

S. CAVAZZA (\*)

## CONDIZIONAMENTI IDROGEOLOGICI E AMBIENTALI SULLA CIRCOLAZIONE IDRICA IPOGEA DEL MONTE BELVEDERE (MASSA)

**Riassunto** — Il monte Belvedere sovrasta l'abitato di Massa e la fascia litoranea apuana; esso è costituito in massima parte da formazioni impermeabili ricoperte da mantelli detritici o da aree franose.

In tale ambiente si contano numerose manifestazioni sorgentizie, dalle portate modeste ed alquanto influenzate dal regime pluviometrico, e dalle acque famose sin da tempi remoti per la loro leggerezza e purezza.

Nella presente memoria vengono illustrate le forme di alimentazione, il regime delle sorgenti ed il bilancio idrico degli acquiferi.

La progressiva antropizzazione del monte per insediamenti rurali, termali e turistici crea ora seri rischi di inquinamento delle acque, che già in qualche caso hanno imposto limiti alla utilizzazione delle acque sorgentizie.

A tale proposito vengono analizzate le interazioni fra l'uso delle acque sorgentizie, variato nel tempo da quello idropotabile a quello termale e delle acque da tavola, e l'ecosistema naturale. L'impatto ambientale derivante dal variato uso delle acque appare dovuto principalmente alle azioni antropiche indotte sulle attività termali, turistiche e industriali. Queste stesse azioni rappresentano anche le più pericolose fonti di inquinamento delle acque, ed è da queste che va tutelata la circolazione idrica del monte.

**Abstract** — *Hydrogeological and environmental bounding on groundwater circulation in the Belvedere mountain (Massa, Italy).* The Belvedere mountain is placed near Massa town and the apuan littoral plain; its rocks are mainly impermeable, with a surface cover of detritic incoherent materials and landslide areas.

The groundwater circulation is feeded by local rainfalls and is allocated in the surface cover only. From these materials take off a lot of springs, very diffused on the mountain but affected by small discharges, that, after the dry season, arise the zero value.

The springwaters are very poor in salts and very pure; for this reasons they were known until then ancient ages for their medical properties.

The paper presents the characteristics of the acquifer, the forms of alimentation and the water balance of groundwaters.

---

(\*) Cattedra di «Difesa della natura e dell'ambiente», Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Trento.

The arise of the antropic pressure on the mountain, due both at the thermal and turistic activities and at the industry of the springwater bottle, increases the sources of pollution of the aquifers and produced recently some cases of quality decay of the springs. In this new contest, arise the need of a very rigid program of pollution control everywhere on the mountain and a concrete action of policy concerning the land use, foresty, and planning of human activities.

**Key Words:** Oligomineral groundwater - springwater - groundwater pollution - Tuscany (Italy).

## I TERMINI DI RIFERIMENTO DEL BILANCIO IDRICO

Il bilancio idrico è un'operazione di individuazione delle quantità di acqua che, nelle diverse fasi evolutive di un idrosistema, hanno sede nell'ambiente naturale e antropizzato di un ben definito contesto spazio temporale.

Un bilancio idrico va pertanto riferito a un certo volume, che nel caso più generale si estende all'atmosfera e al sottosuolo con quanto esiste alla superficie della terra, e ad un certo periodo di tempo, che spesso viene fissato in un anno in modo da essere caratterizzato, in media, da tutte le condizioni stagionali.

L'insieme dei rapporti tra acqua e ambiente, e quindi l'insieme degli aspetti in cui l'acqua è presente in natura ed utilizzabile dall'uomo nelle sue varie forme, è sufficientemente definito dal bilancio idrico, che altro non è se non una equazione di continuità estesa alle sole massa di acqua, e da un certo numero di equazioni di congruità, che definiscono i rapporti ed i limiti entro cui le quantità di acqua coinvolte nei vari processi idrologici possono coesistere tra loro e con l'ambiente naturale e antropizzato circostante.

In questi processi sono particolarmente determinati i ruoli esercitati dal clima, dal complesso fisico del suolo e del sottosuolo, dalle attività biologiche e in particolare da quelle antropiche.

Ad esempio, il ruolo del clima cambia a seconda che sia più o meno piovoso, umido, caldo o ventoso; il ruolo del suolo, in quanto regolatore dei processi di deflusso superficiale e di evapotraspirazione, varia in funzione delle caratteristiche pedologiche e geomorfologiche, del reticolo idrografico, della sopertura vegetale; il ruolo del sottosuolo dipende dalle condizioni geologiche e regola i processi di infiltrazione e percolazione, quelli della circolazione idrica ipo-

gea più o meno profonda, la alimentazione delle sorgenti, i rapporti tra così d'acqua e acque sotterranee.

Estremamente vario, e dagli effetti talvolta contrastanti, è infine il ruolo esercitato dalle attività antropiche, estrinsecandosi queste in modificazioni dell'ambiente naturale che vanno dalla realizzazione di laghi artificiali e di sistemazioni idrauliche, alla modificazione della vegetazione per il taglio di boschi e per la produzione agricola, alla drastica trasformazione di ampie aree per insediamenti urbani e industriali e per opere infrastrutturali.

A seconda del predominare dell'uno o dell'altro di tali fattori di bilancio idrico viene ad essere condizionato nei processi idrologici di volta in volta dominanti, per cui tutto lo idrosistema e lo stesso ecosistema ne vengono influenzati e caratterizzati.

Nel caso che viene qui trattato, in cui uno degli aspetti più caratterizzanti è certamente la presenza di acque sorgentizie particolarmente preziose per le loro proprietà terapeutiche, i processi idrologici della circolazione ipogea sono fondamentalmente condizionati dalle caratteristiche geologiche del monte e dalla incidenza antropica che su di esso si esercita per ora in maniera ancora modesta, ma di cui già si segnalano alcune influenze negative.

In questo contesto vengono brevemente illustrate, qui di seguito, le caratteristiche climatiche e idrogeologiche del monte e le influenze che esse esercitano sulla circolazione idrica superficiale e sotterranea; si passa successivamente all'analisi dei condizionamenti reali e potenziali esercitati dalla antropizzazione e, per altro verso, alle implicazioni che la utilizzazione delle acque sotterranee può esercitare sull'ecosistema.

