



REGIONE MARCHE

DIPARTIMENTO INFRASTRUTTURE, TERRITORIO E PROTEZIONE CIVILE
DIREZIONE AMBIENTE E RISORSE IDRICHE

SEDE CENTRALE: *Via Palestro, 19 – 60125 ANCONA*

SEDE TERRITORIALE DI PESARO: *Viale della Vittoria, 117 – 61121 PESARO*

LOCALITÀ

BACINO IDROGRAFICO

*comuni di Acqualagna, Apecchio, Cagli, Cantiano, Frontone,
Piobbico, Sassoferrato, Serra S. Abbondio, Urbania*

F. Metauro

Oggetto:

PROGETTO PRODUTTIVITÀ 2022

***Raccolta e informatizzazione della documentazione
relativa agli studi sul Pozzo Cagli 1 (detto Pozzo Burano)***

Tipo documento:

RELAZIONE DI SINTESI

Allegati:

*>scansioni (pdf, jpg)
>tabelle (pdf, xls)
>feature gis*

*Attività a cura del personale della Direzione Ambiente e Risorse Idriche
dott.sa Antonella Bocchino
geol. Francesco Bocchino (coordinatore)
ing. Stefano Leti
geol. Laura Lupini
geol. Antonio Mari
arch. Felice Antonio Moccia*

Data inizio redazione

Data ultimo controllo

Data emissione

04/2022

12/12/2022

14/12/2022

1. OBIETTIVI DEL PROGETTO FINALIZZATO

Obiettivo del progetto è quello di raccogliere, ordinare ed informatizzare la documentazione sinora predisposta, dall'ex Aquater SpA e successivamente dal Comune di Cagli, in merito all'analisi del bilancio idrologico dell'acquifero interessato dal Pozzo Cagli 1 e dei quantitativi d'acqua che potrebbero essere estratti dalla falda senza depauperamento della risorsa idrica sotterranea.

La documentazione suddetta è stata quindi ricercata presso la Protezione Civile della Regione Marche, che ha commissionato ad Aquater l'esecuzione del pozzo e dell'opera è proprietaria, ed il Comune di Cagli, che ha seguito i monitoraggi svolti successivamente agli studi compiuti da Aquater.

Il personale regionale coinvolto nel progetto, della Direzione Ambiente e Risorse Idriche, è individuato nei seguenti dipendenti: Francesco Bocchino (coordinatore), Antonella Bocchino, Stefano Leti, Laura Lupini, Antonio Mari, Felice Antonio Moccia.

2. DOCUMENTAZIONE RACCOLTA

I documenti d'interesse sono rappresentati: dalle indagini e analisi Aquater propedeutiche ed immediatamente successive all'escavazione del pozzo Cagli 1; dallo studio Aquater del 1992, che riepiloga l'insieme delle conoscenze acquisite ed espone i risultati delle analisi effettuate; dai dati relativi ai monitoraggi (di portata, chimico-fisici e meteo-climatici che Aquater aveva già iniziato a rilevare ed analizzare) che sono succeduti allo studio Aquater con lo scopo di verificare/confermare le conclusioni cui lo studio medesimo era pervenuto in via preliminare.

L'intero materiale recuperato è stato reperito presso la Protezione Civile regionale; il Comune di Cagli ha riferito di non avere la possibilità, attualmente, di ritrovare nei propri archivi informazioni sull'attività di monitoraggio inerente il pozzo in oggetto.

La documentazione cartacea rinvenuta non risulta completa, rispetto a quella originariamente prodotta da Aquater e dai tecnici incaricati dell'attività di monitoraggio; mancano evidentemente alcuni elaborati cartografici e relazioni descrittive. Tutto il materiale digitale, del sistema informatico allestito da Aquater per gestire i dati ed effettuare elaborazioni informatiche ed i database per raccolta dei dati relativi ai monitoraggi successivi, risulta indisponibile ed è probabilmente da considerarsi definitivamente perso.

Estremamente lacunose sono le informazioni relative a diverse prove di emungimento eseguite; non risultano essere stato redatti rapporti di prova, si rinvergono notizie sparse e frammentarie in alcune epistole del Comune di Cagli e della Protezione Civile.

I documenti cartacei (relazioni, rapporti, schede ed alcune missive) sono stati tutti scansionati (eventualmente escludendo brevi sezioni che non sono state ritenute utili ai fini della caratterizzazione idrogeologica e della cognizione del bilancio idrologico) e salvati con estensione .pdf (documenti testuali, cartografie minori) o .jpg (elaborati cartografici), distinguendo ogni documento in un singolo file.

Tutte le informazioni relative a portata e caratteristiche chimico-fisiche delle acque sono state tabellate in formato .xlsx.

I raster delle tavole cartografiche sono stati georeferenziati, nel sistema Gauss-Boaga/Roma40; gli elementi cartografici (punti, zone) contenuti nei medesimi raster, sono stati ulteriormente estratti in formato vettoriale (estensioni .tab e shp) per poter essere aperti/importati in ambiente GIS.

Elenco della documentazione informatizzata

documento	data	codice	tipo	formato	disponibilità	note
RELAZIONI INDAGINI-ANALISI PROPEDEUTICHE						
Installazione di strumenti meteo-idrologici e perforazione di un pozzo nell'Appennino pesarese	12/1990	H 4026	relazione	pdf	completa	I dati essenziali per le valutazioni idrologiche-idrogeologiche sono compresi nella documentazione acquisita (mancano solo alcune foto).
1° Rapporto trimestrale - Relazione - Allegato 1_Schede censimento punti d'acqua e sezioni fluviali - Tavola 1_Censimento punti d'acqua, rete di monitoraggio mensile, rete di monitoraggio idrochimico, ubicazione e tipologia rete monitoraggio strumentale, ubicazione SEV	08/02/1991	H 4815	vari	pdf	parziale	I dati essenziali per le valutazioni idrologiche-idrogeologiche sono compresi nella documentazione acquisita. Della relazione scansionata solo la "Premessa" >il resto non appare utile. Mancano: All. 2 (Schede livellazione geometrica). All. 3 (Curve di misura SEV).
2° Rapporto trimestrale - Relazione - Allegato 3_Bollettini di analisi chimiche	06/1991	H 5616	vari	pdf	parziale	I dati essenziali per le valutazioni idrologiche-idrogeologiche dovrebbero essere compresi nella documentazione acquisita. Mancano: All. 1 (Tracce delle linee sismiche eseguite); All. 2 (Profili sismici).
Relazione di perforazione mensile - Pozzo per acqua Cagli1	01/09/1991	nn	relazione	pdf	completa	
Rapporto di perforazione mese di settembre 91 e situazione pozzo finale in data 4/10/91	10/10/1991	nn	relazione	pdf	completa	
3° Stato di avanzamento lavori - Relazione - Allegato 1_Relazione geologica - Allegato 2_Rapporto sul rilevamento strutturale - Allegato 3_Relazione geomorfologica	10/1991	H 5985	vari	pdf	parziale	I dati essenziali per le valutazioni idrologiche-idrogeologiche sono compresi nella documentazione acquisita. Della relazione scansionata "Premessa", "Tabelle", "Figure", "Annesso2"-analisi chimiche >ciò che manca non appare utile. Degli Allegati 1, 2 e 3 (Relazione geologica, Rapporto sul rilevamento strutturale, Relazione geomorfologica) scansionate soltanto parti introduttive >ciò che manca non appare utile, poiché informazioni generiche di letteratura. Mancano: Tav. 1 (Carta geologica scala 1:25.000 - preliminare); Tav. 2 (Rilevamento cavità carsiche); Tav. 3 (Rilevamento cavità carsiche).
5° Rapporto trimestrale - Relazione - Allegato 1_Dati idrologici e meteo-climatici reperiti e relativi all'area M.Catria-M.Nerone	03/1992	H 6325	vari	fotocopia	parziale	I dati essenziali per le valutazioni idrologiche-idrogeologiche sono compresi nella documentazione acquisita. Le tabelle relative ai dati di portata (sorgenti e fluviali) presenti nelle varie relazioni sono state tutte scansionate. Dell'Allegato 1 forse mancano alcune tabelle/figure.
Prove di emungimento P.zo Cagli1	05/1992	H 6410	relazione	pdf	completa	
All.1 - Carta punti di monitoraggio microsismico	199x	nn	cartografia	pdf	completa	
Misure di campo per sorgenti non accessibili e cavità carsiche	1992	nn	tabelle	pdf	parziale	Scansionate soltanto le tabelle che riportano i dati chimico-fisici delle acque >il resto non appare utile.
RELAZIONI FINALI (studio 1992)						
Relazione di sintesi	1992	?	relazione	pdf	completa	Alcuni grafici e figure non si leggono bene.
Idrologia	1992	D	relazione	fotocopia	parziale	Mancano calcoli/bilanci/tabelle richiamate in relazione. Verificare se alcune tabelle in formato cartaceo non sono state scansionate.
Idrogeologia	1992	F	relazione	pdf	completa	
Perforazione	1992	G	relazione	pdf	parziale	Non si rinvengono tutte le figure richiamate in relazione.

documento	data	codice	tipo	formato	disponibilità	note
Carta geologica (scala 1:25.000)	1992	Tav.A-1	cartografia	jpg	completa	
Parametri chimico-fisici medi dei punti di monitoraggio mensile (scala 1:25.000)	1992	Tav.E-1	cartografia	jpg	completa	Tavola scansionata in due sezioni, est ed ovest.
Carta idrogeologica (scala 1:25.000)	1992	Tav.F-1	cartografia	jpg	completa	
Sezioni Idrogeologiche	1992	Tav.F-2	cartografia	pdf, jpg	completa	
Ubicazione cavità carsiche principali (scala 1:25.000)	1992	?	cartografia	pdf	parziale	Scansionati soltanto i settori che comprendono le cavità carsiche ubicate.
MONITORAGGIO SUCCESSIVO						
4^ Relazione - bimestre mar-apr 94	06/05/1994	nn	relazione	pdf	completa	
5^ Relazione - bimestre mag-giu 94	20/07/1994	nn	relazione	pdf	completa	
6^ Relazione - bimestre lug-ago 94	08/09/1994	nn	relazione	pdf	completa	
Prova di emungimento P.zo Cagli1 - verbale apertura pozzo del 24/04/1997 - verbale riapertura pozzo del 30/04/1997 - verbale chiusura pozzo del 20/05/1997 - nota riepilogativa aperture-chiusure pozzo (no data)	04-05/1997	nn	verbali	pdf	parziale	
Prova di emungimento P.zo Cagli1 - verbale apertura pozzo del 16/02/1998	02/1998	nn	verbale	pdf	parziale	
Prova di emungimento P.zo Cagli1 - nota informativa del 21/07/1998 - verbale apertura pozzo del 23/07/1998 - verbale saldatura testa pozzo del 01/08/1998 - verbale chiusura pozzo del 08/08/1998	07-08/1998	nn	verbali	pdf	parziale	
Presentazione dati preliminari progetto regionale Burano (1993-94, 1997-98)	26/01/1999	nn	relazione	pdf	completa	Non si rinvennero alcuni grafici (relativi alla relazione fra portate di alcune sorgenti e prove di emungimento) riferiti al termine della relazione. A pag.19 (80 del documento pdf) sono indicati dei periodi d'apertura del Pozzo (febbraio, luglio-agosto, settembre-ottobre, del 1998) di cui non sono disponibili dati (di portata-pressione in particolare).
Prova di emungimento P.zo Cagli1 - nota programmazione apertura del 01/04/1999 - verbale apertura pozzo del 07/04/1999	04/1999	nn	verbale	pdf	parziale	
Relazione conclusiva [di una campagna di monitoraggio, ndr]	15/05/1999	nn	relazione	pdf	completa	A pag.14 (156 del documento pdf) sono indicati dei periodi d'apertura del Pozzo (febbraio, luglio-agosto, settembre-ottobre, del 1998) di cui non sono disponibili dati (di portata-pressione in particolare); si tratta degli stessi elementi mancanti nella suddetta "Presentazione dati preliminari progetto regionale Burano (1993-94, 1997-98)".
Prova di emungimento P.zo Cagli1 - nota programma prova del 05/10/1999 - verbale apertura pozzo dell'11/10/1999 - verbale chiusura pozzo del 29/10/1999	10/1999	nn	verbali	pdf	parziale	

documento	data	codice	tipo	formato	disponibilità	note
Prova di emungimento P.zo Cagli1 - nota programma prova del 15/07/1993 - riepilogo prova emungimento (no data)	07- 08/2003	nn	dati	pdf	completa	

