

dicembre 2022

2 / 1  
luglio 2023

RISORSE PER IL  
TERRITORIO E LA  
SOSTENIBILITÀ  
AMBIENTALE

# GEOLOGI MARCHE

PERIODICO ORDINE DEI GEOLOGI DELLE MARCHE



## COMPATIBILITÀ ED INVARIANZA IDRAULICA: procedura e metodologie



Indagine Idrogeologica  
finalizzata alla valutazione  
delle potenzialità, sfruttamento  
e salvaguardia della falda  
alluvionale nell'area del Campo  
Pozzi dell'Acquedotto del  
Comune di Civitanova Marche



EPAP:  
Pensioni più  
consistenti agli iscritti

ORDINE  
**geologi**  
MARCHE

# Tecnologie per le Scienze della Terra e del Mare



## Magnetometri terrestri



Leggeri e intuitivi per rilievi ambientali e geologici: progetto preimpostato, dati visualizzati a colori e con il rumore di fondo più basso del mercato.

## Magnetometri marini



Rapidi, accurati, acquisiscono dati ad altissima risoluzione in acque poco o molto profonde. G-882 è l'unico certificato per le bonifiche OBI-UXO nel mare del Nord.

## Magnetometri per drone



La tecnologia MFAM diminuisce di 10 volte dimensioni e consumi e mantiene l'altissima risoluzione.

Codevintec rappresenta anche:



## CODEVINTEC

Tecnologie per le Scienze della Terra e del Mare

tel. +39 02 4830.2175 | info@codevintec.it | www.codevintec.it



**KELLER**

# HYDROSTATIC PRESSURE MEASUREMENTS

WATER & FUELS



## KELLER SERIES 26X

- For liquid level and fill level measurements
- Highly accurate measured values
- Excellent long-term stability
- Extended lightning protection available
- Analogue & digital interfaces can be combined
- Scalable analogue output (turn-down)
- Many years of maintenance-free operation

[keller-pressure.com](http://keller-pressure.com)

Andiamo in profondità, in ogni progetto

# Tecnosondaggi

## SONDAGGI GEOTECNICI

Carotaggio continuo e prove geognostiche in foro

Prova S.P.T. Standard Penetration Test / Tubo Piezometrico tipo "tubo aperto"  
Tubo Piezometrico tipo "Casagrande" / Tubo inclinometrico / Permeabilità  
(Lefranc) / Down-hole / Misure inclinometriche con Sonda SIGSEO



## SONDAGGI AMBIENTALI

Carotaggio continuo a secco, prelievo di campioni  
e messa in opera di strumentazioni in foro

Sondaggi geognostici con carotiere a secco Strumentazione dei  
fori di sondaggio con tubi Piezometrici di vario diametro / Spurghi e prelievi con  
pompa dotata di booster per regolazione di flusso / Installazione di sistemi  
automatici di misura dei livelli piezometrici



## PROVE PENETROMETRICHE

Statiche, dinamiche ed elettriche

Prove penetrometriche statiche con punta meccanica Begemann (CPT)  
Prove penetrometriche dinamiche anche con rivestimento (DPSH)  
Prove penetrometriche elettriche con piezocono (CPTU) / Prelievo di campioni  
indisturbati con campionatore semplice Shelby / Perforazione muratura per  
drenaggi o saggi esplorativi con carotatrice Hilty



## INDAGINI SISMICHE

M.A.S.W.  
H.V.S.R. sismica passiva



## INDAGINI CON TERMOCAMERA

Verifiche non distruttive



Via Abbadia, 39 - 60027 - Osimo (AN) - Italia  
tel. +39 335 6686573 - fax 071 781840  
tecnosondaggi@katamail.com

Azienda certificata ISO 9001

[www.tecnosondaggi.it](http://www.tecnosondaggi.it)



1 dicembre 2022  
2 luglio 2023  
RISORSE PER IL TERRITORIO E LA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

# GEOLOGI MARCHE

PERIODICO ORDINE DEI GEOLOGI DELLE MARCHE

# INDICE

#### DIRETTORE RESPONSABILE

Piero Farabollini

#### COORDINAMENTO EDITORIALE

Fabrizio Bendia

#### CO - COORDINATORE

Fabio Rossi

#### REDAZIONE

Stefania Costanzi, Stefano De Angelis,  
Fabio Bernardini, Marco La Corte,  
Daniele Morganti, Sara Prati

#### UFFICIO E SEGRETERIA

Corso Garibaldi n. 28 - 60121 Ancona  
Tel 071.2070930 / Fax 071.2070716  
ordine@geologimarche.it  
geologimarche@epap.sicurezza postale.it

#### GRAFICA, IMPAGINAZIONE E PUBBLICITÀ

Agicom srl  
Viale Caduti in Guerra, 28 - 00060  
Castelnuovo di Porto (RM)  
Tel 06.9078285  
agicom@agicom.it  
comunicazione@agicom.it

#### STAMPA

Spadamedia  
Viale del Lavoro, 31  
00043 Ciampino (RM)

Distribuzione ai Geologi iscritti all'Albo delle Marche, al Consiglio Nazionale ed ai Consigli Regionali dei Geologi, agli Ordini e Collegi Professionali delle Marche, agli Enti e Amministrazioni interessati

Gli articoli e le note firmate esprimono l'opinione personale dei loro Autori; gli articoli firmati impegnano pertanto soltanto le responsabilità degli Autori.

#### In copertina:

"Alcuni degli effetti dell'alluvione del 15.09.22 a Sassoferrato (AN)"  
Foto: Fabrizio Bendia

Immagini interne:  
freepik.com

Registrato al Tribunale di Ancona  
con il n° 1564/2008 già 11/08 del 09/05/2008



4

#### Editoriale

PIERO FARABOLLINI



6

#### EPAP:

Pensioni più consistenti agli iscritti

WALTER BORGHI



8

#### Indagine Idrogeologica

finalizzata alla valutazione delle potenzialità, sfruttamento e salvaguardia della falda alluvionale nell'area del Campo Pozzi dell'Acquedotto del Comune di Civitanova Marche

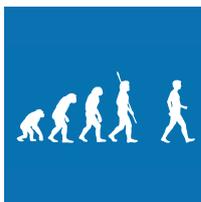
STEFANO PIERUCCI



24

**Compatibilità ed Invarianza Idraulica:**  
procedura e metodologie

FABIO ROSSI



31

#### Dubbi Certi

Recensioni semiserie e ironiche con intermezzi di amenità varie...

FABIO LATTANZI

a cura di **PIERO FARABOLLINI**  
Presidente pro tempore Ordine dei Geologi della Regione Marche



Care lettrici e cari lettori, mi sembra doveroso rimarcare qui la pubblicazione di una norma che sicuramente nel tempo dovrà essere ritoccata perché modifica ed introduce una serie di azioni che solo con il tempo si capirà la sua efficacia o inefficacia: il **“Codice dei contratti**

**pubblici in attuazione dell'articolo 1 della legge 21 giugno 2022, n. 78, recante delega al Governo in materia di contratti pubblici”**, pubblicato, sulla Gazzetta Ufficiale n.77, il decreto legislativo n.36 del 31 marzo 2023.

Il “Codice dei contratti pubblici” è la normativa che disciplina i rapporti tra la pubblica amministrazione e le società incaricate a svolgere determinate opere pubbliche; il Codice entra in vigore dal 1° aprile 2023 ma i suoi effetti si produrranno a partire dal 1° luglio 2023 (il decreto legislativo 50/2016, pertanto, resterà operativo in toto fino al 30 giugno 2023 per poi convivere col d.lgs. 36/2023 fino al 31/12/2023 e decadere completamente dal 1° gennaio 2024).

Senza commentare l'articolato (si tratta pur sempre di 229 articoli e di 24 allegati!) della norma, il nuovo Codice apporta diversi cambiamenti, non sempre migliorando quanto precedentemente in vigore, ma introduce anche alcuni aspetti molto importanti ed interessanti, quali: equo compenso (ma di questo bisogna poi fare un distinguo), 2 livelli di progettazione, nuovo RUP, BIM, appalti sotto-soglia, appalto integrato, revisione dei prezzi obbligatoria.

**L'articolo 8** "Principio di autonomia negoziale. Divieto di prestazioni d'opera intellettuale a titolo gratuito" sembra togliere ogni dubbio sulla questione del divieto di rendere (e di consentire) prestazioni gratis per la pubblica amministrazione, ma il comma 1 dispone che, *"nel perseguire le proprie finalità istituzionali le pubbliche amministrazioni sono dotate di autonomia negoziale e possono concludere qualsiasi contratto, anche gratuito, salvi i divieti espressamente previsti dal codice e da altre disposizioni di legge"*.

Le prestazioni d'opera intellettuale, in ogni caso, non possono essere rese dai professionisti gratuitamente. In tali casi la pubblica amministrazione garantisce comunque l'applicazione del principio dell'equo compenso. Resta ferma la facoltà dell'amministrazione di affidare incarichi a titolo gratuito a soggetti diversi da quelli indicati al primo periodo in presenza di un interesse economico dell'affidatario.

**L'articolo 15** è dedicato al responsabile unico del progetto (RUP), che 'prima' era il responsabile unico del procedimento. Al 'nuovo' RUP è affidata la responsabilità delle fasi di programmazione, progettazione, affidamento e per l'esecuzione di ciascuna procedura soggetta al codice.

Il responsabile dell'unità organizzativa titolare del potere di spesa nomina il RUP tra i dipendenti addetti all'unità medesima in possesso di competenze professionali adeguate in relazione ai compiti a lui affidati, nel rispetto dell'inquadramento contrattuale e delle relative mansioni.

Le stazioni appaltanti e gli enti concedenti che non sono pubbliche amministrazioni o enti pubblici individuano,

secondo i propri ordinamenti, uno o più soggetti cui affidare i compiti del RUP, limitatamente al rispetto delle norme del codice alla cui osservanza sono tenute. L'ufficio di RUP è obbligatorio e non può essere rifiutato. In caso di mancata nomina del RUP nell'atto di avvio dell'intervento pubblico, l'incarico è svolto dal medesimo responsabile di cui al primo periodo. Il nominativo del RUP è indicato nel bando o nell'avviso di indizione della gara, o, in mancanza, nell'invito a presentare un'offerta o nel provvedimento di affidamento diretto.

**L'articolo 21** prevede la “digitalizzazione del ciclo di vita dei contratti”, e cioè di tutte le fasi: programmazione, progettazione, pubblicazione, affidamento ed esecuzione.

**L'articolo 41** conferma l'addio al progetto definitivo del d.lgs. 50/2016.

Per gli interventi di manutenzione ordinaria o straordinaria può essere omesso il primo livello di progettazione a condizione che il progetto esecutivo contenga tutti gli elementi previsti per il livello omesso.

Gli oneri della progettazione, delle indagini, delle ricerche e degli studi connessi, compresi quelli relativi al dibattito pubblico, nonché della direzione dei lavori, della vigilanza, dei collaudi, delle prove e dei controlli sui prodotti e materiali, della redazione dei piani di sicurezza e di coordinamento, delle prestazioni professionali e specialistiche, necessari per la redazione del progetto, gravano sulle disponibilità finanziarie della stazione appaltante o dell'ente concedente.

**L'articolo 44** introduce l'appalto integrato progettazione-esecuzione lavori, vietato dal vecchio Codice. Si specifica che *"negli appalti di lavori complessi, con la decisione di contrarre, la stazione appaltante o l'ente concedente, se qualificata, può stabilire che il contratto abbia per oggetto la progettazione esecutiva e l'esecuzione dei lavori sulla base di un progetto di fattibilità tecnico-economica approvato"*.

Quando il contratto è affidato in tal modalità, gli operatori economici devono possedere i requisiti prescritti per i progettisti, oppure avvalersi di progettisti qualificati, da indicare nell'offerta, o partecipare in raggruppamento con soggetti qualificati per la progettazione. La qualificazione per la progettazione comprende anche l'uso di metodi e strumenti digitali per la gestione informativa mediante modellazione, cioè BIM. L'offerta viene valutata con il criterio dell'offerta economicamente più vantaggiosa (individuata sulla base del miglior rapporto qualità/prezzo) ed ha ad oggetto sia il progetto esecutivo che il prezzo, e indica distintamente il corrispettivo richiesto per la progettazione e per l'esecuzione dei lavori.

**L'articolo 45** è dedicato agli incentivi per le funzioni tecniche. Le stazioni appaltanti e gli enti concedenti destinano risorse finanziarie per le funzioni tecniche svolte dai dipendenti specificate nell'allegato XIV di cui al comma 1 e per le finalità indicate al comma 5, a valere sugli stanziamenti di cui al comma 1, in misura non superiore al 2 per cento dell'importo dei lavori, dei servizi e delle forniture, posto a base delle procedure di affidamento. Inoltre, l'80 per cento delle risorse di cui sopra, compresi anche gli oneri previdenziali e assistenziali a carico dell'amministrazione, è ripartito, per

ogni opera, lavoro, servizio e fornitura, tra il RUP e i soggetti che svolgono le funzioni tecniche indicate al comma 2, nonché tra i loro collaboratori. Gli importi sono comprensivi anche degli oneri previdenziali e assistenziali a carico dell'amministrazione. Al comma 4 si specifica che "per le amministrazioni che adottano i metodi e gli strumenti digitali per la gestione informativa dell'appalto (appunto il BIM) il limite di cui al primo periodo è aumentato del 15 per cento".

Gli **articoli da 50 a 55** si occupano degli appalti sotto soglia cristallizzando, di fatto, le novità che erano state apportate al d.lgs. 50/2016 in regime di pandemia COVID19.

Nello specifico:

- ▶ per gli affidamenti di lavori pubblici si prevede la possibilità di ricorrere all'affidamento diretto fino a 150mila euro, a procedure negoziate senza bando con 5 inviti tra 150mila euro e 1 milione e a procedure negoziate senza bando con 10 inviti fino alle soglie UE;
- ▶ Per gli affidamenti di servizi e forniture, inclusi i servizi di progettazione, sono previsti affidamenti diretti fino a 140mila euro e procedure senza bando oltre questa soglia e fino alle soglie UE.

Inoltre, l'esclusione automatica delle offerte cd. anomale è limitata agli affidamenti di lavori pubblici e servizi, ma non alle forniture, e dovranno essere le PA (stazioni appaltanti) a indicare uno dei tre modelli di esclusione automatica, i quali vengono descritti in un allegato.

Infine, non ci saranno più i 35 giorni di intervallo tra l'aggiudicazione all'appalto, così come viene ridotto a 30 giorni il tempo tra l'aggiudicazione e la firma del contratto.

L'**articolo 60**, al comma 1, prevede esplicitamente che nei documenti di gara iniziali delle procedure di affidamento è obbligatorio l'inserimento delle clausole di revisione prezzi. Tali clausole non apportano modifiche che possono alterare la natura generale del contratto o dell'accordo quadro ma si attivano al verificarsi di particolari condizioni di natura oggettiva, non prevedibili al momento della formulazione dell'offerta, che determinano una variazione del costo dell'opera, della fornitura o del servizio, sia in aumento che in diminuzione.

Di particolare rilevanza è senz'altro quanto inserito all'**articolo 119** sul subappalto. Il comma 17 dispone che le stazioni appaltanti indicano nei documenti di gara le prestazioni o lavorazioni oggetto del contratto di appalto che, pur subappaltabili, non possono formare oggetto di ulteriore subappalto, in ragione delle specifiche caratteristiche dell'appalto e dell'esigenza, tenuto conto della natura o della complessità delle prestazioni o delle lavorazioni da effettuare, di rafforzare il controllo delle attività di cantiere e più in generale dei luoghi di lavoro o di garantire una più intensa tutela delle condizioni di lavoro e della salute e sicurezza dei

lavoratori oppure di prevenire il rischio di infiltrazioni criminali. Si rende inoltre possibile l'ulteriore subappalto.

L'**articolo 120** tratta la Modifica dei contratti in corso di esecuzione, cioè le cosiddette varianti in corso d'opera, senza una nuova procedura di affidamento, ma solamente in casi particolari ne solo se l'eventuale aumento di prezzo non ecceda il 50 per cento del valore del contratto iniziale. In caso di più modifiche successive, la limitazione si applica al valore di ciascuna modifica.

Per concludere, l'Allegato I.13 prevede che, nella determinazione dei corrispettivi per la progettazione: **1)** le aliquote afferenti all'ex "progettazione preliminare" sono tutte confermate nel nuovo progetto di fattibilità tecnico-economica; **2)** le aliquote di interesse afferenti all'ex "progettazione definitiva" sono trasferite al nuovo progetto di fattibilità tecnico-economica. In sostanza, si legittima il cumulo dei parametri attualmente vigenti per la progettazione preliminare e definitiva per il calcolo dei compensi relativi al nuovo progetto di fattibilità tecnico-economica.

In merito a questo punto, infatti, il CNG, insieme alle altre professioni tecniche, sta lavorando all'aggiornamento del **decreto parametri**. In questa fase transitoria è stato ottenuto che nel PFTE, l'aliquota inerente alla Relazione Geologica ed agli altri sudi specialistici, fosse determinata dalla somma delle aliquote previste per il progetto preliminare e per il progetto definitivo del vecchio codice (ad esempio per la Relazione Geologica la nuova aliquota sarà pari alla somma Qbl.11+Qbl.13).

È altrettanto auspicabile che, nelle modifiche da apportare alla norma, vengano inserite prestazioni professionali non incluse, correggere alcuni errori che determinano valori dei corrispettivi palesemente sbagliati e integrare ed aggiornare le prestazioni relative alla fase di pianificazione e progettazione con introduzione della possibilità di determinare il valore dell'opera sulla base della superficie di studio. Il GdL della Rete Professioni di area Tecnica (RPT) ha ritenuto necessario inserire la voce relativa alla "progettazione e direzione lavori per indagini e prove (geo e stru) e per i piani di caratterizzazione e monitoraggio geologico ed ambientale e la voce relativa alla modellazione sismica del sottosuolo e RSL.

Non possiamo che auspicarci che tali richieste vadano a buon fine, ma già un importante passo avanti è stato fatto.

La norma, con tanto di allegati, versione originale e relazione introduttiva, è scaricabile al sito:

[www.bossetti-gatti.eu/info/norme/statali/2023\\_0036.htm](http://www.bossetti-gatti.eu/info/norme/statali/2023_0036.htm).

Buona lettura a tutti.



## Prossimo numero di Geologi Marche

Per l'invio delle proposte di articoli si prega di far riferimento al seguente recapito:

Fabrizio Bendia



[geol.bendia@gmail.com](mailto:geol.bendia@gmail.com)



# EPAP:

## Pensioni più consistenti agli iscritti

a cura di **WALTER BORGHI**

Componente del Consiglio di Amministrazione dell'EPAP - Ente di Previdenza e Assistenza Pluricategoriale

**G**li iscritti all'EPAP, Ente di Previdenza e Assistenza Pluricategoriale, avranno pensioni più consistenti senza oneri a loro carico.

Un cambiamento importante nella storia previdenziale di EPAP, reso possibile grazie alla approvazione delle modifiche al Regolamento di attuazione delle attività statutarie dell'Ente, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale in data 16 Aprile 2022.

Si tratta di un risultato di rilievo, fortemente voluto, che pone gli iscritti all'EPAP sempre più al centro del progetto dell'Ente.

Ma vediamo nel dettaglio quali sono le principali novità introdotte che comportano effetti previdenziali, con ricadute positive per gli iscritti.

La novità più importante è relativa all'incremento del montante pensionistico individuale conseguente all'aumento dal 2% al 4% dell'aliquota del contributo integrativo che il professionista iscritto all'EPAP è tenuto ad esporre in fattura a carico del committente. Tale maggiorazione del 2% sarà integralmente riversata sul montante previdenziale soggettivo dell'iscritto. Si avranno, di conseguenza, pensioni più alte senza oneri aggiuntivi per gli iscritti.

In buona sostanza, al contributo soggettivo che il professionista versa annualmente per costruire la propria pensione, si somma il corrispettivo derivante dal 50% del contributo integrativo sull'imponibile a carico del cliente.

Per fare un esempio pratico, un professionista che opti per l'aliquota minima del contributo soggettivo (pari al 10% del reddito professionale) costruirà il proprio montante pensionistico cumulando negli anni:

- a) I versamenti relativi al 10% del contributo soggettivo, debitamente rivalutati nei termini di legge;
- b) i versamenti relativi alla maggiorazione del 2% del contributo integrativo a carico del committente, debitamente rivalutati nei termini di legge.

L'incremento annuale del montante soggettivo sarà, di conseguenza, almeno pari al 20%, ma potrà risultare anche più elevato al crescere del rapporto annuale fra volume d'affari e reddito. A fronte di un incremento del 20% riferibile a volume d'affari e reddito coincidenti, si avrà un incremento del 30% laddove il volume d'affari risulti 1,5 volte il reddito e del 40% nel caso in cui il volume d'affari risulti 2,0 volte il reddito.

Il contributo integrativo del 4% andrà esposto nelle fatture emesse nei confronti di ogni tipologia di committente, quindi anche verso colleghi professionisti iscritti ad EPAP, nel "contesto di incarichi professionali unitari" sempre che il contributo integrativo sia stato applicato sull'intero corrispettivo dell'incarico unitario.

# LE NOVITÀ

## 1

**ALIQUOTA  
DEL CONTRIBUTO  
INTEGRATIVO**

dal **2%** → al **4%**

## 2

**MAGGIORE FLESSIBILITÀ  
NEI VERSAMENTI  
AFFERENTI ALLA  
SUPER-CONTRIBUZIONE**

dal 2020  
al 2021 + **20%**

## 3

**AMPLIAMENTO DEI PERIODI  
DEL RISCATTO CONTRIBUTIVO**



**RISCATTO LAUREA**

**+ PERIODO SERVIZIO MILITARE OBBLIGATORIO**

**+ SERVIZIO CIVILE / EQUIPARATO AL SERVIZIO MILITARE**

Una seconda novità introdotta è relativa alla maggior flessibilità nei versamenti previdenziali del contributo soggettivo eccedenti l'obbligo di legge del 10% del reddito professionale, ovvero i cosiddetti versamenti afferenti alla super-contribuzione.

Il numero di professionisti che ricorre alla super-contribuzione registra un trend in crescita negli ultimi anni (+ 20% circa nel 2021 rispetto al 2020). Si tratta di numeri ancora modesti in valore assoluto, ma di prospettiva interessanti e significativamente correlabili alla accresciuta consapevolezza previdenziale da parte degli iscritti.

Con le modifiche introdotte al Regolamento, l'iscritto che intende ricorrere alla super-contribuzione potrà quindi scegliere fra uno spettro molto più ampio di aliquote del contributo soggettivo fino al massimo dell'80% del reddito professionale passando per aliquote intermedie pari al 12-14-16-18-20-30-40-50-60%.

Questo, oltre a consentire, come ovvio, l'incremento del montante pensionistico soggettivo, consente, all'iscritto che ricorre alla super-contribuzione, di adattare al meglio i propri versamenti ai vari periodi lavorativi, tenuto conto che i redditi dei professionisti possono risultare soggetti a variazioni/oscillazioni anche importanti e repentine nel corso della vita professionale.

Da ultimo, una terza importante modifica che apporta un correttivo al vecchio Regolamento: l'ampliamento dei periodi del riscatto contributivo. A differenza del vecchio Regolamento che non contemplava la possibilità di riscatto del servizio militare, con il nuovo Regolamento in vigore dal 16 Aprile 2022 è stata infatti approvata la possibilità di poter incrementare il montante previdenziale degli iscritti riscattando, oltre agli anni di laurea già previsti prima della riforma, il periodo di servizio militare obbligatorio, quello di servizio civile sostitutivo e di servizio equiparato al servizio militare, non coperti da altre forme pensionistiche obbligatorie.

In conclusione, con le modifiche introdotte è stato approvato un robusto pacchetto di provvedimenti destinato:

- a) a migliorare la condizione previdenziale degli iscritti, che beneficeranno di pensioni più alte senza oneri a loro carico;
- b) ad ampliare il perimetro delle opportunità, attraverso una maggior flessibilità contributiva e una maggiore possibilità di riscatto contributivo.



# INDAGINE IDROGEOLOGICA

## finalizzata alla valutazione delle potenzialità, sfruttamento e salvaguardia della falda alluvionale nell'area del Campo Pozzi dell'Acquedotto del Comune di Civitanova Marche

a cura di **STEFANO PIERUCCI**  
Geologo

### ► RIASSUNTO

L'indagine idrogeologica nell'area del Campo Pozzi dell'Acquedotto del Comune di Civitanova Marche è stata eseguita per una valutazione delle potenzialità dell'acquifero, per uno sfruttamento più consapevole della risorsa e per la salvaguardia della falda alluvionale.