## L'UNITÀ IDROGEOLOGICA

### *Inquadramento geografico e geomorfologico*

Il monte Belvedere sovrasta l'abitato di Massa, è alto in vetta 897 m s.m. e in media 398 m s.m.; è compreso tra le vallate del Frigido e del Montignoso, che scendono dalle Alpi Apuane verso la pianura litoranea versiliese.

Il monte è caratterizzato in vetta da lineamenti dolci e tondeggianti e da acclività che aumentano verso le quote inferiori. Esso si presenta con due zone morfologicamente molto diverse. I versanti



setteentrionali, compresi tra il Fosso delle Madielle e il Fosso della Serra, sono particolarmente interessanti per le acque oligominerali che vi sgorgano diffusamente. Tali versanti presentano modellamento morbido e modeste acclività, sono solcati da impluvi poco incisi e reticolo idrografico poco sviluppato. Tale modellamento, tipico di un paesaggio a paleofrane successive, in gran parte ora assestate, è dovuto ad estese coperture detritiche arenaceo-filladiche a matrice argilloso-limosa (Baldacci et al., 1980).

Il versante di S. Carlo Terme, e più ancora i versanti che si affacciano a meridione, si presentano invece molto più acclivi e movimentati, con vallate profonde, solcate da fossi e torrenti. Anche in tali zone le acclività sono tuttavia inferiori alle quote più alte, ove talvolta si insediano ameni declivi.

La conformazione del monte comporta una struttura radiale dei canali di drenaggio, i quali smaltiscono i deflussi superficiali sino ai collettori, che scorrono ai piedi del monte con pendenze decisamente inferiori.

I canali radiali hanno in genere pochi affluenti, seguono la massima pendenza dei versanti, presentano sezioni crescenti e più incassate man mano che si procede verso valle; ciò specie nei versanti meridionali, ove si trovano bacini imbriferi più ampi ed articolati in sottobacini.

I versanti di bassa quota sono tributari diretti dei collettori che scorrono ai piedi del monte; questi sono a settentrione i fossi delle Madielle e di Antona e il Fiume Frigido, a meridione il fosso Campatella ed il torrente Montignoso (Figura 1).

### *La copertura vegetale e l'antropizzazione*

Una copertura vegetale folta e quasi ininterrotta copre gran parte del monte Belvedere. Alle quote più elevate essa è costituita da boschi, cui si alternano alle quote inferiori altre colture in genere arboree (Figura 1).

L'indice di boscosità si aggira intorno all'80%; i boschi non si presentano tuttavia in buone condizioni silvocolturali a causa dello stato di incuria o cattiva conduzione in cui sono tenuti e degli incendi; molto diffuso è inoltre il cancro del castagno. A questa essenza che deve la sua larga diffusione ad antica influenza antropica, si aggiungono altre specie forestali spontanee della zona, quali il Carpino nero, il Frassino minore, il Cerro ed il Pino marittimo. Il sotto-



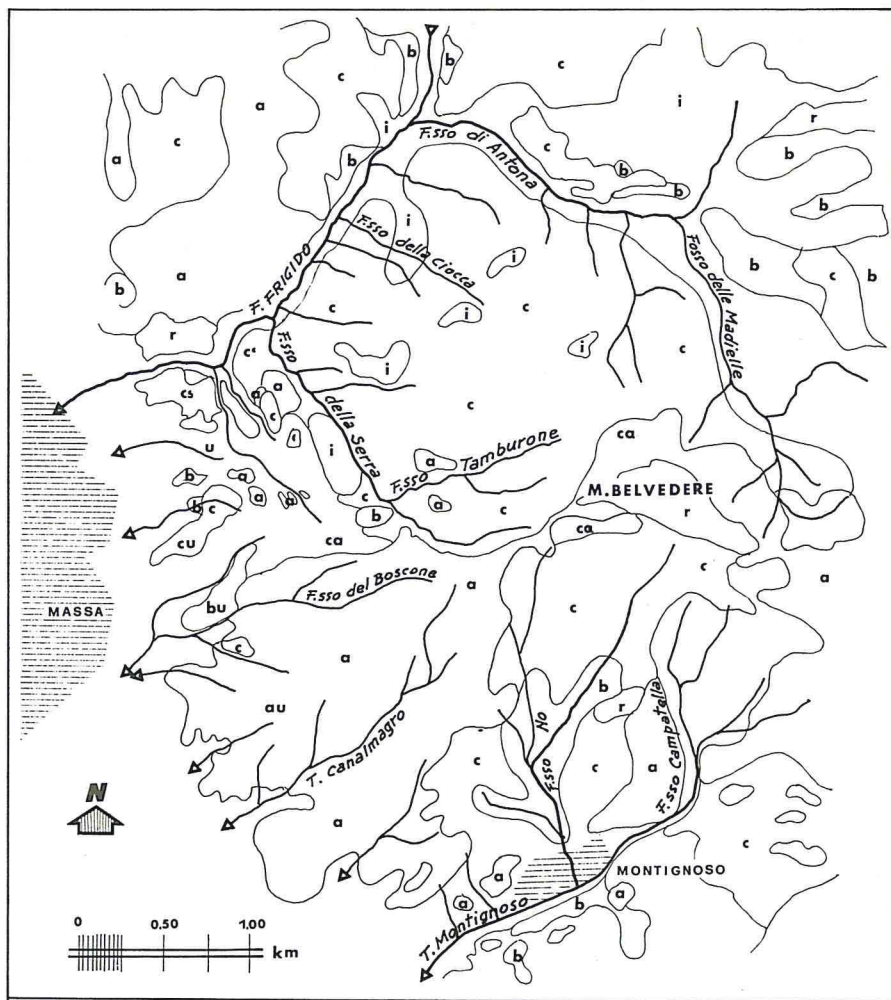


Fig. 1 — Idrografia e copertura vegetale del M. Belvedere. A = conifere, B = boschi cedui, C = castagneti a ceduo o ad alto fusto, R = rimboschimenti recenti, S = seminativi arborati, U = uliveti, I = incolti o abitati.

bosco, folto e ininterrotto, è costituito prevalentemente da ginestre e ed erica.

