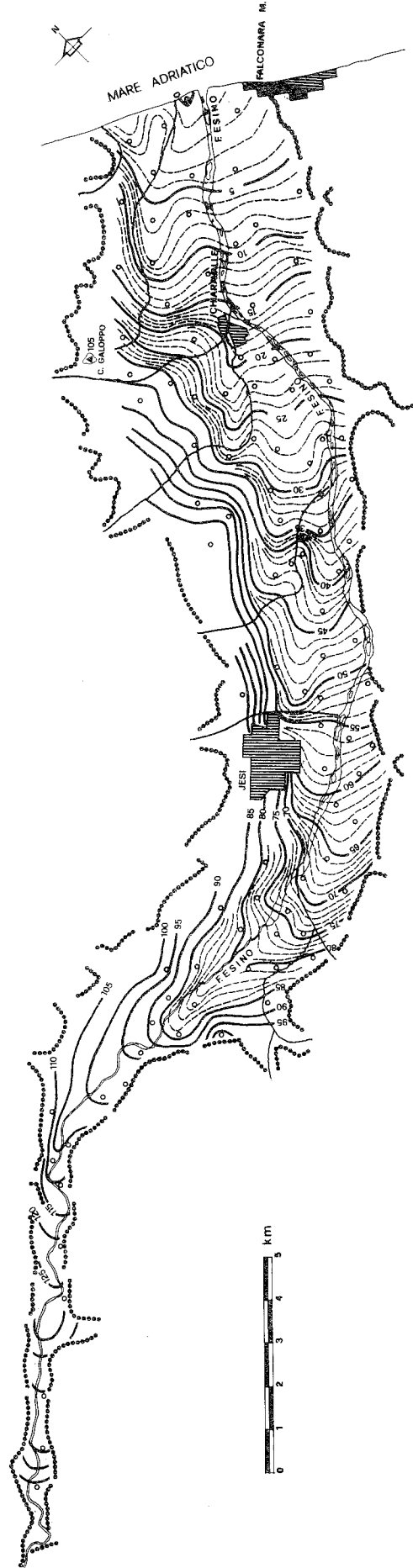


Fig. 52 - Carte freatiche dei subalvei delle pianure alluvionali (da NANNI, 1985).

A - Subalveo del fiume Metauro. Freatimetria relativa alla fine del mese di agosto 1979

B - " " " " " " " " settembre 1978

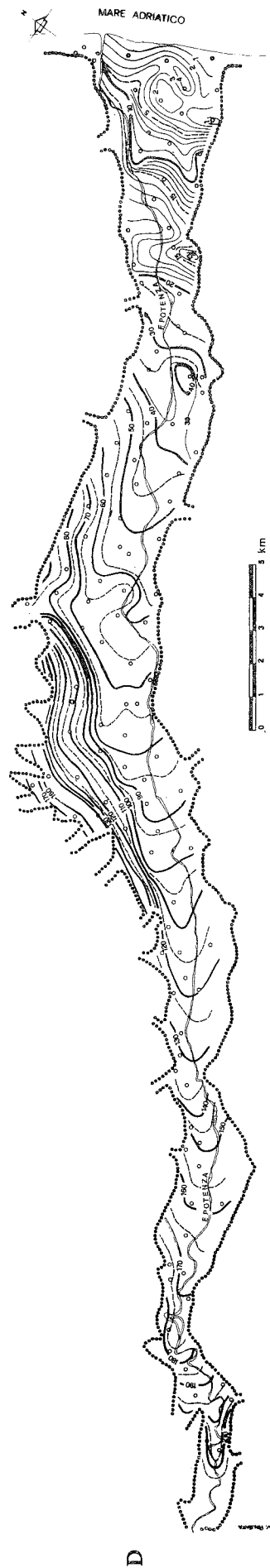
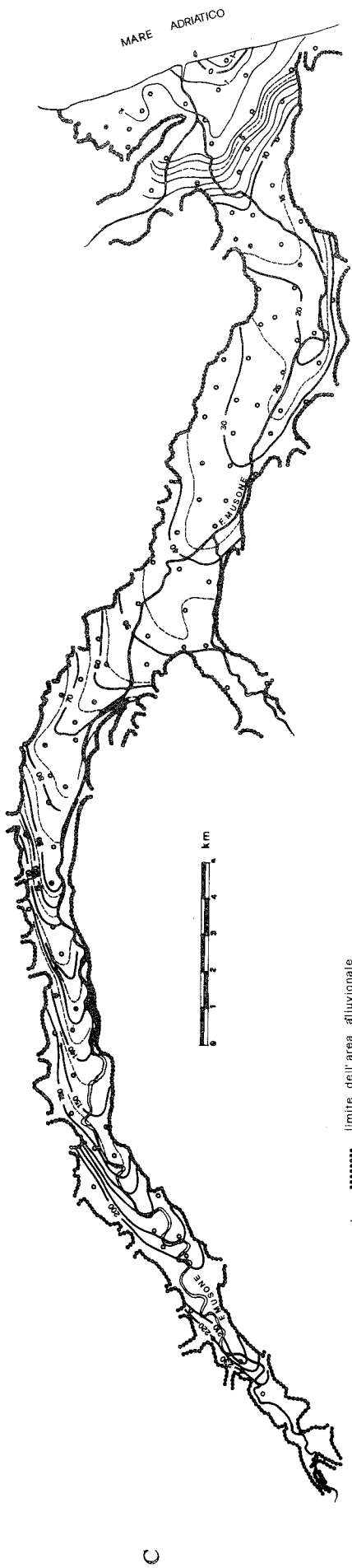
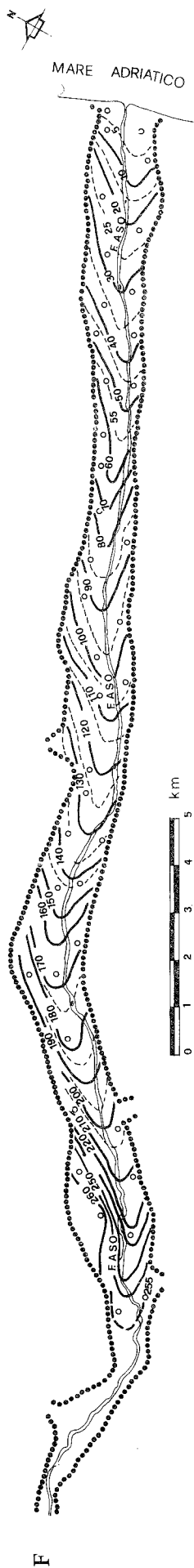
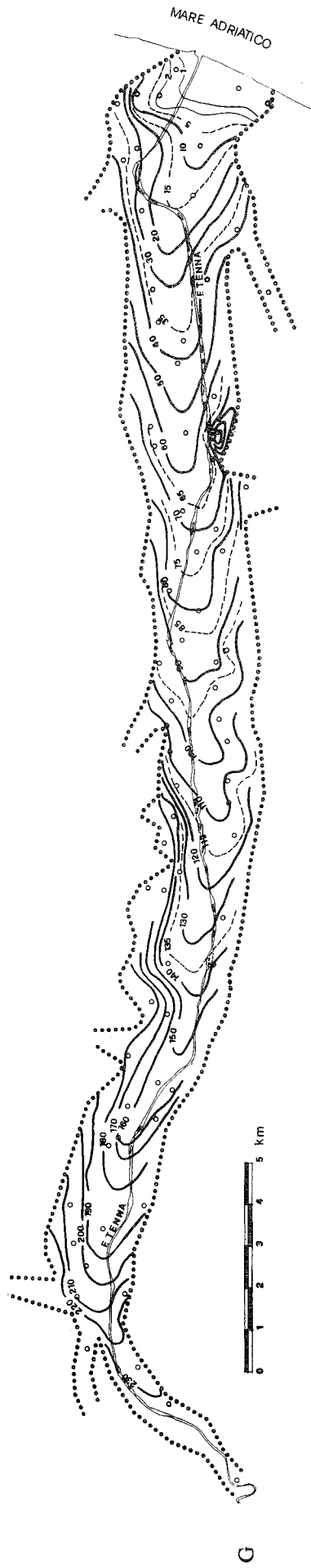


Fig. 52 - Carte freaticme dei subalvei delle pianure alluvionali (da NANNI, 1985).

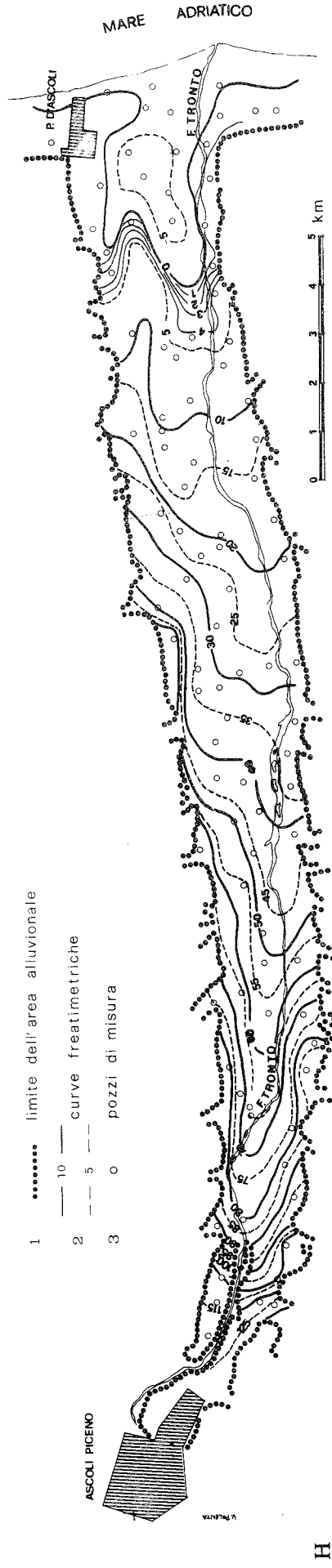
C -	Musone.	"	"	"	"	"	"	1980
D -	Potenza.	"	"	"	"	"	"	"
E -	Chienti.	"	"	"	"	"	" agosto	1979



F



G



H

- 1 limite dell'area alluvionale
- 2 --- 10 --- curve freaticmetriche
- 3 - - - 5 - - -
- 3 0 - - - pozzi di misura

Fig. 52 - Carte freaticmetriche dei subalvei delle pianure alluvionali (da NANNI, 1985).