La stessa si è articolata in una prima fase attraverso la ricerca bibliografico-storica, con la raccolta di tutti gli studi precedentemente eseguiti nell'area, del materiale utile per la ricostruzione dell'evoluzione geomorfologica e delle analisi chimico-fisiche sui campioni di acqua prelevati dai pozzi dell'acquedotto e circostanti.

Nella seconda fase invece si sono eseguite ulteriori indagini che hanno consentito la puntuale ricostruzione della struttura dell'acquifero, delle modalità di circolazione e dei rapporti tra le varie aree, per una migliore gestione e utilizzazione della risorsa.

Sono stati effettuati nuovi campionamenti su tutti i pozzi ed in due pozzi esterni lato sud, con esecuzione di analisi chimico-fisiche, mentre per la ricostruzione della stratigrafia dei vari litotipi si sono eseguite 15 prove penetrometriche super pesanti tipo DPSH ed infine per valutare l'andamento del substrato impermeabile argilloso sono stati fatti 16 Sondaggi Elettrici Verticali (SEV).

Di notevole ausilio è stato anche lo studio integrato dell'archeologia della zona, con l'assetto idrogeologico dell'area, tale comparazione ha infatti consentito di ricostruire le variazioni geomorfologiche della bassa valle del fiume Chienti in epoca storica.

### ► LINEAMENTI CLIMATICI

I dati relativi alle precipitazioni sono stati essenzialmente acquisiti per verificare se esista e quali caratteri abbia, la relazione tra le variazioni di concentrazione di inquinanti nelle acque di falda e il ciclo idrologico annuale. La stazione di rilevamento è collocata all'interno del campo pozzi.

Le altezze di pioggia (**Tab. 1**) si riferiscono al periodo gennaio 1977 – settembre 2005.

Il pluviogramma relativo alla media delle precipitazioni per tale intervallo di tempo<sup>1</sup> (**Fig. 1**) evidenzia un regime caratterizzato da un massimo e un minimo assoluti che cadono rispettivamente nella stagione autunnale (novembre: 77 mm) ed estiva (luglio: 40 mm); un massimo ed un minimo relativi si collocano all'inizio della stagione invernale (dicembre: 74 mm) e al termine della stessa (febbraio: 42 mm).

Gli anni 1999, 2002 e, in minor misura, 2004, presentano una piovosità nettamente superiore alla media; il 2003 registra invece una piovosità totale inferiore al valore medio del periodo considerato.

### ► QUALITÀ DELLE ACQUE SOTTERRANEE

#### Temperatura

I dati reperibili in bibliografia indicano, per la bassa pianura del F. Chienti, una temperatura delle acque di subalveo variabile tra 13.0 e 15.0 °C, una distribuzione relativamente omogenea ed una costanza dei valori termometrici maggiore rispetto ad altri corsi d'acqua marchigiani (Nanni, 1991). Le aree a temperatura maggiore, pur variando l'estensione da

Tab. 1

GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOT
46	42	47	56	46	54	40	51	70	58	77	74	663

Tab. 1 Precipitazioni dell'anno medio (in mm) rilevate alla stazione di Civitanova M.; media su 29 anni per il periodo dal 1977 al 2005.

<sup>1</sup> Si ricorda che viene definito anno medio quello costituito dalle altezze di pioggia mensili riferite ad almeno un trentennio.

Fig. 1

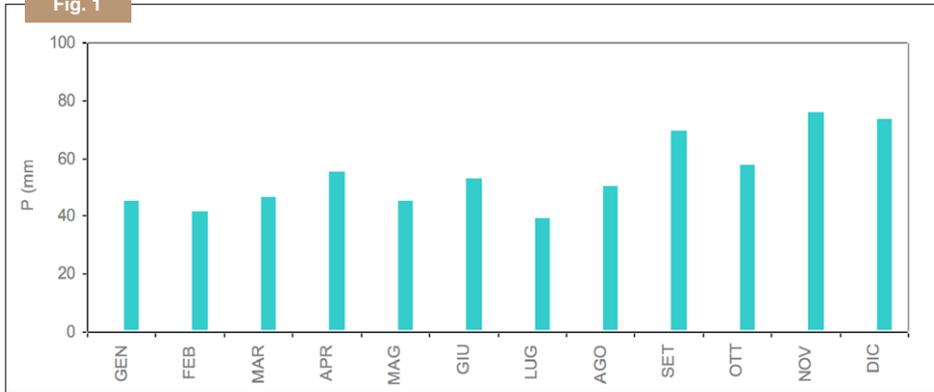
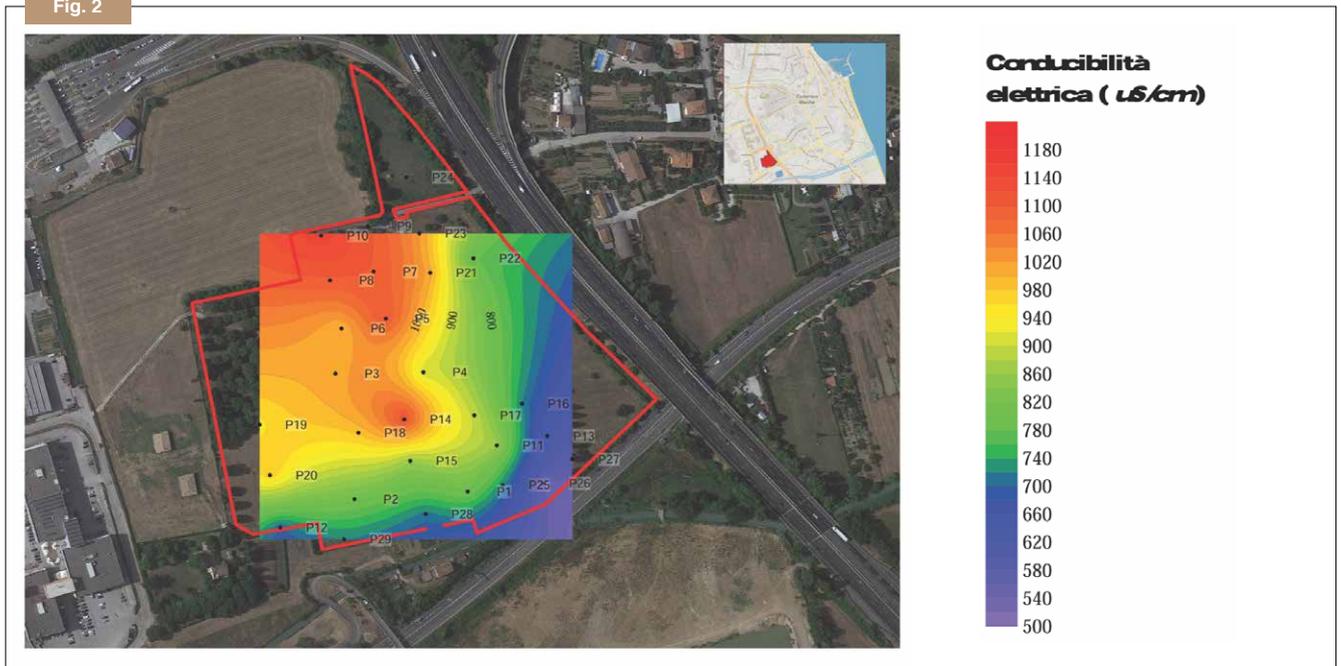


Fig. 2



una stagione all'altra, mostrano una persistenza annuale; la temperatura delle acque sotterranee è inoltre fortemente influenzata, in particolare nei terrazzi bassi, dall'infiltrazione delle acque superficiali del fiume (i subalvei sono infatti in gran parte ricaricati dalle acque superficiali<sup>2</sup>). Negli acquiferi di subalveo la circolazione idrica è pertanto molto veloce ed ha un ciclo annuale o di poco superiore.

Gli unici dati di temperatura puntualmente riferiti all'area del campo pozzi si ritrovano in Conti & Antinori (1989). I valori variano da 14.0 a circa 17.0 °C e mostrano una distribuzione in due fasce: a temperatura maggiore quella settentrionale, minore quella meridionale, in connessione forse ad una alimentazione laterale delle acque superficiale del F. Chienti verso il subalveo in sinistra idrografica, limitata però alla porzione meridionale del campo pozzi.

### Conducibilità elettrica e durezza delle acque

I valori di conducibilità elettrica (omogeneizzata a 20°C) variano da meno di 600 a più di 1100 µS/cm. Sulla base di questi dati è stata elaborata una carta della conducibilità elettrica (Fig. 2); la figura 2, di lettura immediata, evidenzia in colore le fasce di isoconducibilità<sup>3</sup>.

Si evidenzia, analogamente a quanto visto per la temperatura, una distribuzione areale in due fasce subparallele, con quella a minor tenore salino prossima all'asta del F. Chienti.

Per i pozzi più vicini al corso d'acqua (es. pozzi 26, 27) la conducibilità elettrica è praticamente identica a quella delle acque superficiali del F. Chienti<sup>4</sup>.

In relazione alla durezza, le acque del campo pozzi si classificano come *dure* (durezza compresa tra 33 e 54 °F), ad eccezione di quelle pompate dai pozzi 13, 26, 27

Fig. 1 Precipitazioni dell'anno medio (in mm) rilevate alla stazione di Civitanova M.; media su 29 anni per il periodo dal 1977 al 2005 (Osservatorio Geofisico sperimentale di Macerata).

Fig. 2 Conducibilità elettrica (unità di misura microS/cm micro indicato con lettera greca u, carattere symbol - no uS/cm).

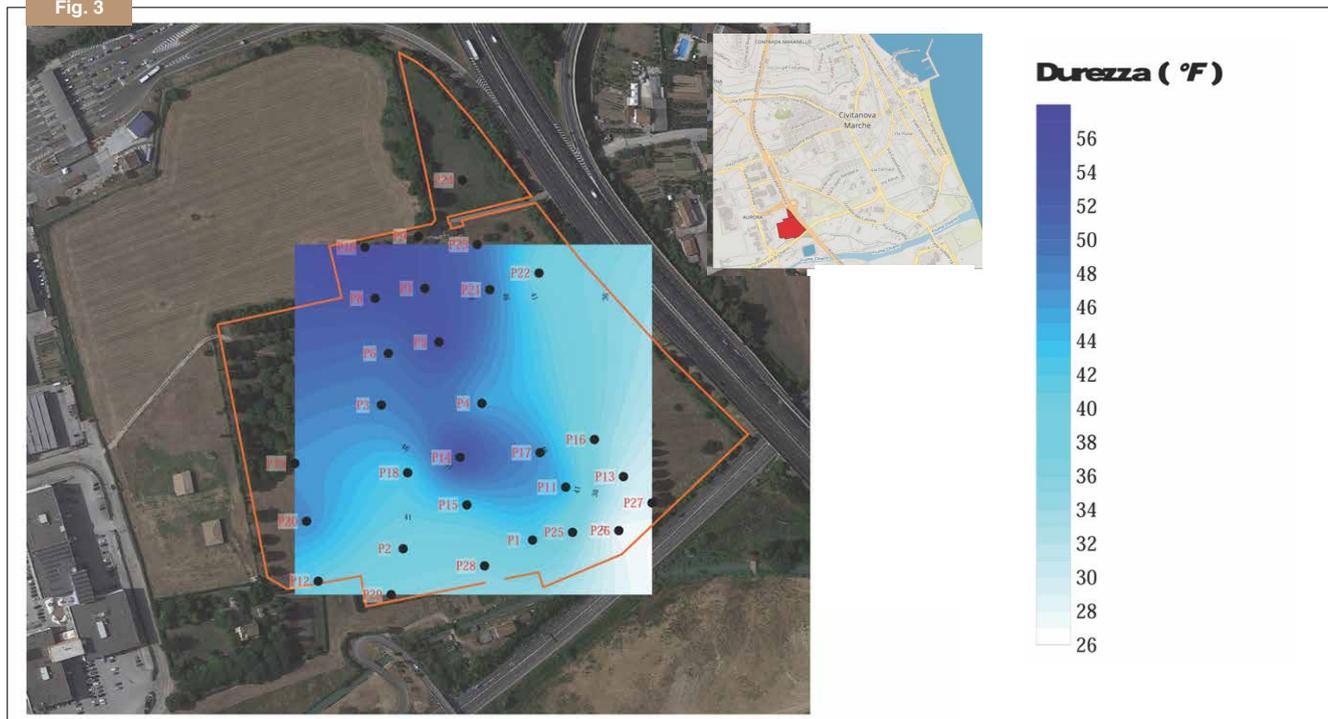
2 Nelle zone degli acquiferi lontano dall'alveo o non attraversate da affluenti si osserva una minore escursione termica.

3 Si hanno a disposizione sei campionamenti, da settembre 2003 a febbraio 2004, ad esclusione dei pozzi 2, 3, 7, 8, 9 e 24. Alcuni dati, riferiti ad un solo campionamento effettuato dalla USL 16 nell'aprile - maggio 1991, sono contenuti in Corvatta & Leoperdi (1993). Pur contenendo valori della conducibilità elettrica per i pozzi mancanti, si è ritenuto di non utilizzarli in quanto riferiti al periodo di morbida della falda (ed infatti i valori riportati per gli altri pozzi sono sensibilmente inferiori a quelli medi).

4 Nanni (1985, 1991) riporta valori compresi tra 400 e 500 µS/cm; in Corvatta & Leoperdi (1993) sono riportati i seguenti valori: (A: campionamenti eseguiti nel Comune di Morrovalle; B: Comune di Montecosaro; C: Comune di Civitanova Marche):

	A	B	C			
	16/09/92	01/12/92	16/09/92	01/12/92	16/09/92	30/11/92
conducibilità elettrica	475	450	440	510	460	640
durezza	20	24	22	24	20	30
NO <sub>3</sub> -	8,1	11	7,6	12	14,5	27,6
1,1,1 - TCE (mg/L)	0	0	0	0	2,8	0,3

Fig. 3



Tab. 2

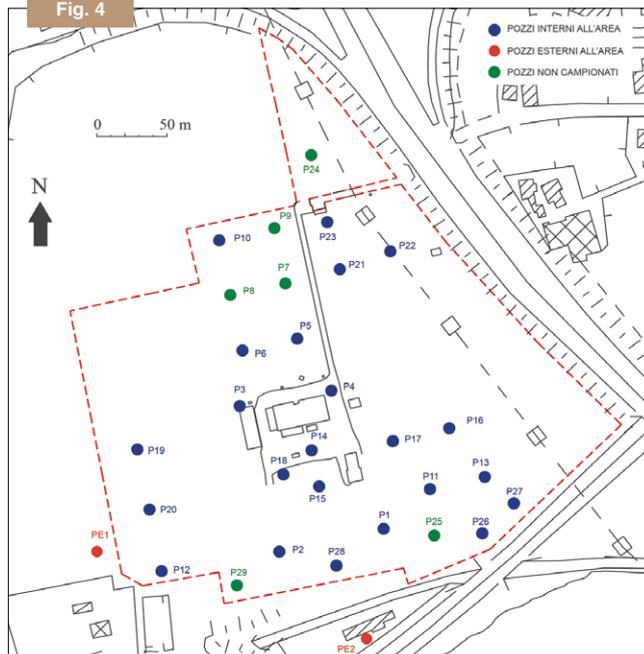
temperatura	residuo fisso	conducibilità elettrica	durezza
fredde	medio minerali	medio minerali	dure, mediamente dure (solo per i pozzi 13, 26, 27)

(mediamente dure, durezza compresa tra 23 e 32 °F); le acque dei pozzi 16, 28, 29, pur ricadendo formalmente nella classe delle acque *dure*, si collocano al limite inferiore della fascia (la durezza delle acque emunte è poco superiore a 35 °F). Analogamente a quanto visto per temperatura e conducibilità elettrica<sup>5</sup>, i valori di durezza si distribuiscono secondo due fasce ben distinte con un gradiente positivo dal lembo meridionale a quello settentrionale dell'area (Fig. 3). Nella Tab. 2 è riportata una classificazione delle acque riguardo ai parametri chimico – fisici discussi.

### Caratteri chimici

Alcuni dati chimici relativi ad analisi non recenti, qui non riportate ed effettuate dalle competenti autorità di controllo, si riferiscono agli anni 1985, 1986, 1988 (USL 15 Macerata). Nel marzo del 2006 sono stati effettuati nuovi campionamenti su quasi tutti i pozzi della centrale di sollevamento (con l'esclusione del 29) e su due pozzi ubicati nelle immediate vicinanze dell'area<sup>6</sup> (Fig.4). Entrambi i pozzi esterni sono intestati nelle ghiaie e sabbie dell'acquifero superficiale (profondità circa 10 m).

Fig. 4



Le analisi chimiche sulle acque hanno riguardato i principali parametri chimico – fisici necessari alla loro caratterizzazione idrochimica.

Il chimismo delle acque è di tipo bicarbonato-calcico, con un rapporto tra i vari elementi chimici riconducibile allo schema:  $rCa^{2+} > rNa^+ > rMg^{2+} > rK^+ = rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-}$ . Il tenore salino varia da 375 mg/l (P<sub>27</sub>) a 775 mg/l (P<sub>10</sub>); nella Tab. 3 sono riportati i principali rapporti ionici ( $SO_4^{2-}/Cl^-$ ;  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$ ;  $K^+/Na^+$ ;  $Na^+/Cl^-$ ;  $HCO_3^-/rSO_4^{2-}$ ).

Fig. 3 Carta della Durezza delle acque nell'area del campo pozzi con evidenziato il limite dell'area e l'ubicazione dei pozzi.

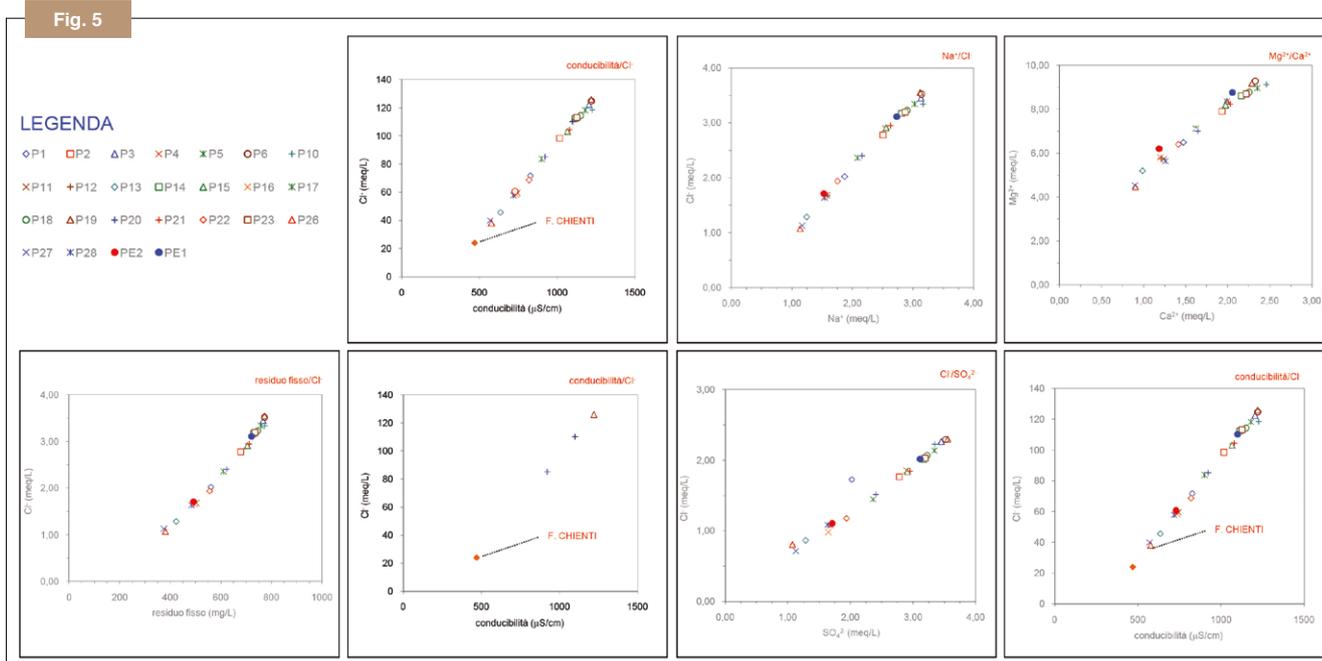
Fig. 4 Pozzi interni (ed esterni) all'area del campo pozzi di Civitanova Marche sottoposti a campionamento delle acque nel marzo del 2006.

Tab. 2 Classificazione delle acque emunte dai pozzi della centrale di sollevamento di Civitanova Marche.

<sup>5</sup> Per quanto riguarda la conducibilità elettrica ciò è del tutto naturale, in quanto essa è strettamente connessa al residuo fisso e, dunque, alla durezza delle acque.

<sup>6</sup> Il pozzo esterno denominato PE1 corrisponde al pozzo 273 di Corvatta & Leoperdi (1993); vedi fig. 4.

Tab. 3	$rSO_4^{2-}/rCl^-$	$rMg^{2+}/rCa^{2+}$	$rK^+/rNa^+$	$rNa^+/rCl^-$	$rHCO_3^-/rSO_4^{2-}$
P <sub>1</sub>	0,85	0,23	0,05	0,92	2,70
P <sub>2</sub>	0,64	0,24	0,04	0,90	2,97
P <sub>3</sub>	0,66	0,26	0,03	0,91	2,64
P <sub>4</sub>	0,64	0,24	0,04	0,88	2,85
P <sub>5</sub>	0,64	0,26	0,03	0,91	2,80
P <sub>6</sub>	0,65	0,25	0,04	0,89	2,61
P <sub>10</sub>	0,67	0,27	0,03	0,95	2,75
P <sub>11</sub>	0,64	0,22	0,06	0,94	4,08
P <sub>12</sub>	0,65	0,21	0,05	0,94	3,99
P <sub>13</sub>	0,67	0,19	0,07	0,97	4,74
P <sub>14</sub>	0,64	0,25	0,04	0,89	2,86
P <sub>15</sub>	0,63	0,24	0,04	0,88	2,95
P <sub>16</sub>	0,60	0,21	0,06	0,93	4,58
P <sub>17</sub>	0,61	0,23	0,05	0,88	3,53
P <sub>18</sub>	0,64	0,26	0,04	0,90	2,82
P <sub>19</sub>	0,65	0,25	0,03	0,88	2,54
P <sub>20</sub>	0,63	0,23	0,04	0,90	3,27
P <sub>21</sub>	0,63	0,25	0,04	0,89	3,07
P <sub>22</sub>	0,61	0,22	0,05	0,90	4,01
P <sub>23</sub>	0,64	0,26	0,04	0,90	2,82
P <sub>26</sub>	0,75	0,20	0,07	1,06	4,55
P <sub>27</sub>	0,63	0,20	0,06	1,04	5,38
P <sub>28</sub>	0,67	0,22	0,06	0,94	3,97
PE2	0,65	0,19	0,06	0,89	3,97
PE1	0,65	0,23	0,04	0,88	2,78



Nella **figura 5** sono riportati alcuni dei più significativi diagrammi di correlazione ( $Na^+/Cl^-$ ,  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$ ,  $Cl^-/SO_4^{2-}$ , conducibilità/ $Cl^-$ , residuo fisso/ $Cl^-$ ), utilizzati per l'individuazione di fenomeni di mescolamento e di famiglie di acque con simili caratteristiche idrochimiche.

In tutti i diagrammi i punti d'acqua si allineano lungo un'unica retta di correlazione, evidenziando l'esistenza di fenomeni di mescolamento e diluizione, in diverse proporzioni, di acque

aventi composizione chimica simile a quella dei campioni posti agli estremi dell'allineamento stesso (acque a minor mineralizzazione: pozzi 11, 13, 16, 1, 2; acqua a maggior mineralizzazione: pozzi 10, 8, 9, 3, 6, 19). Le acque superficiali del F. Chienti (analisi in Corvatta & Leopardi, 1993, riportati in *nota 4*) si collocano in basso a sinistra dell'allineamento individuato.

Tab. 3 Principali rapporti ionici caratteristici per le acque emunte dai pozzi della Centrale di sollevamento di Civitanova Marche (analisi relative al mese di marzo 2006).

Fig. 5 Principali diagrammi di correlazione.