Il versante settentrionale del monte è costituito quasi esclusivamente da castagneti; i versanti occidentali tra il fosso della Serra e quello delle Grondini sono ricoperti da boschi misti di Castagno e Pino marittimo, cui si alternano uliveti e vigneti e vaste aree a

parchi e giardini nelle zone più antropizzate. Nei versanti meridionali predomina infine il Pino marittimo sino alle quote più basse, ove cede il posto alle colture agrarie.

La distribuzione delle essenze arboree riflette chiaramente le condizioni attuali di antropizzazione del monte e le sue più recenti fasi evolutive.

Possono infatti individuarsi, ancor oggi sovrapposti, gli scenari della antropizzazione passata e di quella in atto; la prima caratterizzata dalla attività boschiva e, a quote inferiori, agricola, con poche vie di comunicazione e la popolazione concentrata nei nuclei abitati sorti a mezza costa; la seconda caratterizzata da vie di comunicazione più numerose, da insediamenti abitativi diffusi, specie alle quote mediobasse dei versanti orientati verso il mare, da attività termali e turistiche per ora concentrate prevalentemente a S. Carlo Bo.

Fra i nuclei abitati più antichi vanno ricordati, a mezzacosta, Altagnana, Cà di Cecco e Pariana e, ai piedi del monte, Canevara. Questi abitati, un tempo fiorenti per le attività agricole-forestali e per quella del marmo, sono ora in progressivo spopolamento: la loro popolazione è diminuita del 18% negli ultimi 30 anni, mentre contemporaneamente quella del vicino capoluogo è aumentata del 31%.

A questo scenario, nei tempi più recenti si è sovrapposta sul monte la costruzione di ville e case sparse, una rete stradale realizzata lungo i versanti del monte, attività agricole di tipo anche intensivo ed insediamenti zootecnici, peraltro ancora a livello familiare.

### *Caratteristiche geologiche e idrogeologiche*

La geologia del monte Belvedere è ben nota per una serie di approfonditi studi condotti nell'ultimo decennio (BALDACC *et Al.*, 1980). La quasi totalità delle rocce che costituisce il monte è di tipo filladico-arenaceo ed appartiene alla formazione del Verrucano dell'«Unità di Massa» interpostasi tettonicamente tra l'«Autoctono metamorfico apuano» e la «Falda toscana» durante le fasi tettogenetiche che portarono alla formazione delle Alpi Apuane. Il sovrascorrimento del Verrucano sulle rocce filladico-arenacee, simili peraltro a quelle dello stesso Verrucano, e sui marmi dell'Autoctono metamorfico apuano, è visibile tra Canevara, Altagnana, Pizzo Branditello, sin verso il M. Carchio. Di conseguenza tutto il monte Belvedere risulta costituito da rocce filladico-arenacee, con la eccezione di limitate aree di mar-

mi autoctoni presso il Pizzo Banditello e di calcari affioranti nei pressi di Massa; di queste formazioni carbonatiche solo la prima sembra avere una certa influenza, peraltro locale, sulla circolazione idrica del monte.

Le rocce filladico-arenacee si presentano nei livelli superiori fortemente deformate per azioni tettoniche, molto scompaginate, con fratture allentate per decompressione; esse sono inoltre sempre più degradate man mano che dai livelli più profondi ci si porta verso la superficie, per azione meccanica e alterazione chimica.

A questo mantello superficiale scarsamente compatto e coerente che sembra sussistere per uno spessore di circa 10-20 m, si alterna diffusamente una copertura costituita da rocce scistose e (meno diffusamente) arenarie, che, per la scarsa coerenza e per la acclività del monte, si presenta sovente in forma di copertura detritica a forte componente argilloso-limosa ed a tessitura caotica.

Laddove questi ammassi detritici rappresentano il corpo di paleofrane, si presentano più cospicui e sono delimitati, verso il basso, da superfici di più evidente differenziazione rispetto al sottostante materiale più compatto.

La copertura superficiale del monte, pur essendo formata da materiali dalle caratteristiche fondamentalmente uniformi, si presenta di volta in volta in forma di paleofrana, di detrito di falda, di coperture alluviali o detritico-colluviali. La composizione di questi materiali varia, se pur di poco, da luogo a luogo, ma senza limiti di differenziazione ben definiti tra i due tipi prevalenti, assimilabili l'uno a grossi blocchi di filladi più o meno alterate con matrice a frammenti litoidi e materiale limo-argilloso, l'altro a un corpo terroso con componente argillosa inglobante piccole scaglie di roccia filladica o quarzitica. Limi argillosi senza intrusioni litoidi si trovano infine in forma di lenti o strati discontinui, intercalati a detriti più grossolani.

Tutti questi materiali di alterazione godono di una certa permeabilità, mai molto elevata. Questa avviene per porosità nelle coperture detritico-colluviali ed eluviali, e prevalentemente per fessurazione negli scisti filladici, nelle filladi sericitiche e cloritiche alterate. Le rocce sottostanti, non alterate, sono invece poco permeabili, e, in pratica, impermeabili.

Ne consegue che, ad eccezione delle limitate aree in cui affiorano le rocce carbonatiche, nel monte Belvedere non ha sede alcuna circolazione profonda di acqua, la quale invece può esistere sempli-



cemente nei livelli più superficiali. La circolazione idrica ipogea si svolge pertanto in uno strato dello spessore variabile tra qualche metro e non più di circa 20 m, che copre tutti i versanti del monte seguendone la morfologia. Le acque sotterranee sono dunque alimentate dalla sola aliquota delle piogge del monte che riesce ad infiltrarsi nei terreni ed a defluire verso il basso attraverso la coltre di materiale alterato.

Ove le capacità di smaltimento del deflusso ipogeo risultano inferiori alle quantità di acqua sotterranea in arrivo, (e ciò per locale riduzione dello spessore degli strati permeabili o della loro permeabilità), l'acqua tende a risalire verso i livelli superiori e, attraverso vie locali di deflusso preferenziale, viene alla superficie con trasudamenti e stillicidi diffusi o con ben localizzate manifestazioni sorgentizie.