3. SINTESI DEGLI STUDI E MONITORAGGI COMPIUTI

3.1. INDAGINI-ANALISI PROPEDEUTICHE ALL'ESCAVAZIONE DEL POZZO

Rappresentano la base dati che è servita per la comprensione dell'idrogeologia dell'ambito d'interesse, per l'esecuzione del pozzo in questione, e per l'impostazione di tutti i monitoraggi successivi.

Le finalità dell'attività furono:

- il rilevamento geologico e la realizzazione di una cartografia geologica e idrogeologica;
- il rilevamento delle cavità carsiche;
- l'esecuzione di prospezioni geofisiche (sismiche ed elettriche);
- il censimento dei punti d'acqua individuati nell'area (sorgenti, pozzi e sezioni fluviali significative);
- la valutazione, ubicazione e definizione di una rete di monitoraggio (idrologica, idrochimica e meteorologica e microsismica);
- la perforazione del pozzo denominato Cagli 1.

I dati rilevati furono man mano relazionati in diversi rapporti trimestrali e l'insieme dei dati conseguiti fu raccolto ed organizzato nello studio conclusivo del 1992 illustrato di seguito.

3.2. STUDIO AQUATER 1992

3.2.1. PREMESSE, AREA DI STUDIO ED OBIETTIVI

Lo studio dell'Aquater eseguito nell'area del Burano fu finanziato dal Ministero della Protezione Civile ed affidato all'ex Aquater SpA dalla Regione Marche nell'ambito di un "Progetto regionale di captazione idropotabile tramite perforazione di un pozzo e monitoraggio delle risorse idriche preesistenti in località Burano".

Gli obiettivi dello studio furono:

- individuare e valutare le caratteristiche idrogeologiche dell'area considerata significativa;
- perforare un pozzo sperimentale da cui poter attingere la risorsa idrica presente negli acquiferi dei complessi carbonatici;
- identificare e valutare i rapporti tra i prelievi dal pozzo sperimentale, la ricarica dell'acquifero di alimentazione e il regime idrologico delle sorgenti dell'intorno;
- stimare le risorse idriche sotterranee disponibili;
- verificare le caratteristiche quantitative e qualitative delle medesime acque sotterranee.

L'approccio metodologico seguito per la redazione dello studio è così schematizzabile:

- rilevamento geologico-strutturale di un'area ritenuta significativa (ca. 250 km²) centrata sulla struttura tettonica antiforale di M.te Catria-M.te Nerone, compresa fra i territori comunali di Apecchio, Piobbico, Cagli, Cantiano, Frontone, Sassoferrato e Scheggia, alla scala 1:25.000;
- rilievo geologico-strutturale e geomorfologico per la parte centrale della zona significativa (ca. 115 km²), depurata di quelle porzioni non direttamente contribuenti al bilancio idrico dell'Acquifero Basale, alla scala 1:10.000;
- rilievo geologico, strutturale e plano-altimetrico delle principali cavità carsiche esistenti e caratterizzazione idrochimica delle acque rinvenute;
- esecuzione di prospezioni geofisiche mediante sismica a riflessione e sondaggi elettrici verticali;
- censimento dei punti d'acqua presenti nell'area (sorgenti, pozzi e sezioni fluviali significative) e predisposizione su punti "indice" di una rete di monitoraggio con frequenza delle misure mensile;
- installazione di una rete di monitoraggio strumentale in automatico, con teletrasmissione dei dati, sui punti d'acqua più significativi. Il monitoraggio strumentale consente di rilevare gli afflussi meteorici, le temperature, i livelli idrici in sorgenti e corsi d'acqua;
- installazione di 3 stazioni sismometriche per lo studio della microsismicità dell'area;

- esecuzione di campagne mensili di monitoraggio delle portate e dei principali parametri chimico-fisici su punti della rete di controllo, per un periodo di 13 mesi;
- esecuzione di 2 campagne di monitoraggio idrochimico su 50 punti d'acqua;
- calcolo del bilancio idrologico, sia relativo all'intera area di studio (ca. 250 km²) sia relativo al settore della sola struttura carbonatica M. Catria-M. Nerone (ca. 115 km²);
- perforazione di un pozzo sperimentale in località Ponte Alto (Fiume Burano) ed esecuzione di prove di emungimento per la determinazione dei parametri idraulici dell'acquifero.

Lo studio terminò nel 1992 con la produzione di una serie di elaborati conclusivi.

3.2.2. monitoraggio

Al fine di valutarne le caratteristiche quali-quantitative fondamentali e la loro evoluzione stagionale, erano innanzitutto stati monitorati i punti d'acqua ritenuti più significativi fra quelli già identificati nell'area di studio.

Dopo una preliminare individuazione di ca. 200 punti (174 sorgenti, 8 pozzi e 14 sezioni fluviali), quindi:

- 30 sorgenti sono state selezionate quali rappresentative dei diversi acquiferi e le relative acque, per un intero anno idrologico (gennaio 1991-febbraio 1992), sono state analizzate mensilmente per il monitoraggio dei principali parametri chimico-fisici (portata, temperatura, conducibilità e pH);
- 50 punti d'acqua sono stati interessati da due campagne idrochimiche (per il rilevamento del pH e dei principali elementi chimici: Ca, Mg, Na, K, Cl, SO₄, HCO₃, CO₃, NO₃) effettuate nei periodi di morbida (maggio 1991) e di magra (ottobre 1991);
- 5 punti d'acqua selezionati fra le cavità carsiche sono stati interessati da quattro campagne idrochimiche;
- 4 sorgenti inaccessibili, individuate tramite ispezione aerea ed irraggiungibili se non con l'ausilio di mezzi speciali, sono state interessate da una campagna idrochimica;
- 25 punti d'acqua della rete di monitoraggio idrochimico sono stati interessati da due campionamenti per analisi isotopiche;
- 5 stazioni di rilevamento termo-pluviometrico sono state interessate da campionamenti d'acqua mensili per analisi isotopiche.

MONITORAGGIO STRUMENTALE

Nel corso dell'esecuzione dello studio, era inoltre stata installata una rete di monitoraggio strumentale, automatica e con teletrasmissione dei dati, finalizzata al controllo dei principali parametri idrologici-idrogeologici dell'ambito esaminato.

La rete era composta da 19 stazioni di rilevamento:

- 5 stazioni termo-pluviometriche per la misura di piogge e temperature e per il campionamento delle acque meteoriche;
- 5 stazioni ad ultrasuoni per la misura dei livelli dei fiumi Bosso, Burano e del Torrente Giordano, in sezioni fluviali opportunamente tarate;
- 6 stazioni piezometriche sulle sorgenti principali, per la misura dei livelli e delle portate, attrezzate con misuratori automatici e taratura delle sezioni;
- 3 stazioni microsismiche installate su punti aventi come baricentro il pozzo in progetto, Cagli 1, per rilevare sia in fase di perforazione che durante l'esercizio dello stesso, eventuali interferenze con la struttura geologica dell'area.

3.2.3. GEOLOGIA, TETTONICA E GEOMORFOLOGIA

La dorsale M. Catria-M. Nerone costituisce, nell'ambito della Dorsale Umbro Marchigiana, una struttura sviluppata in direzione appenninica ad asse leggermente arcuato; l'elemento strutturale dominante è rappresentato dall'antiforme che unisce i massicci del Catria a sud e del Nerone a nord.

Detta struttura espone in affioramento litotipi che vanno dal Triassico superiore al Miocene superiore, estesamente ricoperti da sedimenti detritici anche di rilevante spessore (di natura strettamente continentale, riferibili al quaternario, rappresentati da depositi di versante ed alluvioni).

La successione stratigrafica è stata schematicamente suddivisa in tre Gruppi:

- Giurassico;
 - Supragiurassico-Miocenico;
 - Neogenico.
- Il GRUPPO GIURASSICO è stato a sua volta distinto in relazione ai diversi ambienti deposizionali generati dall'annegamento differenziato della piattaforma carbonatica liassica (Calcere Massiccio):
- ↳ *SUCCESSIONE COMPLETA*;
propria delle aree del bacino carbonatico a più rapido approfondimento, dal basso verso l'alto è caratterizzata dalle seguenti formazioni rocciose:
 - *Calcere Massiccio del Burano* – calcari micritici, grossolanamente stratificati in banchi plurimetri, bianco-giallastri;
 - *Corniola* – calcari micritici, con lenti e noduli di selce grigiastra e con intercalazioni argilloso-marnose grigio-verdastre, ben stratificati, da grigiastri a beige;
 - *Rosso Ammonitico* – marne nodulari, con sottili intercalazioni calcaree e calcareo-marnose altresì nodulari, prevalentemente rossastre;
 - *Calcari Diasprini umbro-marchigiani* – calcari con liste e noduli di selce e calcari silicei d'aspetto granulare con selce, in strati sottili, prevalentemente grigio verdastri.
 - ↳ *SUCCESSIONE CONDENSATA*;
propria delle aree del bacino carbonatico a debole subsidenza, dal basso verso l'alto è caratterizzata dalle seguenti formazioni rocciose:
 - *Calcere Massiccio di M.te Nerone* – calcari e dolomie a stratificazione indistinta o molto discontinua e grossolana, di colore nocciola;
 - *Bugarone* – calcari micritici, talora dolomitizzati, e calcari marnosi nodulari con intercalazioni marnose, grigio-verdastri.
 - ↳ *SUCCESSIONE RIDOTTA*;
propria degli ambienti deposizionali più strutturalmente elevati ove il bacino carbonatico a subito scarsa e debole subsidenza, è contraddistinta da spessori ridotti e lacune sedimentarie;
 - le rocce di tale successione, litologicamente simili ai quelle bacinali summenzionate ma con facies diverse, tipiche d'alto strutturale, sono state considerate e cartografate unitariamente.
- Il GRUPPO SUPRAGIURASSICO-MIOCENICO dal basso verso l'alto è caratterizzato dalle seguenti formazioni rocciose:
- *Maiolica* – calcari micritici, con liste/noduli di selce e sottili intercalazioni argillo-marnose bituminose, ben stratificati e biancastri;
 - *Marne a Fucoidi* – sulla base della composizione più o meno argillosa sono distinti in due membri:
 - *Membro Inferiore* – avente composizione più argillosa, costituito da litotipi argilloso-marnosi da grigio-verdastri a rossastro-vinati, con subordinati strati calcarei biancastri dello spessore di qualche centimetro;
 - *Membro Superiore* – avente composizione meno argillosa, costituito da calcari marnosi e da marne calcaree in strati medi.
 - *Scaglia Bianca* – calcari micritici sottilmente stratificati, biancastri, con abbondanti liste/noduli di selce nera e intercalazioni marnose che vanno diminuendo verso il tetto della formazione;
 - *Scaglia Rossa* – calcari, calcari-marnosi e marne-calcaree, in strati medie spessi, prevalentemente rossastri;
 - *Scaglia Variiegata* – alternanza di calcari marnosi rosso-violacei o verdastri e marne calcaree violacee o rosso-vinate, in strati decimetrici, talora alternati a sporadici straterelli di calcari bianco-rosati;