Fig. 6

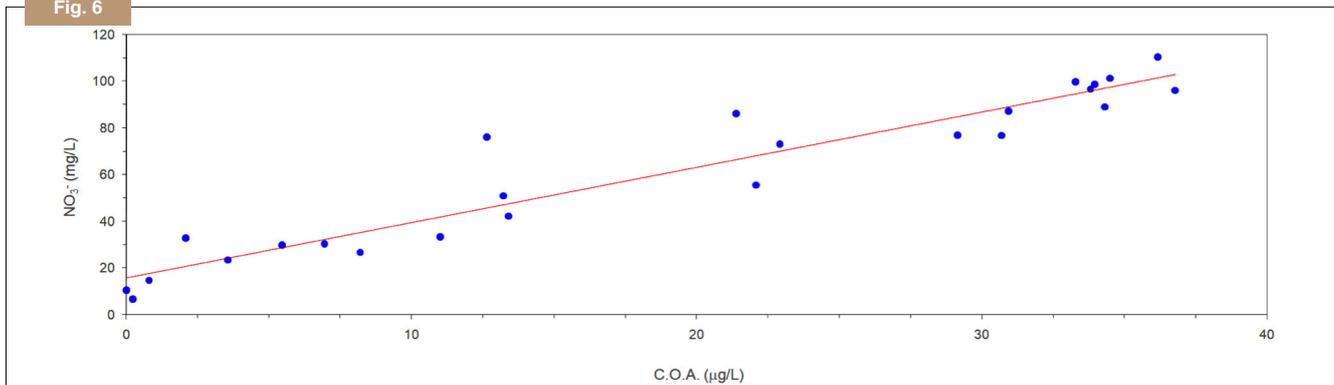


Fig. 7

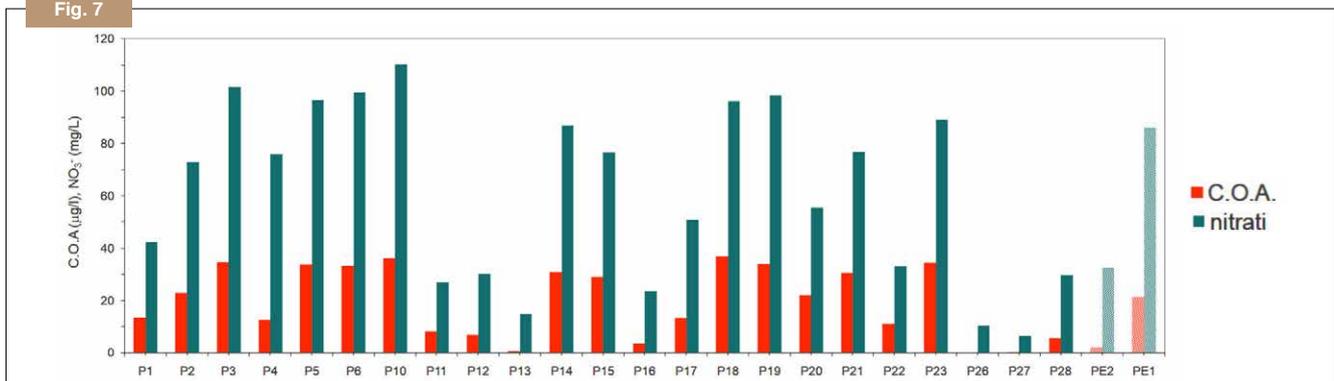
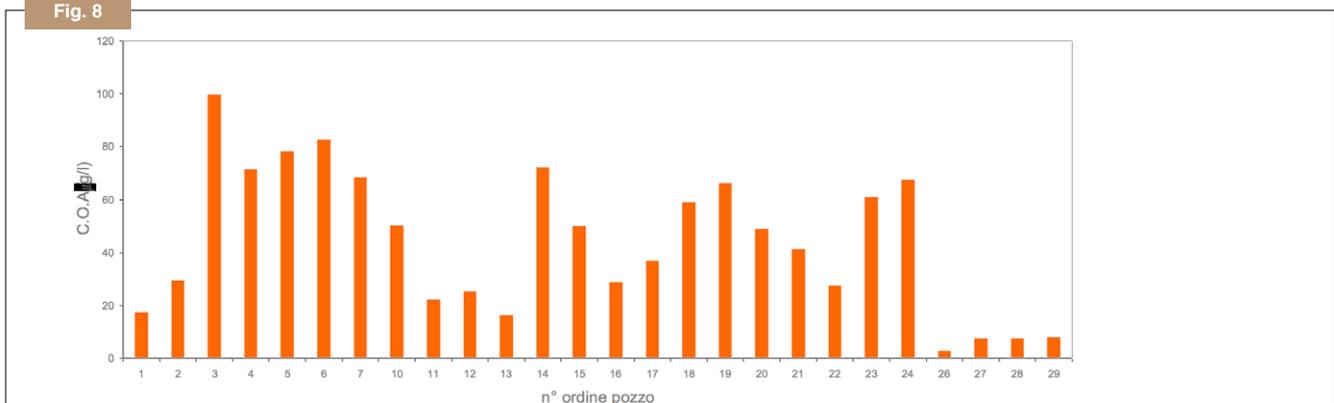


Fig. 8



Negli stessi diagrammi sono plottati i punti d'acqua relativi ai due pozzi esterni campionati (PE1, PE2) **Fig. 4**. Si rileva che la qualità delle acque prelevate nel pozzo esterno posto più a sud (PE2), pur provenendo dalla prima falda, è sostanzialmente buona e non dissimile da quella delle acque emunte dall'acquifero profondo intercettato dai pozzi della fascia meridionale dell'area (in pratica coincidente con quella dei pozzi P28, P12, P16, P11); similmente i parametri fisico – chimici relativi al pozzo PE1 si correlano in maniera soddisfacente con quelli dei pozzi, più inquinati, della fascia più a nord (anche se pescanti sul secondo acquifero: es. P14, P23, P21, P18); ciò è valido anche per quanto riguarda i due principali parametri indicativi dello stato di inquinamento e vulnerabilità dell'acquifero (composti organici alogenati e nitrati, **Figg. 6 e 7**).

Le acque bicarbonato – calciche del subalveo derivano dall'infiltrazione delle acque fluviali di origine appenninica, con la medesima facies chimica (Nanni, 1991).

### I composti organici alogenati

I dati relativi ad analisi effettuate dall'ARPAM per il periodo settembre 1997 – marzo 2004 e dalla Multiservizi s.p.a. per il periodo aprile 2004 – febbraio 2006<sup>7</sup> hanno riportato il contenuto in C.O.A. (1,1,1 – tricloroetano, tetracloroetilene, tricloroetilene) nelle acque emunte dai pozzi della centrale di sollevamento di Civitanova Marche.

Per i pozzi 7 e 24 le analisi si interrompono rispettivamente a novembre e ad agosto del 2001; nel corso del 2002 sono entrati in funzione, sostituendoli, i pozzi 28 e 29, le cui prime analisi sono relative al novembre dello stesso anno; per i pozzi 8, 9 e 25 non si dispone di analisi<sup>8</sup>.

A parte le eccezioni costituite, come si è detto, dai pozzi dismessi precocemente e da quelli entrati in funzione più recentemente, si hanno a disposizione i valori di C.O.A. provenienti da circa 90 campionamenti. Nel grafico di **figura 8** sono riportati i valori medi relativi al periodo considerato. In funzione del contenuto medio in composti

Fig. 6 Diagramma di correlazione C.O.A. / nitrati.

Fig. 7 Contenuto in nitrati nelle acque emunte dai pozzi della centrale di sollevamento di Civitanova Marche, confrontato con quello in composti organici alogenati (analisi marzo 2006).

Fig. 8 Valori medi del contenuto in C.O.A. (composti organici alogenati: tricloroetano, percloroetilene, tricloroetilene), nelle acque emunte dai pozzi della centrale di sollevamento di Civitanova Marche (settembre 1997 - febbraio 2006).

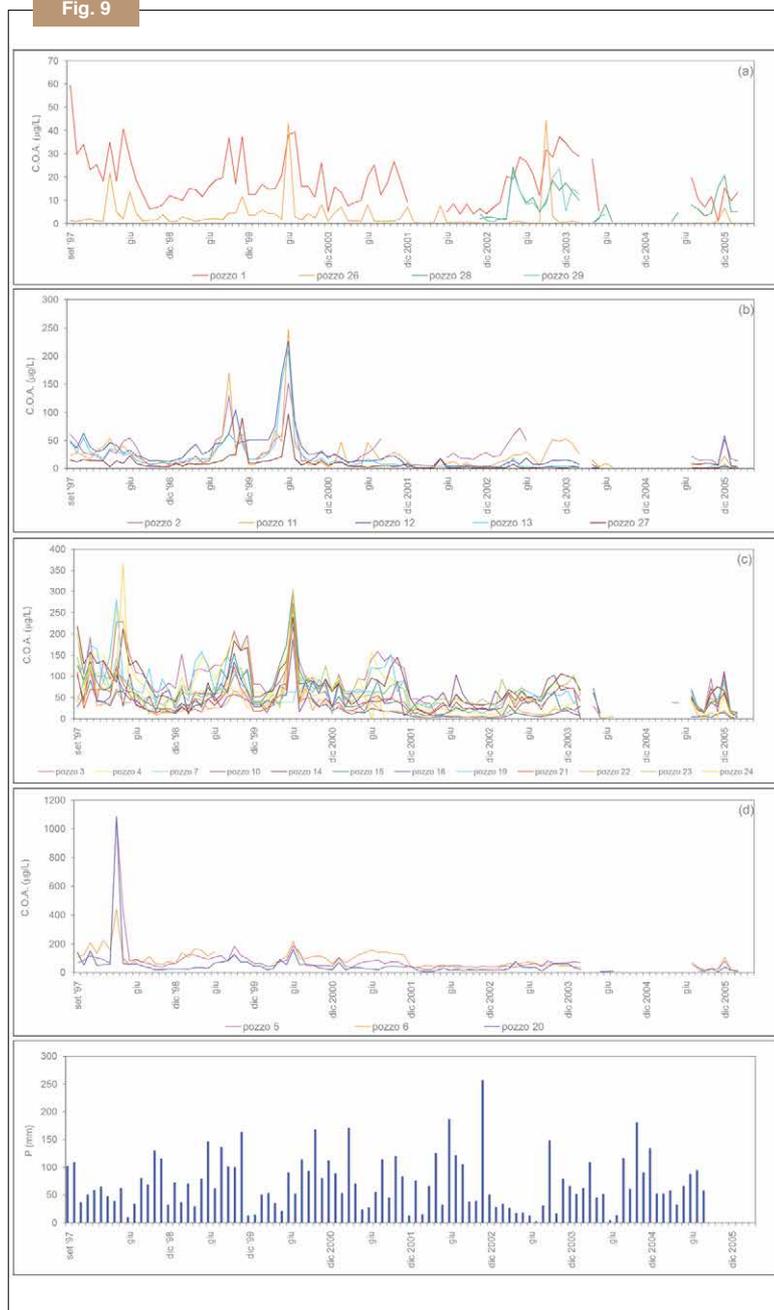
<sup>7</sup> Alcuni dati, qui non riportati e riferiti a 5 - 10 campionamenti (a seconda dei pozzi) effettuati dalla USL e dalla società Acquagest nel periodo 1991 – 1993, sono contenuti in Corvatta & Leoperdi (1993).

<sup>8</sup> Il pozzo 25, data la sua scarsa produttività, connessa principalmente alle modalità di realizzazione, non è mai stato utilizzato per il pompaggio (Taddei, 1996).

Tab. 4

classe	contenuto medio in composti organici alogenati, C.O.A. ( $\mu\text{g/L}$ )	pozzi n°
I	< 10	26, 27, 28, 29
II	10 ÷ 30	13, 1, 11, 12, 22
III	30 ÷ 50	16, 2, 17, 21, 20
IV	50 ÷ 70	15, 10, 18, 23, 19, 24, 7
V	> 70	4, 14, 5, 6, 3

Fig. 9



Tab. 4 Contenuto medio in C.O.A. nelle acque dei 26 pozzi della centrale di sollevamento di Civitanova Marche (settembre 1997 – febbraio 2006).

Fig. 9 Variabilità del contenuto in C.O.A. nelle acque del campo pozzi di Civitanova M. (gennaio 1997 - febbraio 2006), relazionata alle piogge dello stesso periodo (istogramma). Per problemi di rappresentazione in scala e al fine di rendere evidenti, per quanto possibile, le variazioni nel contenuto in C.O.A. per tutti i pozzi, sono stati elaborati quattro grafici: a) pozzi con bassi tenori medi in C.O.A., b) pozzi con bassi tenori medi in C.O.A. ma picchi elevati, c) pozzi con tenori medi elevati in C.O.A., d) pozzi con tenori medi elevati in C.O.A. e picchi elevatissimi.

9 Per problemi di rappresentazione in scala e al fine di rendere evidenti le variazioni nel contenuto in C.O.A. per tutti i pozzi, sono stati elaborati quattro grafici: a) pozzi con bassi tenori in C.O.A., b) pozzi con bassi tenori medi in C.O.A. ma picchi elevati, c) pozzi con tenori medi elevati in C.O.A., d) pozzi con tenori medi elevati in C.O.A. e picchi elevatissimi.

10 Come già evidenziato, d'altronde, da Corvatta & Leoperdi (1993).

11 I pozzi 28, 29 (fascia I) non erano all'epoca ancora entrati in funzione.

12 È infatti diminuito il contributo all'inquinamento del tricloroetano e del tricloroetilene, attualmente trascurabili, presumibilmente sostituiti nei cicli produttivi dal tetracloroetilene, più tossico.

organici alogenati, sono state arbitrariamente individuate cinque classi che definiscono, tra i 26 totali, gruppi di pozzi il cui contenuto in C.O.A. si colloca entro fasce omogenee (Tab. 4). Nell'ambito di ciascuna fascia i pozzi sono elencati (ultima colonna a destra della tabella) in ordine crescente del contenuto in C.O.A.

Tra i pozzi con il contenuto maggiore in C.O.A. (> 70  $\mu\text{g/L}$ , classe V), il valore in assoluto più elevato (circa 100  $\mu\text{g/L}$ ) è relativo al pozzo 3; il pozzo meno inquinato da C.O.A. è invece il 26, con un tenore medio di poco superiore a 3  $\mu\text{g/L}$ .

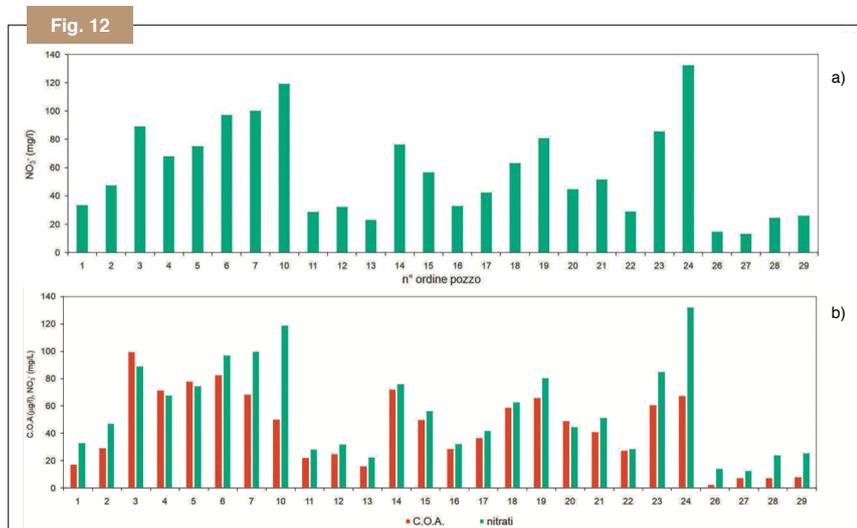
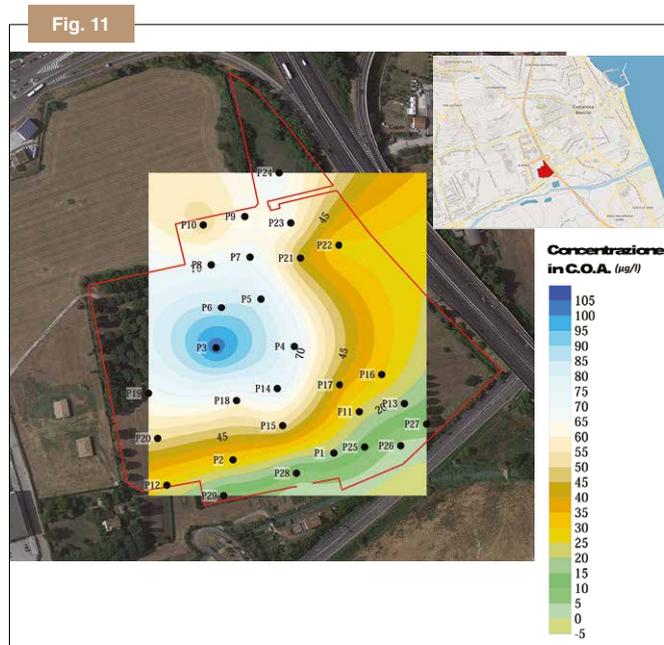
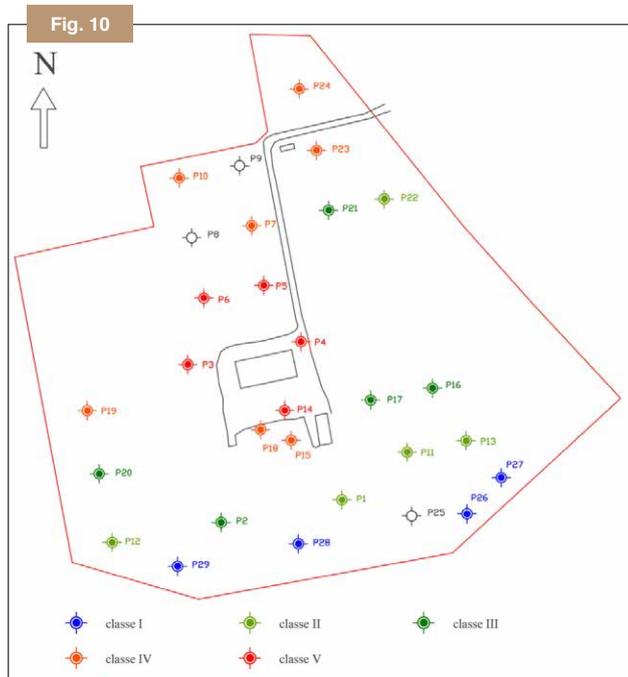
Nella figura 9 è riportata l'andamento della concentrazione in C.O.A. relazionata alle piogge dello stesso periodo<sup>9</sup>.

I grafici mostrano in generale una notevole variabilità; è tuttavia problematico individuare una chiara relazione con le piogge<sup>10</sup>: i picchi in C.O.A. si ritrovano in concomitanza sia di elevate che di modeste precipitazioni. Ciò è d'altronde prevedibile se si pensa che l'immissione di tali inquinanti in falda può seguire dinamiche del tutto estranee al sistema fisico.

Per tutti i pozzi<sup>11</sup>, anche quelli meno inquinati (ex. pozzi 26, 28, 29, 27 – fascia I; pozzi 13, 1, 11, 12, 22 – fascia II), si individuano alcuni episodi caratterizzati da picchi anomali nel contenuto in C.O.A.

Uno di questi, evidente in tutta l'area del campo pozzi, si è avuto nel giugno del 2000; analogamente nei mesi di marzo – aprile 1998 (nei pozzi 5, 6, 20 si sono raggiunte le concentrazioni in assoluto più elevate per tutto il periodo 1997 – 2006, addirittura superiori a 1000  $\mu\text{g/L}$  nei pozzi 5 e 20).

Per la generalità dei pozzi il contenuto in composti organici alogenati sembra evidenziare una tendenza alla diminuzione su lungo periodo, elemento peraltro già rilevato nelle relazioni ARPAM. Tale diminuzione, rassicurante da un punto di vista meramente quantitativo, non lo è altrettanto da un punto di vista della qualità della risorsa<sup>12</sup>.



**Tab. 5**

classe	contenuto medio in composti organici alogenati, C.O.A. (µg/L)	pozzi n°
I	< 20	27, 26
II	20 ÷ 40	13, 28, 29, 11, 22, 12, 16, 1
III	40 ÷ 60	17, 20, 2, 21, 15
IV	60 ÷ 80	18, 4, 5, 14
V	> 80	19, 23, 3, 6, 7, 10, 24

La **figura 10** riporta l'ubicazione dei pozzi della centrale di sollevamento, il contenuto medio in C.O.A. per il periodo di riferimento (settembre 1997 – febbraio 2006) e la distribuzione areale in riferimento alle classi (dalla I alla V) individuate **Tab.4**.

Sulla base di questi dati è stata elaborata la carta delle curve di isocontaminante (**Fig.11**); la **figura 11**, di lettura immediata, evidenzia in colore le fasce di concentrazione in C.O.A. L'area più inquinata corrisponde alla porzione settentrionale e centrale del campo pozzi, mentre quella meno interessata da inquinamento assume l'aspetto di una fascia allungata in direzione circa OSO – ENE nel lembo meridionale dell'area, con un ampliamento verso NE a comprendere il pozzo 22.

### I nitrati

I dati sono relativi ad analisi effettuate dalla società Aquagest per il periodo gennaio 1997 – agosto 2003, dall'ARPAM per il periodo settembre 2003 – marzo 2004 e dalla Multiservizi s.p.a. per il periodo da aprile 2004 a febbraio 2006<sup>13</sup>. I grafici di **figura 12** riportano i valori medi relativi al periodo considerato (**Fig. a**), confrontati (**Fig. b**) con quelli in C.O.A. Come per i composti organici alogenati, sono state individuate cinque classi di pozzi in base al contenuto medio in nitrati (**Tab. 5**); per ciascuna fascia i pozzi sono elencati (ultima colonna a destra) in ordine crescente del contenuto in nitrati<sup>14</sup>.

Il valore medio più elevato (circa 120 mg/L) è relativo al

**Fig. 10** Contenuto medio in composti organici alogenati (C.O.A.) nelle acque dei pozzi della centrale di sollevamento di Civitanova Marche (periodo settembre 1997 – febbraio 2006).

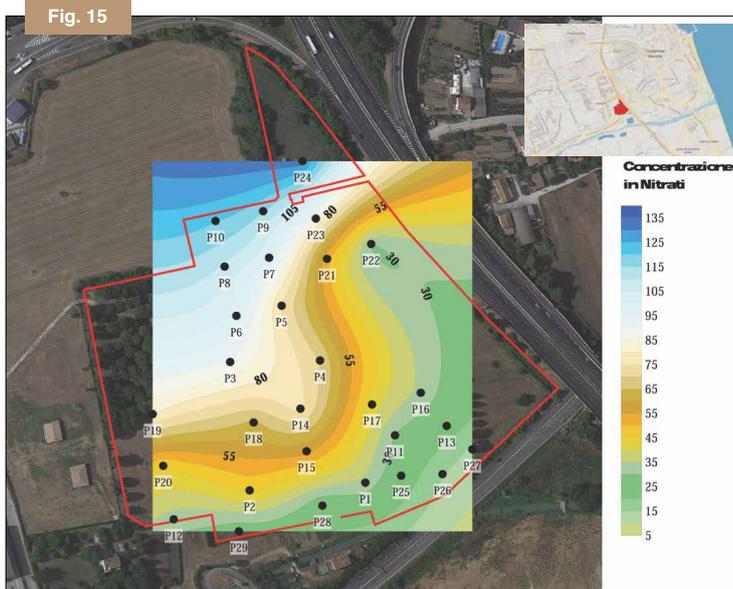
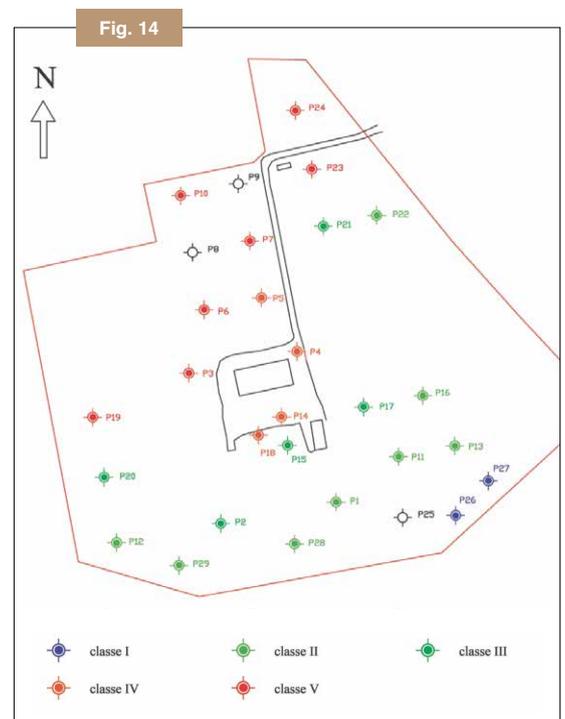
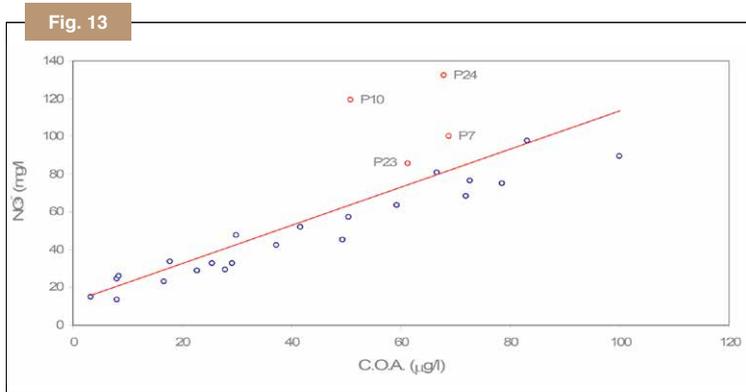
**Fig. 11** Carta delle curve di isocontaminante nell'area del campo pozzi con evidenziato il limite dell'area e l'ubicazione dei pozzi, inoltre vengono evidenziati in colore le fasce di concentrazione di C.O.A.