F -	Asolo.	1981
G -	Tenna.	1981
H -	Tronto.	settembre 1978

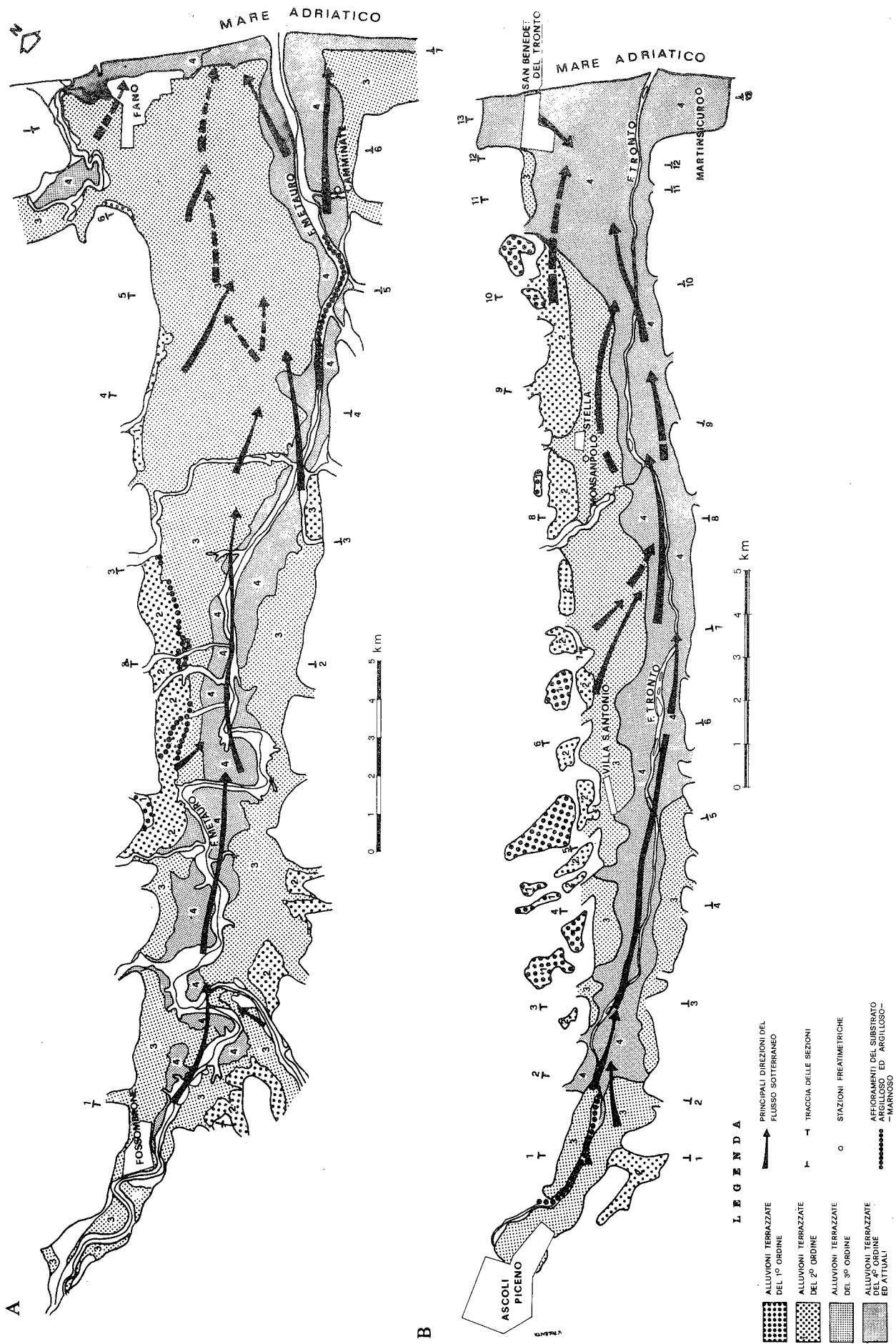
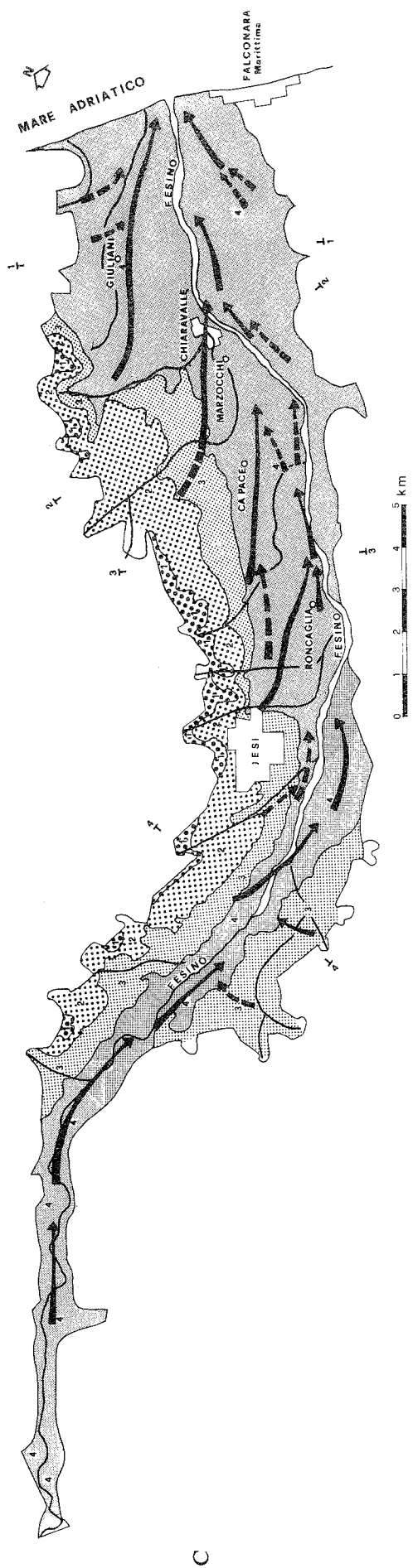
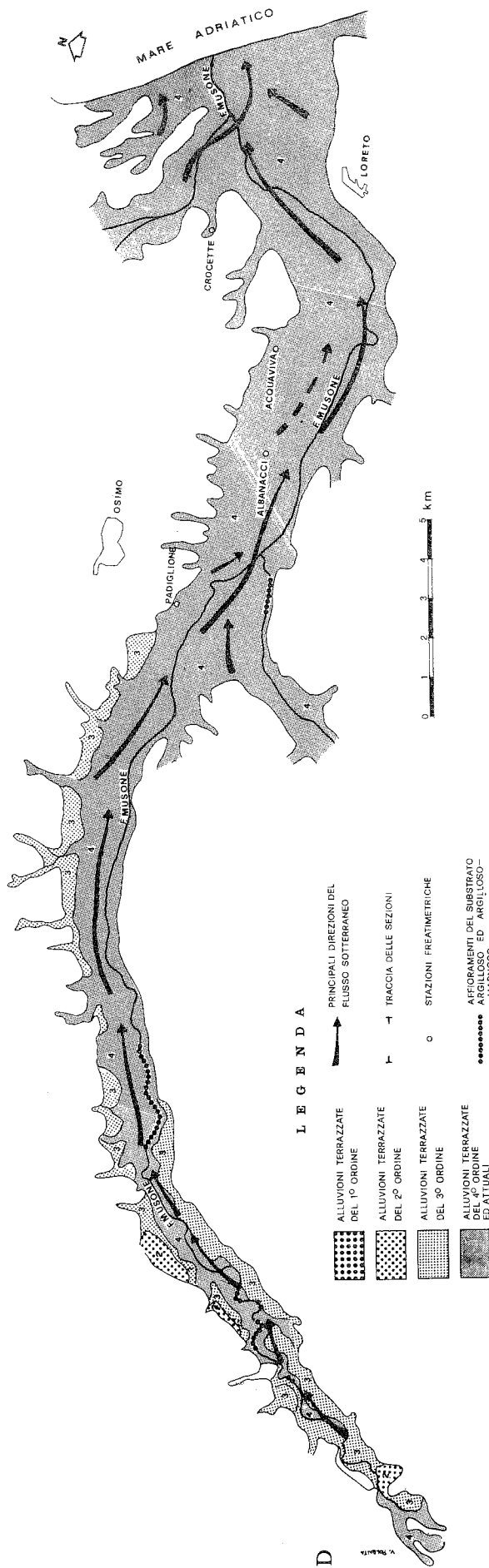


Fig. 53 - Schema dei depositi terrazzati delle pianure alluvionali dei fiumi Metauro (A), Tronto (B) con indicate le principali linee di drenaggio sotterranee desunte dalle carte freatimetriche.



C



- LEGENDA**
- ALLUVIONI TERRAZZATE DEL 1° ORDINE
 - ALLUVIONI TERRAZZATE DEL 2° ORDINE
 - ALLUVIONI TERRAZZATE DEL 3° ORDINE
 - ALLUVIONI TERRAZZATE DEL 4° ORDINE ED ATTUALI
 - PRINCIPALI DIREZIONI DEL FLUSSO SOTTERRANEO
 - TRACCE DELLE SEZIONI
 - STAZIONI FREATIMETRICHE
 - AFFIORAMENTI DEL SUBSTRATO ARGILLOSO ED "ANGILOSO-MANNOSSO"

D

Fig. 53 - Schema dei depositi terrazzati delle pianure alluvionali dei fiumi Esino (C), Musone (D) con indicate le principali linee di drenaggio sotterranee desunte dalle carte freatimetriche. Nella pianura dell'Esino tali linee si sovrappongono ai paleovalvei rilevati con studi geomorfologici (Fig. 50).