- *Scaglia Cinerea* – alternanza monotona di marne calcaree grigio-verdastre, marne argillose e subordinati calcari marnosi micritici (gli intervalli marnosi e marnoso-argillosi aumentano verso il tetto).
- Il GRUPPO NEOGENICO, tipicamente terrigeno, dal basso verso l'alto è caratterizzato dalle seguenti formazioni rocciose:
 - *Bisciario* – alternanze di litotipi marnoso-argillosi con strati calcarei e talora silicei, bianco-grigiastri e grigio-verdastri;
 - *Schlier* – marne grigio-azzurrognole, ricche in microfossili, con lamine ricche di materiale organico; nella parte medio-alta compaiono sottili strati calcareo-marnosi biancastri;
 - *Marnoso Arenacea* – successione torbidityca composta da strati arenacei di colore giallo-nocciola alternati a marne siltose grigiastre;
 - *Marne e Arenarie di M.te San Vicino* – posta al disopra della Marnoso Arenacea nell'area corrispondente al dominio parautoctono, la formazione è costituita d'associazioni pelitico-arenacee e arenaceo-pelitiche.

I motivi strutturali dominanti nell'area studiata, conseguenti a processi prima compressivi e quindi distensivi, sono rappresentati da pieghe, sovrascorrimenti, faglie distensive e trascorrenti, aventi direzione appenninica (NW-SE) e vergenti a NE. A tali motivi principali sono associate pieghe e faglie legate a fasi tettoniche diverse e diversamente orientate.

Sul versante nord orientale della struttura anticlinalica M. Catria-M. Nerone è presente un elemento tettonico interpretato come "*fronte di movimento inverso principale (piano di sovrascorrimento frontale) che dal Corno di Catria (a sud est) è rinvenibile fino a Secchiano, da dove prosegue più ad ovest per Fosto e Bacciardi*".

Il contatto Marne a Fucoidi-Maiolica che si segue dalla zona di Genga Aguzza-M. Morcia fino alla zona di Secchiano è stato interpretato come un retroscorrimento innescatosi per scollamento della parte basale delle Marne a Fucoidi.

È stata sottolineata una disarmonia plicativa tra i termini del Gruppo Giurassico e quelli del Gruppo Supragiurassico-Miocenico, legata al loro contrasto di competenza e all'interposizione delle Marne a Fucoidi; per tali motivi il Calcarea Massiccio risulta solo debolmente piegato (*box fold*) e scomposto in blocchi che talora perforano la più recente copertura, mentre le formazioni sovrastanti sono interessate da ampie pieghe e strutture compressive.

Viene altresì messo in evidenza che la parte più occidentale dell'area di studio è interessata dal sovrascorrimento del parautoctono sull'autoctono (rappresentato dagli affioramenti del fianco interno dell'anticlinale di M.te Nerone).

L'ambito esaminato è tipicamente montuoso (con quote che superano spesso i 1.000 m slm) ed aspro, caratterizzato da forti acclività dei versanti e valli strette e profonde.

Una stretta corrispondenza tra assetto strutturale e morfologia è stata osservata in tutta l'area di studio, ove i settori a maggior rilievo corrispondono al nucleo della struttura anticlinalica, con culminazioni assiali corrispondenti alle cime del M. Catria (settore sud-orientale) e del M. Nerone (nord-occidentale), costituito dai litotipi del Calcarea Massiccio; sui fianchi della dorsale le quote si fanno sempre più modeste, in stretta relazione alla natura terrigena delle rocce affioranti.

I principali fiumi (Candigliano, Bosso e Burano), a causa di complessi fenomeni di sovrimposizione e precedenza che hanno determinato la formazione di strette gole, scorrono verso oriente tagliando la dorsale calcarea trasversalmente.

La sommità dei rilievi è spesso caratterizzata da una morfologia dolce e subpianeggiante, residua di paleosuperfici modellate prima dell'approfondimento delle valli.

3.2.4. IDROGEOLOGIA

Le caratteristiche idrogeologiche delle formazioni affioranti nell'area esaminata sono derivate sia dalla letteratura sia dai risultati delle varie attività svolte nel corso del progetto, in base a cui la permeabilità è stata così distinta:

- Calcare Massiccio – permeabilità alta;
- Corniola – permeabilità alta;
- Rosso Ammonitico – permeabilità molto bassa;
- Calcari Diasprini umbro-marchigiani – permeabilità da media a bassa;
- Bugarone – permeabilità molto bassa;
- Maiolica – permeabilità alta;
- Marne a Fucoidi – permeabilità molto bassa;
- Scaglia Bianca – permeabilità media;
- Scaglia Rossa – permeabilità media;
- Scaglia Variegata – permeabilità molto bassa;
- Scaglia Cinerea – permeabilità molto bassa;
- Bisciario – permeabilità bassa;
- Schlier – permeabilità molto bassa;
- Marnoso Arenacea – permeabilità bassa;
- Marne e Arenarie di M.te San Vicino – permeabilità bassa.

I complessi idrogeologici a bassa permeabilità riferibili alle formazioni del Bisciario, della Marnoso Arenacea e alle Arenarie M.te S. Vicino, rivestendo modesta importanza locale, non sono stati presi in considerazione ai fini dello studio e, quindi, non vengono trattati nella presente relazione di sintesi. Per approfondimenti, si rimanda al relativo rapporto di dettaglio del Progetto (allegato F Idrogeologia).

Ai fini del progetto, considerando che le diverse litofacies carbonatiche presentano caratteristiche idrogeologiche macroscopiche simili, sono stati presi in considerazione e distinti dal basso verso l'alto i seguenti complessi idrogeologici:

- Complesso idrogeologico del Massiccio/Corniola;
- Complesso idrogeologico della Maiolica;
- Complesso idrogeologico della Scaglia.

▪ COMPLESSO IDROGEOLOGICO DEL MASSICCIO/CORNIOLA

Poggia sull'acquicluda costituito dalla Formazione delle Anidriti di Burano ed il relativo acquifero rappresenta il livello di base delle dorsali carbonatiche in cui si realizza il flusso omogeneo di fondo (Boni et alii, 1986).

La permeabilità primaria (per porosità) del Calcare Massiccio varia sensibilmente a seconda delle diverse litofacies, di alto strutturale e basso strutturale, mentre quella della Corniola è pressoché nulla.

La permeabilità secondaria (per fessurazione) del Calcare Massiccio è omogeneamente molto elevata mentre quella della Corniola, pur elevata-molto elevata, a causa d'intercalazioni marnoso-argillose, che nell'area indagata interessano soprattutto il top della formazione, è sembrata essere inferiore rispetto a quella riferita in letteratura.

Le manifestazioni sorgentizie più importanti di tale Complesso sono rappresentate da sorgenti in quota (dovute all'affioramento della falda in condizioni freatiche nelle zone di alto morfologico) e da sorgenti lineari lungo le incisioni fluviali (legate all'emergenza di acque, lungo fratture tettoniche, in condizioni di semiconfinamento).

▪ COMPLESSO IDROGEOLOGICO DELLA MAIOLICA

Dove la successione è completa il contatto idraulico con il sottostante acquifero del Massiccio è impedito dalla presenza di livelli marnosi all'interno del Rosso Ammonitico e dei Calcari diasprini umbro-marchigiani, mentre in presenza di successioni condensate o lacunose la Maiolica può risultare in connessione idraulica con il Complesso del Massiccio/Corniola costituendo un tutt'uno con quest'ultimo.

È contraddistinto da una rilevante permeabilità secondaria connessa con la grande purezza dei calcari e la quasi totale assenza di interstratificazioni argillose.

Le manifestazioni sorgentizie più importanti che caratterizzano tale complesso sono quelle di trabocco semplice a contatto con l'acquicluda basale, ma anche di trabocco per sbarramento su fianco di anticlinale, al contatto con l'acquicluda di tetto. Numerose sono risultate inoltre le sorgenti carsiche.

▪ COMPLESSO IDROGEOLOGICO DELLA SCAGLIA

Poggia sull'acquicluda costituito dalla Formazione delle Marne a Fucoidi.

Rappresentato essenzialmente dai litotipi della Scaglia Bianca, della Scaglia Rossa e dal membro superiore delle Marne a Fucoidi, il Complesso è caratterizzato da permeabilità secondaria per fratturazione ed in parte legata a fenomeni carsici; le vie di scorrimento sono impostate prevalentemente lungo faglie e diaclasi piuttosto che nei giunti di stratificazione, a causa della frequente presenza di livelli marnoso-argillosi.

La formazione della Scaglia Variegata, presentando una permeabilità intermedia fra i due termini cui risulta stratigraficamente interposta (Sc. Rossa e Cinerea) può essere di volta in volta associata all'acquicluda superiore o al Complesso idrogeologico della Scaglia, a seconda della minore o maggiore predominanza di litofacies tipicamente calcaree; il suo comportamento è quindi assimilabile ad un acquitardo.

Raffigura l'acquifero arealmente più esteso nell'area studiata, cui sono legati il maggior numero di sorgenti; le più importanti sono quelle di trabocco per sbarramento su fianco di anticlinale a contatto con la Scaglia Cinerea, ma numerose sono anche quelle non legate a fattori strettamente stratigrafici o tettonici bensì dipendenti da locali peculiarità morfologiche.

Le rocce calcaree dei suddetti Complessi idrogeologici sono interessate da processi carsici variamente sviluppati.