**Fig. 12** Valori medi del contenuto in nitrati nelle acque emunte dai pozzi della centrale di sollevamento di Civitanova Marche (a); confronto contenuto medio C.O.A. e nitrati (b); periodo settembre 1997 - febbraio 2006.

**Tab. 5** Contenuto medio in nitrati nelle acque dei 26 pozzi della centrale di sollevamento di Civitanova Marche (gennaio 1997 – febbraio 2006).

<sup>13</sup> Alcuni dati, qui non riportati e riferiti a 4 campionamenti effettuati dalla USL 16 nel periodo 1991 – 1992, sono contenuti in Corvatta & Leoperdi (1993). Analisi riferite ad un ventennio fa (anni dal 1985 al 1988) contengono alcuni dati relativi alle concentrazioni in nitrati e alla conducibilità elettrica delle acque; anche a motivo della disomogeneità nelle modalità di campionamento e analisi rispetto a quelle qui riportate (settembre 1997 – febbraio 2006) si è ritenuto di non utilizzarle.

<sup>14</sup> Si ricorda che il contenuto in nitrati nelle acque pure (assolutamente non antropizzate) dovrebbe variare da 0 a 5 mg/L; valori prossimi a zero indicano assenza di suoli in grado di sostenere l'attività batterica; valori di 1 – 3 mg/L sono tipici, alle latitudini italiane, dei boschi di conifere o delle coperture prative di montagna, mentre tenori di 4 – 5 mg/L caratterizzano le percolazioni da boschi di latifoglie. Le aree prative infine rilasciano tenori in nitrati compresi tra 6 – 10 mg/L (prati di graminacee) e 8 – 15 mg/L (prati di leguminose). L'attività antropica cede invece grandi quantità di composti azotati nelle aree a coltura intensiva, come la bassa pianura del F. Chienti., tramite i concimi organici ed i fertilizzanti sintetici azotati. I primi arricchiscono il suolo di azoto che si traduce in aumenti del tenore in ione nitrato sino a concentrazioni di oltre 50 mg/L; lo spargimento di fertilizzanti sintetici causa aumenti del contenuto in nitrati che localmente possono raggiungere concentrazioni di oltre 150 mg/L. Anche la rottura di reti fognarie, fosse settiche e lo spandimento di liquami di allevamenti zootecnici, essenzialmente suinicoli, provocano bruschi e puntuali aumenti del contenuto in ione nitrato nelle acque sotterranee.



Non si dispone purtroppo del dato più importante ai fini di tale analisi, cioè dei livelli piezometrici della falda per lo stesso intervallo di tempo<sup>17</sup>; appare tuttavia abbastanza evidente il segnale stagionale relazionale al ciclo idrologico annuale<sup>18</sup>.

La variabilità del contenuto in nitrati è inoltre meno marcata rispetto a quella dei composti organici alogenati, in particolare per i pozzi con contenuto medio in  $\text{NO}_3^-$  più elevato (ex. pozzi 10, 24).

pozzo 24, il più basso si riscontra per il pozzo 27, con un tenore medio pari a circa 13 mg/L.

Osservando i grafici di **figura 12** e le **tabelle 4, 5**, si evince che l'ordine nel quale si collocano i pozzi in termini di inquinamento da nitrati è praticamente lo stesso relativamente ai C.O.A. Ciò è evidente anche nel diagramma di correlazione C.O.A./nitrati di **figura 13**, nel quale si può osservare che i punti d'acqua si dispongono lungo un'unica linea di correlazione dalla quale si discostano, ad alte concentrazioni<sup>15</sup>, solo i pozzi 24, 10, 7, 23: questi, tutti posizionati nel lembo nord-orientale del campo pozzi, risultano relativamente inquinati più da nitrati che da C.O.A.

Inoltre è stata calcolata e riportata la variabilità della concentrazione in nitrati relazionata alle piogge dello stesso periodo<sup>16</sup>.

In alcuni casi i periodi nei quali le acque risultano particolarmente inquinate da C.O.A. (ex. giugno - luglio 2000, settembre - ottobre 1999) sono evidenziati da aumenti anche nel contenuto in nitrati<sup>19</sup>.

Anche i pozzi dai quali vengono emunte acque con i valori più bassi in nitrati, presentano una certa variabilità nel loro contenuto e registrano gli episodi di inquinamento comuni a tutta l'area del campo pozzi.

La **figura 14** riporta l'ubicazione dei pozzi della centrale di sollevamento, il contenuto medio in nitrati per il periodo di riferimento e la distribuzione areale in riferimento alle classi (dalla I alla V **Tab. 5**) individuate.

Sulla base di questi dati è stata elaborata la carta delle curve di isocontaminante (**Fig. 15**), che riflettono una distribuzione molto simile a quella già riscontrata per i composti organici alogenati.

Fig. 13 Diagramma di correlazione C.O.A./nitriti.

Fig. 14 Contenuto medio in nitrati nelle acque dei pozzi della centrale di sollevamento di Civitanova Marche (gennaio 1997 – febbraio 2005) diviso per classi Tab. 5.

Fig. 15 Carta delle curve di isocontaminante nell'area del campo pozzi con evidenziato il limite dell'area e l'ubicazione dei pozzi, inoltre vengono evidenziati in colore le fasce di concentrazione dei Nitrati.

<sup>15</sup> A basse concentrazioni nei due parametri, minime variazioni del numeratore o del denominatore producono notevoli variazioni del rapporto. Il grafico si riferisce ai valori medi di  $\text{NO}_3^-$  e C.O.A. (calcolati sul periodo settembre 1997 – febbraio 2006 per i C.O.A., gennaio 1997 – febbraio 2006 per i nitrati), ma in quasi tutti i campionamenti mensili il fenomeno è ben evidente.

<sup>16</sup> Poiché il contenuto  $\text{NO}_3^-$  è sostanzialmente diverso per i pozzi ubicati nella fascia centro-settentrionale e nella porzione meridionale del campo pozzi, anche la variabilità in tale parametro è analizzata mantenendo tale suddivisione.

<sup>17</sup> I dati reperibili in bibliografia per la pianura alluvionale del F. Chienti in prossimità della costa indicano un'escursione media storica variabile da 1,4 a 2 metri, con minimi freaticometrici che vengono di solito raggiunti in agosto, eccezionalmente in luglio o settembre; nei mesi di febbraio e marzo, più raramente in gennaio, si registrano invece i massimi freaticometrici (Nanni, 1985;1991). Nella pianura del F. Chienti, come in quelle di tutti i principali fiumi marchigiani, il segnale stagionale delle precipitazioni si risente negli acquiferi di subalveo dopo un periodo estremamente ridotto, variabile da 1 a 2 mesi. Le analisi freaticometriche storiche indicano, in definitiva, un andamento strettamente dipendente da quello pluviometrico (che dovrebbe intendersi, peraltro, come quello dominante nel bacino idrografico, piuttosto che quello di una singola stazione pluviometrica, anche se le differenze non sono così marcate).

<sup>18</sup> In aree a forte vocazione agricola, come la bassa pianura del F. Chienti e gran parte del suo bacino idrografico, si può verificare stagionalmente l'accumulo dei composti azotati non – saturi (Civita, 2005). Lo spandimento dei composti azotati è sempre accompagnato da irrigazione per favorire il passaggio allo stato ionico dei fertilizzanti. Se la superficie piezometrica non è prossima alla superficie, è assai frequente che l'acqua gravifica introdotta artificialmente dall'irrigazione nel periodo estivo, evapori o si trasformi gradualmente in acqua di ritenzione; il contenuto ionico delle acque di infiltrazione si deposita allora sotto forma di piccoli cristalli di nitrato di sodio, di cloruro di ammonio o di urea. Questi sali restano "bloccati" all'interno della zona non – satura sino al primo grande evento piovoso zenitale in grado di dilavarli e di mobilitarli verticalmente, sino a raggiungere la zona satura, oppure sino alla prima risalita del livello piezometrico a causa della ricarica distale. In entrambi i casi il risultato è il dilavamento e la messa in soluzione di grandi quantità di composti azotati che raggiungono la zona satura e vengono effettivamente mobilitati in periodi dell'anno diversi da quelli in cui vengono artificialmente immessi nel suolo.

<sup>19</sup> Si osservino, a titolo di esempio le curve relative ai pozzi 1, 2, 3, 4, 5, 10, 13, 14, 15, 16.

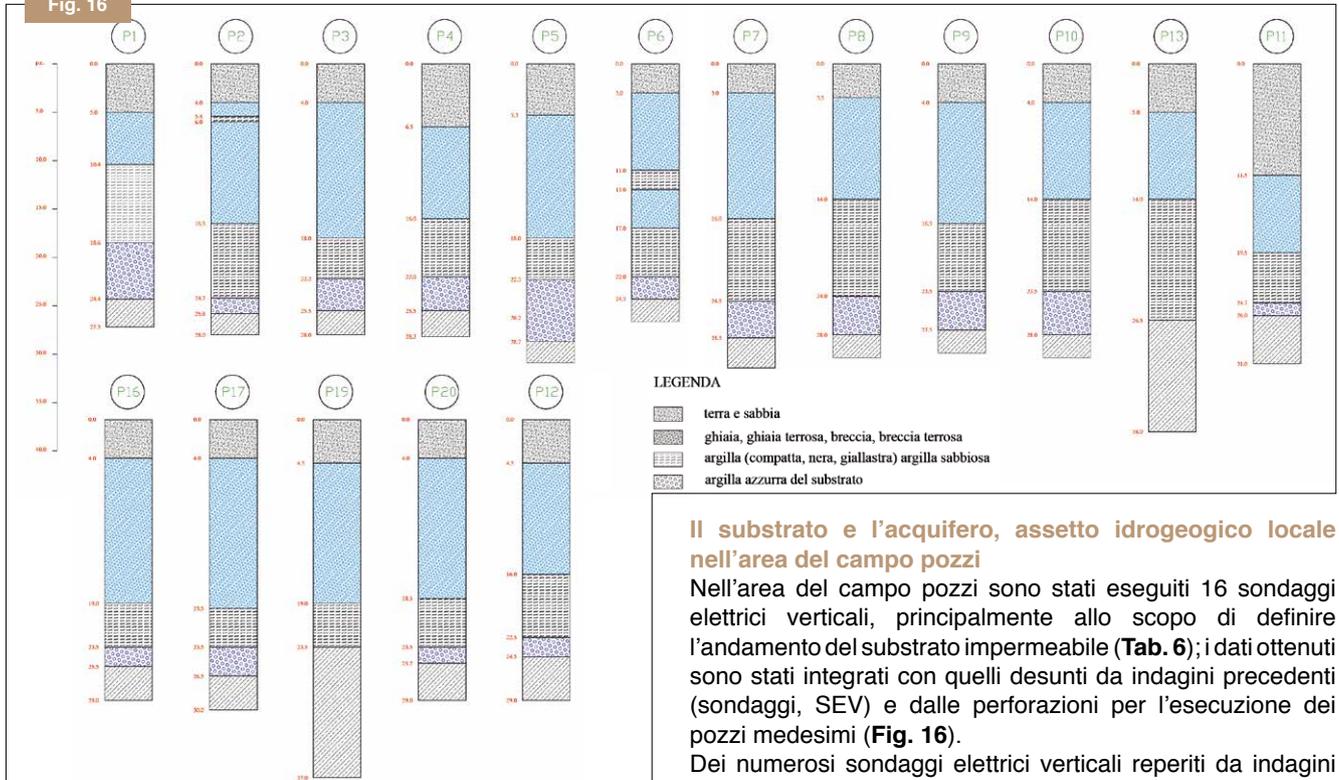
**Tab. 6**

verticale	fonte	profondità del substrato dal p.c. (m)	quota del substrato sul l.m.m (m)
SEV P1	Pierucci (2006)	-24,0	-12,9
SEV P2	"	-25,0	-14,2
SEV P3	"	-24,8	-14,8
SEV P4	"	-23,7	-13,7
SEV P5	"	-25,5	-15,7
SEV P6	"	-24,1	-14,5
SEV P7	"	-23,1	-13,9
SEV P8	"	-25,9	-15,9
SEV P9	"	-26,0	-15,2
SEV P10	"	-25,6	-14,1
SEV P11	"	-26,3	-15,8
SEV P12	"	-26,2	-15,8
SEV P13	"	-25,9	-16,1
SEV P14	"	-26,0	-16,3
SEV P15	"	-25,3	-15,6
SEV P16	"	-23,8	-14,1

**Tab. 7**

verticale	fonte	profondità del substrato dal p.c. (m)	quota del substrato sul l.m.m (m)	verticale	fonte	profondità del substrato dal p.c. (m)	quota del substrato sul l.m.m (m)
P1	A.T.A.C.	-24,4	-13,8	P25	TADDEI (1996)	-25,8	-15,2
P2	"	-25,8	-14,7	P26	TADDEI (1996)	-26,0	-15,6
P3	"	-25,5	-14,7	P27	TADDEI (1997)	-24,8	-14,8
P4	"	-25,5	-14,7	P28	TADDEI (2002)	-25,4	-13,9
P5	"	-28,7	-18,3	P29	TADDEI (2002)	-23,7	-12,6
P6	"	-24,3	-13,9	SCA1	CONTI & ANTINORI (1989)	-24,5	-14,6
P7	"	-28,3	-18,1	SCA2	CONTI & ANTINORI (1989)	-23,0	-13,4
P8	"	-28,0	-17,6	SCA3	CONTI & ANTINORI (1989)	-26,3	-16,6
P9	"	-27,5	-17,4	SCA4	CONTI & ANTINORI (1989)	-24,5	-14,8
P10	"	-28,0	-17,6	SCA5	CONTI & ANTINORI (1989)	-26,0	-15,7
P11	"	-26,0	-15,8	SCAII	CONTI & ANTINORI (1989)	-23,0	-13,5
P12	"	-24,5	-13,3	G1	TADDEI (1998)	-25,5	-16,1
P13	"	-26,5	-16,5	G2	TADDEI (1998)	-25,5	-14,0
P14	"	-	-	SEV CA1	CONTI & ANTINORI (1989)	-22,8	-9,6
P15	"	-	-	SEV CA2	CONTI & ANTINORI (1989)	-24,9	-9,7
P16	"	-25,5	-15,6	SEV M1	MENTONI, in TADDEI (1996)	-22,8	-9,6
P17	"	-26,5	-16,5	SEV M2	MENTONI, in TADDEI (1996)	-25,6	-10,3
P18	"	-	-				
P19	"	-23,5	-12,8				
P20	"	-25,2	-14,3				
P21	A.T.A.C.	-26,0	-15,7				
P22	CONTI & ANTINORI (1989)	-	-				
P23	CONTI & ANTINORI (1989)	-	-				
P24	CONTI & ANTINORI (1989)	-	-				

**Fig. 16**



**Tab. 8**

verticale	fonte	profondità raggiunta (m dal p.c.)
Pp1	"	15,0
Pp2	"	14,4
Pp3	"	21,9
Pp4	"	18,0
Pp5	"	16,2
Pp6	"	21,3
Pp7	"	14,7
Pp8	"	19,8
Pp9	"	14,4
Pp10	"	16,5
Pp11	"	21,0
Pp12	"	18,3
Pp13	"	12,9
Pp14	"	17,1
Pp15	"	13,2

**Il substrato e l'acquifero, assetto idrogeologico locale nell'area del campo pozzi**

Nell'area del campo pozzi sono stati eseguiti 16 sondaggi elettrici verticali, principalmente allo scopo di definire l'andamento del substrato impermeabile (Tab. 6); i dati ottenuti sono stati integrati con quelli desunti da indagini precedenti (sondaggi, SEV) e dalle perforazioni per l'esecuzione dei pozzi medesimi (Fig. 16).

Dei numerosi sondaggi elettrici verticali reperiti da indagini precedenti, sono stati presi in considerazione solo quelli che indicano una profondità del substrato impermeabile compatibile con quella, certa, rinvenuta in sondaggi e/o pozzi eseguiti nelle immediate vicinanze Tab. 7.

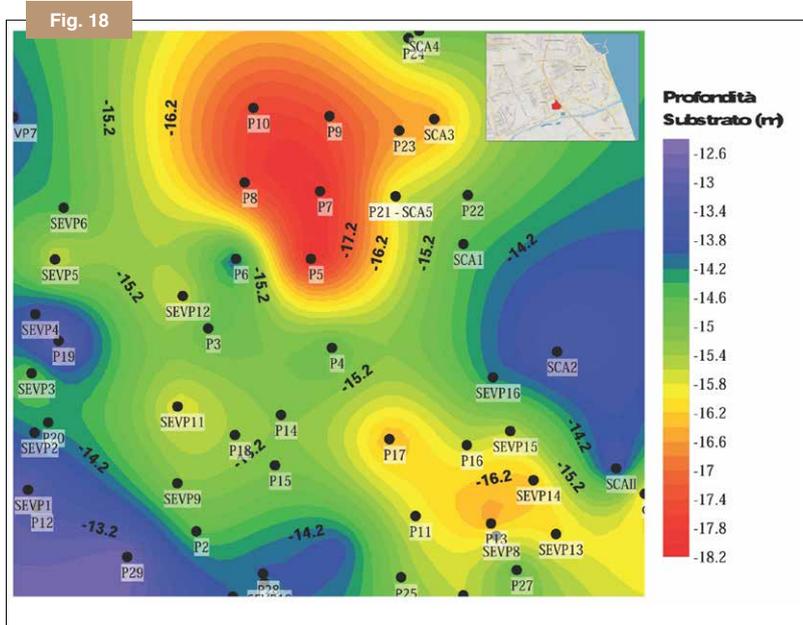
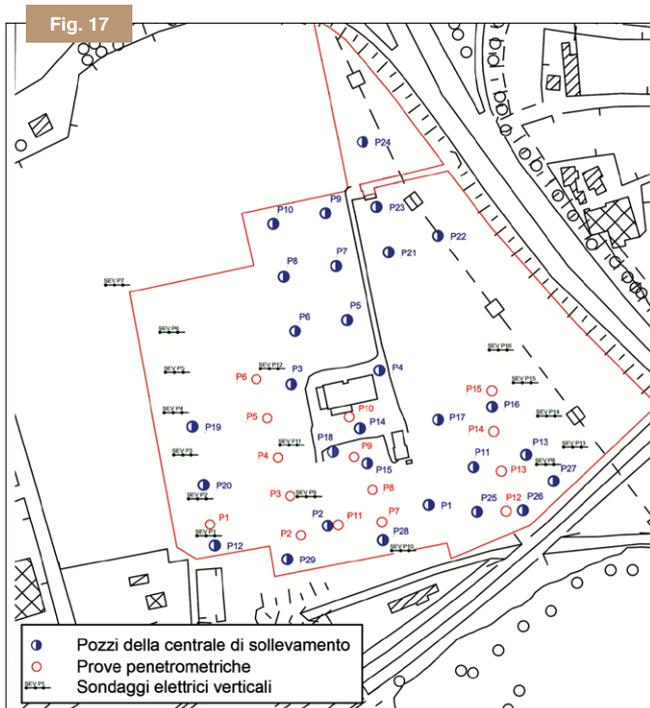
Sono state inoltre condotte 15 prove penetrometriche dinamiche lungo sezioni orientate circa NW-SE, al fine di definire la stratigrafia del deposito alluvionale al di sopra delle argille del substrato (Tab. 8); lo scandaglio penetrometrico non ha potuto raggiungere il substrato, arrestandosi talvolta in corrispondenza delle ghiaie del secondo acquifero o su livelli particolarmente addensati superiori; a tale difficoltà tecnica si è ovviato con i sondaggi elettrici verticali, nei quali il passaggio tra il deposito alluvionale e le argille del substrato è invece ben evidente e marcato da una diminuzione di resistività. L'ubicazione dei sondaggi elettrici e delle prove

Tab. 6 Sondaggi elettrici eseguiti nell'area del campo pozzi di Civitanova.

Tab. 7 Stratigrafie reperite.

Tab. 8 Prove penetrometriche eseguite.

Fig. 16 Stratigrafie reperite da pozzi e sondaggi eseguiti nell'area del campo pozzi di Civitanova Marche.



penetrometriche è riportata in **figura 17**.

Nella **figura 18** sono riportate le profondità del substrato argilloso su tutte le verticali utilizzate.

Come si vede dall'elenco tabulato **Tab. 7**, di alcuni pozzi non è stato possibile reperire la stratigrafia: si tratta dei pozzi 14, 15 e 18 (porzione centro – meridionale dell'area) e dei pozzi 21, 22, 23 e 24, tutti collocati nella zona nord – orientale.

Alcuni dei pozzi di questo secondo gruppo sono tuttavia collocati in prossimità di sondaggi di cui è nota la relativa stratigrafia (sondaggio SCA4 per il pozzo 24; sondaggio SCA3 per il pozzo 23; sondaggio SCA5 per il pozzo P21).

Le porzioni dell'area per le quali l'andamento del substrato impermeabile è estrapolato con maggiore incertezza risultano pertanto quella in corrispondenza e nell'intorno dei pozzi 14, 15, 18 e il lembo nord occidentale dell'area, in cui non si hanno verticali indagate.

I dati di **figura 18** e **tabb. 6, 7, 8** sono stati utilizzati per una ricostruzione dell'andamento piano – altimetrico del substrato argilloso<sup>20</sup>.

Nella **figura 19** esso è stato ricostruito lungo alcune sezioni longitudinali e trasversali all'area del campo pozzi.

Si può osservare che la superficie erosiva su substrato presenta una evidente depressione nella porzione settentrionale dell'area del campo pozzi, ed un rialzo in quella meridionale<sup>21</sup>. La differenza massima di quota tra le due aree raggiunge e supera in alcuni casi i 5.5 m.

I dati reperibili per le porzioni di pianura alluvionale poste più a sud del campo pozzi, pur non consentendo una ricostruzione dettagliata dell'andamento della superficie del substrato, indicano chiaramente un suo progressivo approfondimento verso l'asta fluviale del F. Chienti; alcuni pozzi terebrati hanno infatti intercettato le argille pleistoceniche a profondità superiori ai 30 m dal p.c..

Non è d'altronde infrequente, nelle valli alluvionali marchigiane, che il profilo del substrato in sezioni trasversali alla pianura presenti incisioni multiple, corrispondenti ad antichi alvei, separate da blandi dossi<sup>22</sup> (Nanni, 1985).

Se la ricostruzione proposta è corretta, essa dovrebbe in linea generale trovare conferma dal *pattern* del pannello piezometrico nell'intorno dell'area studiata.

Va precisato che le misure piezometriche utilizzate per la ricostruzione della superficie piezometrica nei vari studi condotti da diversi soggetti, hanno sempre riguardato, com'è ovvio, pozzi esistenti che pescano a profondità diverse nell'acquifero, in genere non superiori ai 10 ÷ 15 m di profondità; si potrebbe pertanto supporre che la piezometrica ricostruita sia indicativa solo della falda contenuta nell'acquifero più superficiale. In realtà misure freatiche su pozzi pescanti a profondità diverse, intestati nel substrato o superficiali, evidenziano in genere minime differenze nella quota piezometrica, anche se i livelli produttivi sono separati da ampie lenti limoso – argillose

(Nanni, 1991). Ciò è in parte dovuto alla metodologia di scavo dei pozzi, che ha messo in comunicazione i livelli produttivi superficiali con quelli profondi, sia al fatto che gli orizzonti impermeabili di separazione non hanno una continuità laterale sufficiente ad isolare su ampie porzioni della pianura i vari acquiferi presenti<sup>23</sup>.

In proposito si osserva che le misure freatiche effettuate da Conti & Antinori (1989) in terebrazioni nell'area del campo pozzi in corrispondenza dei pozzi 21, 22, 23, 24 (allora in progetto), avevano dato valori delle quote piezometriche per la falda superficiale e profonda sostanzialmente coincidenti:

**Fig. 17** Ubicazione dei sondaggi elettrici verticali e delle prove penetrometriche eseguite nell'area del campo pozzi.