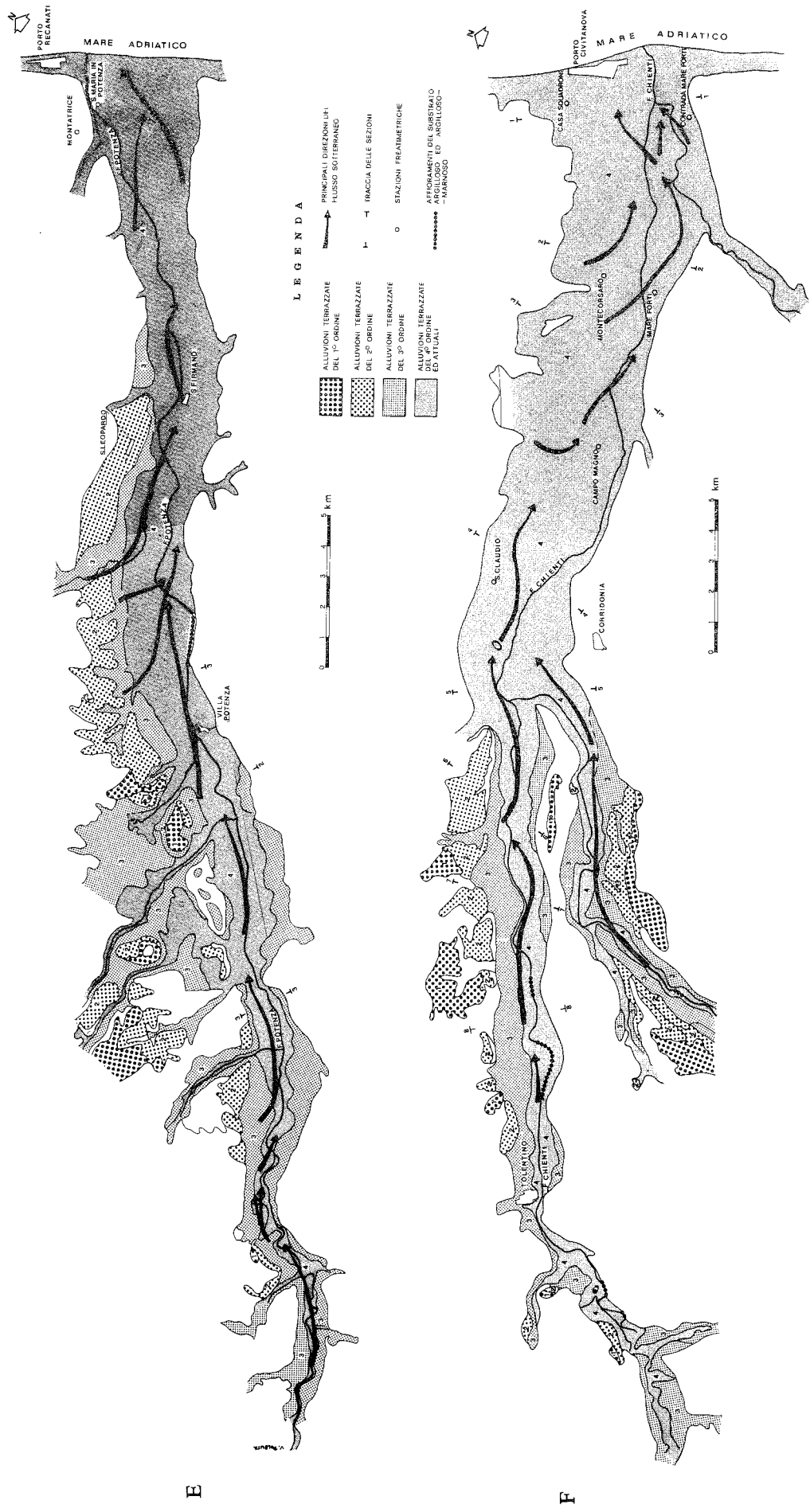
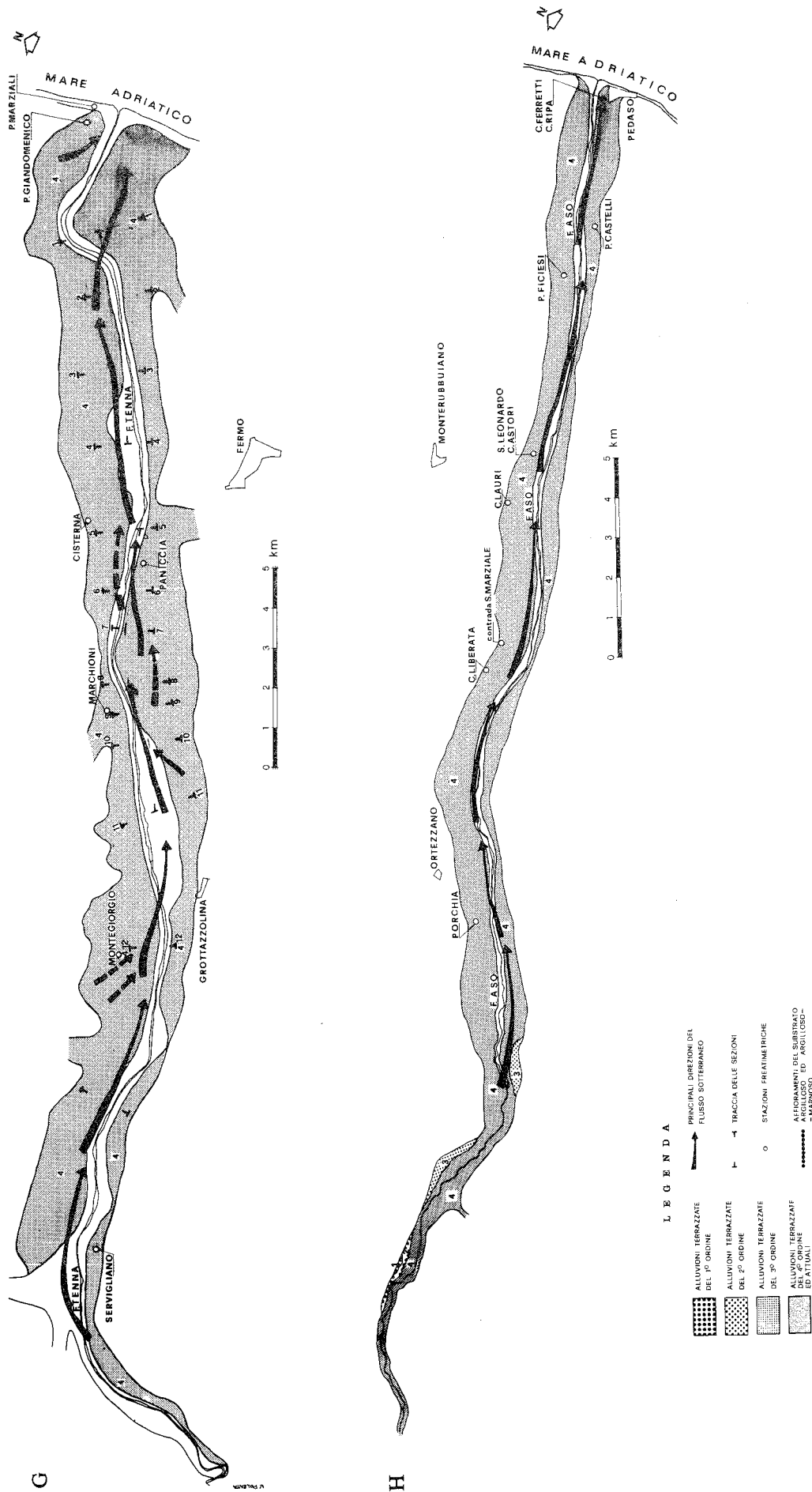


Fig. 53 - Schema dei depositi terrazzati delle pianure alluvionali dei fiumi Potenza (E), Chienti (F) con indicate le principali linee di drenaggio sotterranee desunte dalle carte freatiche.



QUALITA' DELLE ACQUE SOTTERRANEE

La qualità delle acque è stata desunta dai dati sulla conducibilità elettrica, sulla temperatura e, per alcuni subalvei (Esino, Aspigo e Musone), sulle caratteristiche chimiche.

Conducibilità elettrica

Dal punto di vista della conducibilità elettrica le acque dei subalvei esaminati possono essere suddivisi in due gruppi (Fig. 55).

Un primo gruppo è dato dalle acque dei subalvei dei fiumi Metauro, Esino, Musone e Tronto che hanno valori di conducibilità mediamente più elevati (circa 1300 MHO), maggiore uniformità e minore oscillazione annuale dei valori. Un secondo gruppo è invece rappresentato dalle acque dei subalvei dei fiumi Potenza, Chienti, Tenna ed Aso, con valori di conducibilità media inferiori (circa 950 MHO), maggiore omogeneità ed escursione annuale maggiore di tali valori rispetto alle acque degli altri subalvei (Tab. 7).

Caratteristiche comuni all'acqua di tutti i subalvei sono l'aumento di conducibilità da monte verso la foce e la costanza nel tempo delle aree a bassa ed alta conducibilità. Le zone a bassa conducibilità (soprattutto depositi terrazzati di IV e III ordine) sono situate in prossimità o a cavallo dell'asta fluviale, oppure in corrispondenza delle principali linee di drenaggio sotterraneo, corrispondenti spesso a paleoalvei, idraulicamente legate alle acque superficiali. Le acque superficiali infatti, con conducibilità media di circa 400-500 MHO, infiltrandosi nei subalvei, diluiscono le acque di falda con conseguente diminuzione della conducibilità.

Le zone ad alta conducibilità sono legate a fattori litologici (ad es. nell'Esino alcune acque sono in relazione con rocce evaporitiche presenti nel substrato), fattori strutturali (ad es. risalita di acque salate dai sedimenti arenacei del Pliocene inferiore attraverso faglie pleistoceniche nell'Esino e nell'Aspigo; vedi COLTORTI

& NANNI, 1983-1986; COGGIOLA ed altri, 1986; NANNI & ZUPPI, 1986), intrusioni marine (NANNI, 1985) ed inquinamenti antropici (ad es. in prossimità della zona di Jesi, Fig. 54b, le infiltrazioni di sostanze inquinanti provocano un forte aumento della conducibilità e della temperatura delle acque sotterranee drenate da un paleoalveo). Le estensioni delle aree a bassa e ad alta conducibilità variano stagionalmente in relazione alle oscillazioni della falda. I valori più bassi sono legati ai massimi freaticometrici, i più alti ai minimi.

Temperatura

La temperatura delle acque sotterranee mostra sensibili variazioni, sia nei valori che nella distribuzione, da un subalveo ad un altro (Fig. 56). Unico carattere comune per tutti i subalvei è l'aumento della temperatura procedendo da monte verso la foce. Le oscillazioni termometriche delle acque di falda sono dovute principalmente alle variazioni della temperatura atmosferica e di quella delle acque superficiali. Tutte le acque dei subalvei, infatti, subiscono sensibili variazioni di temperatura passando da una stagione ad un'altra. Le maggiori variazioni stagionali si hanno nei depositi dei terrazzi di IV ordine e nelle zone prossime all'asta fluviale o ai suoi affluenti. Le variazioni minime si hanno in aree lontane dai corsi d'acqua. Le escursioni termiche stagionali variano per ogni subalveo; le minime si hanno nelle acque dei fiumi Esino, Chienti e Tronto, mentre le massime in quelle del Metauro, Potenza, Tenna ed Aso (Tab. 7). Si è inoltre osservato che non esiste relazione tra aree ad alta temperatura, relativamente alle medie delle acque di ciascun subalveo, ed aree ad alta conducibilità, ad eccezione delle zone interessate da inquinamenti antropici. Ciò significa che le cause che determinano aumenti di temperatura e di conducibilità sono probabilmente tra loro indipendenti.

Chimismo

L'idrochimica delle acque sotterranee dei fiumi Esino, Musone ed Aspigo è risultata essere principalmen-

Tabella 7 - Valori della conducibilità elettrica in μ MHO e della temperatura in $^{\circ}$ C delle acque sotterranee dei subalvei esaminati.

	<i>Metauro</i>	<i>Esino</i>	<i>Musone</i>	<i>Potenza</i>	<i>Chienti</i>	<i>Tenna</i>	<i>Aso</i>	<i>Tronto</i>
Cond. elettrica min. asso.	500	500	900	500	600	600	600	800
Cond. elettrica max. assol.	8000	10000	4500	2500	300	2400	1500	7500
Cond. elettrica media annuale	1100	1200	1200	1000	950	950	900	1500
Temperatura min. assol.	9	11	12	11	13	8	8	—
Temperatura max. assol.	20	19	27	19,5	18	17	20	—
Temperatura medio annua	13,5	13,5	16,5	13,5	14	13	13,5	—