Il Calcarea Massiccio, per la sua purezza e per l'intensa e minuta fratturazione, è una formazione rocciosa ampiamente interessata dai processi carsici ed in cui si sono evolute le cavità ipogee più importanti. Nei calcari stratificati (Maiolica e Scaglia), e con frequenti intercalazioni marnose, l'instaurarsi dei fenomeni carsici si è rivelato marcatamente legato alla fratturazione della roccia.

In entrambi i massicci del Catria e Nerone sono state individuate numerose cavità carsiche, con dimensioni che vanno da pochi metri a qualche chilometro di sviluppo e alcune centinaia di metri di profondi. Tali cavità sono risultate più numerose e significative sul M.te Nerone, ove è stato ipotizzato che facciano parte di un carsismo secondario o periferico rispetto a quello che potrebbe essere il cuore del sistema presente e che si manifesta a luoghi con fenomeni carsici rilevanti (es. risorgenza del Giordano). La caratteristica degli ambienti è data dalla presenza di gallerie impostate su fratture e faglie del sistema NE-SE ed in misura minore sui sistemi N-S ed E-O, mentre mancano sale di grosse dimensioni.

La circolazione idrica sotterranea rinvenuta nelle varie cavità è risultata essere poco significativa e legata direttamente con i fenomeni meteorologici esterni. L'approfondimento del livello di base dei circuiti carsici (rappresentato dalle incisioni fluviali), favorito anche dal rapido sollevamento della catena appenninica, ha determinato un progressivo e conseguente abbassamento della rete di canali e della superficie freatica.

In relazione alla tettonica ed alla geologia è stato messo in evidenza come la presenza di più livelli di scollamento nella successione stratigrafica abbia limitato in profondità la geometria concentrica delle pieghe, modificando parte dei contatti stratigrafici originari e causando un significativo riflesso nella struttura dei potenziali acquiferi; è stato in particolare sottolineato che a livello di circolazione idrica profonda le discontinuità tettoniche sviluppate in direzione appenninica determinano una compartimentazione idraulica che limita il flusso delle acque in direzione prevalentemente longitudinale alla struttura Catria-Nerone.

ESITI DEL MONITORAGGIO

L'analisi ed il monitoraggio chimico-fisico delle acque hanno messo in evidenza quanto segue.

- Le acque legate ai complessi idrogeologici della Scaglia e della Maiolica si differenziano nettamente da quelle del complesso del Massiccio/Corniola, sia nel regime delle portate delle temperature sia come facies idrochimica.

- COMPLESSI IDROGEOLOGICI DELLA SCAGLIA E DELLA MAIOLICA

↳ La facies idrochimica delle acque dei due complessi è praticamente indistinguibile, caratterizzandosi come bicarbonato-calcica.

Alla stessa famiglia appartengono altresì le acque delle cavità carsiche e quelle emergenti dal Calcere Massiccio nei settori più elevati, legate ad una circolazione nel sottosuolo breve e/o rapida.

↳ Circa le relative sorgenti:

- evidenziano un regime caratterizzato da due massimi e due minimi, quindi un classico andamento bimodale che rimarca, con sfasamenti più o meno evidenti nel tempo, quello delle precipitazioni;
- le portate, generalmente perenni, mostrano una forte variabilità con valori minimi anche inferiori ad 1 l/s e massimi di 40-50 l/s (con punta oltre 100 l/s);
Le sorgenti monitorate della Maiolica presentano valori minimi in genere superiori a quelli registrati nelle sorgenti della Scaglia.
- i valori di portata rilevati permettono di attribuire tali emergenze, secondo la classificazione proposta da Meinzer, alla 5^a, 6^a, 7^a e 8^a classe;
- le curve di esaurimento, permettendo di caratterizzare per le varie emergenze i quantitativi di acqua di immagazzinamento dinamico ed il periodo di esaurimento, forniscono valori del coefficiente di esaurimento variabili fra 10⁻³ e 10⁻²;
- la circolazione delle acque anche in depositi detritici o circuiti superficiali è stata evidenziata dall'accentuata variazione stagionale delle temperature e dalla variabilità di parametri chimico-fisici;
- il fatto che la circolazione delle acque abbia eventualmente interessato anche depositi detritici o circuiti superficiali è stato evidenziato dall'accentuata variazione stagionale delle temperature e dalla variabilità di parametri chimico-fisici;

- COMPLESSO IDROGEOLOGICO DEL MASSICCIO/CORNIOLA

↳ L'acquifero corrispondente presenta sia un circuito superficiale, localizzato nelle aree di alimentazione, in condizioni di falda libera, sia uno profondo, in pressione: l'acqua del primo, a causa della fratturazione e di fenomeni carsici, riemerge in superficie dopo un breve percorso poco mineralizzata (S075, Pieia) ed particolare quasi priva di SO₄²⁻, perciò indistinguibile da acque con analoghi circuiti ma appartenenti a complessi superiori; l'acqua che segue il circuito più lungo e profondo risulta invece più mineralizzata in Mg²⁺ e SO₄²⁻ (maggior tempo di contatto fra acqua e roccia serbatoio). Logicamente si osservano sovrapposizioni dei due regimi, che si possono considerare come casi estremi, dovute ad una miscelazione delle acque dei due circuiti.

Spesso la falda in pressione del circuito profondo assume la caratteristica di artesianità (lungo la verticale il livello piezometrico supera la quota del terreno).

↳ Circa le relative sorgenti:

- le emergenze nelle aree di alto strutturale presentano caratteristiche idrodinamiche e idrochimiche analoghe a quelle dei complessi superiori;
- le maggiori manifestazioni sorgentizie sono ubicate a quote relativamente basse, originando sorgenti lineari distribuite lungo i tratti di fiume che tagliano la dorsale carbonatica, che contribuiscono notevolmente ad incrementare la portata dei fiumi;
Un esempio è dato dalla sorgente San Nicolò (S086), affiorante per cause tettoniche dai calcari della Corniola lungo il f. Bosso, la cui portata di magra è superiore a 100 l/s; tale emergenza, con temperature delle acque di 16-18 °C e valori di conducibilità medi superiori a 1200 µS/cm, è ritenuta rappresentare la circolazione idrica più profonda (gli alti valori rilevati di solfati e magnesio, superiori a quelli misurati in tutte le altre sorgenti, sono stati ritenuti indicativi della lisciviazione delle Anidriti di Burano e di una rapida risalita delle acque).

- ↘ L'acqua del pozzo Cagli1 (perforato dall'Aquater), rappresentativa della falda in pressione del Calcare Massiccio, presenta una composizione compresa fra quelle della sorgente S106 (Fontacce 1) e della sorgente S086 (San Nicolò), ed è caratteristica di un circuito lungo e profondo con flusso in pressione.

ANALISI ISOTOPICHE

Sono state effettuate analisi isotopiche che hanno interessato acque meteoriche e acque sotterranee; sono state considerate 5 stazioni della rete pluviometrica (poste a quote comprese fra 275 e 1085 m slm), da cui sono stati effettuati campionamenti mensili raccogliendo un totale di 25 campioni, e 25 punti d'acqua *[dalla documentazione disponibile non è possibile intendere quali stazioni della rete pluviometrica e quali punti d'acqua sono stati considerati, né le date in cui sono stati effettuati i campionamenti, ndr]*, da ciascuno dei quali sono stati effettuati due campionamenti (maggio e ottobre 1991) raccogliendo un totale di 50 campioni.

Hanno riguardato i seguenti isotopi dell'ossigeno: Ossigeno 18, Deuterio e Tritio. Il contenuto in Tritio è stato analizzato su 5 campioni d'acqua meteorica, mentre delle acque sotterranee è stata eseguita l'analisi su 25 campioni raccolti per ognuna delle due campagne idrochimiche.

▪ OSSIGENO 18

Il contenuto di tale isotopo varia in funzione dell'altitudine; dalla sua analisi quantitativa è quindi possibile risalire alla quota media dell'area di ricarica di sorgenti e falde.

Dai dati ottenuti dall'esame delle acque di precipitazione è stato ricavato un gradiente medio pari a $-0,106 \text{ ‰}$ per 100 m.

Alla luce di ciò per i pozzi P4 (acquedotto di Cagli) e Cagli1 (Aquater), ubicati lungo l'incisione valliva del t. Burano, la quota media di ricarica risultata a ca. 1400 m slm; il che ridurrebbe l'ambito d'alimentazione dell'acquifero profondo ai settori più elevati del territorio, corrispondenti agli affioramenti del Calcare Massiccio negli alti morfologici del Catria e Nerone.

▪ DEUTERIO

Permette d'effettuare le medesime valutazioni espletabili con l'ossigeno 18.

Dall'esame del relativo contenuto è tuttavia emersa una diversa quota di ricarica, in tal caso pari a ca. 1000 m slm; ciò che ricondurrebbe l'area di ricarica dell'acquifero profondo ad un ambito territoriale molto più esteso.

▪ TRITIO

La quantificazione di tale isotopo permette la datazione delle acque sotterranee e quindi la determinazione del loro tempo di residenza nel sottosuolo.

Nelle acque meteoriche campionate sono stati rilevati valori variabili da 4,5 a 9 U.T. (Unità Tritio) mentre nei campioni d'acqua sotterranea i valori dell'isotopo sono risultati compresi tra 10 e 20 U.T.; ciò ha permesso di assegnare alle acque sotterranee del Complesso Corniola-Massiccio un'età media di ca. 15 anni, mentre all'acqua di scaturigine di alcune sorgenti riferibili ai Complessi superiori un'età di ca. 10 anni.

I referti delle analisi isotopiche effettuate non sono stati rinvenuti nel corso della ricerca per la relativa informatizzazione.

CONCLUSIONI

1. Gli acquiferi dei complessi idrogeologici superiori (Scaglia, Maiolica) hanno una circolazione idrica strettamente condizionata dall'andamento giaciturale degli strati, dalle condizioni tettonico-strutturali e da caratteri tipicamente morfologici.

I caratteri idrodinamici di detti complessi, dedotti dallo studio delle sorgenti, indicano un tipo di circolazione idrica attiva ed una facies idrochimica tipicamente bicarbonato-calcica.

Le emergenze dei complessi idrogeologici della Scaglia e della Maiolica sono caratterizzate da portate massime non superiori a 50 l/s, da una notevole variabilità della portata e delle

temperature durante l'anno idrologico, da ampia variabilità dei caratteri idrochimici ed isotopici, da bacini di alimentazione di limitata estensione (o quanto meno strettamente legati alle condizioni tettonico-strutturali delle formazioni).

La circolazione idrica in tali complessi è caratterizzata da limitata percorrenza e breve permanenza delle acque nel sottosuolo; dagli idrogrammi di magra è possibile in realtà distinguere due tipi di circolazione: una legata al rapido svuotamento del serbatoio contenente la falda (esaurimento rapido, tratto più acclive della curva) ed un'altra caratterizzata da un flusso di fondo (esaurimento lento, tratto meno acclive della curva), dovuto ad uno svuotamento delle microfratture e dei meati di piccole dimensioni.