**Fig. 18** Carta dell'andamento del substrato argilloso del campo pozzi.

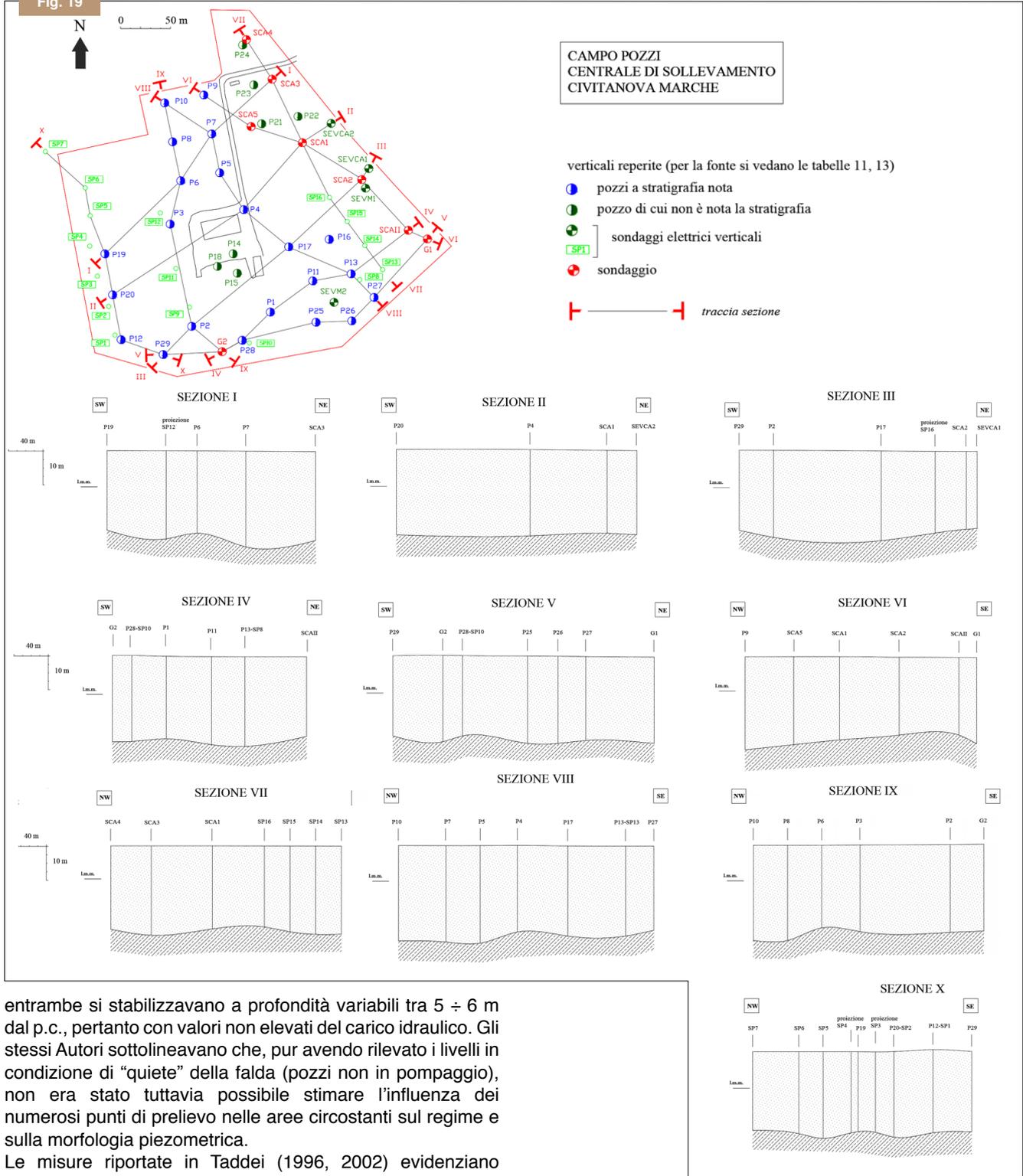
<sup>20</sup> Per una superficie "ricostruita" di estensione complessiva di circa 9,5 ha, si è potuto disporre, con le limitazioni prima esposte, di 31 verticali indagate (circa 3 verticali ad ettaro). Non sono stati presi in considerazione i sondaggi elettrici verticali, anche perché alcuni di essi indicano una profondità del substrato impermeabile notevolmente diversa da quella, certa, rinvenuta in sondaggi e/o pozzi eseguiti nelle immediate vicinanze.

<sup>21</sup> Nella porzione settentrionale dell'area campo pozzi la depressione nel substrato sembra assumere una configurazione a trugolo; ciò potrebbe semplicemente essere dovuto alla distribuzione non ottimale delle verticali a stratigrafia nota, assenti nei lembi NW e NE: è probabile che si tratti piuttosto di una fascia allungata in direzione E-W che attraversa l'intera area del campo pozzi.

<sup>22</sup> In alcuni casi si è accertato che tale caratteristica, oltre che all'erosione fluviale, può essere connessa a fenomeni neotettonici.

<sup>23</sup> La continuità del livello impermeabile che separa l'acquifero superficiale da quello più profondo è sicuramente limitata al tratto terminale della pianura alluvionale del F. Chienti; già a poca distanza dalla linea di costa l'acquifero può essere considerato, in grande, monostrato. Poco più di un chilometro a monte dell'area del campo pozzi (zona industriale A), dalle stratigrafie di pochi pozzi che raggiungono il substrato, è possibile evidenziare la presenza di un solo acquifero indifferenziato: vedi, ad esempio, i sondaggi reperiti, da R9 a R11 (Corvatta & Leoperdi, 2000), ed il sondaggio S4 (Corvatta & Leoperdi, 1993).

Fig. 19



entrambe si stabilizzavano a profondità variabili tra 5 ÷ 6 m dal p.c., pertanto con valori non elevati del carico idraulico. Gli stessi Autori sottolineavano che, pur avendo rilevato i livelli in condizione di “quiete” della falda (pozzi non in pompaggio), non era stato tuttavia possibile stimare l’influenza dei numerosi punti di prelievo nelle aree circostanti sul regime e sulla morfologia piezometrica.

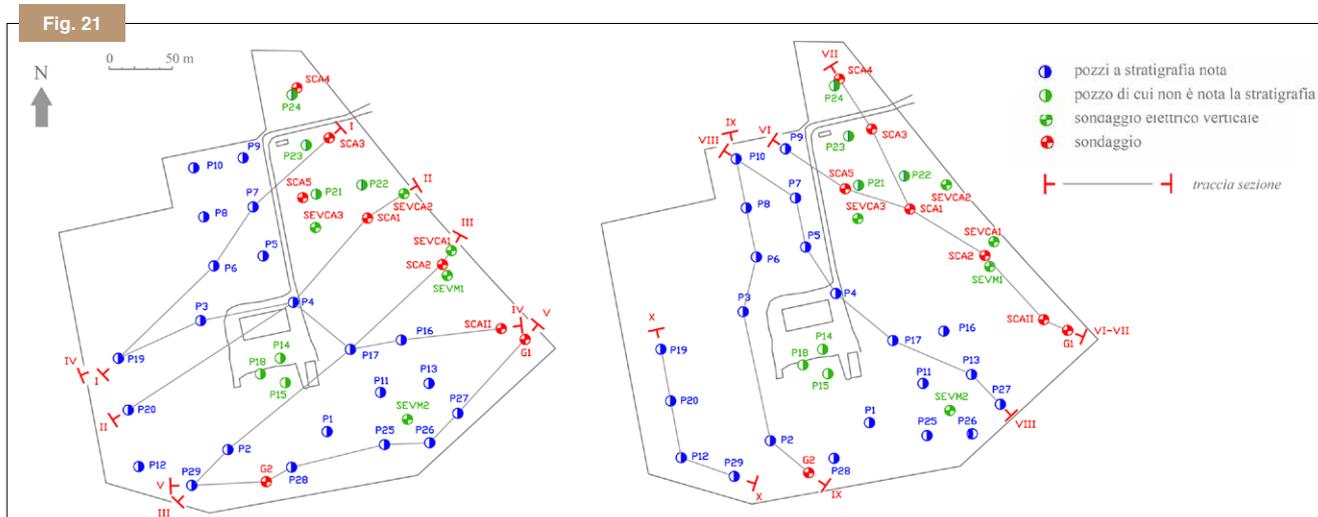
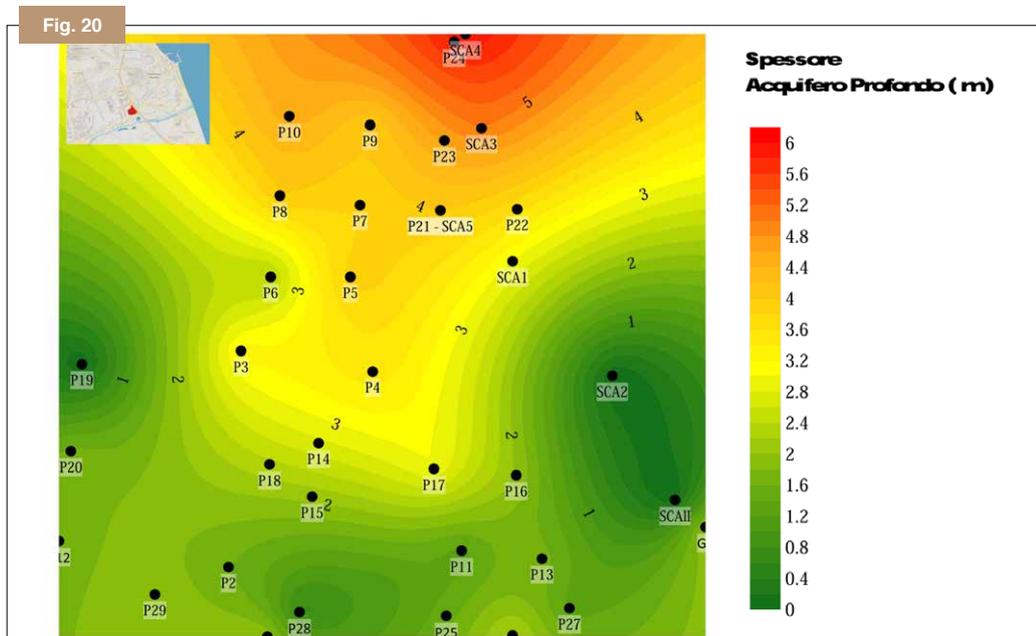
Le misure riportate in Taddei (1996, 2002) evidenziano invece una differenza di quote piezometriche tra le due falde notevolmente superiore<sup>24</sup>. Va evidenziato che le misure freatiche (ed anche le prove di emungimento riportate sempre da Taddei, *vedi oltre*), sono state ottenute in condizioni di flusso perturbato della falda, a causa dei consistenti prelievi dello stesso campo pozzi (in funzione durante le misure) e degli emungimenti ad opera di numerosi pozzi ad uso privato ed industriale nelle aree circostanti. Se si considera che durante le prove di emungimento sul pozzo 26

e sui pozzi 28 e 29 (Taddei, 1996, 2002) l’entità dei massimi abbassamenti della superficie piezometrica della falda profonda è confrontabile con la differenza di quota tra le due falde prima dell’esecuzione delle prove, è assai probabile che quest’ultima sia in realtà connessa all’emungimento ad opera del campo pozzi sulla falda più profonda, ovvero che il carico piezometrico tra le due falde in assenza di emungimento sia irrilevante<sup>25</sup>.

Fig. 19 Ricostruzione dell'andamento del substrato impermeabile lungo le sezioni trasversali e longitudinali nell'area del campo pozzi di Civitanova Marche.

<sup>24</sup> Nel pozzo 25 la falda superficiale (luglio 1996) si stabilizzava alla profondità di 5,5 m dal p.c., la seconda falda a 14,5 m dal p.c.; nel pozzo 26 le due falde si rinvenivano rispettivamente a 5,4 e 12,0 m dal p.c. Nel giugno 2002 il livello piezometrico misurato nei pozzi 28 e 29 sfiorava rispettivamente a 8,4 e 9,6 m dal p.c., ma non vengono riportati i livelli piezometrici della falda freatica superficiale.

<sup>25</sup> Prova di emungimento sul pozzo 26: 6,6 m la differenza di quota tra 1° e 2° falda in condizioni “statiche”, depressione della superficie piezometrica della 2° falda di 5,0 m con una portata massima di 17,4 l/s. Prova di emungimento sui pozzi 28 e 29: depressioni indotte di 11,4 m e 10,9 m per portate massime rispettivamente di 8,1 e 8,96 l/s (non sono riportati, come detto, i livelli piezometrici della 1° falda). Dello stesso ordine gli abbassamenti rilevati nei pozzi 29 e 12 utilizzati come piezometri nella prova di pompaggio sul pozzo 28 e quelli utilizzati allo stesso scopo (28 e 1) nel corso della prova di pompaggio sul pozzo 29. Che le quote piezometriche della falda profonda rilevate da Taddei (nota 24) siano condizionate dagli effetti dell’emungimento è peraltro evidente dal fatto che, confrontando le quote dei pozzi con quella della falda confinata, questa risulterebbe *al di sotto del livello marno*.



In definitiva, per quanto precisato, dovrebbe risultare sufficientemente chiaro che l'andamento ricostruito del substrato argilloso debba trovare conferma, circostanza non scontata *a priori*, nel pannello piezometrico; ovvero che la morfologia piezometrica, principalmente ottenuta su pozzi superficiali o su pozzi che non separano idraulicamente le due falde, debba riflettere l'andamento del substrato argilloso e degli eventuali paleoalvei riempiti da corpi ghiaioso-sabbiosi a diretto contatto con esso e sede di acquiferi semiconfinati.

Ciò è quanto di fatto si osserva. Nella ricostruzione della morfologia piezometrica proposta da Corvatta & Leoperdi (1993), vengono infatti indicati due principali assi di drenaggio preferenziali: il primo che dalla *zona industriale A* si spinge fino a valle del campo pozzi, l'altro quasi parallelo al precedente, ma spostato poco più a nord. A partire dall'altezza di Montecosaro, viene inoltre individuato uno spartiacque sotterraneo ubicato a nord del F. Chienti, tra il corso d'acqua e gli assi di drenaggio precedentemente descritti. L'andamento delle isopiezometriche riportate nella cartografia del Piano Regolatore del Comune di Civitanova M. (Conti M., 1997) e quelle elaborate da Taddei (1998), confermano il quadro della circolazione idrica descritto.

Il rialzo del substrato argilloso, allungato in direzione circa E – W trasversalmente all'area del campo pozzi, costituirebbe pertanto l'espressione locale di un elemento morfologico ben più esteso<sup>26</sup>.

In tale contesto si collocano e vanno interpretati anche i risultati delle prove di emungimento condotte sui pozzi 28, 29, 25, 26 (Taddei, 1996, 2002, *vedi anche nota 25*): abbassamenti specifici elevati, bassa portata specifica, potenzialità ridotta. I pozzi si trovano infatti tutti nella fascia meridionale del campo, in corrispondenza dello spartiacque sotterraneo connesso al rialzo morfologico del substrato impermeabile. Ma, ed è questo l'elemento di maggiore interesse, le acque emunte hanno invece caratteristiche qualitative buone.

Con le stesse modalità, a partire dai dati puntuali è stato ricostruito l'andamento dello spessore dell'acquifero profondo (Fig. 20).

Si può osservare che esso riflette fedelmente l'andamento del substrato: minimi spessori in corrispondenza della zona rialzata meridionale, massimi nella fascia più depressa settentrionale.

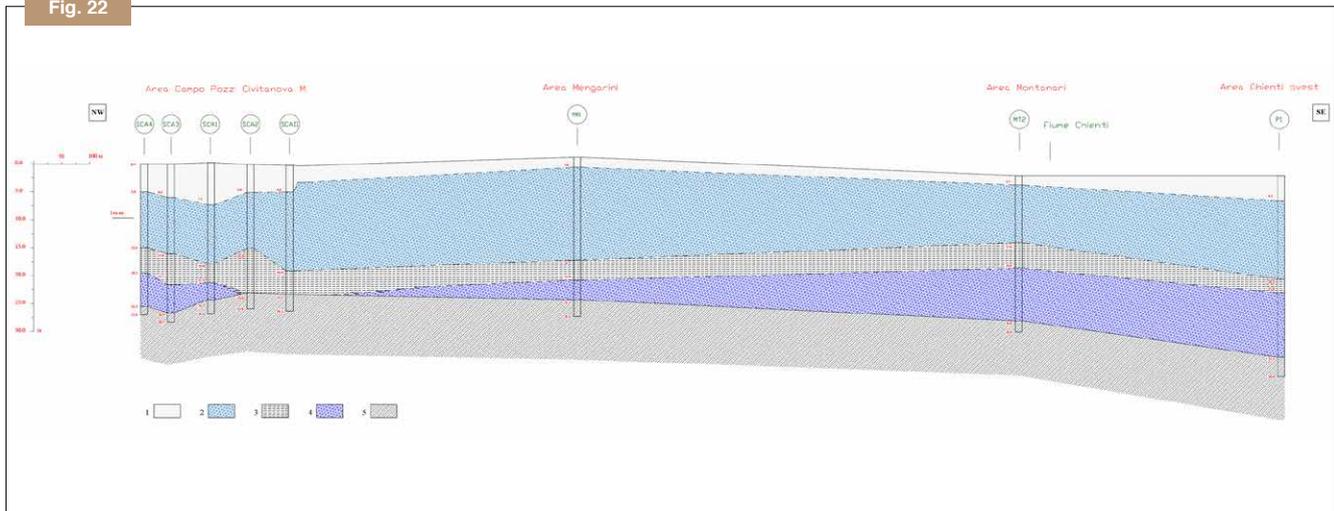
Nella **figura 21** sono riportate le tracce di sezione che ricostruiscono nel dettaglio la situazione stratigrafica locale; essa si presenta piuttosto articolata e complessa, in relazione

Fig. 20 Ricostruzione spessore acquifero profondo.

Fig. 21 Tracce delle sezioni geologiche ricostruite nell'area del campo pozzi di Civitanova Marche.

<sup>26</sup> Questi elementi, deducibili dalla morfologia piezometrica, sono d'altronde già individuabili, con minor approssimazione, nello studio a carattere regionale condotto sulle pianure alluvionali dei fiumi marchigiani da Nanni (1985). L'esistenza di questi dossi e depressioni nel substrato argilloso in sezione trasversale alla pianura del F. Chienti è stata verificata dallo scrivente (Pierucci, 2001), in una traversa della pianura alluvionale ubicata subito a nord del canale del Vallato, poche centinaia di metri a monte della *zona industriale A* di Santa Maria Apparente.

Fig. 22



alla dinamica e ai processi deposizionale che caratterizzano in generale i sistemi alluvionali.

Nell'elaborazione delle sezioni sono state operate opportune semplificazioni e accorpamenti tra litologie simili, evidenziando l'andamento degli orizzonti permeabili che costituiscono gli acquiferi superficiale e profondo.

Il livello argilloso – limoso che separa l'acquifero superficiale da quello profondo è continuo su tutta l'area del campo pozzi, pur con variazioni laterali di spessore; ad esso si intercalano talora sottili livelli sabbiosi o sabbioso – ghiaiosi.

Lenti di materiali più fini si intercalano anche, a varie altezze, alle ghiaie e sabbie che costituiscono, nel complesso, l'acquifero superficiale, anch'esso caratterizzato da notevoli variazioni laterali di spessore ed eteropie di facies.

Lungo alcune sezioni orientate NW-SE (sezioni dalla VI alla X) è infine possibile evidenziare chiusure laterali a lente dell'acquifero profondo entro i limi e le argille che separano la falda superficiale da quella profonda. In effetti l'acquifero profondo non è presente in alcuni dei pozzi e sondaggi della fascia centro – meridionale del campo pozzi, nei quali l'orizzonte impermeabile poggia direttamente sul substrato (P13, P19, SCA2, SCA11)<sup>27</sup>. Si rileva inoltre che le ghiaie e sabbie basali costituiscono due corpi geologici idraulicamente separati dal rialzo del substrato impermeabile e sigillati dall'orizzonte limoso – argilloso (sezioni VI, VII, VIII, X)<sup>28</sup>.

Tale separazione idraulica non può essere verificata, per ovvi motivi, per tutta l'estensione del campo pozzi. È quindi possibile che in alcuni settori dell'area i due corpi perdano la propria individualità costituendo un unico orizzonte acquifero<sup>29</sup>. Sarebbero pertanto possibili mescolamenti, in seno all'acquifero profondo, tra acque circolanti nei depositi posti a nord e a sud dello spartiacque sotterraneo che attraversa l'area del campo pozzi in direzione E–w. Ciò trova riscontro nei caratteri chimici delle acque, i cui diagrammi di correlazione tra i principali elementi chimici (Fig. 5) evidenziano la possibilità di fenomeni di mescolamento.

## ► CONCLUSIONI

Le figure 11, 15, evidenziano una distribuzione areale della presenza di nitrati e composti organici alogenati nelle acque del campo pozzi molto simile, quasi sovrapponibile riguardo all'intensità relativa del fenomeno nelle varie porzioni dell'area.

La zona meno interessata da inquinamento ha l'aspetto di una fascia allungata in direzione circa OSO – ENE nella porzione meridionale dell'area, con un ampliamento verso NE a comprendere il pozzo 22<sup>30</sup>; quella più inquinata corrisponde invece alla porzione settentrionale e al nucleo centrale del campo pozzi.

Anche i valori di temperatura, conducibilità elettrica e durezza delle acque, si distribuiscono secondo due fasce subparallele, di cui quella meridionale è caratterizzata dai valori più bassi nei tre parametri fisico – chimici. Per i pozzi posizionati nell'estremo lembo meridionale dell'area la conducibilità risulta paragonabile a quella delle acque superficiali del F. Chienti, che scorre poche centinaia di metri più a sud.

Quanto osservato per l'area del campo pozzi trova riscontro, a più grande scala, nella distribuzione dei valori di conducibilità elettrica, durezza, tricoloroetano e nitrati riportata da Corvatta & Leoperdi (1993) per la porzione terminale della pianura alluvionale del F. Chienti. La figura 23 riassume, per una porzione significativa di piana alluvionale prossima al campo pozzi, i risultati delle analisi contenute nel lavoro dei due autori citati.

La ricostruzione dell'andamento piano – altimetrico del substrato impermeabile evidenzia una superficie erosiva depressa nella porzione settentrionale dell'area del campo pozzi e rialzata in quella meridionale, con una differenza massima di quota tra le due aree di circa 5.5 m.

La stessa superficie si approfondisce progressivamente più a sud verso l'asta fluviale del F. Chienti, in prossimità della quale le argille del substrato vengono intercettate a profondità

Fig. 22 Schema dei rapporti stratigrafici lungo una sezione trasversale (traccia in fig. 20) alla pianura del F. Chienti, compresa tra l'area del campo pozzi di Civitanova Marche e quella dell'acquedotto del Tennacola. È evidente il rialzo del substrato argilloso in corrispondenza della porzione meridionale del campo pozzi di Civitanova e il suo progressivo approfondimento sia verso sud, sia verso i quadranti settentrionali. LEGENDA: 1) terreni di copertura (terreno vegetale, limi, sabbie e argille); 2) ghiaie e sabbie (acquifero superficiale); 3) argille e limi (acquicludi); 4) ghiaie e sabbie (acquifero profondo); 5) substrato.