Le linee di corente del deflusso ipogeo, data la conformazione del monte, sono caratterizzate da due componenti, l'una principale, radiale lungo i versanti, e l'altra trasversale a questi. La componente radiale, data la forte acclività dei versanti, determina la alimentazione preominante dall'alto delle sorgenti. La componente trasversale, per la fondamentale coincidenza tra morfologia del terreno e andamento dell'acquifero, porta alla concentrazione delle acque verso gli impluvi dei bacini imbriferi. Esiste pertanto una costante e abbastanza fedele corrispondenza tra bacini imbriferi tributari delle acque di superficie e bacini di alimentazione delle acque sotterranee e delle sorgenti. Di conseguenza, pur in presenza di materiali di alterazione, che costituiscono un unico acquifero più o meno continuo e omogeneo lungo tutti i versanti del monte, i bacini di alimentazione delle singole sorgenti sono individuabili in base a criteri essenzialmente di morfologia superficiale. Escluso pertanto uno scambio idrico ipogeo tra sorgenti di bacini imbriferi diversi, appare accertata la possibilità di modeste differenziazioni qualitative delle singole sorgenti in dipendenza dei componenti minerali delle rocce costituenti i rispettivi acquiferi e delle condizioni idrauliche del deflusso ipogeo.

Una constatazione che trova la sua spiegazione nello schema di circolazione sotterranea sin qui esposto riguarda la ristretta fascia altimetrica entro cui sgorgano le sorgenti più importanti, in quanto è in genere a quella quota che le sezioni dell'acquifero tendono a divenire insufficienti a consentire l'ulteriore deflusso ipogeo delle acque sotterranee.

Quanto sopra illustrato fornisce infine una evidente giustificazione al fatto che le manifestazioni sorgentizie sono relativamente numerose ma di portata sempre modesta, che questa è alquanto variabile nell'anno e che, infine, le acque dei pochi pozzi esistenti sono in genere risalenti, se pur di poco, rispetto al piano di campagna e più ricche di sali rispetto a quelle delle sorgenti.

### *Il clima*

Il clima del monte Belvedere presenta differenze notevoli principalmente in funzione della quota e dell'orientamento dei versanti.

Ciò è messo in evidenza dagli indicatori bioclimatici e in particolare dalla vegetazione, ma non è egualmente documentabile con parametri climatologici, essendo quasi del tutto inesistenti le osservazioni sistematiche.

I pochi dati disponibili nella zona si riferiscono alle osservazioni effettuate nel 1978-79 a mezza costa lungo il versante SW del Monte Belvedere (località Volpara) con una stazione climatologica del C.N.R., ed alle osservazioni effettuate, ai piedi del monte, allo stabilimento Montedison di Massa. Tra il 1978 ed il 1979 funzionano inoltre, saltuariamente, cinque pluviometri totalizzatori in altrettante località disseminate sul monte. Sono infine disponibili i dati di pioggia e temperatura osservati a Massa, dal 1924 in poi, dal Servizio Idrografico.

Dall'esame dei dati di queste stazioni le differenze climatiche tra la piana versiliese e le quote più alte del monte risultano evidenziabili anche a livello di ampie classi climatiche.

Secondo la classificazione di Köppen applicata ai climi italiani (Pinna, 1978) il clima è di tipo temperato sublitoraneo nella piana e diventa di tipo temperato subtropicale in vetta.

Secondo la classificazione bioclimatica, il clima è nella piana di tipo mesomediterraneo attenuato (indice xerotermico compreso tra 40 e 75) e diventa sul monte di tipo submediterraneo (indice inferiore a 40) (Emberger et al., 1963). Le temperature sono in località Volpara mediamente inferiori di 3°-4° rispetto alla pianura in tutte le stagioni, con un più rapido aumento in maggio al passare delle condizioni del semestre umido a quello secco, e con una più lenta diminuzione verso l'autunno.

Il gradiente altimetrico delle temperature nella zona può stabilirsi, in base ai dati esistenti, intorno a  $-0,53^\circ$  ogni 100 m di quota.

L'umidità relativa è sul monte costantemente più elevata che nella piana versiliese, aggirandosi persistentemente intorno al 90% e raggiungendo in non brevi periodi il 100%, quando invece in pianura rimane intorno al 75% in estate ed all'85% in inverno.

La velocità del vento, registrata alla Volpara a 2 m dal suolo e pertanto sotto l'influenza schermante del bosco, si aggira mediamente intorno a 1 m/s e solo tre volte in 14 mesi il valore medio giornaliero è stato superiore ai 2 m/s. La direzione dominante è da E, e subordinatamente da W-SW ossia dal mare. I citati valori della velocità non sono paragonabili con i più elevati valori osservati nella pianura sottostante per le diverse condizioni di rilevamento. Appare in ogni caso evidente la forte azione schermante esercitata sul monte dalla folta copertura boschiva.

Per quanto riguarda le precipitazioni, le misure ai pluviometri totalizzatori hanno messo in evidenza la estrema variabilità della distribuzione delle piogge sul monte.

La pioggia media sul monte è generalmente superiore a quella misurata a Massa, ma tuttavia in alcuni eventi piovosi è stata osservata sul monte solo la metà della pioggia caduta in pianura. In generale sembra potersi attribuire ad essa un gradiente altimetrico annuo di 130 mm/100m, per cui la pioggia annua media sul Belvedere può essere stimata in circa 2300 mm, contro i circa 1200 mm annui a Massa.

Essa presenta un regime con due periodi a precipitazione elevata, in autunno e primavera, e con uno spiccato periodo poco piovoso a cavallo dei mesi estivi.

Durante i 14 mesi di regolari osservazioni effettuate con una stazione del CNR in località Volpara, si è valutata una piovosità annua (set 1978-ago 1979) di 1950 mm, con massimo mensile di 442 mm nel gennaio 1979 e minimo di 19 mm nel luglio successivo. Nel trimestre meno piovoso si sono totalizzati solo 66 mm pari al 3% dell'anno.

I dati di pioggia noti a Massa dal 1924 mettono in evidenza, del resto, una altrettanto ampia variabilità delle piogge tra i singoli anni intorno ad un andamento periodico poliennale. Un periodo di più alte precipitazioni si ebbe ad esempio nel decennio 1960-69, dopo di che le piogge diminuirono tendenzialmente sino ad un minimo raggiunto nel 1973.