2. Nell'acquifero di base (Massiccio/Corniola), si hanno due tipi di circolazione idrica: una in condizioni di falda libera ed una in condizioni di falda confinata.

Le acque circolanti nel complesso idrogeologico profondo del Massiccio/Corniola sono caratterizzate da notevole portata (anche superiore a 100 l/s), da stabilità dei parametri idrochimici ed isotopici e dei regimi di portata e temperatura (con pressoché totale assenza di segnali stagionali) e da un elevato tenore di magnesio e solfati.

La ricarica dell'acquifero profondo, come dimostrato dalle analisi isotopiche, avviene in corrispondenza degli "alti morfologici" del M. Catria e del M. Nerone.

Le acque della falda libera nelle zone di alto morfologico (alti strutturali) rivelano le stesse caratteristiche idrodinamiche e idrochimiche di quelle che caratterizzano gli acquiferi superiori (complessi idrogeologici della Scaglia e della Maiolica).

I dati di perforazione hanno messo in evidenza, almeno nel settore del pozzo Agip1, la presenza di tre "stratificazioni idrauliche" nell'acquifero basale, strettamente legate a processi di ricementazione che si verificano nei primi 120-130 m di profondità per fenomeni di "self sealing".

3.2.5. IDROLOGIA

ANALISI CLIMATOLOGICA

I parametri meteorologici utili allo studio in oggetto sono stati reputati temperatura e precipitazioni.

Sono stati presi in considerazione i dati del Servizio Idrografico Mareografico Nazionale (SIMN) e uno studio condotto dall'Osservatorio Geofisico Sperimentale di Macerata [*studio non meglio specificato, ndr*]; i dati acquisiti dalla rete termopluviometrica approntata da Aquater medesima non sono stati considerati poiché non comprendevano un anno idrologico intero (gennaio-dicembre).

Sono stati elaborati i dati di n. 8 stazioni termo-pluviometriche [*non meglio specificate, ndr*] ricadenti all'interno dell'area studiata, ricercando le relazioni esistenti tra la temperatura ed i principali parametri geografici.

Considerata l'estensione modesta dell'ambito studiato, l'influenza di latitudine/longitudine e distanza dal mare sono state ritenute ininfluenti sulle variazioni di temperatura e precipitazioni.

Relativamente alla **temperatura** è stato ritenuto utile il solo dato della temperatura media.

I valori di temperatura considerati sono stati corretti unicamente in funzione della quota, considerando la seguente relazione:

$$\Delta T = a \cdot \Delta H$$

T = temperatura

H= quota (m slm)

a= gradiente termico verticale (0,43 °C/100 m)

Circa le **precipitazioni**, studi a scala locale hanno evidenziato che nel versante interno (Scheggia, Cantiano) le stesse risultano maggiori rispetto a quelle del versante adriatico (Frontone, Fonte Avellana), nella stagione invernale e primaverile, mentre non vi sono differenze significative nella stagione estiva ed autunnale.

Parimenti alla temperatura, anche per le precipitazioni si è ritenuto utile considerare il solo dato medio.

Attraverso un'analisi statistica è stato inoltre verificato che l'intero territorio in esame è compreso in una zona pluviometricamente omogenea; per cui le altezze di pioggia annua che si verificano nei singoli punti della zona variano di anno in anno in modo tale che, passando da punto a punto, ogni anno rappresentano sempre la stessa percentuale della piovosità media annua.

I dati delle stazioni pluviometriche scelte sono quindi stati corretti in funzione della quota considerando la seguente relazione:

$$\Delta P = b \cdot \Delta H$$

P = precipitazione media annua (mm)
 H = quota (m slm)
 b = gradiente pluviometrico verticale (0,655 mm/m)

È stata inoltre ricavata, in base ai valori misurati e a considerazioni di carattere climatico, la seguente relazione altitudine-precipitazione:

$$P = 1039 + b \cdot \Delta H$$

COEFFICIENTE DI DEFLUSSO

Il coefficiente di deflusso (C_d) è stato valutato utilizzando il metodo di Kennessey su basi climatico fisiografiche.

Il suo valore è determinato dalla somma di tre contributi, legati alla permeabilità del terreno (C_p), all'acclività (C_a), alla copertura vegetale (C_v) e variabili in funzione dell'Indice di Aridità (di De Martonne); essendo stimato in funzione di fattori fisiografici "superficiali" non può tuttavia in alcun modo tener conto dell'azione svolta dalla struttura idrogeologica sotterranea, che invece gioca un ruolo fondamentale, soprattutto nel caso di bacini carbonatici permeabili.

Tale metodologia tende tuttavia a sovrastimare il coefficiente di deflusso e a sottostimare la ricarica media delle falde.

Per superare tali problematiche è stato adottato un modello che rianalizza il fenomeno dell'infiltrazione nelle aree di alimentazione come risultato di due componenti: una diretta, derivante dalla infiltrazione efficace delle acque meteoriche, ed una indiretta dovuta all'infiltrazione delle acque di ruscellamento in corrivazione. Esso conduce ad un uguale valore del deflusso superficiale totale e del coefficiente di deflusso, ma il deflusso viene ripartito in maniera diversa tra infiltrazione efficace e ruscellamento superficiale con un notevole aumento della prima.

L'area di progetto è stata divisa in due zone, interna e costiera, ognuna ulteriormente suddivisa in cinque fasce altimetriche (200-500, 500-800, 800-1100, 1100-1400 e 1400-1700 m slm).

Sono state determinate le superfici di ogni fascia all'interno delle due zone e per ogni fascia; per ciascuna zona e per ciascuna fascia sono quindi stati valutati i coefficienti C_v , C_a e C_p .

Attraverso un sistema di quattro equazioni è stato dunque possibile rappresentare il processo di corrivazione e d'infiltrazione nelle aree di alimentazione:

$I_i = I_{dir}$ $R_i = P_e - I_{dir}$ $I_{i+1} = I_i + \alpha R_i$ $R_{i+1} = R_i + (1-\alpha)R_i$	I = infiltrazione efficace [I_i = infiltrazione i-esima] I_{dir} = infiltrazione diretta delle precipitazioni (componente diretta dell'infiltrazione efficace) R = ruscellamento [R_i = ruscellamento "proprio" dell'area i-esima] P_e = precipitazioni efficaci (precipitazioni che determinano deflusso superficiale) α = coefficiente sperimentale (percentuale del ruscellamento proveniente dall'area a monte che si infila nell'area a valle i+ 1) αR_i : componente indiretta dell'infiltrazione efficace $(1-\alpha)R_i$: ruscellamento "residuo", da monte, che prosegue nell'area i+1
---	---

La quarta equazione stabilisce la somma del ruscellamento "proprio" e di quello "residuo", da monte, che si registra nell'area $i+1$.

Questa metodologia è stata applicata separatamente alle due zone considerate. Lo scorrimento superficiale così ricavato è stato utilizzato nel calcolo del bilancio idrologico.

BILANCIO IDROLOGICO

Per il calcolo del bilancio idrologico è stata utilizzata la procedura proposta da Thornthwaite-Mather.

Il territorio in esame è stato suddiviso in due zone, caratterizzanti rispettivamente il settore orientale (zona esterna, adriatica) ed occidentale (zona interna) della dorsale e in fasce altimetriche, per ciascuna delle quali è stato calcolato il valore delle precipitazioni, delle temperature medie mensili e dell'evapotraspirazione potenziale e reale.

I valori delle temperature sono stati ricavati elaborando i dati relativi alla stazione di Scheggia, per la zona interna, e di quella di Fonte Avellana, per la zona adriatica, ritenute rappresentative per posizioni e numero di dati disponibili.

I valori medi mensili, del periodo 1935-1961 per Scheggia e 1939-1983 per Fonte Avellana, sono stati interpolati nelle varie fasce di interesse.

Ad ogni fascia è stato attribuito un valore medio del coefficiente di immagazzinamento, espresso in mm, stimato in funzione della pedologia e delle caratteristiche dei terreni.

L'evapotraspirazione potenziale è stata valutata con la procedura di Thornthwaite per ogni fascia.

Per quanto concerne le precipitazioni nevose, non è risultata valutabile la quantità di neve caduta disciolta nel corso dei mesi.

È stato ipotizzato che le precipitazioni siano solide quando la temperatura media di un mese risulti inferiore a -1 °C e che esse rimangano allo stato solido formando una riserva idrica. Questa, sciogliendosi, alimenta la riserva idrica contenuta nel terreno (se quest'ultima non raggiunge la capacità di immagazzinamento) oppure contribuisce ai deflussi superficiali; si è assunto che la fusione delle nevi accumulate abbia inizio nel primo mese con temperatura media superiore allo zero e proceda nel corso dei successivi periodi.

Per quanto concerne le piogge, per la zona esterna sono stati elaborati i dati relativi alla stazione di Pianello e per la zona interna quelli della stazione di Piobbico, estrapolandoli alle varie fasce in funzione del gradiente pluviometrico verticale.

Il deflusso idrico globale presunto (D_p ; presunto poiché non misurato) è stato ricavato dalla formula:

$$D_p = P - E_r$$

P = precipitazione
 E_r = evapotraspirazione reale

Impiegando i coefficienti di infiltrazione potenziale dal valore del deflusso idrico globale presunto si può risalire a quello dei due termini che lo costituiscono, il ruscellamento presunto (R_p) e l'infiltrazione presunta (I_p).

$$D_p = R_p + I_p$$

I parametri R_p e I_p sono stati ottenuti utilizzando due diverse metodologie.

- Una prima metodologia, applicata a tutta l'area (250 km^2) è basata sul metodo di Kennessey. Questo metodo permette di calcolare il deflusso idrico superficiale tenendo conto dei parametri naturali che lo condizionano: clima, permeabilità dei terreni, acclività e copertura vegetale. I parametri in oggetto vengono espressi con dei coefficienti variabili in base all'Indice di Aridità (De Martonne) e la loro somma esprime il coefficiente di deflusso (C_d):

$$C_d = C_a + C_v + C_p$$

C_a = quota del coefficiente di deflusso legato all'acclività
 C_v = quota del coefficiente di deflusso legato alla copertura vegetale
 C_p = quota del coefficiente di deflusso legato alla permeabilità del terreno

I valori così ottenuti, relativi ad ogni fascia altimetrica, sono stati utilizzati ai fini del bilancio.

- Una seconda metodologia è basata sull'utilizzo dei valori del c.i.p. (coefficiente d'infiltrazione potenziale) espresso in % per ogni formazione litologica; tale dato rappresenta la percentuale di deflusso che si infila nel sottosuolo.

In letteratura sono disponibili tabelle dei coefficienti d'infiltrazione caratteristici dei vari tipi litologici derivanti, da osservazioni e sperimentazioni condotte in diverse parti del mondo; per l'area oggetto di studio si è ritenuto opportuno assumere i seguenti valori di c.i.p.:

- 90% Calcere Massiccio;
- 80% Corniola, Maiolica;
- 60% Scaglia Bianca, Scaglia Rossa;
- 20% Calcari Diasprini, Sc. Variegata, Bisciario, Marnoso Arenacea, Arenarie di M.te Vicino;
- 10% Rosso Ammonitico, Bugarone, Marne a Fucoidi, Scaglia Cinerea, Schlier.