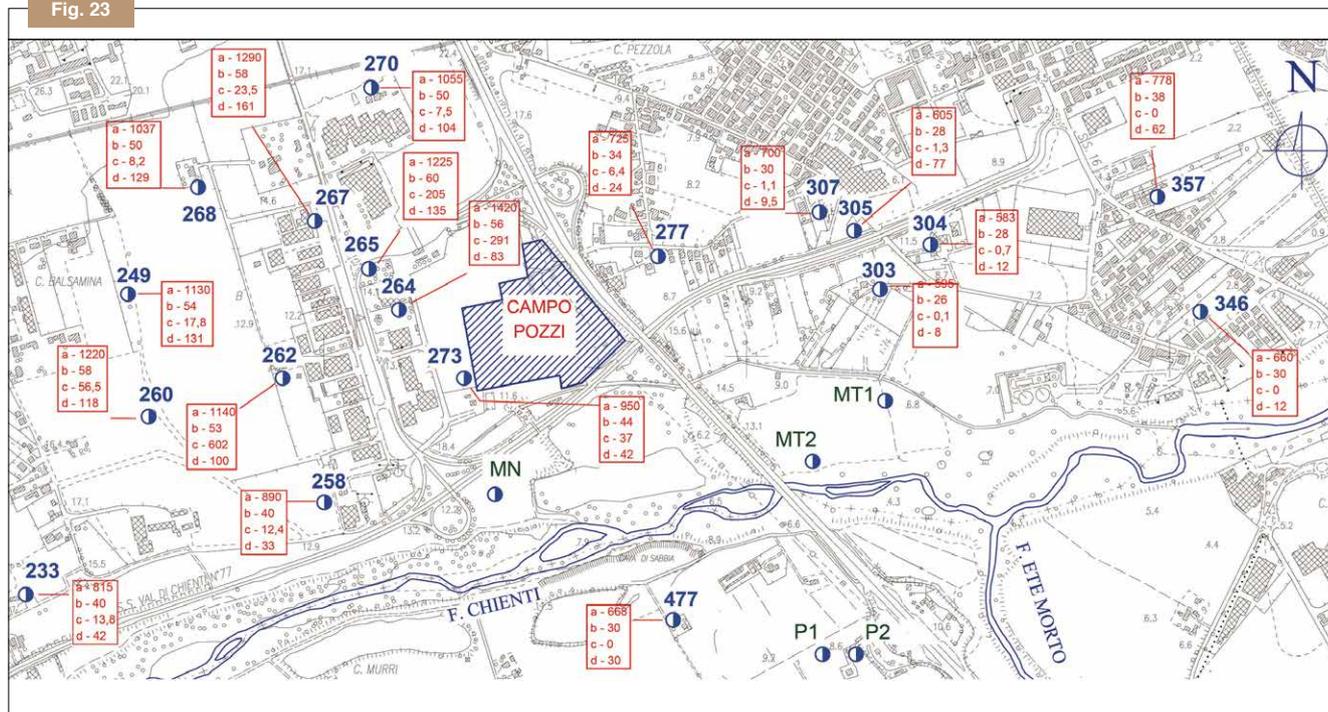
27 In G<sub>1</sub> l'acquifero profondo è costituito prevalentemente da sedimenti sabbiosi.

28 Nella sezione X è visibile la chiusura verso nord del corpo ghiaioso più "meridionale" dell'acquifero profondo; nelle sezioni VI e VII esso pare intercettato nella sua estrema propaggine settentrionale, nella quale è già passato lateralmente a sabbie con un sottile livello ghiaioso. Nella sezione IX la continuità dell'acquifero profondo tra le verticali P2 e P3 è solo estrapolata e potrebbe in realtà anche qui ripresentarsi la situazione evidenziata dalle sezioni VI, VII e VIII.

29 In questi casi si parla, su base idrodinamica, di *limite idrogeologico a flusso imposto*, che o annulla del tutto la possibilità di travasi idrici (*limite a flusso nullo*) o consente il passaggio di determinate portate idriche (*limite a flusso imposto p.d.*). Dove l'acquifero profondo, pur con spessori ridotti e litofacies diverse, è continuo in direzione nord-sud rispetto al rialzo del substrato impermeabile, il limite è evidentemente del secondo tipo. Su base statica, detto limite verrebbe identificato come *spartiacque sotterraneo* con carattere di *limite di tamponamento* e, in alcuni tratti (dove c'è continuità idraulica) di *alimentazione*. Per quanto riguarda l'acquifero superficiale, tale spartiacque sotterraneo è completamente aperto.

30 L'anomalia del pozzo 22 si ripresenta anche relativamente ai valori della conducibilità elettrica e della durezza.

Fig. 23



anche superiori ai 30 m dal p.c..

Il rialzo del substrato argilloso, allungato in direzione circa E – W trasversalmente all’area del campo pozzi, costituisce l’espressione locale di un elemento morfologico ben più esteso nella porzione terminale della bassa valle del F. Chienti.

Lo spessore dell’acquifero profondo, sede della falda semiconfinata che alimenta i pozzi dell’acquedotto comunale, presenta variazioni di spessore che ricalcano fedelmente l’andamento del substrato (minimi spessori in corrispondenza della zona rialzata meridionale, massimi nella fascia più depressa settentrionale).

Lungo alcune traverse orientate circa NW-SE, l’acquifero profondo perde continuità idraulica, chiudendosi a lente sia da nord che da sud in corrispondenza del rialzo del substrato impermeabile.

Anche la morfologia piezometrica nell’intorno dell’area studiata è conforme alla situazione descritta ed evidenzia la funzione di spartiacque sotterraneo del rialzo morfologico nei riguardi della circolazione idrica della falda di subalveo.

La distribuzione delle aree a maggiore e minore concentrazione nei due principali inquinanti (nitrati e C.O.A.), disposte secondo due fasce parallele allungate trasversalmente al campo pozzi in direzione E–W, trova corrispondenza nel particolare assetto morfologico del substrato (depresso a nord, rialzato a sud) che condiziona a sua volta la circolazione idrica sotterranea. Ciò lascia intendere che una possibile cattiva esecuzione dei pozzi situati a nord del campo (quelli più inquinati) sia un elemento non determinante per il fenomeno di inquinamento rilevato; infatti, tra i pozzi che presentano buone caratteristiche qualitative dell’acqua emunta, se ne annoverano alcuni, tutti però nella fascia meridionale, di più antica costruzione (es. pozzi 1, 11, 13); analogamente, alcuni dei pozzi di recente costruzione (es. pozzo 24), collocati tutti nella fascia

settentrionale del campo, risultano maggiormente inquinati da alcuni tra quelli più vecchi.

È significativo inoltre rilevare che le acque di un pozzo (PE2) poco a sud della centrale di sollevamento, pur provenendo dalla prima falda, sono di buona qualità e simili a quelle emunte dall’acquifero profondo intercettato dai pozzi della fascia meridionale; similmente, i parametri fisico – chimici relativi ad un pozzo superficiale poco più a nord ovest (PE1) si correlano in maniera soddisfacente con i pozzi, più inquinati, della fascia settentrionale, pur pescanti sul secondo acquifero. In altre parole *la qualità delle acque superficiali e profonde è grossomodo omogenea secondo fasce disposte all’incirca est - ovest.*

Pertanto la diversità nei livelli di inquinamento tra le due porzioni dell’area del campo pozzi non è imputabile alla diversa profondità di captazione (falda superficiale/falda profonda) o alla contaminazione della falda profonda da parte di quella superficiale (cattiva esecuzione dei pozzi); è invece presente una chiara differenziazione in senso nord – sud.

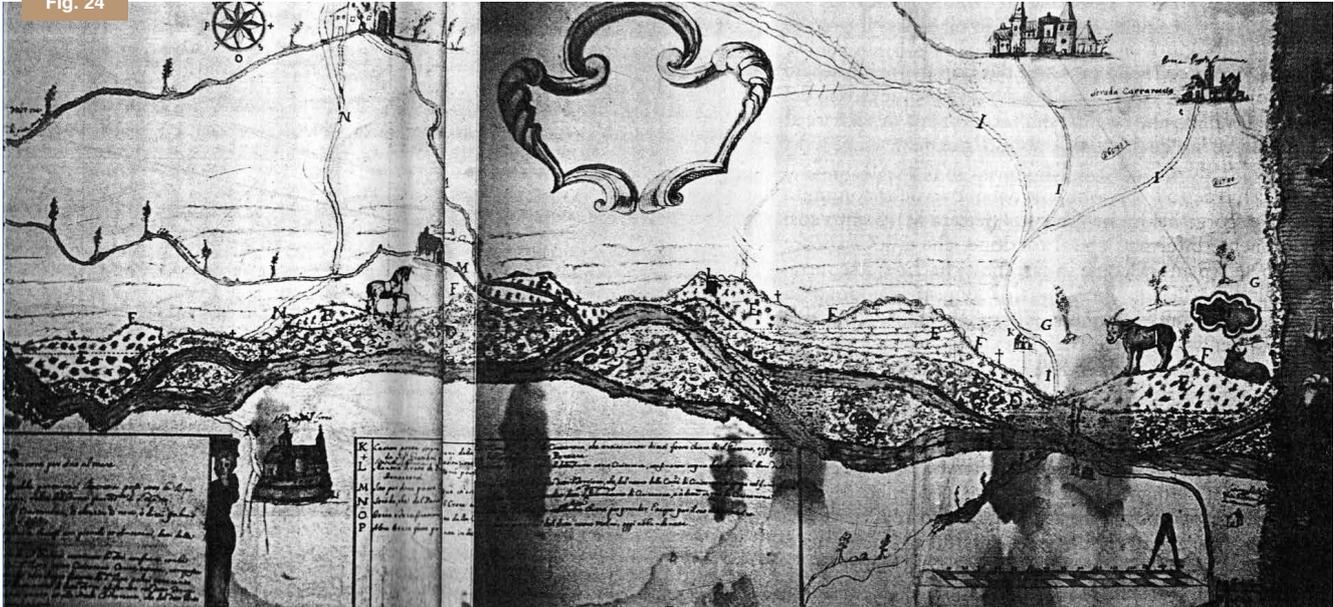
In definitiva *l’integrazione dei dati riguardanti le caratteristiche idrochimiche delle acque, la morfologia del substrato e quella piezometrica inducono a ritenere che la fascia meridionale del campo pozzi sia meno inquinata in relazione ad una alimentazione laterale dalle acque superficiali del F. Chienti verso il subalveo in sinistra idrografica, limitata però alla porzione meridionale del campo pozzi; quest’ultima è infatti idraulicamente distinta da quella più a nord da uno spartiacque sotterraneo connesso ad un rialzo morfologico del substrato, in corrispondenza del quale si rinvengono spessori minori dell’acquifero (in particolare quello profondo) e depositi a minore permeabilità<sup>31</sup>.*

*La separazione idraulica tra le aree poste a nord e a sud di tale elemento morfologico, pur sufficiente a determinare una sostanziale differenziazione nella qualità delle acque, non è ovviamente totale: alcuni diagrammi di correlazione*

Fig. 23 Distribuzione dei valori di conducibilità elettrica, durezza, trichloroetano e nitrati riportata da Corvatta & Leopardi (1993) per la porzione terminale della pianura alluvionale del F. Chienti. La distribuzione secondo due fasce subparallele, di cui quella meridionale caratterizzata dai valori più bassi nei tre parametri fisico - chimici, riflette e conferma, a più grande scala, quanto rilevato all’interno dell’area campo pozzi. Per i pozzi più vicini al corso attuale del F. Chienti, sia in destra che sinistra idrografica, i valori risultano paragonabili a quelli delle acque superficiali del fiume. Per ogni pozzo: a - conducibilità elettrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ); b - durezza ( $^{\circ}\text{F}$ ); c - TCE ( $\mu\text{g}/\text{L}$ ); d - nitrati ( $\text{mg}/\text{L}$ ). È riportata anche l’ubicazione dei sondaggi eseguiti da Taddei (1998) nell’Area Mengarini (MN), nell’Area Montanari (MT1, MT2) nell’Area Chienti Ovest (P1, P2). Fig. 20 – Tracce delle sezioni geologiche ricostruite nell’area del campo pozzi di Civitanova Marche

<sup>31</sup> Nel dettaglio lo spartiacque sembra presentare una leggera curvatura con convessità rivolta verso sud in corrispondenza dei pozzi 14, 15, 18 per poi piegare verso nord fino all’altezza del pozzo 22 e dirigersi di nuovo verso est; in effetti le acque emunte da questo pozzo presentano caratteristiche qualitative buone e simili a quelle della fascia meridionale del campo pozzi. Poco inquinati risultano anche altri pozzi situati più ad est dell’area ma comunque allineati secondo una direttrice E-O con il pozzo 22.

Fig. 24



evidenziano la possibilità di un certo grado di miscelamento tra termini diversi di una stessa famiglia di acque. Ciò è d'altronde normale; la posizione degli spartiacque sotterranei negli acquiferi alluvionali è infatti suscettibile di variazioni sia per cause naturali (oscillazioni piezometriche tra periodi di piena e di magra, variazione dell'entità della ricarica superficiale in relazione al regime delle acque superficiali del F. Chienti) sia per cause artificiali (depressioni piezometriche dovute ad emungimenti superiori alla potenzialità dell'acquifero).

#### ► APPENDICE – ARCHEOLOGIA E GEOLOGIA

È sorprendente rilevare, come alcuni aspetti dell'assetto geologico – idrogeologico dell'area studiata, trovino elementi di conferma nella ricostruzione delle variazioni geomorfologiche occorse nella bassa valle del F. Chienti in epoca storica; in particolare per ciò che riguarda l'esistenza di una alimentazione laterale dalle acque superficiali del F. Chienti verso il subalveo in sinistra idrografica, che arriverebbe a lambire la porzione meridionale del campo pozzi. Tale circostanza riveste notevole rilievo nell'interpretazione della diversa entità del fenomeno di inquinamento tra due aree (a nord e a sud) del campo pozzi.

Ciò a dimostrazione del fatto che, varie discipline possono proficuamente concorrere alla comprensione di un sistema fisico complesso, quale l'acquifero di subalveo di una pianura alluvionale. Ringraziamo sentitamente il dott. Alvisè Manni dell'Archeoclub di Civitanova Marche per le indicazioni bibliografiche e i preziosi suggerimenti riguardo a quanto si esporrà nelle poche righe seguenti, che costituiscono la sintesi di numerosi lavori prodotti da studiosi della storia locale di Civitanova (Bevilacqua 1994, 1995; Galiè 1989, 1993; Guarnieri M. & Guarnieri A., 1994).

L'archivio storico del municipio di S. Elpidio a Mare conserva una pianta topografica che descrive, attraverso una *legenda*, gli elementi più significativi della bassa valle del F. Chienti, dal

paese di Montecosaro, fino alla foce (Fig. 24). Il documento manoscritto, non datato, è stato dettagliatamente analizzato dallo storico di antichità picene Vincenzo Galiè e risale presumibilmente alla fine del '700 (Galiè, 1989). L'elemento più significativo è costituito dal fatto che i possedimenti di S. Elpidio a Mare (*terreni coltivati e spazi ghiaiosi*) si estendono anche sulla riva sinistra del corso d'acqua, il quale deve pertanto aver subito uno spostamento notevole verso sud. Si osserva inoltre che l'estensione di tali possedimenti, delimitati a settentrione dalla *ripa vecchia* del corso d'acqua, aumenta gradualmente verso la foce: ciò indica che prima della compilazione della carta il fiume scorreva progressivamente più a nord man mano che si avvicinava al mare, sfociando infine in corrispondenza di un ristagno di acque (probabile alveo abbandonato e impaludato) chiamato *lago o buscione o stagno* (rintracciabile poco a sud ovest dell'attuale stadio comunale). Tale tracciato si è certamente mantenuto fino agli inizi del '600, periodo al quale è databile, secondo Galiè, la diversione verso sud dell'alveo del F. Chienti. In tale spostamento verso meridione il corso d'acqua ha peraltro riattivato il vecchio tracciato d'epoca romana, non molto dissimile dall'attuale e mantenuto fino alla prima metà del IX secolo. Si sarebbero pertanto alternate fasi caratterizzate da assetti morfologici sostanzialmente diversi dell'alveo del Chienti:

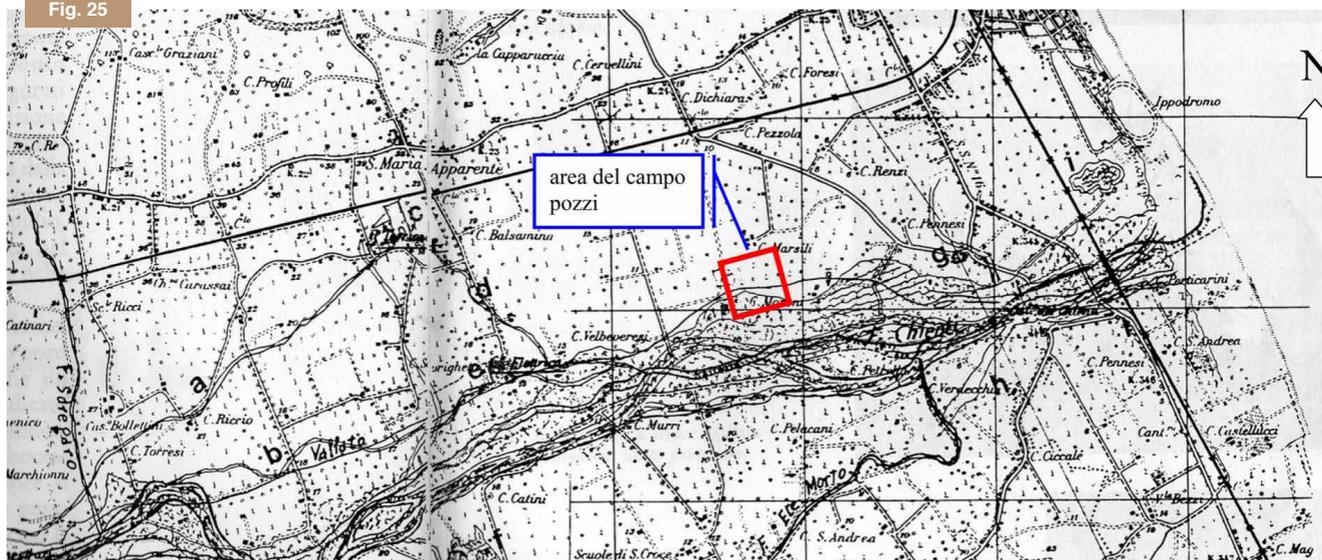
1. Periodo romano – prima metà del IX secolo: tracciato spostato verso il bordo meridionale della pianura alluvionale;
2. IX secolo – inizio XVII secolo: diversione e mantenimento di un tracciato spostato almeno mezzo chilometro più a nord dell'attuale;
3. Inizio XVII secolo – attuale: diversione verso sud e rioccupazione dell'antico tracciato di epoca romana.

Sovrapponendo la morfologia dei luoghi rilevata dall'ignoto autore del manoscritto con quella riportata nella cartografia ufficiale dell'IGM (Galiè, 1989), si rileva (Fig. 25):

Fig. 24 Stralcio della pianta topografica della porzione terminale della valle del Chienti, conservata nell'archivio storico del municipio di S. Elpidio a Mare; il documento manoscritto risale presumibilmente alla fine del '700 (Galiè, 1989). L'elemento più significativo è costituito dal fatto che i possedimenti di S. Elpidio a Mare (terreni coltivati e spazi ghiaiosi) si estendono anche sulla riva sinistra del corso d'acqua; il confine è individuato da croci disegnate sulla sinistra del fiume che delineano l'andamento (lettera F sulla carta) della "ripa vecchia di detto fiume verso il territorio di Civitanova, di altezza di nove o dieci palmi<sup>32</sup> in circa ragguagliatamente, giurisdizione di S. Elpidio" (testo riportato nella legenda al margine inferiore della stessa carta). Il Chienti deve pertanto aver subito uno spostamento notevole verso sud. Si osserva inoltre che l'estensione dei possedimenti elpidiensi aumenta gradualmente verso la foce, ad indicare che prima della compilazione della carta il fiume scorreva progressivamente più a nord man mano che si avvicinava al mare; esso sfociava poi in corrispondenza di un ristagno di acque (probabile alveo abbandonato e impaludato) chiamato lago o buscione o stagno (rintracciabile poco a sud ovest dell'attuale stadio comunale; lettera H sulla carta, poco evidente perché al centro del lago stilizzato in prossimità della linea di costa). Tale tracciato si è certamente mantenuto, come ha dimostrato Galiè, fino agli inizi del '600, periodo al quale è databile la diversione verso sud del F. Chienti, che è andato a rioccupare il vecchio tracciato d'epoca romana, non molto dissimile dall'attuale e mantenuto fino alla prima metà del IX secolo.

<sup>32</sup> Considerando che un palmo romano corrisponde, per le misure lineari, a circa 20 – 25 cm, la scarpata che delimitava verso nord l'alveo del F. Chienti doveva aggirarsi sui 2.0 – 2.5 metri.

Fig. 25



## BIBLIOGRAFIA

che la porzione meridionale dell'area campo pozzi viene a trovarsi in corrispondenza di un'ansa abbandonata del tracciato che il Chienti occupava in periodi precedenti alla redazione del documento (fase 2) e all'attuale<sup>33</sup>. Nel dettaglio si osserva inoltre che mentre la parte più distale dal nuovo corso del Chienti era già stata riconquistata alla pratica agricola (terreni coltivati), quella prossima al fiume viene ancora segnalata come *distesa ghiaiosa*; i depositi ghiaiosi di fondo canale si sono ovviamente depositi per tutta la larghezza della fascia spazzata dai canali intrecciati del fiume (*braided*) nel corso delle sue divagazioni e sono oggi identificabili come *paleoalveo* del Chienti.

L'ipotesi di una alimentazione laterale delle acque del Chienti verso la parte meridionale del campo pozzi, connessa anche ad un paleoalveo recente sepolto, è pertanto avvalorata, oltre che dai dati geologico – idrogeologici esposti nel presente lavoro, anche dalla ricostruzione delle variazioni geomorfologiche della bassa valle del F. Chienti in epoca storica.

Fig. 25 Confronto tra la morfologia descritta nella carta topografica del '700 dell'archivio storico del municipio di S. Elpidio a Mare e la cartografia ufficiale (scala 1:25.000) dell'IGM (Galiè, 1989). La porzione meridionale del campo pozzi si trova in corrispondenza di un'ansa abbandonata del tracciato che il Chienti occupava in periodi precedenti alla redazione del documento (fase 2, vedi testo) e all'attuale. La parte di piana alluvionale più distale dal nuovo corso del Chienti era già stata riconquistata alla pratica agricola (terreni coltivati), quella prossima al fiume è ancora segnalata come distesa ghiaiosa; i depositi ghiaiosi di fondo canale, oggi identificabili come paleoalveo del Chienti, si sono ovviamente depositi per tutta la larghezza della fascia spazzata dai canali intrecciati del fiume (*braided*) nel corso delle sue divagazioni. Ciò avvalorata, per altra via, l'ipotesi di una alimentazione laterale delle acque del Chienti verso la parte meridionale del campo pozzi, connessa anche alla presenza di un paleoalveo sepolto, ipotesi alla quale è collegata, secondo lo studio qui condotto, la diversa entità del fenomeno di inquinamento riscontrabile nelle aree a nord (più inquinate) e a sud (meno inquinate) del campo pozzi della Centrale di sollevamento di Civitanova Marche.

<sup>33</sup> La verticale G1 (Fig. 24 e sezione geologica VI in allegato) evidenzia, nella porzione più superficiale, un motivo deposizionale di argine di corso d'acqua a canali intrecciati (*braided*). Tra il corso attuale del F. Chienti e la fascia meridionale del campo pozzi, sedimenti ghiaioso – sabbiosi di riempimento si rinvengono subito al di sotto della sottile copertura di terreno vegetale. Nei sondaggi MN1, P1 e P2 (Fig. 39) essi si trovano ad una profondità di soli 1,5 – 2,0 metri dal p.c. e poggiano, in continuità idraulica verticale, su corpi ghiaioso – sabbiosi che costituiscono, anche nell'area del campo pozzi, il primo orizzonte acquifero (falda superficiale). Questo paleoalveo contribuisce pertanto alla ricarica attiva della falda freatica, che presenta infatti caratteristiche idrochimiche migliori rispetto alla fascia settentrionale del campo pozzi. La forma convessa del corpo ghiaioso – sabbioso superficiale è principalmente dovuta all'orientazione dei vari segmenti della spezzata che costituisce la traccia della sezione. Anche i SEV eseguiti da Mentoni (1996) per conto di Taddei (1996) nel settore a sud della superstrada avevano evidenziato, al di sotto del terreno vegetale e agrario, un elettrostrato di spessore da 1,3 a 3,1 metri costituito da alluvioni ghiaioso-sabbiose allo stato secco e/o umido sopra falda. Questo orizzonte non era stato riconosciuto nei SEV a nord della superstrada e costituiva l'elemento differenziante principale tra le due aree con andamento delle curve di campagna sostanzialmente diverso.