La caratterizzazione di tali variazioni periodiche, mediante opportune metodologie di analisi statistica, consente di formulare an-



che delle previsioni temporali, pur nei limiti di una certa alea. Non a caso in uno studio del Cavazza (1980) era stato possibile prevedere dopo il 1979 una ulteriore diminuzione dei totali annui di pioggia, confermata poi dalla realtà degli anni seguenti.

La disponibilità di molti anni di osservazioni pluviometriche a Massa ha consentito di studiare le distribuzioni di probabilità delle piogge nei singoli mesi, le quali, in mancanza di dati di pioggia osservati direttamente sul Belvedere, possono in prima approssimazione essere attribuite anche alle piogge che alimentano le sorgenti.

Da tali leggi di distribuzione sono stati estratti anche i valori delle piogge che possono prevedersi con una certa probabilità nei mesi successivi ad ogni mese dell'anno. Alcuni risultati di questa analisi sono riportati nella Tabella 1 per evidenziare la durata dei periodi meno piovosi ed il rischio di scarsità di piogge associato al futuro più o meno immediato di ciascun mese.

Appare ben chiaro che questa analisi statistica, oltre che presentare un interesse prettamente scientifico, può costituire un utile strumento per formulazioni previsionali in campo turistico-balneare oppure, ricordando il legame tra regime pluviometrico e regime sorgentizio, può consentire la formulazione di programmi gestionali e di stockaggio nella commercializzazione delle acque oligominerali.

## LA CIRCOLAZIONE IDRICA

### *Il deflusso superficiale*

Data la modesta superficie dei bacini e la loro notevole acclività, il deflusso superficiale segue di poco le precipitazioni, si svolge con rapidità, e si esaurisce in breve tempo al cessare delle piogge.

Le portate sono pertanto molto variabili sia a seguito dei singoli eventi piovosi che nelle stagioni; per lunghi periodi esse si riducono a zero specie nei mesi estivi.

Il tempo di corrivazione dei torrenti è in genere di qualche decina di minuti, per cui le piene che si sviluppano a seguito delle piogge più intense si esauriscono in qualche ore, dopo di che le portate descrescono più lentamente e, in mancanza di nuove piogge, si annullano dopo qualche giorno.

Non è infrequente, peraltro, il caso di tronchi d'alveo in cui, per trasudamenti del terreno o per drenaggio di falda, vi sia sempre

TABELLA 1 - Quantità di pioggia prevedibile a Massa nei mesi che seguono il mese di previsione, calcolata per ciascun mese dell'anno e per vari livelli di probabilità.

| Numero di mesi successivi cui è estesa la previsione | Probabilità di avere quantità inferiori di pioggia | Mese al cui inizio viene formulata la previsione |        |        |        |        |        |           |         |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|---------|
|                                                      |                                                    | Marzo                                            | Aprile | Maggio | Giugno | Luglio | Agosto | Settembre | Ottobre |
| 1                                                    | 20%                                                | 15.0                                             | 40.8   | 49.4   | 16.2   | 4.4    | 6.9    | 21.0      | 72.2    |
|                                                      | 10%                                                | 8.3                                              | 29.7   | 36.7   | 10.2   | 2.4    | 3.6    | 12.5      | 54.3    |
|                                                      | 5%                                                 | 5.4                                              | 23.8   | 29.8   | 7.3    | 1.6    | 2.3    | 8.7       | 44.3    |
| 2                                                    | 20%                                                | 109.4                                            | 116.6  | 96.0   | 38.8   | 27.2   | 66.6   | 136.2     | 199.2   |
|                                                      | 10%                                                | 96.6                                             | 92.2   | 77.2   | 27.6   | 18.0   | 49.2   | 107.4     | 163.2   |
|                                                      | 5%                                                 | 73.6                                             | 78.2   | 66.2   | 21.8   | 13.4   | 39.6   | 90.6      | 141.8   |
| 3                                                    | 20%                                                | 187.8                                            | 160.5  | 122.4  | 77.7   | 87.6   | 170.7  | 276.6     | 298.5   |
|                                                      | 10%                                                | 153.3                                            | 130.8  | 99.0   | 59.7   | 65.4   | 136.2  | 231.9     | 252.9   |
|                                                      | 5%                                                 | 132.9                                            | 113.1  | 85.2   | 49.8   | 53.4   | 116.1  | 204.9     | 224.7   |
| 6                                                    | 20%                                                | 302.6                                            | 331.2  | 357.0  | 394.2  | 428.4  | 500.4  | 576.0     | 568.2   |
|                                                      | 10%                                                | 255.0                                            | 288.6  | 307.2  | 337.8  | 366.6  | 430.2  | 504.0     | 494.4   |
|                                                      | 5%                                                 | 226.2                                            | 262.2  | 276.0  | 303.6  | 328.2  | 386.4  | 458.4     | 448.2   |

un certo deflusso superficiale; a sua volta questo si perde talvolta nuovamente nel subalveo più a valle.

Tra l'ottobre 1978 ed il settembre 1979 vennero effettuate alcune misure di portata sui principali corsi d'acqua del monte Belvedere e per tale periodo fu anche possibile stimare, pur con qualche incertezza, il deflusso superficiale e il coefficiente di deflusso (Cavazza, 1980). Essendo noti per lo stesso periodo i dati climatologici e una nutrita serie di valori di portata delle sorgenti, fu anche possibile giungere ad una prima formulazione del bilancio idrico del monte Belvedere, riferito ben inteso ad una specifica annata idrologica e non quindi l'anno medio. Tale bilancio è stato successivamente verificato a passo giornaliero con il modello di Thornthwaite e Mather (1957) per il calcolo della evapotraspirazione ed ha consentito una buona verifica della stima del deflusso ipogeo.

### *Infiltrazione, percolazione e deflusso ipogeo*

L'acqua piovana che si infiltra nel sottosuolo riesce a mettersi in circolazione percolando tra i materiali alterati che ricoprono il monte sino a che non raggiunge livelli già saturi per acque precedentemente infiltratesi. Schematizzando le condizioni di moto dell'acqua, si possono considerare applicabili valori del coefficiente di permeabilità  $K$  variabili tra  $10^{-3}$  cm/s per le rocce filladiche alterate e  $10^{-2}$  per i detriti. Ipotizzando ad esempio che lungo i versanti l'acquifero sia saturo alla profondità media di 10 m, la percolazione nell'acquifero non saturo può avere una durata variabile tra 1 e 11 giorni a seconda che essa avvenga attraverso le filladi più o meno alterate o attraverso coperture più permeabili.