Il procedimento operativo consiste nel calcolare dapprima, partendo dai dati di precipitazione P ed evapotraspirazione reale E_r , di ogni singola zona geografica e fascia altimetrica di P e E_r in rapporto alle varie superfici in km^2 , le medie ponderate di P ed E_r relative ad ogni singola fascia altimetrica per la sua estensione totale nell'area oggetto del bilancio.

Dalla differenza P - E_r si ottiene il valore del deflusso idrico globale presunto D_p proprio di ogni fascia altimetrica.

Dalla media ponderata dei valori di P, E_r e D_p in relazione alla superficie di ogni singola fascia si ottengono inoltre anche i loro valori relativi alla superficie totale indagata.

Il secondo passaggio consiste nel suddividere la superficie delle varie fasce altimetriche in frazioni caratterizzate da uniformità litologica nel rispetto dell'attribuzione dei diversi valori di coefficiente di infiltrazione effettuata (le lievissime disparità che si possono rilevare sui totali delle aree interessate al bilancio derivano dal metodo di planimetrazione).

Si effettua quindi la media ponderata dei coefficienti attribuiti alle superfici di diverse caratteristiche litologiche in modo da ottenere il valore del c.i.p. di ogni singola fascia.

A questo punto fascia per fascia, mettendo in relazione i vari c.i.p. ricavati nel passaggio immediatamente precedente con i vari valori del deflusso idrico globale presunto D_p ottenuti nella fase iniziale del procedimento, si ricavano direttamente i valori dell'infiltrazione presunta I_p (aliquota d'acqua che va a costituire le risorse idriche sotterranee) e, per differenza i valori del ruscellamento presunto R_p .

Dalla media ponderata dei valori di I_p e R_p in relazione alla superficie di ogni singola fascia si ricavano i loro valori relativi alla superficie totale indagata.

Essi, congiuntamente agli analoghi valori di P ed E_r ricavati in precedenza permettono di stabilire il bilancio idrologico dell'area.

1.AREA TOTALE (250 km^2)

Applicando la procedura sopradescritta si è dunque calcolato il bilancio relativo all'area totale di studio pari ad una superficie totale di 250 km^2 :

$$P = E_r + R_p + I_p$$

$$1505,9 = 601,3 + 379,9 + 524,7$$

$$100\% = 40\% + 25\% + 35\%$$

$$P \text{ (precipitazioni)} = 1505,9 \text{ mm}$$

$$E_r \text{ (evapotraspirazione reale)} = 601,3 \text{ mm}$$

$$R_p \text{ (ruscellamento presunto)} = 379,9 \text{ mm}$$

$$I_p \text{ (infiltrazione presunta)} = 524,7 \text{ mm}$$

$$D_p \text{ (deflusso globale, superficiale+sotterraneo, presunto)} = 904,6 \text{ mm}$$

I risultati ottenuti con le due metodologie sopra descritte si sono rivelati praticamente uguali.

2.STRUTTURA CARBONATICA CATRIA-NERONE (115 km^2)

I risultati ottenuti sono i seguenti:

$$P = E_r + R_p + I_p$$

$$1596,3 = 587,7 + 341,9 + 666,7$$

$$100\% = 37\% + 21\% + 42\%$$

$$P \text{ (precipitazioni)} = 1596,3 \text{ mm}$$

$$E_r \text{ (evapotraspirazione reale)} = 587,7 \text{ mm}$$

$$R_p \text{ (ruscellamento presunto)} = 341,9 \text{ mm}$$

$$I_p \text{ (infiltrazione presunta)} = 666,7 \text{ mm}$$

$$D_p \text{ (deflusso globale, superficiale+sottterraneo, presunto)} = 1008,6 \text{ mm}$$

$$Q_i \text{ (portata di infiltrazione)} = 2,43 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Alimentazione specifica} = 21 \text{ l/s per km}^2$$

3. CALCARE MASSICCIO (15,3 km²)

Il bilancio idrologico relativo alle sole zone di affioramento del Calcere Massiccio nelle aree di M.te Catria, M.te Acuto e M.te Nerone, dove è stato ipotizzato si verifichi la ricarica dell'acquifero profondo, è stato effettuato partendo da due distinti settori:

- 1) settore di M.te Nerone (km² 6,1), individuabile in linea di massima nell'area compresa tra i toponimi Pieia - Il Barcone - Grotta del Borghetto - Monticello;
- 2) settore zona M.te Catria - M.te Acuto (km² 9,2), individuabile in linea di massima nell'area compresa tra i toponimi Balza degli Spicchi - Fonte della Vernosa - Cava di pietra da mola - C. Valpiana - Bocca della Porta - Pluviometro.

Si sono quindi calcolati i valori complessivi di D_p delle singole fasce altimetriche ed i valori complessivi di P ed E_r per i 15,3 km² pari al totale della superficie interessata dal bilancio.

L'elaborazione ha poi seguito il normale svolgimento.

I risultati ottenuti sono i seguenti:

$$P = E_r + R_p + I_p$$

$$1773,5 = 553,9 + 162,2 + 1057,4$$

$$100\% = 31\% + 9\% + 60\%$$

$$P \text{ (precipitazioni)} = 1773,5 \text{ mm}$$

$$E_r \text{ (evapotraspirazione reale)} = 553,9 \text{ mm}$$

$$R_p \text{ (ruscellamento presunto)} = 162,2 \text{ mm}$$

$$I_p \text{ (infiltrazione presunta)} = 1057,4 \text{ mm}$$

$$D_p \text{ (deflusso globale, superficiale+sottterraneo, presunto)} = 1219,6 \text{ mm}$$

$$Q_i \text{ (portata di infiltrazione)} = 0,513 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Alimentazione specifica} = 33,5 \text{ l/s per km}^2$$

3.2.6. GEOFISICA

Secondo i testi recuperati dovrebbero essere state realizzate prospezioni sismiche a rifrazione e sondaggi elettrici verticali, di cui non è stata rintracciata alcuna documentazione.

Relativamente al monitoraggio strumentale è stata acquisita una serie di sismogrammi, che comunque non sono stati analizzati né sottoposti a valutazioni.

Fra le diverse tavole cartografiche si può inoltre individuare l'ubicazione dei sondaggi elettrici, delle stazioni e linee sismiche e dei sensori microsismici.

3.2.7. POZZO CAGLI 1

Il programma di studio prevedeva, al compimento della campagna geofisica e previa definizione preliminare dello schema idrogeologico, la realizzazione di un pozzo sperimentale, da eseguire a rotazione con distruzione di nucleo.

La perforazione del pozzo (denominato Cagli 1) aveva i seguenti obiettivi prioritari:

1. costituire un punto di approvvigionamento idropotabile di emergenza per eventuali esigenze di protezione civile, e come fonte di soluzione per i problemi connessi all'inquinamento di atrazina nelle frazioni in comune di Cagli;
2. costituire uno dei punti focali per lo studio sulle potenzialità idriche nella dorsale carbonatica;
3. costituire un punto di prova ed osservazione del sistema idrico profondo.

Il pozzo si spinge sino alla profondità di 262,5 m, con le seguenti caratteristiche di **perforazione/completamento**:

p.c. _____	
	cantina per l'alloggiamento delle attrezzature di testa pozzo e di due vasche per il deposito degli scarichi e dei fanghi
-2,5 m _____	
	perforazione $\varnothing = 26''$ (ca. 66 cm), tubazione $\varnothing = 24''$ (ca. 61 cm)
-13,5 m _____	
	perforazione $\varnothing = 23''$ (ca. 58,5 cm), tubazione $\varnothing = 18''5/8$ (ca. 47,3 cm)
-27,5 m _____	
	perforazione $\varnothing = 17''1/2$ (ca. 44,5 cm), foro scoperto
-99,5 m _____	
	perforazione $\varnothing = 12''1/4$ (ca. 31,1 cm), foro scoperto
-262,5 m _____	

Durante la perforazione è stata rilevata la **stratigrafia** seguente:

p.c. _____	
	copertura alluvionale
-2,0 m _____	
	roccia in posto, allentata e alterata
-2,5 m _____	
	calcare biancastro piuttosto compatto; presenti livelli di interstratificazione, elementi bracciati <i>-12-13 m livello fratturato</i> <i>-27 m livello fratturato; acqua (2,5 l/min, 3 bar)</i>
-27,8 m _____	
	grande bancata di calcari biancastri piuttosto compatti e generalmente fratturati <i>venuta d'acqua continua, sebbene di piccola entità, che si attesta sui 25 l/min a -39,5 m</i> <i>-52 m grossa frattura; notevole incremento della venuta d'acqua (portata 200 l/min)</i>
-61,0 m _____	
	calcare nocciola chiaro; mostra cutting sia compatto sia con aspetto ricementato (tipo grainstone)
-69,0 m _____	
	calcare nocciola con discreto livello di fratturazione
-72,7 m _____	
	calcare nocciola chiaro; mostra cutting sia compatto sia con aspetto ricementato (tipo grainstone) <i>-79 m si registrano una portata di 250 l/min e una pressione di 10,0 bar</i>
-79,0 m _____	

- bancata di calcari nocciola che alterna, irregolarmente, livelli di calcari compatti e livelli di calcari ricementati.
la fratturazione mostra un andamento irregolare, presentandosi a tratti abbondante e a tratti pressoché assente
- 99,5 m ___
- calcari di colore nocciola molto fratturati con le fratture riempite di calcite di deposizione secondaria (la fratturazione non è chiaramente costante)
- 107,0 m ___
- calcari nocciola, abbastanza compatti, a cui si uniscono anche frammenti biancastri, breccioline ricementate e frammenti che mostrano sottili laminazioni.
-108_ alla quota di 108 m compaiono per la prima volta frammenti di colore verdastro dovuti a mineralizzazione secondarie e indici di cavità beanti
-113 m livello fratturato
-116 m livello fratturato
- 118,0 m ___
- bancata di calcare decisamente biancastro, generalmente con aspetto ricementato (tipo grainstone e packstone di Dunham)
- 120,0 m ___
- calcari nocciola con le medesime caratteristiche di quelli nocciola soprastanti
-126 m abbondante fratturazione; netto incremento della portata, che ha raggiunto i 2200 l/min con una pressione di 22 bar
- 126,0 m ___
- calcari nocciola e biancastri continuano fino a 133 m dove, insieme alla comparsa di frammenti di microbreccie e di calcari di aspetto oolitico, ricompaiono i frammenti verdastri e chiari segni di fratturazione
- 133,0 m ___
- riprendono i calcari nocciola, a tratti più resistenti all'avanzamento
-142 m piccolo incremento nella portata, stimato intorno a 100 l/min
-148 m piccolo incremento nella portata, che fa attestare la portata sui 2400 l/min
- 152,0 m ___
- bancata di calcare di colore nocciola più scuro rispetto al precedente, ma che non mostra sostanziali variazioni nella tessitura e nella resistenza, cui segue una bancata di calcare nocciola e biancastro caratterizzata da accentuata fratturazione presenza di numerose fratture beanti
- 154,0 m ___
- calcare nocciola chiaro che presenta una notevole fratturazione con andamento irregolare, con locali aumenti e diminuzioni.
presenti sia calcite che cuttings indicanti la presenza di cavità
-156 m incremento della portata
-166,5 m incremento della portata
- 187,0 m ___
- alternanza di calcari nocciola e biancastri che presenta una marcata fratturazione con andamento irregolare
-188 m incremento della portata
-193,5 m incremento della portata, che fa attestare la portata totale sui 4000 l/min
-200 m incremento della portata, che fa attestare la portata sui 4200 l/min
-205 m incremento della portata
-212 m enorme incremento della portata, che fa attestare la portata totale sui 4200 l/min
- 226,0 m ___
- calcari nocciola e biancastri di aspetto cariato e ricementato, tipo grainstone, relativamente fragili. presenti segni di alterazione (tipo argille rossastre).
si rilevano indizi di fratture e cavità beanti.
-230 m apprezzabile incremento della portata
-234 m grossa frattura; incremento della portata (portata totale circa 13500 l/min)