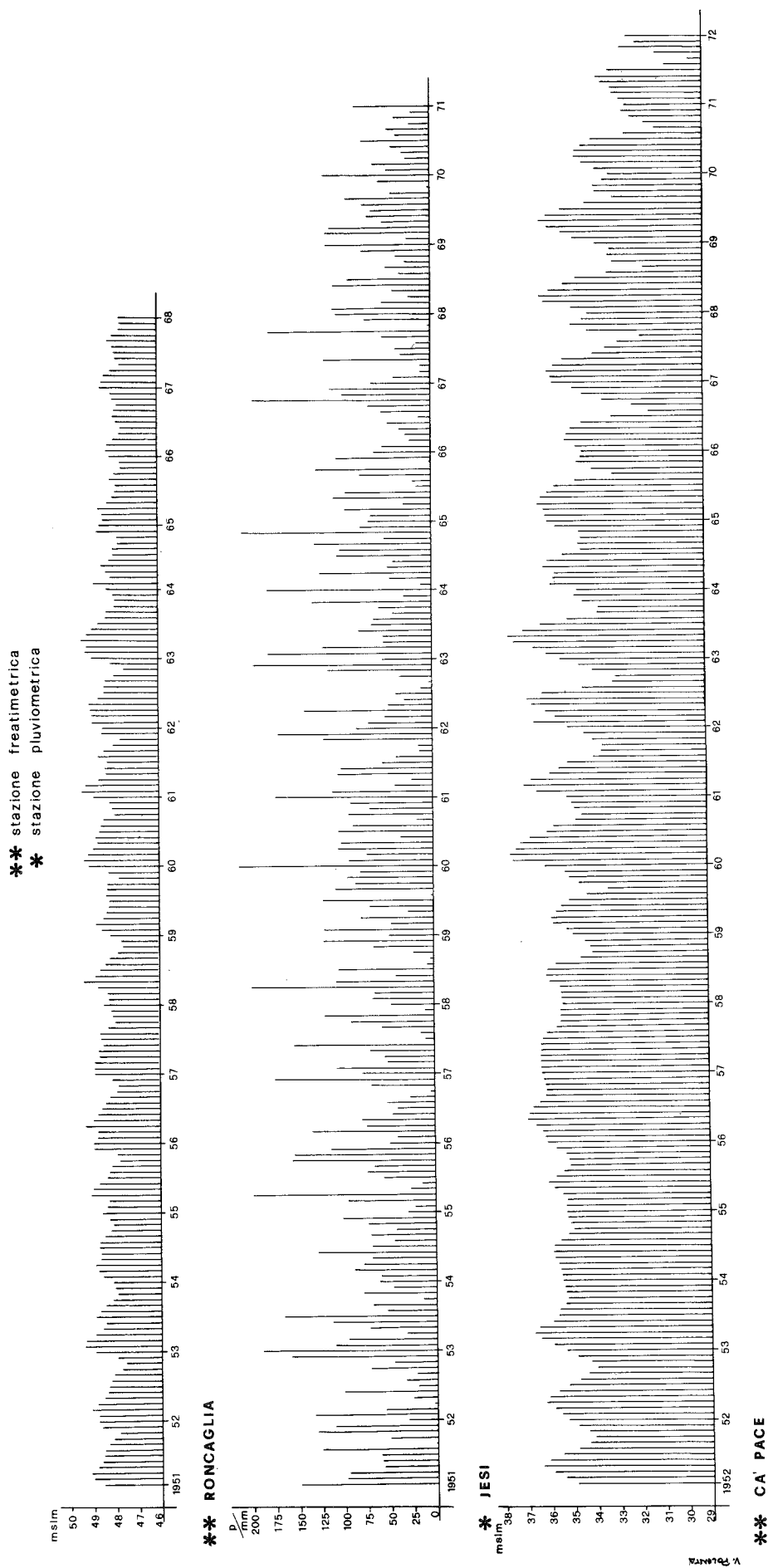


Fig. 54 - Diagrammi dell'escursione freaticometrica storica e dell'andamento delle precipitazioni meteoriche nella pianura alluvionale del fiume Esino. Nella stazione freaticometrica di Ca' Pace è osservabile il forte abbassamento del livello freaticometrico dopo gli anni '60 (da NANNI & MEDI, 1979).

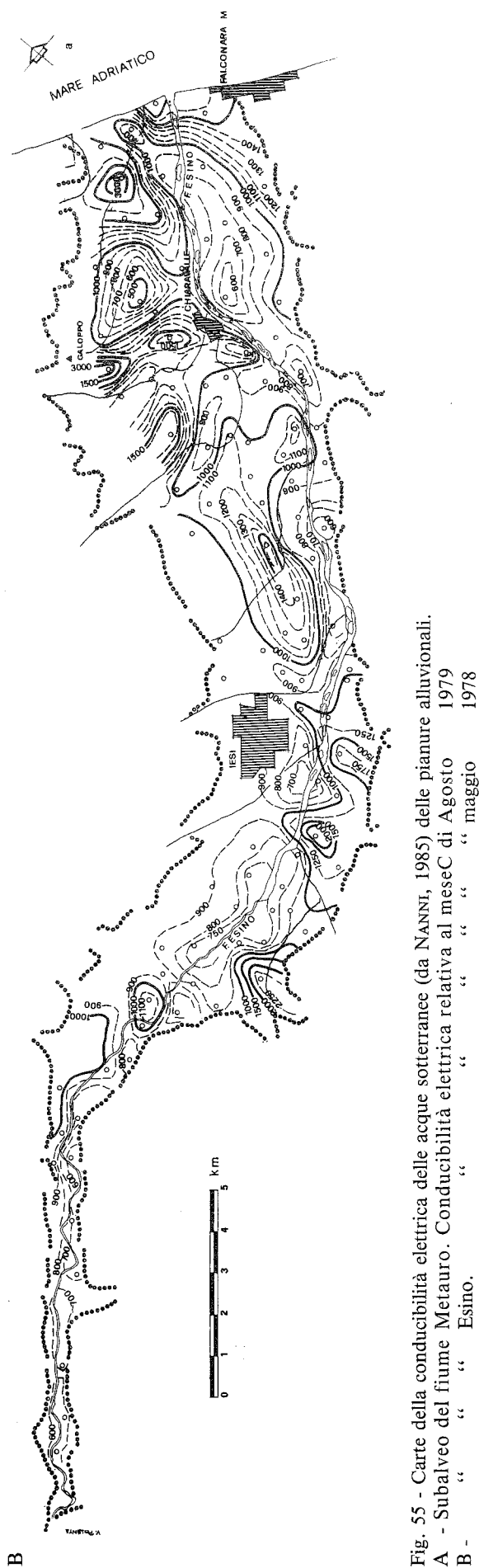
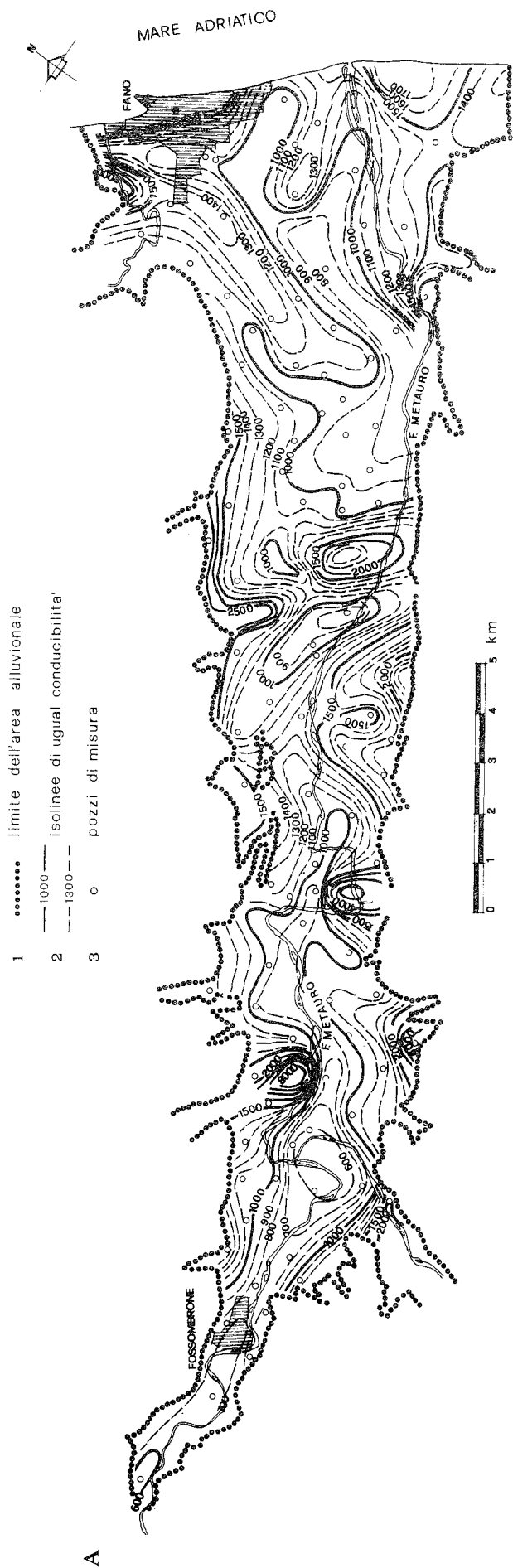


Fig. 55 - Carte della conducibilità elettrica delle acque sotterranee (da NANNI, 1985) delle pianure alluvionali.
 A - Subalveo del fiume Metauro. Conducibilità elettrica relativa al meseC di Agosto 1979
 B - " " " " maggio 1978