L'accumulo di acqua nelle formazioni acquifere è molto modesto e, in mancanza di misure sperimentali, si crede di poter assegnare un valore del coefficiente di immagazzinamento compreso tra il 5% ed il 10%.

Con tali valori, e con le geometrie degli acquiferi indicate in precedenza, il volume massimo specifico di acqua immagazzinabile nel monte risulta variabile tra 5.000 e 20.000 m<sup>3</sup>.ha a seconda del tipo di roccia, cui corrispondono portate specifiche medie annue variabili tra 0,16 e 0,63 l/s.ha.

L'acqua contenuta negli acquiferi è in costante se pur lentissimo movimento, defluendo verso i punti di risorgenza.

Un calcolo orientativo effettuato per due sorgenti (Volpara 2 e Acquaviva) ha dimostrato che la loro acqua ha tempi medi di per-



manenza nel sottosuolo rispettivamente di 4 anni e 10 mesi e 3 anni e 1 mese, per cui le particelle di acqua che giungono dai punti più lontani del bacino di alimentazione possono avere tempi di permanenza doppi.

Una conferema di questi periodi di permanenza nel sottosuolo è fornita dall'andamento delle temperature delle acque sorgentizie. Queste, come si osserva nel caso della sorgente Acquaviva nella figura 2, sono pressoché costanti nell'anno e segnatamente eguali alla temperatura media annua dell'aria. Ciò indica in particolare che le acque circolanti nel sottosuolo sono soggette a scambi di calore con rocce dell'acquifero e tra le stesse masse di acqua, aventi differenti temperature al momento dell'infiltrazione, per tempi superiori al ciclo termico annuale.

Le sorgenti mostrano, per altro verso, un andamento annuo delle portate chiaramente influenzato dalle piogge, il che potrebbe fare ritenere le acque sorgentizie come una rapida restituzione delle acque di pioggia. È ben chiaro invece che l'aumento delle portate deriva da ragioni squisitamente idrauliche legate all'aumento del carico che viene a determinarsi nel momento in cui l'acqua di pioggia raggiunge il corpo acquifero; ne consegue che l'aumento di portata successivo alle piogge è certamente causato dalla infiltrazione di queste, ma che l'acqua sgorgante alla sorgente è quella che, nel lungo e lentissimo percorso ipogeo, era già prossima alla sorgente stessa.

Un altro noto indicatore delle acque sorgentizie è costituito dalla loro composizione chimica, che riflette più le caratteristiche geolitologiche degli acquiferi che la permanenza delle acque nel sottosuolo. Nel caso del monte Belvedere la scarsa solubilità delle rocce rende minima la quantità di sali presenti nelle acque sorgentizie (Figura 2).

Tra di esse già da lungo tempo godono di larga fama quelle utilizzate dal complesso termale di S. Carlo, alle quali vengono riconosciute qualità oligominerali fondamentalmente comuni a gran parte delle sorgenti del monte Belvedere.

## LE INTERAZIONI TRA IDROSISTEMA NATURALE E ANTROPIZZATO

### *L'uso delle acque sorgentizie*

La scarsa profondità alla quale si svolge la circolazione idrica ipogea e la geometria degli acquiferi, che riflette il modellamento

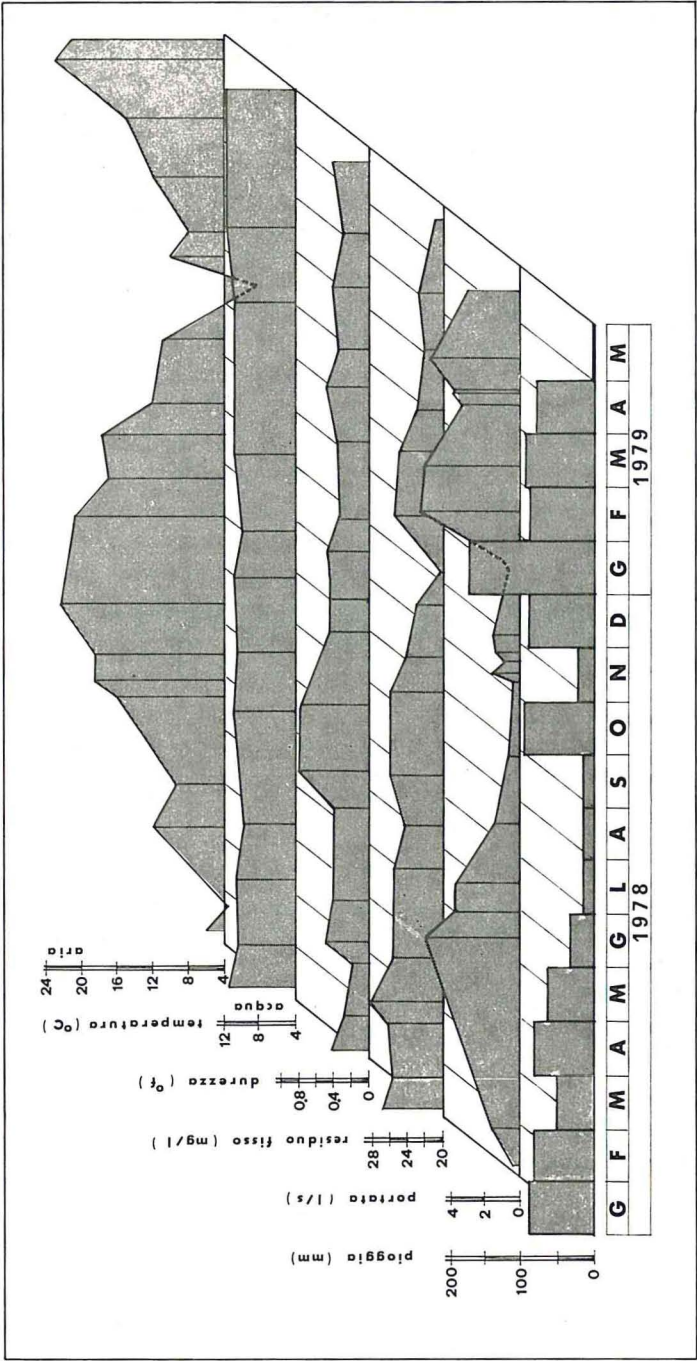


Fig. 2 — Caratteristiche fisico-chimiche delle acque del M. Belvedere (Sorg. Acquaviva).