-237,5 m_grossa frattura; incremento della portata (portata totale circa 14350 l/min)

-243 m_grossa frattura; incremento della portata

-244,6 m__

il calcare diviene di colore nocciola decisamente più scuro

-245 m_la portata aumenta raggiungendo i 14900 l/min

-246 m_cavità o frattura beante (cuttings con evidenti segni di carsismo); incremento della portata di circa 2000 l/min

-247,5 m_cavità o frattura beante (cuttings con evidenti segni di carsismo); notevole incremento della portata (portata totale circa 17800 l/min)

-249,5 m_incremento di portata

-250,5 m_cavità o frattura beante (cuttings con evidenti segni di carsismo); notevole incremento della portata (portata totale circa 21900 l/min)

-253 m_cavità o frattura beante (cuttings con evidenti segni di carsismo); notevole incremento della portata (portata totale circa 29000 l/min)

-253,0 m__

calcare colore nocciola chiaro, con pori e cavità. Si rinvengono agglomerati di piccoli frammenti brecciosi, associabili, con ogni probabilità, alle faglie e fratture come brecce di frizione.

-258,0 m__

calcare nocciola chiaro e calcare biancastro abbondantemente fratturati

-259,5 m_cavità o frattura beante; notevole incremento della portata (portata totale circa 30000 l/min)

-262,5 m_ulteriori venute d'acqua che incrementano la portata fin circa 32000 l/min

-262,5 m__

Durante la perforazione sono stati rilevati i parametri riportati nella seguente tabella:

profondità (m)	portata (l/min)	pressione (atm)	temperatura (°C)	conducibilità elettrica (µS)	pH
16÷19			11		
27,5÷27,8	2,8	3	11		
28,5	3,15	3	11		
38	25	3	11		
44	30	3	11		
53	250	13	11		
80÷99,5	280	13	11		
99,5÷122	45÷53	13	11		
122,5÷124,5	145	22	11		
125	1200	23	11		
125÷136,4	2200	23	11		
136,4÷148,5	2400	23	11		
155÷156,6	3000	23	11		
163÷166,5	3400	23	11		
187÷188	4000	23	11		
205÷208	4500	23	11		
212÷212,7	6500	23	11		
212,7÷214,5	~10000	23	11		
217÷219	~10000	23	11		
226,6÷232,6	~13500	23	11		
238	~14300	23	11		
238÷247	~14800	23	11		
247÷247,5	~18000	23	11		
247,5÷249,5	~19000	23	11		
249,5÷250,6	~21500	23	11	522	7,13
253÷253,5	~24000	23	11	490	7,04

254÷255	~26500	22	11	502	7,15
256,6	~28000	22	11	480	
262,5	~31500	22	11	530	

La **temperatura** dell'acqua si è rilevata costantemente intorno a valori di 11 °C.

All'incremento di portata corrisponde, con l'aumento della profondità, un aumento delle **pressioni** misurate a bocca pozzo, che evidenziano valori bassi (3-6 atm) fino a circa 86 m di profondità (fratture completamente chiuse), valori intorno a 10 atm da 86 m fino a 124 m (fratture in parte ricementate) e valori di 22 atm da 124 m fino a fondo pozzo (fratture beanti, completamente aperte); i fenomeni di ricementazione risultano evidenti fino a 120-130 m di profondità, mentre risultano assenti da tale profondità fino a fondo pozzo (ciò è legato al fatto che la minore pressione provoca la progressiva chiusura delle fratture, riducendo la luce utile al passaggio dell'acqua).

La perforazione ha mostrato l'esistenza di un acquifero artesiano (a pozzo aperto l'acqua raggiungeva un'altezza di 2,5-3,0 m dal piano campagna; quando è stato chiuso il preventer, a batteria estratta, per facilitare l'inserimento di un "piatto cieco" che impedisse il flusso dell'acqua sulle morse per poter avvitare un'asta sul pull-down da inserire poi nel preventer per poterlo chiudere, la colonna dell'acqua ha abbondantemente superato la torre, alta 17 m) da cui fuoriesce una portata idrica che aumenta (sia in maniera lenta e progressiva sia con incrementi istantanei a quote ben precise) proporzionalmente alla profondità; l'acquifero risulta caratterizzato da una circolazione idrica in pressione che si realizza attraverso fratture e canali mentre la permeabilità del sistema aumenta progressivamente con la profondità, dove i meati entro cui si muove l'acqua risultano sufficientemente grandi da non indurre forti perdite di carico.

1^ PROVA DI PORTATA

È stata eseguita una prova a gradini di portata crescente, protratta dal 08 al 16/04/1992, secondo il seguente schema:

- gradino 1 – 50 l/s; dal 08/04 11:00
- gradino 2 – 100 l/s; dal 09/04 11:00
- gradino 3 – 200 l/s; dal 10/04 11:00
- gradino 4 – 300 l/s; dal 11/04 11:00
- gradino 5 – 400 l/s; dal 12/04 11:00
- risalita – 0 l/s; dal 12/04 11:00 al 13/04 11:00

La misura delle pressioni a testa pozzo è stata effettuata sia sul p.zzo Cagli 1 sia sul p.zzo P4 (Acquedotto di Cagli); è stata eseguita utilizzando 3 manometri di precisione, di cui è stata eseguita la taratura a termine della prova, per il confronto delle misure eseguite.

Nella realtà sono quindi stati rilevati i seguenti valori:

data	ora	Q (l/s)	P_Cagli1 (atm)	ΔH (m)	P_p.zzo P4 (atm)	conducibilità (μS/cm) ~ 11,5 °C	pH	note
08/04/1992	10:59	0	24,31	0	7,64			
08/04/1992	11:00	50,3*	24,31	0	7,64			inizio prova
08/04/1992	11:20	50,3*	24,24			405	6,35	
08/04/1992	14:30	50,3*	24,23		7,45			
08/04/1992	16:30	50,4	24,23		7,45			
08/04/1992	18:30	50,3*	24,23		7,45			
09/04/1992	09:30	50,3	24,23		7,45			
09/04/1992	11:00	99,2*	24,23	0,8	7,35	388	6,5	
09/04/1992	13:00	99,2*			7,35			
09/04/1992	16:00	99,2*	23,95					
09/04/1992	17:00	99,2	23,95		7,7			

10/04/1992	07:00	99,2	23,95		7,7			
10/04/1992	11:00	99,2	23,95	3,6	7,7	390	6,47	
10/04/1992	12:00	205	22,67		7,7			
10/04/1992	17:00	205	22,67		7,7			
11/04/1992	07:00	217	22,67		7,35			
11/04/1992	11:00	214	22,67	16,4		383	6,53	
11/04/1992	12:00	303,6	22,67		7			
11/04/1992	14:00	303,4	21,14		7			
11/04/1992	17:00	296*	21,14		7			
12/04/1992	11:00	296	21,14	31,7	7	396	6,63	
12/04/1992	12:00	398*	15,5		6,95			
12/04/1992	14:00	401	15,5		6,95			
13/04/1992	08:00	398	15,5		7,2			
13/04/1992	11:00	398*	15,5	88,1				
13/04/1992	17:00	397	15,5		6,9			
14/04/1992	11:00	394	15,3		6,9	400	6,92	
15/04/1992	11:00	391	15,2		6,9	400	7	
15/04/1992	11:01*	0	15,2		6,9			chiusura pozzo
15/04/1992	11:05	0	22,9		6,92			
15/04/1992	11:10	0	23,1		6,94			
15/04/1992	11:15	0	23,1		6,95			
15/04/1992	11:20	0	23,1		6,96			
15/04/1992	11:25	0	23,1		6,96			
15/04/1992	11:30	0	23,1		6,97			
15/04/1992	11:40	0	23,3		6,97			
15/04/1992	13:30	0	23,4		6,98			
15/04/1992	17:00	0	23,7		6,98			
16/04/1992	11:00	0	24		6,95			termine prova

* valore presunto

Il controllo della rete strumentale eseguito durante la prova ha portato ad escludere qualsiasi influenza, in fase di emungimento del pozzo e sul medio termine, sia sulle portate delle sorgenti sia a livello microsismico.

2^A PROVA DI PORTATA

Sul p.zzo Cagli 1 stata eseguita una prova a gradini di portata crescente il giorno 27/05/1992, secondo il seguente schema:

- gradino 1 – 66,1 l/s; 1 ora
- gradino 2 – 117 l/s; 1 ora
- gradino 3 – 189,9 l/s; 1 ora
- gradino 4 – 238 l/s; 1 ora
- gradino 5 – 269,4 l/s; 1 ora
- gradino 6 – 318,2 l/s; 1 ora
- gradino 7 – 371,7 l/s; 1 ora
- gradino 8 – 415 l/s; 1 ora

Risultano rilevati i valori seguenti:

data	ora	Q (l/s)	P_Cagli1 (atm)	piezometria (m)	note
27/05/1992	x-0,1h	0	23,97	5,2	

27/05/1992	x	66,1	23,97	5,2	inizio prova
27/05/1992	x+1h	117	22,61*	12,2	
27/05/1992	x+2h	189,9	20,44*	22,3	
27/05/1992	x+3h	238	19,41*	32,2	
27/05/1992	x+4h	269,4	18,57*	46	
27/05/1992	x+5h	318,2	17,27*	60,2	
27/05/1992	x+6h	371,7	15,86*	76,8	
27/05/1992	x+7h	415	14,71	92,6	
27/05/1992	x+8h	0			chiusura pozzo

* valori di portata interpolati [essendo ignoti i valori misurati, ndr] considerando i dati piezometrici.

La curva caratteristica (portate in ascissa e abbassamenti piezometrici in ordinata) estesa fino alla portata di 415 l/s non giunge ad evidenziare la portata critica di emungimento del pozzo, pertanto la relativa portata ottimale di emungimento potrebbe essere ≥ 415 l/s; si è dunque ritenuto di poter considerare una portata ottimale di **415** l/s ed una portata critica di **450** l/s.