- **Bevilacqua R. (1994).** *Variazioni geomorfologiche e tendenza evolutiva della foce del Chienti e del litorale civitanovese in epoca storica.* Immagini e storie, vol. 4, Centro Studi Città di Civitanova Marche, Biblioteca comunale, 154 - 176.
- **Bevilacqua R. (1995).** *Principali ricerche e studi geologico-archeologici sulle coste e gli approdi marchigiani in epoca storica.* 1° seminario sulle Fonti per la Storia della Civiltà Marinara Picena. S. Benedetto del T., 21 – 22 ottobre 1995.
- **Conti M. (1997).** *Variante Generale al Piano Regolatore di Civitanova Marche (MC).*
- **Conti & Antinori (1989).** *Indagine idrogeologica per il potenziamento della centrale di sollevamento dell'acquedotto comunale.* Comune di Civitanova Marche (MC).
- **Corvatta & Leoperdi (2000).** *Consulenza a carattere geologico e chimico per lo studio di un'area inquinata da 1,1,1 – tricloroetano, ricadente nel perimetro aziendale della ditta Eurosuole s.p.s. di Civitanova Marche.* Comune di Civitanova Marche (MC).
- **Galiè V. (1989).** *Il "Cluentensis Vicus", S. Marone e S. Croce sul Chienti, Civitanova.* Immagini e storie, vol. 3, Centro Studi Città di Civitanova Marche, Biblioteca comunale, 11 – 67.
- **Galiè V. (1993).** *"Cluentum" e il suo porto nell'ambito di Porto Civitanova,* pp. 116.
- **Galiè V. (1989).** *La geomorfologia dell'estrema valle del Chienti in un'antica e inedita carta topografica.* Civitanova, immagini e storie, vol. 2, Centro Studi Città di Civitanova Marche, Biblioteca comunale, 177 – 185.
- **Guarnieri M. & Guarnieri A. (1994).** *Civitanova – La storia, la vita e i giorni.* Cassa Rurale ed Artigiana di Civitanova Marche e Montecosaro, Montepandone, pp. 430.
- **Leoperdi & Corvatta (1993).** *Consulenza tecnica relativa al procedimento n° 818/92 nei confronti di persone da identificare in ordine all'inquinamento della falda acquifera della bassa valle del fiume Chienti.* Procura della Repubblica, Pretura Circondariale di Macerata.
- **Mentoni (1996).** *Indagine geofisica a corredo dell'indagine idrogeologica per il potenziamento della stazione di sollevamento dell'acquedotto comunale – località: Piane Chienti.* Comune di Civitanova Marche (MC).
- **M.LL.PP. Annali Idrologici.** Servizio Idrografico, Ist. Poligr. Stato, Roma.
- **Nanni (1985).** *Le falde di subalveo delle Marche: inquadramento idrogeologico, qualità delle acque ed elementi di neotettonica.* Materiali per la programmazione, Regione Marche.
- **Nanni T. (1991).** *Caratteri idrogeologici delle Marche.* In "L'ambiente fisico delle Marche". Reg. Marche, S.E.L.C.A., Firenze, pp. 177-206.
- **Taddei (1996).** *Indagine idrogeologica per il potenziamento della stazione di sollevamento dell'acquedotto comunale in località Piane Chienti.* Comune di Civitanova Marche (MC).
- **Taddei (1996).** *Relazione tecnica riguardante la realizzazione dei pozzi n° 25 e n° 26 all'interno dell'area di pertinenza della stazione di sollevamento dell'acquedotto comunale, località Piane Chienti.* Comune di Civitanova Marche (MC)
- **Taddei (1998).** *Indagine idrogeologica nella bassa valle del Fiume Chienti finalizzata alla ricerca di nuovi acquiferi per il potenziamento dell'acquedotto comunale.* Comune di Civitanova Marche (MC).
- **Taddei (2002).** *Relazione tecnica inerente la realizzazione di n° 4 pozzi a servizio dell'acquedotto di Civitanova Marche.* Comuni di Civitanova Marche (MC) e Sant'Elpidio a Mare (AP).



# COMPATIBILITA' ED INVARIANZA IDRAULICA:

## procedura e metodologie

a cura di **FABIO ROSSI**  
Consigliere Ordine Geologi Marche

### ► RESUME

I recenti eventi alluvionali che hanno colpito le Marche settentrionali nel settembre 2022 e l'vicina Romagna nel maggio 2023 hanno posto una rilevante attenzione sulla salvaguardia, tutela e monitoraggio dei corsi d'acqua del reticolo principale e secondario e dei relativi bacini idrografici. Tali accadimenti estremi, purtroppo anche luttuosi, non rappresentano più l'eccezione ma la norma.

Secondo un gran numero di scienziati il cambiamento climatico è di origine antropica. Esso è la causa scatenante di questi eventi ravvicinati nel tempo. Secondo altri altrettanto autorevoli (Es. Il premio Nobel Jhon Clauser, Henrik Svensmark ecc.) il Riscaldamento globale è causato dai raggi cosmici (ovvero dalle celle solari) e l'effetto antropico sarebbe minimo.

Il nostro compito non è quello di entrare nel dibattito scientifico, noi dobbiamo solo constatare che in poche ore territori più o meno ampi possono ricevere quantità di pioggia che normalmente cadrebbero in mesi se non in un anno intero.

Il geologo, dipendente pubblico, professionista, docente ecc., rappresenta in questo contesto una figura particolarmente rilevante e deve adoperarsi al fine di rendere significativa la sua presenza. Chi opera nelle scuole tramite divulgazione del concetto di rischio idrogeologico-idraulico, chi opera negli Enti pubblici tramite proposte agli Organi politici e dirigenziali efficaci, plausibili ed utili alla salvaguardia, tutela e monitoraggio dei corsi d'acqua e chi infine opera come professionista eseguendo al meglio i lavori ed i progetti che prevedano verifiche ed interventi su un territorio potenzialmente esondabile.

Nel presente articolo si farà riferimento alla terza categoria, quella dei professionisti.

Nello specifico si parlerà di Compatibilità idraulica, con particolare riferimento alla Verifica semplificata e completa (finanche tramite l'ausilio, con libero uso, di 2 *tools* per il calcolo delle portate di massima piena). Infine, un riprese conclusiva, ma significativa, concernente l'applicazione di taluni concetti anche all'invarianza idraulica.

### 1 PREMESSA

Lo studio di Compatibilità idraulica è regolato nella nostra Regione dalla Delibera di Giunta Regionale n. 53 del 27/01/2014 (articolo 10, comma 4 della legge regionale del 23 novembre 2011 n. 22). In senso stretto esso è l'elaborato che ha lo scopo di valutare l'impatto della previsione urbanistica sull'assetto idraulico ed idrogeologico, ma nell'oggettività lo studio di Compatibilità idraulica è applicabile non solo come previsione ma anche e soprattutto all'esistente.

Questo elaborato, secondo il punto 2.4.1 lettera C) del D.G.R. n. 53/ 2014 e le Linee Guida Regionali, deve essere redatto su differenti livelli/fasi di analisi riferiti alla progressione delle problematiche idrogeologiche ed idrauliche. Le verifiche sono:

- Verifica preliminare
- Verifica semplificata
- Verifica completa

Nel presente articolo si tratterà della verifica semplificata e soprattutto della completa, che oltre a contenere tutte le informazioni della verifica preliminare e semplificata deve includere l'analisi idrologica-idraulica di dettaglio dell'area oggetto di studio.

### 2 VERIFICA SEMPLIFICATA

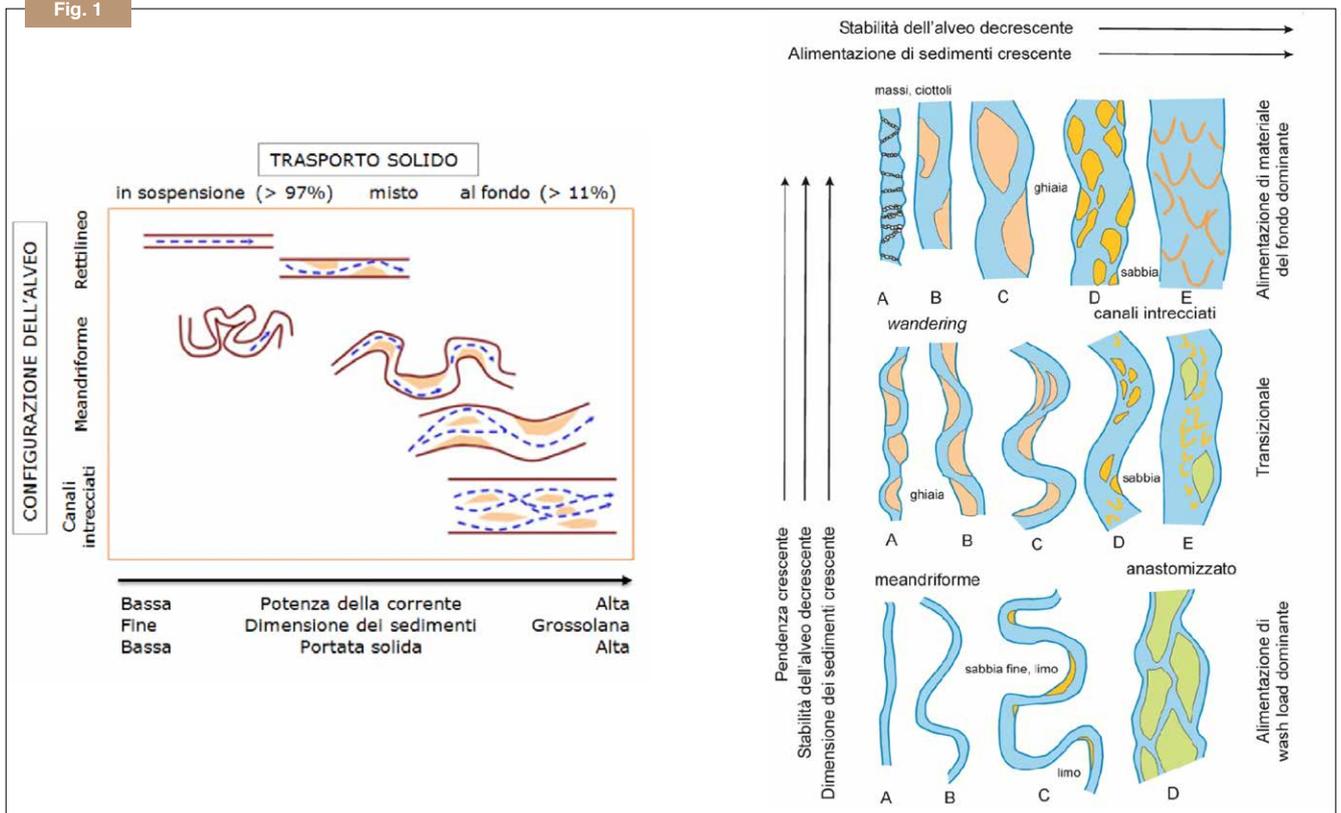
Nella verifica semplificata si devono compendiare i dati di letteratura, generalmente provenienti di studi pregressi (Es. PRG, CaRG, PAI, monitoraggi vari ecc.) ed i dati storici locali con quelli derivanti da uno studio di "morfodinamica ed idrodinamica fluviale".

In dettaglio Lo studio Morfodinamico ed Idrodinamico si delinea attraverso tre unità aggregate:

- Analisi aerofotogrammetrica (o del dataset cartografico)
- Analisi statistico-planimetrica
- Analisi geomorfologica di campagna

**2.1 - Analisi dei dataset cartografici.** L'analisi dei dataset cartografico si esegue sovrapponendo la cartografia ufficiale regionale (Es. C.T.R. nuove e pregresse o cartografie di

Fig. 1



maggior dettaglio se in possesso) con le foto aree più recenti fornite dal sistema satellitare (Es. Digital globe®). Dall'analisi della sovrapposizione dei dataset aerofotogrammetrici si evidenziano eventuali variazioni sia della morfologia del territorio sia della morfodinamica del tratto di corso d'acqua (fiume, torrente, fosso ecc.) sotteso dal progetto.

**2.2 - Analisi statistico-planimetrica.** Per configurazione planimetrica dell'alveo fluviale si intende il tracciato planimetrico assunto dal corso d'acqua. Tale analisi può essere fatta in modo semplificato tramite il modello di Schumm (1977). Egli, basandosi sia su esperienze di laboratorio sia di campagna, ha suggerito uno schema grafico classificativo che mette in relazione il tipo di alveo, la sua forma, i processi dominanti con le condizioni di stabilità.

Il grafico realizzato da Schumm è molto intuitivo e consente un'immediata "definizione" delle condizioni di stabilità di un corso d'acqua (Cfr. **Figura 1** seguente).

Ad esempio la categoria "A" di Schumm corrisponde ad un Alveo stabile, privo di barre di meandro e canali di taglio, con trasporto solido sostanzialmente in sospensione, con una alta stabilità dei meandri ed un basso rapporto larghezza / profondità su pendenze modeste.

Secondo i dati di letteratura tali sistemi fluviali sono scarsamente attivi (o a bassa mobilità di canale), privi di rinnovo della configurazione in alveo e di variazione della geometria idraulica.

Appare evidente che la categoria "D" o "E" di Schumm rappresentano l'opposto della categoria 1, ovvero è rappresentativa dei corsi d'acqua fortemente instabili e che possono dare, a parità di altre condizioni, i maggiori problemi esondativi.

**2.3. Analisi geomorfologica di campagna.** Alla prima e seconda analisi basata rispettivamente sui riscontri dei dataset cartografici e statistico-planimetrici, si deve aggiungere l'imprescindibile analisi di campagna. Essa deve verificare la presenza o meno di terrazzi progressivi ed il loro stato di funzionalità, il mantenimento o meno delle

sponde fluviali, l'approfondimento o meno dell'erosione in alveo, la variazione tessiturale verticale nel deposito fluviale, la geometria del corso d'acqua in senso verticale (a "V", a "U" ecc.) che sono ad esempio indici di presenza o meno di forza centripeta nel corso d'acqua, sino al riscontro della vegetazione ripariale (Es. La presenza e lo stato della vegetazione ripariale, l'analisi dei rami avventizi, la presenza di alberature piegate ecc. sono indici di stabilità o meno dell'area).

**2.4. Compendio alla verifica semplificata.** Se lo studio preliminare/semplificato risultasse esaustivo è chiaramente possibile omettere la verifica completa; in caso contrario è necessaria la verifica completa.

### 3 VERIFICA COMPLETA

La verifica completa, come accennato in premessa, oltre a contenere tutte le informazioni di cui alla verifica preliminare e semplificata deve includere le verifiche idrogeologiche ed idrauliche.

Nel dettaglio, nella verifica completa si devono valutare i corrispondenti tiranti di allagamento (ed eventualmente della velocità della corrente) e definire, se necessario, se incaricati e se previsto dal contratto, gli interventi di mitigazione del rischio idraulico.

Appare evidente che il grado di approfondimento dello studio è funzione dell'importanza della trasformazione territoriale e/o del territorio coinvolto (un corso d'acqua prossimo ad una zona urbana è ovviamente molto più sintomatico rispetto al medesimo corso d'acqua in zone non abitate o prive di infrastrutture), dello stato del reticolo idrografico, dell'ampiezza del bacino sotteso, della vicinanza del corso d'acqua all'area di progetto, se ricade o meno (o in zona *buffer*) nelle tavole di perimetrazione P.A.I. ecc.

Le tabelle 2.4.4.A e 2.4.4.B dell'allegato alla L.R. 53/2014 definiscono ad esempio le aree a differente pericolosità idraulica individuabili con la verifica completa e gli interventi ammissibili.

**3.1 Procedura.** Il primo *step* di riscontro nella verifica completa è quella dei tiranti d'allagamento partendo dalle verifiche idrologiche del bacino idrografico sotteso. Negli studi idraulici è infatti prioritariamente indispensabile procedere alla stima della portata massima ( $Q_{max}$ ) prevedibile che le solleciterà nel corso della durata tecnica attesa.

La portata, nella maggior parte dei casi, specie nei bacini non carsici, è essenzialmente originata dalle precipitazioni meteoriche e, più in generale, dipenderà dalle trasformazioni (temporali / spaziali) che l'acqua subisce durante il suo ciclo idrologico.

In siffatte condizioni è pressoché impossibile calcolare la massima portata prevedibile in senso deterministico e dunque bisogna affrontare il problema in termini probabilistici e/o statistici e finanche empirici. In sostanza si deve sempre partire dal presupposto che le portate di piena sono una *variabile casuale* che si ripete nel tempo senza alcuna relazione. Di conseguenza dovrà essere stimata relativamente ad un livello di probabilità che esse hanno di non essere superate o, meglio ancora, relativamente ad un periodo di tempo (detto *tempo di ritorno: Tr*) che intercorre, in media, tra due eventi in cui il valore di tale portata viene superato.

In genere è possibile riconoscere due tipi di previsioni a seconda dei dati di cui si dispone:

1. stima della portata di piena di progetto tramite osservazioni dirette di portata compiute in passato nel sito (metodologia applicabile a fiumi monitorati);
2. stima della portata di piena di progetto attraverso l'analisi probabilistica delle precipitazioni e/o statistica nel bacino idrografico interessato e la simulazione conseguente del processo di trasformazione in deflussi (metodologia modulare per corsi d'acqua non monitorati o minori).

**3.2 Elementi generali di riferimento.** L'algoritmo che interpreta il **Rischio (R)** associabile ad un evento estremo, vale a dire la probabilità che un evento di piena, con un tempo di ritorno di "n" anni, ha di manifestarsi, è definito da:

$$R = 1 - \left[ 1 - \left| \frac{1}{Tr} \right| \right]^2$$

R%	n	R%	n
0,5000	1	39,4230	100
0,9975	2	42,3846	110
2,4751	5	45,2014	120
4,8890	10	47,8805	130
9,5390	20	50,4286	140
13,9616	30	52,8521	150
18,1680	40	55,1572	160
22,1687	50	57,3495	170
25,9739	60	59,4347	180
29,5930	70	61,4179	190
33,0352	80	63,3042	200
36,3091	90	91,8428	500

**3.3. Metodologia diretta.** Come riscontrato al paragrafo 3.1, se il corso d'acqua è monitorato e si hanno dati di portata di piena massimali passanti o prossimi alla sezione di progetto si può passare con una certa sicurezza alla verifica idraulica tramite l'ausilio di software specifici, il più famoso dei quali (e gratuito) è HEC-RAS.

Viceversa, nel caso si tratti di corso d'acqua minori, non monitorati o se la sezione di riscontro sia molto lontana rispetto a quella monitorata e non si hanno dati di portata massimale continuativi definiti ed esplicitati, ovvero si voglia comunque eseguire una verifica di riscontro del dato in possesso, in tale caso per la determinazione delle portate al colmo si fa riferimento alla metodologia indiretta.

**3.4. Metodologia indiretta.** Per la determinazione delle portate di piena relative al bacino del corso d'acqua afferente l'area in studio si possono utilizzare o il *Metodo statistico probabilistico di Gumbel* o l'*analisi empirico-analitica*.

Ambedue le metodologie trovano ottimo riscontro in letteratura; esse possono essere utilizzate singolarmente o meglio ancora assieme, così da avere un confronto dei dati di portata massimale ricavati.

**3.4.1 Metodologia di Gumbel.** Per applicare la metodologia di Gumbel si deve provvedere alla individuazione delle altezze di massima di pioggia registrate per la durata di 1, 3, 6, 12, 24 ore.

Per la Regione Marche tali dati possono essere estratti dal database del Centro Funzionale di meteorologia, idrologia e sismologia. I dati pluviometrici relativi alle piogge di progetto sono disponibili *on-line* all'indirizzo: <http://84.38.48.145/sol/indexjs.php?lang=it>, tramite registrazione ed autenticazione password, del Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico Regionale.

Poiché nella maggior parte dei casi pratici si dispone solo delle precipitazioni meteoriche in alcuni punti del bacino, la portata viene stimata simulando, attraverso un modello matematico, il processo di trasformazione afflussi-deflussi nel bacino idrografico.

Il calcolo tramite l'analisi probabilistica delle precipitazioni, con riferimento alle cosiddette *curve di possibilità pluviometrica*, indicate con l'acronimo *c.p.p.*, adotta le formule di seguito riportate.

$$H_{MAX}(t, T_r) = m - \frac{\ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{Tr} \right) \right]}{k} \quad (1)$$

$$H_{crit.}(t, T_r) = a \times t^n \quad (2)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_i - \bar{H}_i)^2}{n-1}} \quad k = \frac{1}{0,78 \times s} \quad m = \bar{H}_i \frac{0,577}{k}$$

Per la relazione (2) il coefficiente "a" e l'esponente "n" vengono determinati con il metodo dei minimi quadrati, secondo le seguenti relazioni matematiche:

$$a = 10^{\sqrt{\log} H_{max}(t, T_r) - n(\log t)}$$

$$n = \frac{\sum (\log t - \overline{\log t}) \times \log H_{max}(t, T_r)}{\sum (\log t - \overline{\log t})^2}$$

che rappresentano rispettivamente:

**a** = variabile funzione del tempo ritorno

**n** = costante per un dato valore di t

I SIMBOLI ADOTTATI NELLE FORMULE ASSUMONO I

SEGUENTI SIGNIFICATI:

**H<sub>max</sub>(t, T)** = altezza massima di pioggia con tempi di ritorno;

**H<sub>crit</sub>(t, T)** = altezza critica di pioggia con tempi di ritorno;

**H<sub>i</sub>** = media aritmetica delle altezze massime di pioggia registrate per la durata di 1, 3, 6, 12, 24 ore;

**s** = deviazione standard;

**Ln** = logaritmo naturale;

**t** = durata della pioggia di 1, 3, 6, 12, 24 ore;

**Tr** = tempi di ritorno in anni

Per la stima dei *tempi di corrvazione* e della portata massimali di piena del bacino idrografico si possono applicare numerose formule. Due significative per il calcolo probabilistico sono le relazioni matematiche:

- ▶ di **Kirpich, Watt-Chow e Pezzoli** per il tempo di corrvazione ( $T_c$ )

$$t_c = 0,02221 \left( \frac{L}{\sqrt{P}} \right)^{0,8}$$

dove le variabili del bacino sono:

**tc** (ore) = tempo di corrvazione;

**L** (km) = lunghezza dell'asta principale;

**P** (-) = pendenza media del percorso idraulico

- ▶ di **Giandotti** per il tempo di corrvazione ( $T_c$ )

$$t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{H_m - H_0}}$$

dove le variabili del bacino sono:

**tc** (ore) = tempo di corrvazione;

**L** (km) = lunghezza dell'asta principale;

**m = H (m) - H<sub>0</sub> (m)** = altitudine media del bacino riferita alla quota della sezione di chiusura.

Per la stima della porta di massima piena (**Q<sub>max</sub>**) la formula ottimale per il metodo probabilistico di Gumbel è il Metodo razionale.

La formula del **Metodo razionale** si esprime con:

$$Q_{max} (mc/sec) = 0,278 \times \frac{C_a \times h_{crit} \times S}{T_c}$$

dove:

**Q<sub>max</sub>** (mc/s) = portata di massima piena al colmo per un dato tempo di ritorno;

**Tc** = tempo di corrvazione (ore);

**Ca = Cd = C** = coefficiente di afflusso (variabile da 0 a 1). Tale parametro può essere ricavato con il metodo di Kennesey o tramite tabelle di letteratura o in via semplificata con la relazione di Schaake et Alii (1967):

$$C_a = 0,14 + 0,65 \cdot A_{imp} + 0,55 \cdot i_c$$

**hcrit** = precipitazioni massime (m) di dato tempo di ritorno ragguagliate al bacino sotteso e di durata pari al tempo di corrvazione ( $T_c$ );

**S** = area del bacino (kmq).

Tramite queste "semplici" formulazioni matematiche è possibile determinare la **portata massima di un corso d'acqua nella sezione di progetto del bacino idrografico** **Q<sub>max</sub>** corrispondente ad un tempo di ritorno **Tr** di 50, 100, 200 e 500 anni.

**3.4.2 Analisi empirico-analitica.** Per una puntuale definizione di un programma progettuale, la verifica probabilistica della portata di massima piena (**Q<sub>max</sub>**) al tempo di ritorno previsto può essere integrata mediante l'ausilio di altre metodologie empirico-analitiche, alcune legate ai principi della relazione di Gumbel, talune a dati statistici, le restanti a variabili sostanziali e sussidiarie relative alla geologia, alla topografia, all'idrogeologia e alla "cinematica" del bacino idrografico di riferimento.

Si rappresenta, in ogni caso, che data l'assenza di valori progressivi delle piene per un corso d'acqua di riferimento, le piogge e le relative portate di sezione e di piena sono sempre "regolate" da leggi costitutive non lineari e quindi la maggiore o minore veridicità delle diverse soluzioni proposte è sempre di problematica agnizione.

Per l'assunzione del tempo di corruzione (**Tc**), dato che rappresenta il tempo necessario affinché una particella d'acqua possa giungere dai punti più lontani del bacino alla sezione fluviale considerata, si possono provvedere all'assunzione di valori medio/statistici ricavato da tutta una serie di algoritmi, definiti da numerosi autori in dissimili studi per bacini di diversa natura, grandezza e localizzazione geografica (Es. Formula di Pasini, - Formula di Giandotti, - Formula di Alvord-Horton, - Formula di Puglisi e Zanframundo, - Formula di Ventura, - Formula di Kirpich, - Formula di Tournon, - Formula di Ogrosky-Mocus, - Formula di Viparelli, - Formula F.A.O.)