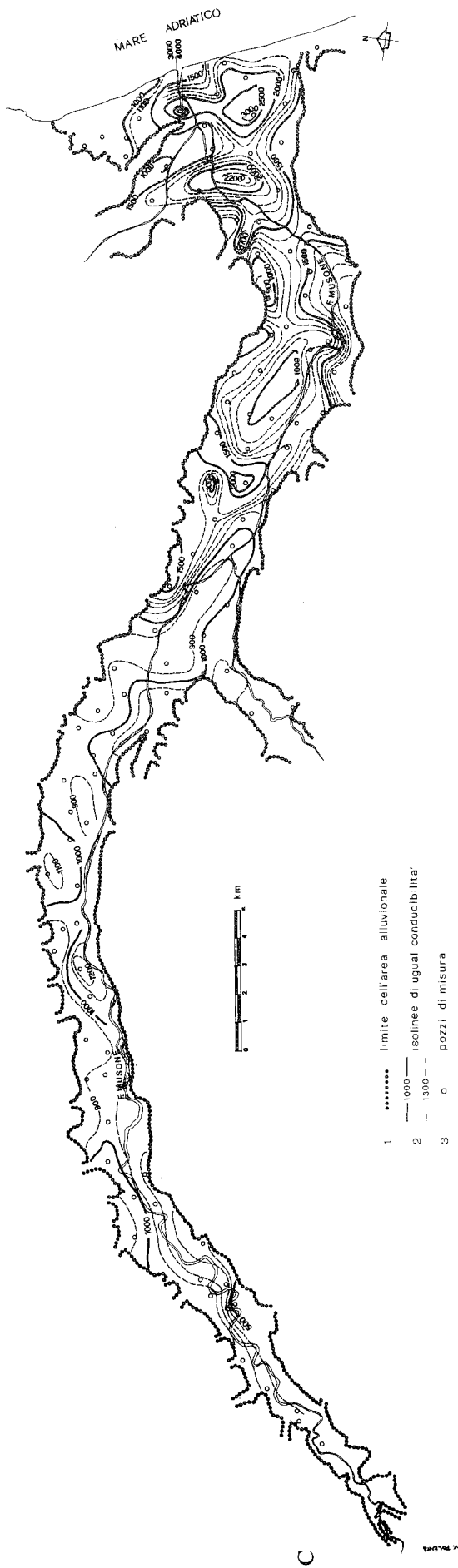
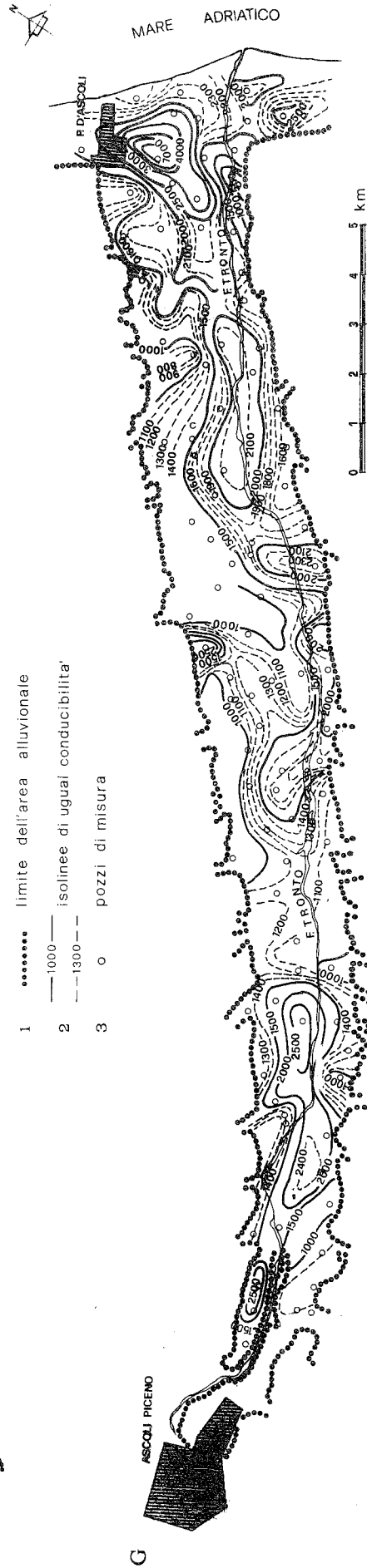
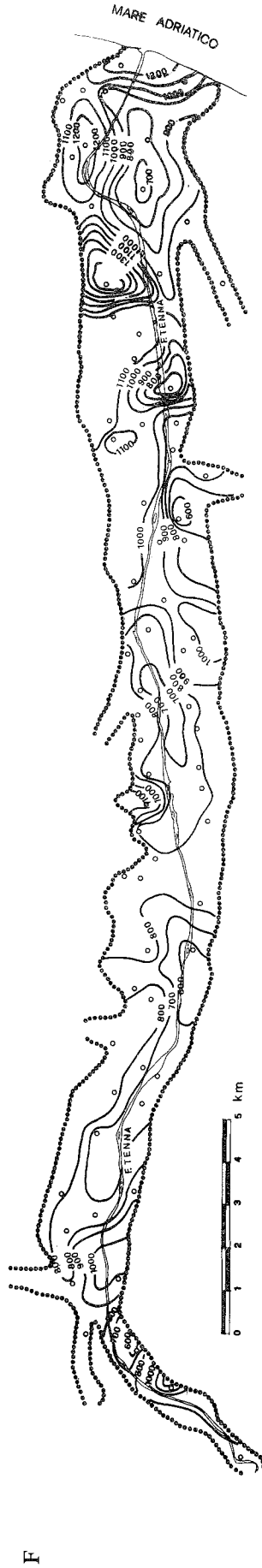
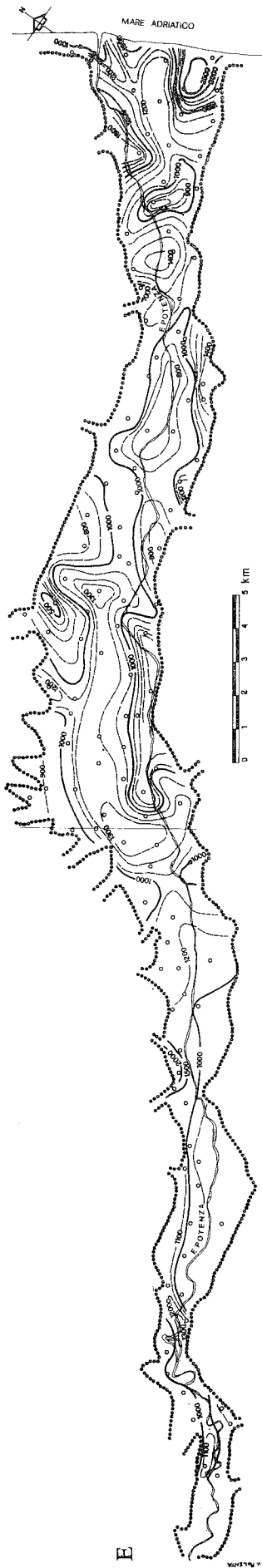


Fig. 55 - Carte della conducibilità elettrica delle acque sotterranee (da NANNI, 1985) delle pianure alluvionali.
 C - " " Musone. " " " " ottobre 1980
 D - " " Chienti. " " " " agosto 1979



- 1 limite dell'area alluvionale
- 2 ——— isolinee di ugual conducibilità
- 3 o pozzi di misura

Fig. 55 - Carte della conducibilità elettrica delle acque sotterranee (da NANNI, 1985) delle pianure alluvionali.

- E - " " " " " " " " settembre 1980
- F - " " " " " " " " ottobre " "
- G - " " " " " " " " settembre 1978

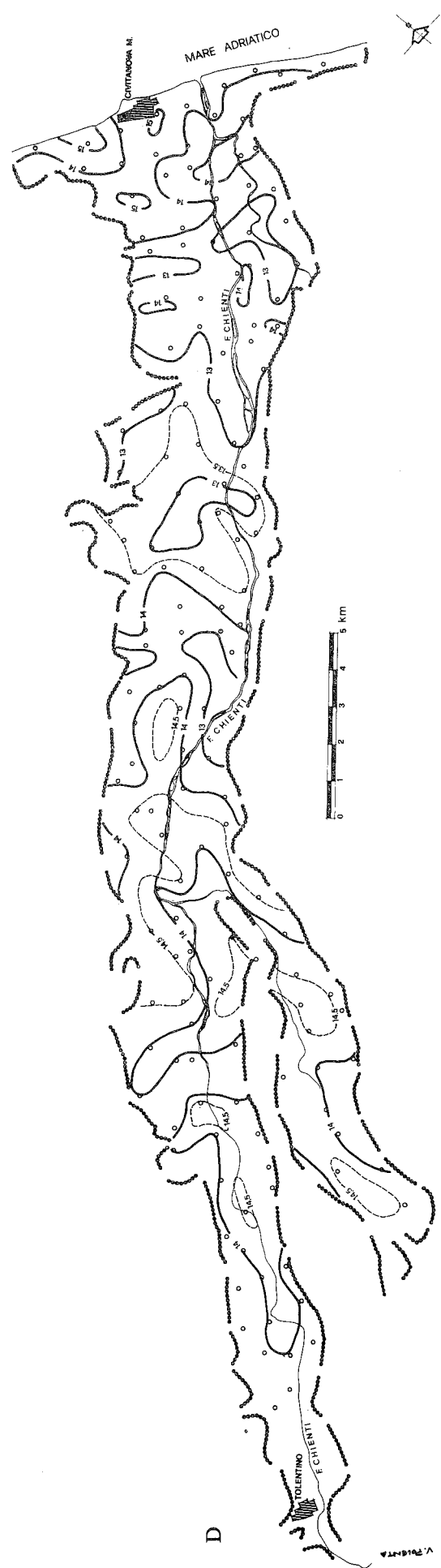
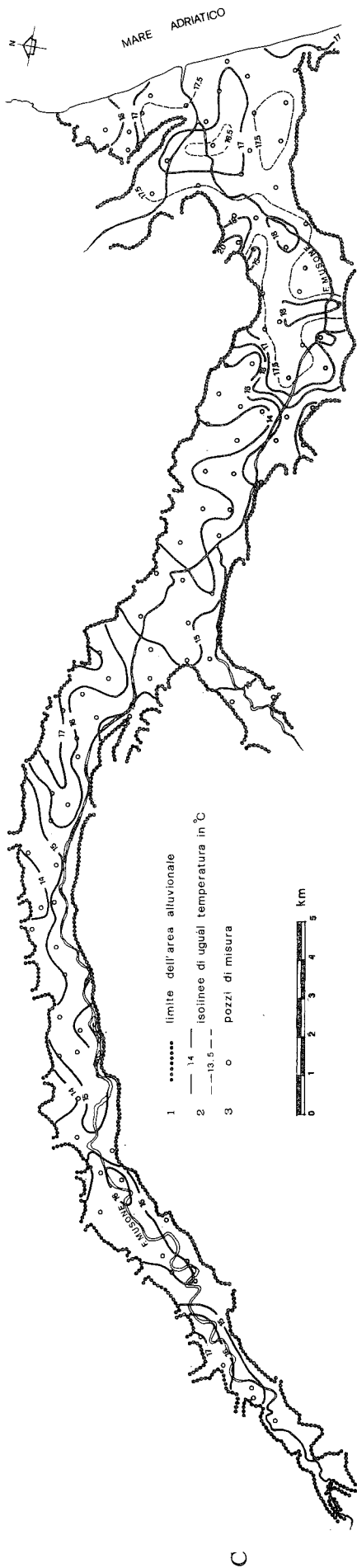


Fig. 56 - Carte della temperatura delle acque sotterranee delle pianure alluvionali (da NANNI, 1985).
 C - " " Musone. " " " dicembre 1980
 D - " " Chienti. " " " agosto 1979

te di due tipi: bicarbonato-calcica e cloruro-sodica. Sono pure presenti acque bicarbonato-calciche, cloruro-sodico-magnesiache, calcico-cloruro-magnesiache, calcico-cloruro-sodiche e acque senza ioni dominanti. Questi tipi di acque non hanno una distribuzione casuale ma, salvo casi connessi con l'inquinamento antropico, caratterizzano aree localizzate.

Nel subalveo del fiume Esino (Fig. 57) si nota una differenza tra le acque sotterranee dei terrazzi alti e quelle dei terrazzi bassi. Nei terrazzi alti il chimismo è di tipo bicarbonato-calcico, con alta concentrazione di Cl, Na e Mg, mentre in quelli bassi il chimismo, pur essendo sempre dello stesso tipo, presenta una bassa concentrazione di tutti gli elementi analizzati (COLTORTI & NANNI, 1983) (Figg. 55B-57).

Nel subalveo del fiume Aspio (Fig. 58) ci sono acque cloruro-sodico-magnesiache ed acque senza ioni dominanti. Le prime sono in relazione con aree nelle quali la falda è sottoposta a forti emungimenti, le seconde con zone in cui i prelievi sono scarsi o assenti. Ciò porta a supporre che la falda sia costituita da acque dolci in superficie ed acque salate alla base, separate da una interfaccia. Se gli emungimenti sono esigui i due tipi di acqua rimangono in equilibrio, se sono forti si ha un richiamo del cono d'acqua salata sottostante (GOBBI & NANNI, 1979).

Nel substrato del fiume Musone si hanno acque calcico-bicarbonatiche e cloruro-sodico-magnesiache (NANNI ed altri, in stampa).

E' stata inoltre rilevata (in alcuni pozzi dell'Esino e del Musone e nelle sorgenti "Le Fontanelle" dell'Aspio) l'assenza quasi totale dei solfati; tale mancanza è stata riscontrata anche in altre zone (Vulcanelli di fango nell'anticlinale Polverigi-Agugliano e F. Misa).

La presenza di acque calcico-cloruro-sodiche in prossimità della fascia costiera è legata all'intrusione marina dovuta ai forti emungimenti cui è sottoposta la falda in tale zona (NANNI, 1985).

RAPPORTO FALDA-FIUME, DRENAGGIO SOTTERRANEO E RICARICA DELLE FALDE

Il rapporto tra falda e fiume è variabile lungo tutto il percorso degli alvei e presenta caratteristiche simili in tutti i subalvei analizzati.

Nella parte alta degli acquiferi si ha un drenaggio diretto dai terrazzi alti (Fig. 52 e 54) verso l'asta fluviale. In prossimità dell'asta fluviale si ha un interscambio falda-fiume, soprattutto in corrispondenza delle sinuosità fluviali dove generalmente si ha la ricarica della falda.