3.2.8. RISULTATI/CONCLUSIONI

STRUTTURA IDROGEOLOGICA

La dorsale carbonatica rappresenta una struttura idrogeologica geometricamente ben definita, risultando idraulicamente tamponata nel settore orientale da un fronte di sovrascorrimento continuo, nel settore occidentale da terreni a permeabilità ridotta, nel settore settentrionale dalla depressione assiale della struttura e nel settore meridionale da linee tettoniche trasversali e dall'incisione del F. Sentino.

Tale compartimentazione idraulica fa presupporre, a livello di circolazione idrica profonda, una direzione principale di deflusso idrico in senso longitudinale alla dorsale (direzione appenninica), con aree di ricarica (come dimostrato anche dalle analisi isotopiche) nelle zone di alto morfologico del M.te Nerone, M.te Acuto e M.te Catria (aree di culminazione assiale) e zone di scarica lungo le principali incisioni fluviali (depressione assiale), che rappresentano, anche, il livello di base degli acquiferi carbonatici.

Logicamente non possono escludersi eventuali drenaggi verso strutture limitrofe, soprattutto nel settore meridionale della dorsale studiata.

È risultata evidente, al contrario, la netta separazione fra acquifero di base (Massiccio/Corniola) e acquiferi superiori (Scaglia e Maiolica), dimostrato oltre che dalla stratigrafia delle litofacies affioranti, da differenze idrochimiche ed idrodinamiche delle acque delle sorgenti monitorate. Solo nelle aree di alto morfologico, caratterizzate da successioni stratigrafiche condensate o lacunose, è possibile avere una continuità idraulica fra acquifero basale ed acquifero della Maiolica.

Tale separazione idraulica è ben evidenziabile, anche, dai risultati ottenuti nel corso delle prove di portata sul pozzo perforato e dal contemporaneo controllo della rete di monitoraggio strumentale. Infatti, tale controllo ha permesso di escludere, durante l'emungimento, qualsiasi influenza sia sulla portata delle sorgenti che a livello di osservazione microsismica; tale dato, atteso per le sorgenti dei complessi di Scaglia e Maiolica, è risultato valido anche per le sorgenti del complesso del Massiccio/Corniola monitorate in quota, a dimostrazione di volumi d'acqua considerevoli presenti nell'acquifero basale.

RISORSA IDRICA DISPONIBILE

Per avere una stima di larga massima delle risorse effettivamente disponibili riferite alla struttura M.te Catria-M.te Nerone (area di 115 km²), alla portata di infiltrazione devono essere sottratte le quantità in uscita che sono:

1. le rese in alveo e le sorgenti direttamente insistenti sui corsi d'acqua interni (Biscubio, Bosso, Burano, Cinisco, Sentino) che, da misure eseguite su sezioni in ingresso ed in uscita della serie e dai dati rilevati in corrispondenza degli strumenti misuratori di livello ad ultrasuoni, ammontano a circa 1,1 m³/s;
2. le sorgenti presenti nell'area di 115 km² che vengono captate, per una portata complessiva stimata di circa 0,3 m³/s.

Sommando i suddetti valori si ottiene in uscita un totale di circa 1,4 m³/s che, sottratto ai 2,43 m³/s che costituiscono la portata d'infiltrazione, determina per l'area in oggetto una potenzialità residua di circa 1,03 m³/s in termini di portata (32.482.000 m³ in termini di volume).

Secondo una convenzione indicata dal mondo accademico e da Enti di Controllo, per non creare squilibri nel sistema si ritiene possa essere emunta un'aliquota pari al 30-40% della risorsa potenzialmente disponibile il che, per l'area in oggetto, significa una risorsa fruibile di **0,34 m³/s** (10.720.000 m³ in termini di volume).

Considerando che tali calcoli si basano in realtà su dati aventi serie temporali diverse (pluriennali per le precipitazioni ed annuali per le misure di portata su sezioni fluviali e sorgenti), i valori espressi debbono essere considerati come puramente estimativi e da confermare con osservazioni sul lungo periodo.

Da quanto sopra esposto si evince comunque che nell'area indagata le risorse idriche sotterranee sono senza dubbio notevoli, sia quantitativamente che qualitativamente, e che 0,03 m³/s possono essere senza dubbio emunti dal pozzo Cagli 1 senza timori di creare squilibri idrogeologici. Per prelievi di maggiore entità si ritiene invece necessario prolungare nel tempo (almeno 3-5 anni) le attività di monitoraggio ed osservazione idrologica ed idrogeologica per poter avere, anche con ulteriori prove di emungimento sul lungo periodo dal pozzo Cagli 1, dati reali sulle capacità produttive dell'acquifero.

3.3. MONITORAGGIO 1993-1994

L'attività è consistita nel rilevamento dei dati di precipitazione, temperatura, portate fluviali, portate di sorgenti e dati microsismici; i dati sono stati riassunti in tabelle, grafici e sismogrammi; non risultano valutati in alcun modo.

Risulta inoltre essere stata eseguita una prova di emungimento sul pozzo Cagli 1, nel periodo 13/04/1994-14/06/1994; nella relativa descrizione sono indicati tempi, portate e pressioni rilevati (manca purtroppo la registrazione della pressione del pozzo a fine prova).

Di tale monitoraggio sono state recuperate le "Relazioni bimestrali" denominate 4^a (bimestre marzo-aprile 1994), 5^a (bimestre maggio-giugno 1994) e 6^a (bimestre luglio-agosto 1994).

Andando conformemente a ritroso il primo bimestre di monitoraggio dovrebbe quindi corrispondere ai mesi di settembre-ottobre 1993; in realtà la documentazione suddetta comprende dati che nell'insieme coprono l'intervallo gennaio 1993-agosto 1994 (i dati relativi ai mesi gennaio-agosto 1993 fanno dunque parte di una campagna di monitoraggio diversa da quella che espone i dati rilevati dal settembre 1993?).

3.4. MONITORAGGIO 1997-1999

L'attività è consistita nel rilevamento dei dati di precipitazione, temperatura, e portate di sorgenti; i dati sono stati riassunti in tabelle e grafici e sismogrammi; non risultano valutati in alcun modo.

Sono inoltre state eseguite cinque prove di emungimento, a carico del pozzo Cagli 1 nei periodi 30/04/1997-20/05/1997, 08/09/1997-28/09/1997, 16/02/1998-23/02/1998, 23/07/1998-08/08/1998 e

15/09/1998-02/10/1998; i relativi dati sono tuttavia del tutto incompleti, essendo riportati in relazione soltanto le portate ed i volumi estratti.

Secondo delle missive recuperate, la suddetta prova eseguita nel periodo 30/04/1997-20/05/1997 sarebbe in realtà iniziata il 24 aprile; di tale prova sono fortunatamente indicati nei diversi documenti anche gli orari di manovra ed i dati di pressione.

Di tale monitoraggio, che copre il periodo aprile 1997 - marzo 1999, sono state rinvenute una relazione di "Presentazione dati preliminari" e la "Relazione conclusiva" di monitoraggio.

3.5. MONITORAGGIO anni 2000

Non si hanno dati in merito; non è neppure certo che una campagna di monitoraggio sia stata eseguita nei primi anni 2000.

Sono solamente state recuperate due missive del Comune di Cagli, relative ai mesi di luglio e dicembre del 2003, nel cui oggetto si fa riferimento ad una "prosecuzione delle attività di monitoraggio e controllo delle risorse idriche" del pozzo Cagli 1.

4. CONCLUSIONI - ORGANIZZAZIONE DEI DATI RACCOLTI

I documenti scansionati sono stati raggruppati in diverse cartelle che distinguono le successive fasi di avanzamento/approfondimento dello studio e delle analisi svolte, secondo l'elenco che segue:

- "1991.02.08_Aquater_1°RapportoTrimestrale" (3 file .pdf; dimensione 291 MB);
- "1991.06_Aquater_2°RapportoTrimestrale" (2 file .pdf; dimensione 5,88 MB);
- "1991.10_Aquater_3°StatoAvanzamentoLavori" (4 file .pdf; dimensione 21,2 MB);
- "1992.03_Aquater_5°RapportoTrimestrale" (2 file .pdf; dimensione 16,9 MB);
- "1992_Aquater_StudioConclusivo" (7 file .pdf, 8 file .jpg; dimensione 224 MB);
La cartella comprende inoltre una sottocartella contenente 5 file .xlsx relativi all'informatizzazione in formato foglio elettronico di altrettante tabelle contenute nel medesimo studio.
- "1993-2004_MONITORAGGIOOpzoCagli1", che comprende le successive sottocartelle:
 - "Monitoraggio_1993.09-1994.08" (3 file .pdf; dimensione 103 MB);
 - "Monitoraggio_1997.04-1999.03" (3 file .pdf; dimensione 146 MB);
 - "Monitoraggio_2003.xx-2004.xx" (1 file .txt, 2 file .pdf; dimensione 3,29 MB);
 - "1997.04-05_ProvaEmung" (4 file .pdf; dimensione 1,07 MB);
 - "1998.02_ProvaEmung" (1 file .pdf; dimensione 500 KB);
 - "1998.07-08_ProvaEmung" (4 file .pdf; dimensione 2,27 MB);
 - "1999.04_ProvaEmung" (2 file .pdf; dimensione 737 KB);
 - "1999.10_ProvaEmung" (3 file .pdf; dimensione 878 KB);
 - "2003.07-08_Prova Emung" (2 file .pdf; dimensione 635 KB).

Le informazioni tabellari e cartografiche sono state trasposte in fogli elettronici, raster e feature georeferenziati (sistema di riferimento Gauss-Boaga, Roma 40; ellissoide Est; EPSG 3004), contenuti nelle cartelle:

- "DATI_informatizzati" (4 file .xlsx; dimensione 282 KB);
- "GIS" (dimensione 301 MB), che contiene un file .txt di chiarimento e due sottocartelle:
 - "studioAQUATER" (info cartografiche contenute nelle elaborazioni effettuate da Aquater; 170 file; 297 MB);
La cartella contiene file nel formato set di dati MapInfo/TAB ed include un'ulteriore cartella (denominata "shape"; 79 file; 148 MB) che contiene file nel formato set di dati ARC/INFO (shapefile).
 - "rapportiMONITORAGGIO" (info cartografiche contenute negli elaborati di monitoraggio; 51 file; 4,41 MB).
La cartella contiene file nel formato set di dati MapInfo/TAB ed include un'ulteriore cartella (denominata "shape"; 23 file; 2,17 MB) che contiene file nel formato set di dati ARC/INFO (shapefile).

Alla presente relazione si allegano:

- un prospetto ove vengono schematicamente individuati i periodi per i quali sono disponibili i diversi tipi di dati (portate, chimico-fisici, meteo). Allegato 1.
- una cartografia con la rappresentazione cartografica complessiva dei punti di rilevamento/monitoraggio relativi allo studio redatto da Aquater, alcuni dei quali oggetto dei monitoraggi successivi del Comune di Cagli. Allegato 2.