dei versanti, sono alla genesi di un gran numero di sorgenti disseminate sul monte, tutte di modesta portata che raramente supera i pochi l/s. Le limitate capacità di immagazzinamento degli acquiferi e la irregolarità stagionale delle precipitazioni si riflettono sul regime delle sorgenti, che vedono diminuire sensibilmente le portate nei mesi estivi e autunnali sino a seccarsi talvolta completamente.

Queste sorgenti, così diffuse in un territorio coperto da estesi boschi; favoriscono la costituzione di un ambiente umido, e le loro acque da tempo immemorabile sono utilizzate per l'approvvigionamento idropotabile dei nuclei abitati situati sulle falde del monte. La fama della loro leggerezza fu conosciuta non solo localmente, ma si estese ben lontano già nei secoli passati.

Si ricorda che già nel XVI secolo Carlo Borromeo, vescovo di Milano, durante i suoi viaggi a Roma, usava soggiornare nella zona per il grande giovamento che trovava nel bere queste acque.

Le virtù di tali acque portarono negli ultimi decenni ad aggiungere all'uso potabile l'uso terapeutico, in forma crescente di pari passo con l'affermarsi delle acque, dette di S. Carlo, e con l'espandersi dello stabilimento termale omonimo.

In tempi ancora più recenti all'uso terapeutico praticato in loco si è aggiunto l'imbottigliamento industriale delle acque sorgentizie sia come acque da tavola che come acque medicinali. Per tale nuovo uso si sono selezionate le sorgenti aventi migliori qualità organolettiche e terapeutiche e facilità di collegamento con lo stabilimento di imbottigliamento.

Nello stesso periodo si stava provvedendo alla costruzione di un nuovo acquedotto a servizio del Comune di Massa, alimentato dalle abbondanti ma più lontane sorgenti del Cartaro. Questo nuovo grande acquedotto consente di assicurare con maggior sicurezza e regolarità anche l'approvvigionamento idropotabile delle frazioni di Massa situate sui versanti del Belvedere, ora alimentate da sorgenti. Questa nuova situazione favorisce decisamente il processo di variazione d'uso delle principali sorgenti del Belvedere un tempo utilizzate per solo uso idropotabile ed in futuro votate ad un uso più qualificato in ragione delle loro spiccate qualità oligominerali

### *L'influenza dell'uso delle acque sull'ecosistema naturale*

L'evoluzione nell'uso delle acque sorgentizie, cui si assiste nei tempi più recenti, comporta sensibili modificazioni dell'impatto di-



retto e indiretto esercitato da queste acque sull'ecosistema naturale del monte.

Dalle prime utilizzazioni, che consistevano in una serie di fontanelle disseminate lungo le strade e i sentieri del monte, si passò, nei primi decenni di questo secolo, ai primi acquedotti, costituiti da modeste opere di presa collegate con brevi tubazioni ai serbatoi di compenso giornaliero che sovrastavano i nuclei abitati.

Certamente già all'epoca della formazione di tali nuclei abitati, ed alla coeva introduzione del castagno sul monte Belvedere, la presenza diffusa di acque sorgentizie favorì una antropizzazione di tipo insediativo-forestale.

La scoperta dell'uso terapeutico delle acque portò in seguito non solo all'iniziale pratica rituale del prelievo diretto di riserve di acqua per uso medicamentoso, ma anche, di pari passo con il processo di elevazione del livello generale di vita, alla costruzione di vie di penetrazione col tempo divenute sempre più numerose ampie e curate, alla realizzazione dell'insediamento termale di S. Carlo e alle attività collaterali, passando quindi da una antropizzazione di tipo insediativo-forestale ad una di tipo termale-turistico.

Dai vecchi agglomerati, caratterizzati da un tessuto urbano compatto e ben delimitato dal bosco circostante scarsamente antropizzato, si è passati a una struttura altamente dispersa, a case sparse per uso abitativo o turistico-commerciale, collegate da una rete gerarchizzata di strade, e gravitante sui centri termali o industriali di recente e recentissima costruzione.

Ci si riferisce in particolare all'addensamento edilizio nel versante di S. Carlo, ove si è aggiunto un massiccio cambiamento della copertura boschiva vocazionale per la creazione di parchi e giardini, ed alla realizzazione dello stabilimento di imbottigliamento delle acque, che ha comportato sensibili movimenti di terra ed opere di sistemazione idraulica e dei versanti.

La nuova struttura territoriale del monte che si sta delineando comporta un impatto sull'ecosistema naturale, accresciuto e di tipo differente rispetto a quello che veniva esercitato in passato. Per quanto concerne l'impatto diretto dovuto al diverso uso di alcune sorgenti, può segnalarsi, a causa delle opere di captazione, un certo minore deflusso idrico nella rete idrografica superficiale e una minore alimentazione delle falde esistenti più a valle.

L'uso idropotabile degli agglomerati urbani e l'uso termale in loco non modifica tuttavia di molto il ciclo naturale delle acque sor-

gentizie, in quanto comportano la restituzione delle acque usate; questa avviene peraltro in località diverse ed in quantità ridotte per effetto stesso degli usi. Data la esigua quantità di acqua utilizzata rispetto alla circolazione idrica globale nel monte, non si crede comunque che tale forma di impatto sia apprezzabile.

L'uso delle sorgenti per la commercializzazione su ampi mercati di acque imbottigliate, da tavola e medicamentose, aggrava in una certa misura l'impatto precedente in quanto non vi è restituzione in loco delle acque usate, ma si crede che tale sottrazione di acque dall'idrosistema del Belvedere sia minimo rispetto alla circolazione idrica globale del monte.