Nella parte intermedia degli acquiferi il drenaggio è diretto dal limite dell'area alluvionale verso il terrazzo di IV ordine. In prossimità dell'asta fluviale è generalmente la falda ad essere alimentata dal fiume. Ciò è particolarmente evidente nella parte medio alta delle pianure alluvionali, dove i fiumi tendono a spostarsi verso la destra idrografica (Fig. 52). L'unica eccezione si ha nel subalveo del F. Chienti dove sembra che si verifichi il contrario (Fig. 52E).

Nel tratto terminale, quando il fiume tende a migrare verso la sinistra idrografica, il drenaggio delle acque superficiali verso la falda si ha generalmente sia in destra che in sinistra idrografica (Figg. 52A, 52B e 52G).

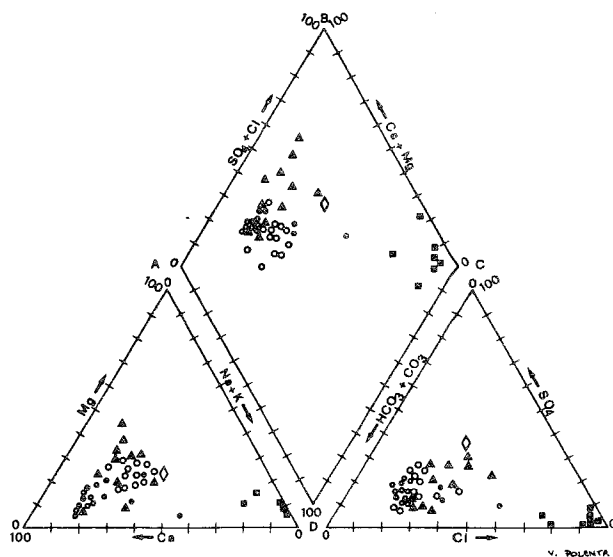


Fig. 2

- Acque sotterranee dei terrazzi bassi
- ▲ Acque sotterranee dei terrazzi alti
- ◊ Acque sotterranee dell'area Chiaravalle Monte San Vito
- Acque sotterranee dell'area di Moia
- Sorgenti connesse con le acque salate presenti nella successione arenaceo-pelitica del Pileone inferiore
- ◇ Acque ottinate dalle argille del substrato

Fig. 57 - Diagramma di PIPER relativo alle acque del subalveo fiume Esino (da COLTORTI & NANNI, 1983).

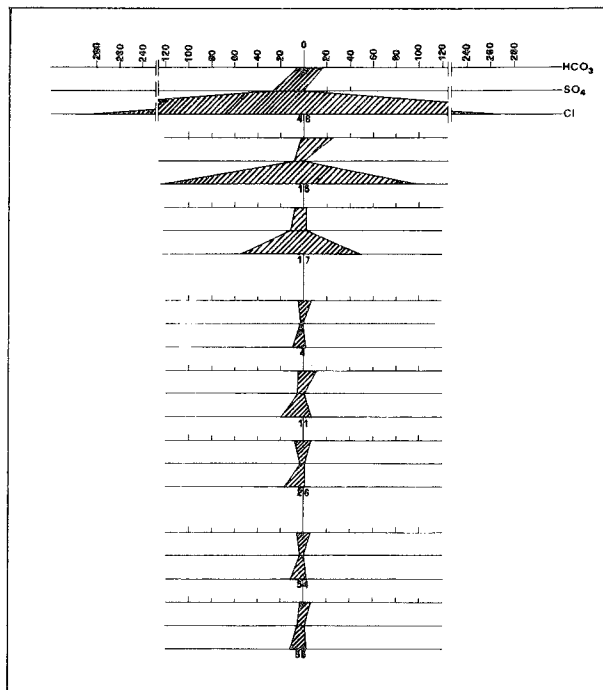


Fig. 58 - Diagrammi di STIFF illustranti il chimismo delle acque sotterranee (48-15-17-4-11-26) del subalveo del F. Aspio (54-55). I campioni 48-15-17 corrispondono ad acque associate a vulcanelli di fango (sorg. Le Fontanelle) ed ad aree sottoposte ad emungimento (da GOBBI & NANNI, 1980).

Elemento comune a tutti i subalvei quindi è il generale flusso dell'acqua sotterranea dai terrazzi alti e dal limite dell'area alluvionale verso i terrazzi di IV ordine, e dai fiumi verso la falda. Risultano generalmente rari, nella zona medio bassa delle pianure, i tratti in cui le falde alimentano il fiume. La ricarica dei subalvei, limitata alle alluvioni dei terrazzi bassi, è quindi dovuta principalmente all'infiltrazione delle acque superficiali. Le aree dove probabilmente si hanno i valori maggiori di infiltrazione delle acque fluviali sono connesse con i paleoalvei (Fig. 53).

Altra importante fonte di ricarica delle falde è data dalle acque sotterranee dei subalvei dei principali affluenti. Ciò è dimostrato dall'andamento delle isofreatiche in connessione con gli affluenti maggiori (Fig. 52E). Altra fonte di ricarica della falda è costituita dalle precipitazioni meteoriche, le quali, nel caso dei terrazzi alti, costituiscono l'unica fonte di alimentazione.

GEOMETRIA DEGLI ACQUIFERI, CHIMISMO DELLE ACQUE SOTTERRANEE E NEOTETTONICA

Le pianure alluvionali marchigiane sono impostate su linee tettoniche trasversali che hanno fortemente influenzato la loro evoluzione morfologica. La valle del F. Esino, ad esempio, è risultata essere una valle di faglia (COLTORTI & NANNI, 1983-1986) impostata tra due linee tettoniche trasversali: la linea dell'Esino, in sinistra idrografica, e la linea della bassa valle esina, in destra (Figg. 48 e 49). Studi recenti (NANNI ed altri, 1986) confermano che anche altre pianure alluvionali presentano le medesime caratteristiche (Figg. 50 e 51).

Pertanto l'attuale assetto morfostrutturale delle valli alluvionali è dovuto all'evoluzione della tettonica quaternaria. In particolare quest'ultima ha causato la migrazione dei fiumi verso sud nella parte intermedia delle valli, e verso nord, salvo rare eccezioni, in prossimità della foce. La migrazione dei fiumi è infatti probabilmente dovuta a sollevamenti differenziati lungo le faglie trasversali (NANNI ed altri, 1986). Ciò ha sensibilmente condizionato non solo l'assetto geomorfologico delle valli, ma pure l'erosione e la deposizione dei depositi alluvionali, la loro geometria, la forma del substrato e la migrazione degli alvei. Quanto detto influisce, insieme con le differenze di permeabilità delle alluvioni, sull'andamento delle isofreatiche. L'andamento della falda, come dimostrano gli studi geomorfologici condotti nella pianura del F. Esino (COLTORTI & NANNI, 1986) e del F. Musone, è fortemente condizionato, infatti, dalla presenza di paleoalvei (Figg. 52B, 52C e 53), i quali risultano connessi con le principali linee di drenaggio sotterraneo.

In tutte le pianure alluvionali l'indagine freaticometrica ha evidenziato linee di drenaggio principali che influiscono sull'andamento della superficie freatica e che forse corrispondono, come per la valle dell'Esino, a paleoalvei, che rappresentano, probabilmente, una testimonianza della migrazione recente dei fiumi marchigiani. Un evidente esempio di migrazione verso N dell'asta fluviale si ha nella valle del F. Tenna (Fig. 53G), in corrispondenza della struttura pliocenica di Porto S. Giorgio. Il sollevamento recente di tale struttura è confermato dall'evidente paleoalveo, ricostruito su basi freaticometriche, che testimonia inoltre la mi-

grazione del Tenna verso N, in concomitanza della deposizione delle alluvioni recenti.

L'intensa attività neotettonica che ha interessato tutta la successione plio-pleistocenica, ha condizionato anche il chimismo delle acque sotterranee. Le particolari caratteristiche idrochimiche presenti in alcune aree dei subalvei dei fiumi Esino, Musone ed Aspio sono in relazione con le strutture trasversali o con l'incrocio di queste con le strutture appenniniche. Per la valle del F. Esino ad esempio, è stata riscontrata un'anomalia nella distribuzione del chimismo delle acque sotterranee che, in alcuni casi, si dispone secondo una fascia allineata con una faglia NE-SO. Esempi simili sono stati riscontrati anche per gli altri fiumi sopra citati.

Per concludere si può dire che lo studio sull'evoluzione della successione plio-pleistocenica ha permesso di evidenziare che le acque sotterranee dei subalvei dei fiumi Esino, Musone ed Aspio sono legate a due circuiti, dei quali il primo è superficiale e connesso con le precipitazioni meteoriche e le acque superficiali mentre il secondo è regionale e profondo ed influisce sugli acquiferi solo a livello di chimismo delle acque sotterranee. A sua volta lo studio sul chimismo delle acque di subalveo ha permesso di confermare la presenza di faglie, tuttora attive, delle quali non si aveva completa certezza basandosi solo sui dati dell'indagine geologica e geomorfologica.

INQUINAMENTO DELLE ACQUE SOTTERRANEE ED INTRUSIONE MARINA

La problematica relativa all'inquinamento delle acque sotterranee delle pianure alluvionali marchigiane, nel suo complesso, non è mai stata finora affrontata. Nel passato recente ci si è generalmente limitati a valutare lo stato di inquinamento di corsi d'acqua superficiali o di pozzi sparsi nell'acquifero, come entità tra loro separate. Non si è cioè tenuto conto che le acque superficiali e sotterranee presenti nelle pianure alluvionali sono tra loro intimamente legate.

La falda di subalveo, infatti, è un sistema molto complesso nel cui ambito agiscono fattori che solo apparentemente sono tra loro indipendenti. Qualsiasi immissione di sostanze inquinanti all'interno del bacino idrografico, ed in particolare nell'area alluvionale, si ripercuote in modo più o meno accentuato sull'acquifero. E' per tale motivo che, nell'affrontare le tematiche inerenti alla valutazione e gestione delle risorse idriche sotterranee delle pianure alluvionali ed alla loro protezione dall'inquinamento antropico, è necessaria una precisa conoscenza delle caratteristiche idrogeologiche dei subalvei, nell'insieme del bacino idrografico. Negli ultimi decenni invece sono stati immessi nei fiumi e sulle superfici alluvionali sostanze inquinanti di tutti i tipi, senza preoccuparsi degli inconvenienti che venivano a crearsi per le falde. Sono stati, ad esempio, scaricati prodotti derivanti dall'industria o da aziende agricole in zone ritenute adatte. Ciò, in certi casi, ha provocato inquinamenti di ampie zone dell'acquifero, rendendo le acque non più potabili.

Limitandoci alle pianure alluvionali, sedi degli acquiferi di subalveo, non si può trascurare l'esistenza di numerose cave di inerti, attive e non, ubicate nei terrazzi di tutti gli ordini ed in prossimità dell'alveo fluviale.

I danni da esse arrecate alle falde sono ingenti e, per mancanza di studi al riguardo, difficilmente valutabili. Le cave infatti sono i punti più vulnerabili dell'acquifero, poiché portano allo scoperto la superficie freatica e permettono ad eventuali sostanze inquinanti di arrivare direttamente in falda. Tenendo presente che alcune cave abbandonate, ed a volte anche quelle attive, vengono usate come aree di discarica di sostanze molto varie, si può comprendere a quale alto rischio di inquinamento siano sottoposti gli acquiferi di subalveo.