Per la computazione della portata massima del bacino idrografico **Q<sub>max</sub>** corrispondente ad un tempo di ritorno **Tr** di 50, 100, 200 e 500 anni si può fare riferimento ad altrettante serie di algoritmi, definiti da numerosi autori in formulazioni empiriche (Formula di Sordo, Formula di Scimeni, Formula di Pagliaro, Formula di Forti I e II; Formula di Tournon, Formula di Whistler), semi-empiriche (Formula di Iskowski), semi-analitiche (Formula di Merlo, Formula di Giandotti, Formula di Turazza) ed analitiche (Formula razionale).

**3.5 Calcolo portate massime defluibili.** La portata (**Qs**) che defluisce per una determinata sezione d'alveo e per lo spandimento degli eventuali volumi esondabili nel territorio circostante è fornita dalla relazione:

$$Q_s \text{ (mc/sec)} = A \times v_m$$

dove:

**A** (mq) = area della sezione trasversale dell'alveo;  
**v<sub>m</sub>** (m/sec) = velocità media dell'acqua (in m/s) nella sezione esaminata;

In base a tale principio noi possiamo stimare la portata smaltibile (**Qs**) da una sezione fluviale, dato da confrontare con la portata di piena prevista/calcolata con i metodi esposti ai paragrafi 3.4.1 e 3.4.2 al tempo di ritorno (**Qmax**), così da conoscere lo spandimento degli eventuali volumi esondabili nel territorio circostante.

Il calcolo delle portate defluibili deve essere fatto in moto Uniforme, Vario e Permanente.

**3.5.1 Moto Uniforme.** Assumendo il criterio del criterio del moto uniforme, immaginando che la linea piezometrica abbia la stessa inclinazione dell'alveo nella direzione della corrente, criterio valido in corsi d'acqua a debole pendenza (come è il caso torrente nel tratto di progetto del tutto pianeggiante).

La *velocità media della corrente* può essere espressa dalla relazione di Manning-Strickler:

$$v_m \text{ (mc/sec)} = c \times \sqrt{R_i \times p}$$

dove:

**Ri** (m) = raggio idraulico = A / Perimetro bagnato;  
**p** (%) = gradiente idraulico (pendenza dell'alveo nel tratto considerato);  
**c** (-) = coefficiente di attrito

Valutata la velocità della corrente, noto il valore dell'area della sezione del corso d'acqua, si può calcolare la portata smaltibile, da confrontare con la portata di massima piena di riferimento.

**3.5.2 Moto Vario.** Nel caso di rapidi restringimenti della sezione dovuti alla presenza di ostacoli all'interno dell'alveo, la corrente subisce immediatamente a monte un innalzamento (sopralzo) del livello idrico. Questa situazione si verifica, per esempio, in corrispondenza di restringimenti prodotti dalle pile di un ponte. La stima della variazione dell'altezza idrometrica in questo caso può essere effettuata con il metodo proposto da Yarnell. La formula è:

$$\Delta y = y \times K_y \times (K_y - 0,6 + 5 \cdot F^2) \times [1 - r + 15 \times (1 - r)^4] \times F^2$$

dove:

**y** = altezza della corrente a monte del ponte o del restringimento

**v** = velocità della corrente a monte

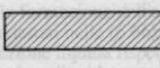
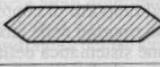
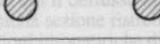
**g** = accelerazione di gravità

**(1 - r)** = grado di restringimento dell'alveo, dato da (b<sub>0</sub>-b<sub>1</sub>)/b<sub>0</sub>, dove b<sub>0</sub> è la larghezza della corrente a monte del ponte e b<sub>1</sub> è quella ridotta in corrispondenza delle pile dell'opera

**K<sub>y</sub>** = coefficiente di forma delle pile, variabile da 0,90 a 1,25

**F** = numero di Froude, dato dalla relazione:

$$\frac{v}{\sqrt{gy}}$$

forma delle pile	coeff. K <sub>y</sub>	forma delle pile	coeff. K <sub>y</sub>
	1,25		0,95
	1,05		0,90
	1,05		

La formula di Yarnell è valida nel caso in cui la corrente si mantenga di tipo lento anche in corrispondenza dell'attraversamento.

**3.5.3 Moto Permanente.** Nel moto permanente si stima che la linea piezometrica abbia un'inclinazione differente rispetto a quella dell'alveo, cioè senza immissioni o perdite significative nel tratto verificato, si deve procedere fissando la portata di piena di riferimento per la quale effettuare la verifica della sezione, successivamente si individuano le sezioni di verifica e di controllo, poste ad una distanza nota l'una dalle altre. La sezione di controllo è quella, per la quale deve essere nota l'altezza idrometrica per la portata di calcolo o in cui si abbia una situazione di altezza critica. Si ha una condizione di altezza idrometrica critica, quando una determinata portata passa con la minima energia rispetto al fondo (situazione che si ha per esempio in corrispondenza di un salto di fondo). In quest'ultimo caso l'altezza idrometrica è ricavabile utilizzando la relazione:

$$\alpha_c \frac{Q^2 b}{gA^3} = 1$$

dove:

**Q**(mc/s) = portata del corso d'acqua;

**b**(m) = larghezza dell'alveo;

**g**(m/s<sup>2</sup>) = accelerazione di gravità = 9.81;

**A**(mq) = area della sezione liquida;

**α<sub>c</sub>** = coefficiente di Coriolis.

Il coefficiente di Coriolis deve essere calcolato con la seguente formula:

$$\alpha_c = \frac{A_{tot} \sum_{i=1}^n \frac{C_i^3}{A_i^2}}{C_{tot}}$$

Si calcola poi la velocità della corrente nella sezione di controllo attraverso la relazione:

$$v_c = \frac{Q}{A_{tot}}$$

Si stima la quota della linea di energia della sezione di controllo con la formula:

$$E_c = h + z + \alpha \frac{v^2}{2g}$$

dove:

**h** = altezza idrometrica rispetto al punto più profondo dell'alveo;

**z** = quota s.l.m. del punto più profondo dell'alveo

Si calcola la pendenza della linea di energia  $J$ , sempre nella sezione di controllo da rapporto:

$$J_c = \frac{Q^2}{C_{tot}^2}$$

Valutata la velocità della corrente, noto il valore dell'area della sezione del corso d'acqua, si può calcolare la portata smaltibile, da confrontare con la portata di piena di riferimento.

**3.6. Rischio esondazione.** Per evitare il rischio d'esondazione in una sezione fluviale di riferimento dovrà quindi esser sempre verificata la disuguaglianza:  $Q_s \leq Q_{max}$  (di piena).

**3.7 Modello idraulico.** Senza entrare nel merito della elaborazione analitica-euristica e delle relative equazioni di calcolo e per le quali si rimanda alla letteratura scientifica ed ad un eventuale altro trattato, si rappresenta che il modello matematico monodimensionale per lo studio del moto uniforme, vario e permanente può essere eseguito con diversi software il più famoso (e gratuito) dei quali è HEC-RAS giunto alla versione 5.1.

**3.8 Modello Idrologico-Idrogeologico.** Per il calcolo del modello idrologico ed idrogeologico, di fondamentale importanza per la determinazione del volume massimale di acqua ( $Q_{max}$ ) che passa per la sezione fluviale di progetto, sono allegati al presente articolo due tool creati per Microsoft Excel, quindi applicabili per qualsiasi piattaforma PC/Mac, rispettivamente per il:

- ▶ Calcolo della portata di massima piena tramite la Metodologia probabilistica di Gumbel.
- ▶ Calcolo della portata di massima piena tramite metodologie empirico-analitiche.

Entrambi sono di facilissimo impiego, User-friendly e di libero uso.

Per il tool che adotta la **Metodologia probabilistica di Gumbel** si hanno 3 fogli di calcolo distinti. Nel primo

(denominato Dati Pluviometrici) è necessario inserire nelle case editabili i valori delle altezze massime di pioggia registrate per la durata di 1, 3, 6, 12, 24 ore e disponibili per la nostra Regione on-line all'indirizzo: <http://84.38.48.145/sol/indexjs.php?lang=it> (come spiegato al paragrafo 3.4.1), nel terzo (denominato Calcolo delle Portate di Pien) i dati relativi al bacino ed alla sezione fluviale considerata, come superficie del bacino "S", lunghezza del corso d'acqua "L", altitudine bacino e percorso idraulico, altitudine della sezione di chiusura, coefficiente di deflusso "C" ecc. (in sostanza i dati relativi alle caselle editabili con numeri di colore rosso). Nel secondo foglio di calcolo, denominato "Analisi dei dati a Tr", non si deve far nulla in quanto non ci sono caselle editabili. L'importanza tuttavia di questo foglio verrà esplicitata nel paragrafo 2.9 seguente sull'invarianza idraulica).

Il risultato finale automatizzato è l'altezza critica di pioggia ( $H_c$ ), il  $T_c$  (tempo di corrivazione) e la portata di massima piena a vari tempi di ritorno ( $T_r = 10, 30, 50, 100$  e  $200$  anni).

Per il tool che adotta le **Metodologie empirico-analitiche** si ha invece un unico foglio di calcolo e la composizione è ancor più semplice. In tale caso basta compilare le caselle in colore rosso relative ai parametri di ingresso (pressoché identici a quelli del metodo precedente ma senza la necessità di andare a cercare le altezze massime di pioggia registrate per la durata di 1, 3, 6, 12, 24 nel database regionale).

Il risultato finale automatizzato è anche in tale caso l'altezza critica di pioggia ( $H_c$ ), il  $T_c$  (tempo di corrivazione) e la portata di massima piena a vari tempi di ritorno ( $T_r = 10, 30, 50, 100, 200$  e  $500$  anni).

Appare chiaro che la scelta del valore di riferimento per la portata di massima piena scaturita dai differenti metodi di calcolo adottati (che porta anche a risultati molto differenti in termini di mc/sec) è di specifica competenza e pertinenza del professionista che utilizza il foglio di calcolo e che deve essere consapevole, in funzione del tipo di studio che sta eseguendo e dell'area afferente, quale sia il valore di portata massimale maggiormente rispondente.

**3.9 Invarianza idraulica.** La medesima legge regionale che norma la Compatibilità idraulica disciplina anche l'Invarianza idraulica.

L'invarianza è il principio in base al quale le portate massime di deflusso meteorico scaricate dalle aree urbanizzate nei ricettori naturali o artificiali non devono essere maggiori di quelle preesistenti all'urbanizzazione.

Senza entrare nei dettagli normativi, che peraltro esulano dal presente articolo e dalle funzioni dello scrivente, essa stabilisce 4 soglie dimensionali che variano in funzione della superficie sottesa. Si va dalla trascurabile impermeabilizzazione sino alla marcata impermeabilizzazione se essa interessa superfici superiori a  $10.000\text{mq}$ .

Tramite il foglio di calcolo messo a disposizione dalle ex-Autorità di Bacino regionale è possibile computare il volume di laminazione dovuto alla trasformazione territoriale. L'ottimo foglio di calcolo presenta dal mio punto di vista dei bugs.

Appare ad esempio del tutto chiaro che una trasformazione territoriale che preveda una impermeabilizzazione ad esempio nei comuni di Visso, Fabriano, Piobbico non può essere equivalente, a parità di superficie idraulicamente interessata ed impermeabilizzata, a quella di un comune costiero come San Benedetto del Tronto, Civitanova Marche o Fano e questo perché i volumi di precipitazione variano da zona a zona, sono molto maggiori nelle zone interne,

appenniniche e minori in quelle costiere, e tutte le note bibliografiche e cartografiche confermano tale dato (basta leggere qualsivoglia carta delle isoiete).

Questa "anomalia" non può purtroppo essere corretta nel caso di "modeste" e "trascurabili" impermeabilizzazioni (ovvero fino a 10.000mq). A partire dalla "significativa" impermeabilizzazione è ammesso invece l'utilizzo di un valore diverso del parametro "n" (che rappresenta l'esponente della curva di possibilità climatica e fissato dalla norma a: 0,48) attraverso l'ausilio di un'adeguata analisi idrologica dell'area/bacino di progetto.

Ed è proprio in questo contesto che entra in gioco l'analisi statistico-probabilistica di Gumbel spiegata al paragrafo 3.4.1 e di cui si fornisce un semplice ed efficace foglio di calcolo (Cfr. Prg. 3.8).

Tramite tale analisi è possibile determinare il valore di "n" specifico per quel bacino che, nella maggior parte dei casi e specie nelle zone costiere e nei bassi bacini, è inferiore al valore "n", anche del 25%, con punte del 35% (verificato direttamente in molteplici casi). Questo determina una

sensibile riduzione del volume di acqua e dunque dei costi di realizzazione dell'opera di laminazione.

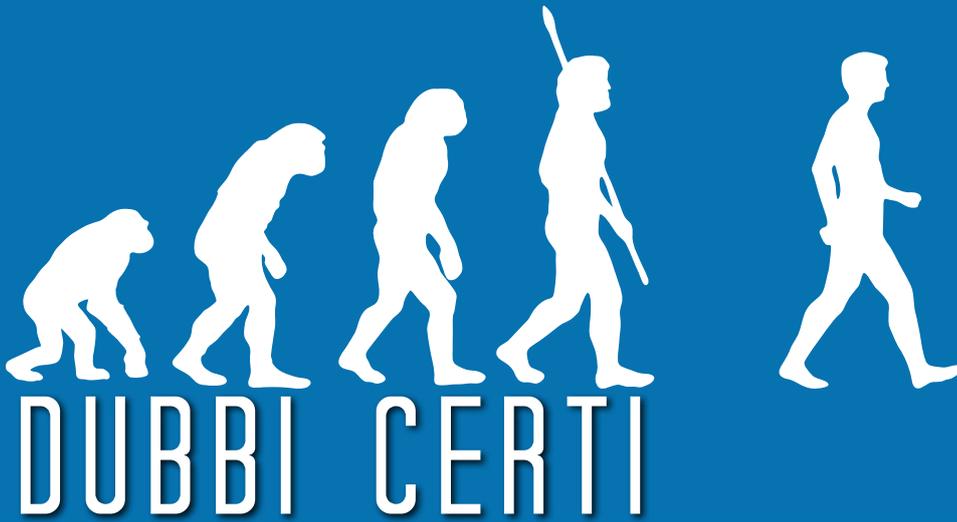
Il valore di "n", nel foglio di calcolo allegato e denominato "Portate di massima piena (metodo di Gumbel)", si trova nella seconda sezione "Analisi dei dati a Tr". Il valore di "n" si ricava facendo l'analisi idrologica del bacino immettendo i valori delle altezze massime di pioggia registrate per la durata di 1, 3, 6, 12, 24 ore.

È chiaro che mediante l'uso di qualunque altro software free o a pagamento è possibile ricavare il valore di "n" per quella specifica sezione di bacino.

Come postilla finale si segnala che sarebbe opportuna una correzione normativa che consenta di editare il parametro "n", ovvero che ci fosse la possibilità di estendere e prevedere l'analisi idrologica anche alle condizioni di "trascurabile" e "modesta" impermeabilizzazione, sino a togliere anche il limite dei 100mq al di sotto del quale non deve essere eseguita alcuna verifica (...come se una impermeabilizzazione di 101mq interferisce con il deflusso naturale delle acque ed una di 99mq no).

## BIBLIOGRAFIA

- **Regione Lombardia: U.O. Tutela e Valorizzazione del Territorio.** SIBCA Sistema Informativo Bacini e Corsi d'Acqua. Agg. 2022
- **Amministrazione Provinciale di Siena - Ufficio di Piano per il PTCP.** Allegato 3. Disciplina tecnica da utilizzare come standard provinciale per la stima delle portate al colmo, per la definizione della portata smaltibile, per la disciplina delle distanze di sicurezza dagli alvei. 2000.
- **Prof. Ing. A. Cancelliere** - Corso di Idrologia Applicata - A.A. 2006-2007
- **Materiale Didattico prof. Moisello: lezioni 2/017 Idrologia.** Università degli Studi di Pavia
- **Formula Geo ver. 3** - Program Geo 2005
- **Benini G. (1974).** *Sistemazioni Idraulico-Forestali.* CLEUP, Padova.
- **D.G.R. 53/2014 e Linee Guida regionali**
- **Henrik Svensmark (1998).** "Influence of Cosmic Rays on Earth's Climate". Physical Review Letters.
- **Clauser, John F. (1970).** *Measurement of the Cosmic Microwave Background by Optical Observations of Interstellar Molecules* (Ph.D. thesis).
- *Portate di massima piena al colmo (on line).* **Alberto Montanari,** Professore di Costruzioni Idrauliche, Marittime ed Idrologia Dipartimento DICAM, Università di Bologna.
- **Kuichling Emil.** *The Relation between the Rainfall and the Discharge of Sewers in Populous Districts,* in Transactions of the American Society of Civil Engineers, vol. 20, American Society of Civil Engineers, gennaio 1889
- **Metodo delle piogge per il calcolo dei volumi di invaso per l'invarianza idraulica.** ing. Martino Cerni. Consorzio di Bonifica Dese Sile - 30174 VENEZIA - Via Rovereto, 12. 2020
- **Consorzio Bonifica Marche e UNICAM (documentazione on line).** *Studio per la mitigazione del rischio idrogeologico.* Dott. Michele Tromboni. Prof. Piero Farabollini, Prof. Massimo Sargolini, Prof. Marco Materazzi, Prof.ssa Rosalba D'Onofrio, Prof. Michele Talia.
- **Università degli Studi di Napoli "Federico II"** - Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale
- **Hydrologic Risk Geostru.** Helpdesk.
- **Università degli Studi di Napoli "Federico II"** - Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale. Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile - Architettura
- *Idrogeologia - Principi e metodi.* G. Castany. Flaccovio Dario (2009)
- *Rischio idraulico ed idrogeologico* A.M. Caivano – EPC Libri. EPC Libri 2003.
- **Pietro Celico.** *Prospezioni idrogeologiche* volumi 1 e 2. 1988, Liguori Editore.



## Recensioni semiserie e ironiche con intermezzi di amenità varie...

a cura di FABIO LATTANZI



### ► IL MESTIERE PIÙ ANTICO DEL MONDO

Questo modo di dire, edulcorato e quasi elegante, è riferito alla prostituzione ed è entrato nel lessico di tutte le lingue del mondo per indicare precisamente “quel lavoro”.

Pare che questo “façon de dire” l’abbia inventato Rudyard Kipling o almeno, fu il primo a utilizzarla in un testo scritto.

Sicuramente l’origine del meretricio, nelle sue varie forme, si perde nella notte dei tempi della storia dell’uomo. Per tracciarne le origini si può arrivare fino al mondo delle “*prostitute sacre*” raccontate nella saga di Gilgamesh, di ambientazione sumera, che risale a circa 4.500 anni fa. Donne, forse schiave o ex-schiave che venivano consegnate al dio e vivevano nel tempio, a disposizione dei fedeli, ed erano per la maggior parte straniere. In questo caso, nel prostituirsi, svolgevano una funzione sacra.

Ma ora non stiamo qui a cincischiare con la storia della prostituzione...Andiamo al succo...è o non è il mestiere più antico del mondo?

Qualche tempo fa mi è capitato tra i polpastrelli un libricino poco più grande di un opuscolo regalato assieme ad un numero della rivista “le Scienze” di qualche anno fa e sponsorizzato nientepopodimeno che dalla Fondazione Pfizer “scienza-cultura-umanità” intitolato “Le origini dell’uomo” ... tempi “prepandemici” non sospetti...

All’interno 13 articoli scientifici essenzialmente tutti di paleontologia, tutti molto interessanti...ma l’ultimo mi ha veramente rapito; intitolato “L’evoluzione del parto”, scritto dalle studioso Karen R. Rosenberg e Wenda R. Trevahan.

Esso ci illustra, come l’evoluzione abbia diversificato il meccanismo del parto tra la specie Homo e tutti le altre scimmie antropomorfe; in quest’ultime, il parto risulta decisamente più facile, sia per le dimensioni ridotte della testa del piccolo, sia per le caratteristiche anatomiche dell’osso pelvico delle mamme.

I neonati delle scimmie, fuoriescono dal canale del parto, guardando in avanti e soprattutto non devono fare tutte quella serie di rotazioni e accomodamenti per potersi allineare al canale di uscita.

Mentre nella specie Homo, per via della postura eretta e quindi della limitata larghezza dell’osso pelvico delle



**Le origini dell'uomo viaggio nell'evoluzione dall'australopiteco a Homo sapiens**

Editore: Le scienze  
Anno edizione: 2005  
Pagine: 159 p.

mamme, congiuntamente alla grande dimensione della testa dei piccoli, il neonato deve prima ruotare e allinearsi in modo corretto, poi incanalarsi e contemporaneamente girare, per infine uscire con il capo che guarda dietro, per questa postura di nascita, le neomamme non riescono ad avere un controllo sufficiente sul nascituro e su se stesse, ogni azione indirizzata verso un'accelerazione del parto (estrazione del piccolo da parte della madre) potrebbe portare gravi danni alle ossa soprattutto della spina dorsale del piccolo. La risposta a tutte queste problematiche, è stata ovviamente quella di cercare un aiuto (anche psicologico) durante il travaglio e il parto da parte di un'altra persona.

Quest'assistenza (di una persona che già aveva esperienza e che sapeva cosa fare) anche nelle forme più semplici, nel corso della storia dell'uomo, ha ridotto notevolmente la mortalità dei piccoli e delle madri.

In questa cornice si inserisce la mia semplice osservazione: considerando che la dicotomia tra le caratteristiche anatomiche delle scimmie e dell'Homo sono avvenute molte centinaia di migliaia di anni fa, quindi...molto prima della nascita del concetto di denaro e di sfruttamento, gli individui (probabilmente altre donne che magari avevano già fatto l'esperienza del parto...ma forse anche uomini che avevano assistito la propria compagna alla nascita del figlio) che prestavano assistenza alle nostre antenate mamme, sono stati i primi rappresentanti "specializzati" di un "mestiere" che veramente (cronologia alla mano) si può chiamare il "mestiere più antico del mondo"...la "levatrice" (penso che il maschile non esista).

Queste progenitrici delle attuali ostetriche, hanno cullato per prime tra le loro braccia, nei millenni passati, tutte le varie "specie di homo" che si sono succedute prima di noi...fino ad arrivare a noi.

È affascinante, che sia questo il lavoro più antico nella nostra storia di Homo, un lavoro che probabilmente ha determinato, o per lo meno aiutato, il successo evolutivo della nostra specie un mestiere sicuramente con un valore aggiunto, perché far nascere bambini...è veramente la cosa più bella del mondo!

Il libro era allegato ad un vecchio numero della rivista "le Scienze" e quindi lo si può ritrovare soltanto usato in giro per il web (spesso a cifre irrisorie).

Dalla quarta di copertina la presentazione recita:

*"Nel 1925, Raymond Dart scopriva in Sudafrica un cranio fossile risalente a 2,5 milioni di anni fa, che chiamò "Australopithecus africanus". Era la prima volta che un antropologo si trovava di fronte a un così antico antenato dell'uomo e oggi, a dispetto delle polemiche che seguirono il ritrovamento, la scoperta di Dart è considerata una pietra miliare nella storia della ricerca sull'evoluzione umana. Oggi sappiamo molto di più sulle nostre origini - tanto da aver spostato la nostra separazione dalla linea evolutiva delle grandi scimmie antropomorfe a 5-7 milioni di anni fa - ma per finire il quadro della storia di "Homo sapiens" mancano ancora molti tasselli, e gli specialisti portano di continuo alla luce nuovi fossili che spesso complicano ulteriormente il quadro.*

*Le origini dell'uomo è un ritratto di famiglia delle numerose specie di ominidi che, da sette milioni di anni fa in poi, si sono evolute e sono via via scomparse lasciando il posto a nuove specie in quel lungo, intricato percorso che ha portato all'uomo moderno.*

*Con questa raccolta di saggi dei più grandi paleoantropologi mondiali, da Ian Tattersall a Tim White, proviamo a ricostruire la nostra evoluzione di primati bipedi."*

Il viaggio delle acque  
contaminate termina  
sulla nostra tavola.

**Noi lavoriamo  
per renderle  
sane e sicure.**

Festeggiamo 10 anni di impegno costante nella progettazione di interventi di bonifica che siano economicamente e ambientalmente sostenibili, con l'impiego delle migliori tecnologie offerte dal mercato: **il futuro dei nostri figli è il nostro presente, il nostro impegno è renderlo migliore.**





Geophysical Elements Co.  
*Deep Measurements Consulting*

# Indagini GEOFISICHE

**Tomografia Elettrica 2D/3D/4D**

**Indagini Sismiche 2D/3D**

**Elettromagnetismo**

**Rilievi GPR**

*Un mare di soluzioni...*

**GECO-DMC Srl**

Ordine Geologi Toscana STP-001

[geco@geco-dmc.com](mailto:geco@geco-dmc.com)

[WWW.GECO-DMC.COM](http://WWW.GECO-DMC.COM)

*instagram* GECO-DMC