Gli impatti ambientali più rilevanti sono invece quelli indiretti, come appare evidente dalle modificazioni territoriali innanzi illustrate: oltre al variato paesaggio del monte che tende sempre più ad allontanarsi dalle condizioni naturali, vi è da tenere presente il forte impatto derivante dall'uso che l'uomo fa del territorio. Si tratta quindi delle manomissioni continue che le persone residenti od il turista occasionale esercitano sull'ambiente naturale, dei loro rifiuti solidi e liquidi, delle immissioni di gas che le loro attività e le loro automobili immettono nell'atmosfera.

A quest'ultimo proposito non va dimenticato il sensibile inquinamento atmosferico e da rumore prodotto dagli autocarri che circolano sul monte per il trasporto di derrate alimentari, combustibili, prodotti commerciali ed edilizi, e, infine, per il trasporto delle acque imbottigliate

### *Il rischio di inquinamento delle acque sorgentizie*

Le attività umane poch'anzi enunciate rappresentano altrettanti agenti inquinanti delle acque in circolazione sul monte e nelle sue falde.

Basta ricordare in particolare che la circolazione ipogea del monte Belvedere avviene a poca profondità dalla superficie del terreno, si svolge in acquiferi di dimensioni limitate ed è in collegamento più o meno diretto e articolato con le acque di superficie. Le stesse caratteristiche geolitologiche che danno quindi alle acque sorgentizie del Belvedere le sue note virtù terapeutiche sono quelle che danno alle stesse acque una estrema vulnerabilità all'inquinamento.

La infiltrazione di deflussi superficiali inquinanti e lo scarico nel sottosuolo di acque reflue non depurate può portare infatti al-

l'inquinamento degli acquiferi in modo più o meno graduale ed in forma più o meno grave, ma in ogni caso in maniera praticamente irreversibile e perniciosa.

È noto infatti quanto temibile e subdolo sia l'inquinamento delle acque sotterranee, del quale in generale se ne hanno le prime avvisaglie quando la fonte inquinante è già attivata da lungo tempo ed ha contaminato le aree di alimentazione e gli acquiferi. In queste condizioni la eliminazione della fonte inquinante non porta ad un rapido miglioramento della qualità delle acque sotterranee, dovendosi man mano sostituire nell'acquifero le acque inquinate con nuove acque di infiltrazione, il che avviene attraverso processi di diffusione estremamente lenti.

Ne è un esempio, sul monte Belvedere, la sorgente Sette Fontane, di cui le analisi chimiche e batteriologiche di un tempo attestavano l'ottima qualità e purezza; dopo che poco a monte fu costruita una casa rurale con annesso orto e allevamento di animali da cortile e forse anche di suini, l'acqua della sorgente presentò un chiaro inquinamento batterico, che risulta per ora del tutto irreversibile.

L'impegno per un programma di interventi in difesa dall'inquinamento delle acque del monte Belvedere non deve quindi prevedere solamente un rigido costante ed efficace controllo nelle sole zone di protezione igienica e idrogeologica da delimitare per ciascuna sorgente di futura potenziale utilizzazione e, a maggior ragione, per quelle già utilizzate per uso potabile o per imbottigliamento, ma deve essere esteso con lo stesso rigore al complesso degli acquiferi di tutto il monte.

Se è pur vero infatti che le aree più prossime alle sorgenti sono nel caso specifico quelle in cui maggiore è il rischio di inquinamento, questo è presente a livelli diversi, ma con eguali disastrose conseguenze, su tutti i bacini di alimentazione delle sorgenti e, in pratica, su tutti i versanti del monte.

L'azione di prevenzione sembra ancora agevole nelle vaste aree boschive poco antropizzate, benché l'esistenza di comode strade di penetrazione favorisca episodi di inquinamento, associati non fosse altro che alle attività turistiche e ricreative.

In particolare più che interventi di risanamento, che risulterebbero molto onerosi per la collettività, in un'area così vasta sembrano idonei oculati provvedimenti normativi, al fine di prevenire le cause antropiche di inquinamento e reprimerne lo sviluppo, riservando alle aree di rispetto delle singole sorgenti la esecuzione di



opere per l'intercettazione di acque eventualmente inquinate provenienti dal monte, per la regimazione dei flussi e per la difesa del bosco e del suolo.

Ed in tal senso appare lungimirante ed oculata l'iniziativa che prese anni or sono il Comune di Massa, quando fece predisporre un progetto per la sistemazione idraulico-forestale del monte Belvedere (Cavazza-Milani, 1980) in cui era evidente l'obiettivo primario della tutela del patrimonio ambientale e delle acque del monte Belvedere.

Purtroppo, però, a tale programma progettuale non fece seguito la realizzazione delle opere e la adozione di efficaci strumenti normativi, e già si lamentano, sempre più inquietanti, i casi di inquinamento delle sorgenti.

#### BIBLIOGRAFIA

- BALDACCİ F., RAGGI G., TONGIORGI M. (1980) - Idrogeologia delle sorgenti oligominerali del Monte Belvedere, *Dattiloscritto*, 1-28.
- CAVAZZA S. (1980) - Le acque del monte Belvedere, *dattiloscritto*, 1-97, 23 tt, 29 ff, Massa.
- CAVAZZA S. (1980) - Su un metodo di previsione probabilistica delle portate di esaurimento di sorgenti oligominerali, *Atti 1° World Thermalism Congr.*, 1-9, 6 ff, Jesolo.
- CAVAZZA S. (1984) - A statistical low flow forecasting model, *Atti 5th Int. Conf. Water Res. Plann. Manag.*, Athens, 6.39-6.47, 2 ff.
- EMBERGER, GAUSSEN, KASSAS, DE PHILIPPIS (1963) - Bioclimatic map of the mediterranean region, *Réch. Zone Aride*, UNESCO-FAO, **21**, 1-60, Parigi.
- PINNA M. (1978) - L'atmosfera e il clima, 434-474; UTET ed. Torino.
- THORNTHWAITE C.W., MATHER J.R. (1957) - Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance, *Drexel Inst.; Techn. Publ. in Clim.* vol. X n. 3, 185-203, 4 tt, Centerton.

(ms. pres. il 15 Dicembre 1986; ult. bozze il 30 Marzo 1987)