Le maggiori fonti di inquinamento per le acque superficiali e sotterranee sono comunque soprattutto connesse con le industrie e con gli scarichi, urbani e di aziende zootecniche. Una fonte di inquinamento diffusa e puntuale è invece dovuta ad una carente "educazione ambientale" dei singoli individui. Ciò fa sì che pozzi abbandonati vengano usati come discariche, che pozzi ad uso potabile adiacenti a stalle o a concimaie non vengano protetti, e che corsi d'acqua e fossi vengano usati per lo smaltimento di rifiuti, a volte fortemente inquinanti.

Soltanto per i fiumi Esino (CRESCENTI ed altri, 1977; COLTORTI & NANNI, 1983), Aspigo e Musone (GOBBI & NANNI, 1979; NANNI ed altri, in stampa) si hanno sufficienti informazioni al riguardo. Per le altre pianure alluvionali, infatti, si dispone soltanto di dati (Figg. 54 e 55) sulla conducibilità elettrica e sulla temperatura delle acque sotterranee (NANNI, 1985). Sulla base di tali dati è stato osservato un incremento dei valori della temperatura e della conducibilità elettrica in relazione all'inquinamento antropico. Gli alti valori di conducibilità riscontrati in molte zone dei subalvei comunque, non sono soltanto legate all'inquinamento. Nei fiumi Musone, Esino ed Aspigo, ad esempio, l'alta conducibilità in certe aree (Figg. 55B e 55C) è in relazione con gli elementi strutturali (NANNI & MEDI, 1979; COLTORTI & NANNI, 1983). In questi casi, infatti, i valori di conducibilità riscontrati sono dovuti alla risalita di acque salate, contenute nei sedimenti arenacei del Pliocene inferiore, attraverso le faglie di età pleistocenica. Ciò provoca un notevole aumento della concentrazione delle sostanze disciolte nelle acque sotterranee in prossimità delle zone di faglia.

Riguardo infine al problema dell'intrusione marina, tale fenomeno è più o meno accentuato, in tutte le pianure alluvionali, in prossimità della costa (Fig. 55). I meccanismi e le modalità con i quali esso si esplica sono in corso di studio. Si può comunque affermare che gli alti valori di conducibilità elettrica, registrati in prossimità della fascia costiera, sono strettamente in relazione con il fenomeno dell'intrusione marina (COLTORTI & NANNI, 1983; NANNI, 1985; NANNI ed altri in stampa). Inoltre, tra le zone ad alta conducibilità e la linea di costa sono state riscontrate generalmente aree con acque a bassa conducibilità (Figg. 55B e 55D). Ciò potrebbe dipendere dal fatto che l'intrusione marina non è diretta ma legata al cono di risalita delle acque salate dovuto ai forti emungimenti cui sono sottoposte le falde in prossimità della fascia costiera.

CONCLUSIONI

Le pianure alluvionali marchigiane, sede degli acquiferi di subalveo, sono caratterizzate da alluvioni ter-

razzate ghiaiose e ghiaioso-sabbiose con intercalati livelli lenticolari di argilla limoso-ghiaiosa o limosa e lenti di sabbia. I livelli argilloso-limosi hanno notevoli estensioni in prossimità della costa e separano localmente le falde di subalveo in più orizzonti acquiferi. In generale, comunque, le falde di subalveo possono essere considerate, in generale, come un unico acquifero indifferenziato. Gli acquiferi di subalveo veri e propri sono limitati ai depositi dei terrazzi bassi (III e IV ordine secondo la cartografia geologica ufficiale). Le alluvioni dei terrazzi alti (del II ordine e raramente del I) fungono infatti principalmente da serbatoi di raccolta delle acque meteoriche, che vengono cedute nel tempo all'acquifero di subalveo.

I caratteri idrogeologici ed idrochimici degli acquiferi studiati sono condizionati dall'attuale assetto morfostrutturale delle vallate fluviali. Le pianure alluvionali, infatti, sono impostate su linee tettoniche antiappenniniche ed individuano dei settori a blocchi strutturali, i margini settentrionali dei quali hanno subito sollevamenti maggiori rispetto a quelli meridionali, e probabili basculamenti principalmente in senso N-S (Figg. 48-51). I bordi settentrionali di tali blocchi corrispondono generalmente ad alti strutturali ad orientamento antiappenninico e rappresentano sovente la linea dello spartiacque. I bordi meridionali invece corrispondono, salvo rare eccezioni, alle zone più depresse, nelle quali sono impostate le pianure alluvionali. La configurazione morfostrutturale delle aree su cui insistono le pianure alluvionali è quindi simile ad un assetto ad *horst* e *graben*, dove i *graben* corrispondono alle principali vallate fluviali.

Tale evoluzione geomorfologica ha portato alla migrazione dei fiumi marchigiani verso sud, nella parte medio bassa delle valli, e verso nord, in prossimità della foce. La migrazione dei fiumi ha a sua volta influenzato i fattori deposizionali ed erosivi, la geometria dei depositi alluvionali, la forma del substrato e, in definitiva, i caratteri idrogeologici dei subalvei delle pianure alluvionali. Il drenaggio sotterraneo degli acquiferi risulta quindi condizionato, oltre che dalle ovvie differenze di permeabilità, anche dai suddetti fattori ed in particolare dalla presenza di paleovalvei.

Il chimismo delle acque sotterranee, noto soltanto per i fiumi Esino, Musone ed Aspigo (Figg. 57 e 58), è generalmente di tipo bicarbonatico-calcico, con presenza, in aree localizzate, di acque ad elevata salinità cloruro-sodico-magnesiache, calcico-cloruro-magnesiache e calcico-cloruro-sodiche. Le acque a minore salinità, di tipo sempre bicarbonatico-calcico, sono in relazione con zone nelle quali si ha il drenaggio delle acque superficiali. Le acque cloruro-sodico-magnesiache, ad elevata salinità, sono invece legate alla risalita di acque salate presenti nei sedimenti pliocenici, attraverso zone di frattura connesse con le faglie che interessano il substrato delle pianure alluvionali.

In tutti i subalvei il drenaggio è diretto dal limite dell'area alluvionale verso i terrazzi bassi. In prossimità dell'asta fluviale, quando i fiumi tendono a spostarsi verso la destra idrografica nella parte medio alta e verso la sinistra in prossimità della costa, si ha generalmente la ricarica della falda ad opera delle acque fluviali, in relazione spesso con probabili paleovalvei. Nella parte alta delle pianure alluvionali si ha invece un intenso interscambio tra falda e fiume, connesso con le sinuosità dell'asta fluviale. La ricarica delle falde di su-

balveo è principalmente dovuta all'infiltrazione delle acque superficiali ed agli apporti connessi con le acque sotterranee dei subalvei dei principali affluenti, oltre che alle precipitazioni meteoriche dirette sulle pianure alluvionali.

In conclusione, quindi, l'indagine idrogeologica condotta sulle pianure alluvionali ha permesso di evidenziare quanto segue:

— le falde di subalveo sono limitate ai depositi alluvionali dei terrazzi bassi;

— il drenaggio sotterraneo è influenzato, oltre che dalle ovvie differenze di permeabilità dei depositi alluvionali, anche dall'evoluzione morfostrutturale delle pianure alluvionali. Quest'ultima ha condizionato la forma del substrato, la geometria dei depositi terrazzati e la migrazione dei fiumi;

— le falde di subalveo sono legate a due circuiti idrologici diversi, dei quali il primo è superficiale e connesso con le acque di superficie e meteoriche, mentre il secondo, regionale e profondo, è legato alle strutture tettoniche ed influisce essenzialmente sul chimismo delle acque sotterranee;

— le acque sotterranee qualitativamente migliori si hanno in prossimità dell'asta fluviale e, salvo rare eccezioni, sono in connessione con le principali direzioni di drenaggio sotterraneo. Le acque peggiori si rinvencono in prossimità dalla costa, e la loro scarsa qualità dipende da fenomeni di intrusione marina, più o meno accentuati a secondo dei subalvei. Acque ad elevato contenuto salino sono presenti nelle zone in cui si ha risalita di acque salate attraverso fratture che interessano il substrato. Acque generalmente scadenti infine sono associate all'attività antropica, ed in particolare a zone industriali ed aziende zootecniche. Le acque qualitativamente peggiori sono quelle presenti nei subalvei dei fiumi Musone e Tronto;

— le falde studiate, ad eccezione di quelle dei fiumi Tronto ed Esino, sono sottosfruttate. Lo sfruttamento di tutti gli acquiferi potrebbe quindi essere incrementato.

Il presente studio, ed in particolare le indagini sul chimismo delle acque dei fiumi Esino, Musone ed Aspio, ha inoltre permesso di confermare la presenza di faglie tuttora attive, ipotizzate in precedenza su basi geologiche e geomorfologiche.

BIBLIOGRAFIA

ALESSIO M., ALLEGRI L., COLTORTI M., CORTESI C., DEIANA G., DRAMIS F., IMPROTA S., PETRONE V. (1979) - *Depositi tardowurmiani nell'alto bacino dell'Esino (Appennino Marchigiano). Datazione al ¹⁴C*. Geogr. Fis. Din. Quat., 2, Torino.

AMBROSETTI P., CENTAMORE E., DEIANA G., DRAMIS F. & PIERUCCINI U. (1981) - *Schema di evoluzione neotettonica dell'area umbro-marchigiana tra il Tronto ed il Metauro*. Rend. Soc. Geol. It., 4.

AMBROSETTI P., DEIANA G., DRAMIS F. & CARRARO A. (1982) - *Il sollevamento dell'Italia centrale tra il Pleistocene inferiore ed il Pleistocene medio*. Contributi conclusivi alla realizzazione della Carta neotettonica d'Italia. Pubbl. n. 513 del P.F. Geodinamica - C.N.R.

BASSI G. (1972) - *Indagine sulle risorse idriche sotterranee della*

pianura alluvionale della valle dell'Esino da Serra San Quirico al mare. Centro Studi e Ric. Un. Reg. Cam. Comm. delle Marche, Ancona.

BIONDI E. & COLTORTI M. (1982) - *The Esino flood plain during the Holocene*. Proceed. XI Congr. Int. INQUA, vol. III.

CALAMITA F., CANTALAMESSA G., CENTAMORE E., DEIANA G., DRAMIS F., MICARELLI A., PIERUCCINI U., POTETTI M. & ROMANO A. (1979) - *Dati preliminari sulla neotettonica dei Fogli 132 (Norcia), 124 (Macerata; III e IV quadrante), 115 (Città di Castello; I e II quadrante)*. Nuovi Contr. alla realizzazione della Carta neotettonica d'Italia. Pubbl. n. 251 del P.F. Geodinamica - C.N.R.

CARLONI G.C. & ZECCHI R. (1979) - *Le strutture tettoniche marchigiane e i principali fuochi sismici*. L'Ateneo Parmense - Acta Naturalia, Vol. 15.

CASTLEDEN R. (1980) - *Fluvioperiglacial pedimentation: a general theory of fluvial valley development in cool temperate lands illustrated from western and central Europe*. Catena, 7.

CENTAMORE E., DEIANA G., DRAMIS F., MICARELLI A., CARLONI G.C., FRANCAVILLA F., NESCI O., MORETTI E. (1978) - *Dati preliminari sulla neotettonica dei Fogli 116 (Gubbio), 123 (Assisi), 117 (Jesi) e 109 (Pesaro)*. Contr. preliminari alla realizzazione della carta Neotettonica d'Italia, P.F. Geodinamica - C.N.R., Vol. 1.

CENTAMORE E., COLTORTI M., DRAMIS F., CANTALAMESSA G., D'ANGELO S., DI LORITO L., SACCHI L. & SPOSATO A. (1982 b) - *Aspetti neotettonici e geomorfologici del Foglio 133-134 Ascoli Piceno-Giulianova*. Contr. conclusivi alla realizzazione della carta Neotettonica d'Italia. Pubbl. n. 513 del P.F. Geodinamica - C.N.R.

COGGIOLA F., JUSSERAND C., NANNI T., OLIVIERO G.F., RICCHIUTO F. & ZUPPI G.M. (1986) - *Origin of brackish waters and brines in the Northern front of Apennine*. 5th Int. Symp. on Water-Rock Interaction. August 8-17. Reykjavik.

COLOMBETTI A. (1972) - *Indagine geoelettrica della valle del Fiume Esino*. Centro Studi e Ric. Un. Reg. Cam. Comm. delle Marche, Ancona.

COLTORTI M. (1979) - *Reperti litici del Paleolitico inferiore come contributo alla datazione delle alluvioni terrazzate del F. Esino (Ancona)*. Studi Geol. Camerti, IV.

COLTORTI M., DRAMIS F., GENTILI B. & PAMBIANCHI G. (1979) - *"Stratified slope waste deposits in the Umbria-Marche Apennines"*. Proc. 15th Meet. Int. "Survey & Mapping", I.G.U.-UNESCO.

COLTORTI M., CREMASCHI M., PERETTO C. & SALA B. (1980) - *Il paleolitico inferiore nella Lombardia Orientale, nel Veneto, nell'Emilia-Romagna e nelle Marche*. Atti XXIII Riun. Sc. I.I.P.P.

COLTORTI M. & GALDENSI S. (1981) - *Geomorfologia del complesso carsico grotta del Mezzogiorno (4MA-AN) - Frasassi (1MA-AN) con riferimento ai motivi neotettonici dell'anticlinale di N. Valmontagnana (Appennino Marchigiano)*. Studi Geol. Camerti, VII.

COLTORTI M. (1981) - *Lo stato attuale delle conoscenze sul Pliocene ed il Paleolitico inferiore e medio della Regione Marchigiana*. Com. Reg. Archeoclub Marche - Conv. sui Beni

Culturali e Ambientali delle Marche, 8-10, Numana.

COLTORTI M., DRAMIS F. & PAMBIAMCHI G. (1983) - *Stratified slope waste deposits in the Esino river basin (Umbria-Marche Apennines, Central Italy)*. Polarforschung, 53 (2).

COLTORTI M. & NANNI T. (1983) - *Hydrogeology and neotectonics of the lower Esino basin*. Paper of the Int. Conf. Groundwater and Man, 5-9 December 1983 - Sydney.

COLTORTI M. & NANNI T. (1985) - *La bassa Vallesina: geomorfologia, idrogeologia e neotettonica*. Boll. Soc. Geol. d'Ital.

CENSI F., FUSARI R., MURRI A. & SCUTERINI (1975) - *Gli elementi climatici e meteorologici della provincia di Macerata nel decennio 1964-1973*. Osservatorio Geofisico di Macerata.

CRESCENTI U. (1972) - *Sulla deviazione dei fiumi marchigiani*. Geol. Appl. e Idrogeol., 7.

CRESCENTI U., NANNI T., RAMPOLDI R. & STUCCHI M. (1977) - *Ancona: considerazioni sismo-tettoniche*. Boll. Geofis. Teor. e Appl., 20, Trieste.

CRESCENTI U., MEDI P., NANNI T., BRUNI P., CALVI G., GOBBI G., FOGLIA A. & RENGÀ G. (1978) - *La falda acquifera del subalveo del medio e basso Esino. Idrologia, caratteristiche chimiche e batteriologiche*. Ed. Università degli Studi di Ancona.

DRAMIS F. (1984) - *Morfogenesi di versante nel Pleistocene superiore in Italia: i depositi detritici stratificati*. Geogr. Fis. Din. Quat., 7.

ELMI C., FRANCAVILLA F. & MERELLI P. (1981) - *Ricerche geologiche e idrogeologiche nella bassa Valle del Fiume Metauro (Marche settentrionali)*. L'Ateneo Parmense - Acta Naturalia, 17, Parma.

E.N.I. (1972) - *Acque dolci sotterranee. Inventario dei dati raccolti dall'AGIP durante la ricerca di idrocarburi in Italia*. Editore dall'ENI, Roma.

FAIRBRIDGE W.R. (1967) - *The Encyclopedia of atmospheric sciences and astrogeology*. Ed. Reinhold Publishing Corporation., N.Y.

GIROTTI O. (1969) - *Note illustrative Fogli 133-134 Ascoli Piceno e Giulianova*. Serv. Geol. d'It., Roma.

GOBBI G. & NANNI T. (1978) - *Caratteristiche idrochimiche delle acque del subalveo del Fiume Aspio (Ancona)*. Studi Geol. Camerti, 4.

GUERRERA M., PELLEGRINI M.G., PANNELLI F., COCCHINI M. (1973) - *Lo stato attuale dell'inquinamento delle acque superficiali nelle marche: la situazione dei Fiumi Chienti, Potenza, Giano-Esino*. Ig. Mod., Roma.

GUERRERA F., RAINERI B. & WEZEL F.C. (1978) - *Eventi neotettonici quaternari nell'area nord-marchigiana*. Mem. Soc. Geol. It., 19.

LEGGI G.M., NANNI T. & RAMPOLDI R. (1978) - *Tettonica classica e da satellite a confronto: correlazione con gli eventi sismici*. Boll. Geof. Teor. Appl., 75, Trieste.

LIPPARINI T. (1939) - *I terrazzi fluviali delle Marche*. Gior-

nale di Geologia, 13.

MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI (1921-1971) - *Annali Idrologici (parte prima e seconda). Bacini con foce al litorale adriatico dal Reno al Tronto*. Servizio Idrografico, Annali 1921-1971, Ist. Poligr. Stato.

MOLINARI C., LIPPARINI T., BASSI G. (1971) - *Risorse idriche delle Marche*. Ente Sviluppo Marche.

MORI A. (1957) - *Il clima*. in *L'Italia fisica*, Coll. Conoscì l'Italia, T.C.I.

MURRI A., CERQUETTI F., FUSARI R., RICCITELLI D & SCUTERINI C. (1980) - *Analisi del vento nella provincia di Macerata. Intensità - Frequenza - Direzioni*. Osserv. Geof., Macerata.

NANNI T. & MEDI P. (1979) - *Idrogeologia della bassa Valle del Fiume Esino*. Studi Geol. Camerti, 5.

NANNI T. (1985) - *Le falde di subalveo delle Marche: inquadramento idrogeologico, qualità delle acque ed elementi di neotettonica*. Ed. Regione Marche, Materiali per la programmazione, 2.

NANNI T. & ZUPPI G.M. (1986) - *Acque salate, circolazione profonda, in relazione all'assetto strutturale del Fronte Adriatico e Padano dell'Appennino*. Rend. Soc. Geol. It.

NANNI T., PENNACCHIONI E. & RAINONE M. (1986) - *Il bacino quaternario marchigiano*. Atti Riun. Gruppo Sedim. del C.N.R., Ancona 5-6-7 giugno 1986.

NESSI O., MORETTI E. & SACCHI G. (1978) - *Studio neotettonico della zona compresa tra i Fiumi Foglia e Metauro (Marche settentrionali)*. Mem. Soc. Geol. It., 19.

NESSI O. & SACCHI G. (1979) - *Dati preliminari sulla neotettonica dei Fogli 108 (Mercato Saraceno)*. P.F. Geodinamica - C.N.R.

NESSI O. & SACCHI G. (1980) - *Carta neotettonica dei Fogli 101 (Rimini), 110 (Senigallia) e 109 (Pesaro)*. Contr. Preliminari alla Realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia, P.F. Geodinamica - C.N.R.

OSSERVATORIO GEOFISICO DI MACERATA (1981) - *Osservazioni meteorologiche anno 1980*. Rend. Osserv. Geof. Macerata.

PEGUY P. (1970) - *Precis de Climatologie*. Ed. Masson & Cie. II ed., Paris.

PELTIER L. (1950) - *The geographical cycle in periglacial region as it is related to climatic geomorphology*. Ann. Ass. Am. Geographers, 40.

PELLEGRINI M.G., VITALI C. (1967) - *Su alcune caratteristiche delle acque di taluni fiumi marchigiani*. Ig. Mod., 60.

PINNA M. (1978) - *L'atmosfera e il clima*. Ed. UTET, Torino.

PROVINCIA DI ANCONA (1971) - *L'approvvigionamento idrico e lo stato di inquinamento delle acque superficiali nella provincia di Ancona*. Collana I Convegni, Ancona.

PROVINCIA DI ANCONA (1974) - *2° Convegno sui problemi dell'inquinamento: aggiornamenti tecnici e giuridici; proposte operative*. Collana I Convegni, Ancona.

- NIERAS G. (1976) - *L'idrologie de l'Ingenieur*. Ed. Eyrolles Ed., Paris.
- SAVELLI D., BARTOLE R. & MORETTI E. (1984) - "Caratteristiche litostratigrafiche con l'ausilio del sismografo di un terrazzo alluvionale del Fiume Metauro a Fossombrone (Marche settentrionali). *L'Ateneo Parmense - Acta Natur.*, 20.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1942) - *Carta geologica d'Italia. Foglio 132, "Norcia"*; scala 1:100.000.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1952) - *Carta Geologica d'Italia. Foglio 116, "Gubbio"*; scala 1:100.000.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1964) - *Carta Geologica d'Italia. Foglio 118, "Ancona"*; scala 1:100.000.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1965) - *Carta Geologica d'Italia. Foglio 110, "Senigallia"*; scala 1:100.000.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1967) - *Carta Geologica d'Italia. Foglio 124, "Macerata"*; scala 1:100.000.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1968) - *Carta Geologica d'Italia. Foglio 123, "Assisi"*; scala 1:100.000.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1968) - *Carta Geologica d'Italia. Foglio 131, "Foligno"*; scala 1:100.000.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1969) - *Carta Geologica d'Italia. Foglio 115, "Città di Castello"*; scala 1:100.000.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1969) - *Carta Geologica d'Italia. Fogli 133-134, "Ascoli Piceno - Giulianova"*; scala 1:100.000.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1971) - *Carta Geologica d'Italia. Foglio 117, "Jesi"*; scala 1:100.000.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1972) - *Carta Geologica d'Italia. Foglio 290, "Cagli"*; scala 1:50.000.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1975) - *Carta Geologica d'Italia. Foglio 291, "Pergola"*; scala 1:50.000.
- TONINI D. (1974) - *Elementi di idrografia ed idrologia*. Ed. Libreria Universitaria, Vol. 2, Venezia.
- TREWARTHA T.G. & HORN H.L. (1980) - *An introduction to climate*. Ed. Mc Graw-Hill Int., Ed. V.
- VILLA G.M. (1942) - *Nuove ricerche sui terrazzi fluviali delle Marche*. *Giornale di Geologia*, 16.
- VITA-FINZI C. (1975) - *Late Quaternary alluvional deposits in Italy*. In: SQUYRES C.H. (Ed.), *Geology of Italy*, Petrol. Expl. Soc. Libya, Tripoli, 2.

