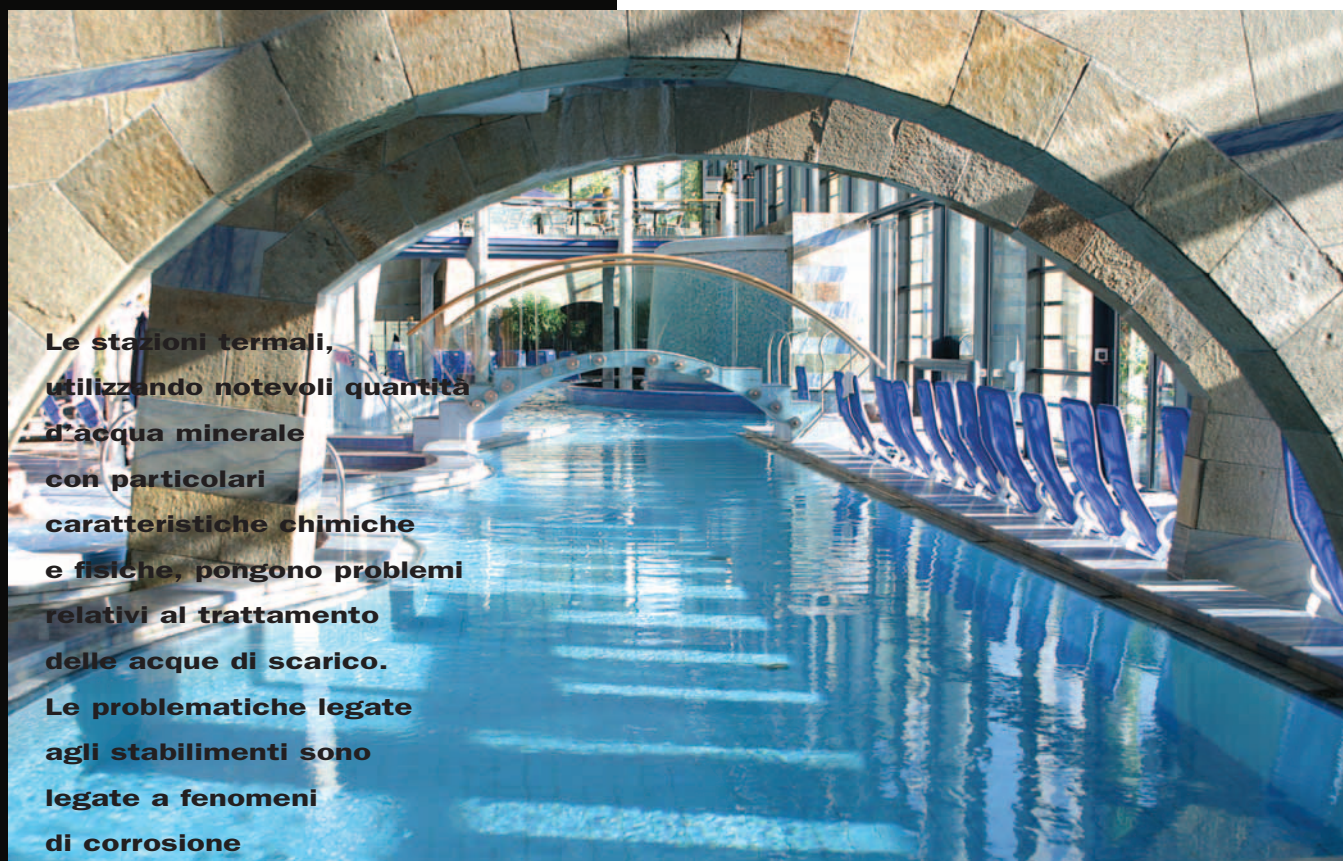


A. Zanon, P. Berbenni
Diar, Politecnico di Milano



buone per l'uomo, dannose per i depuratori

Acque terri



Le stazioni termali, utilizzando notevoli quantità d'acqua minerale con particolari caratteristiche chimiche e fisiche, pongono problemi relativi al trattamento delle acque di scarico. Le problematiche legate agli stabilimenti sono legate a fenomeni di corrosione

e incrostazione, agli effetti sulle fasi di depurazione e agli effetti sui corpi idrici superficiali. Tecnologie, apparecchiature e materiali idonei diventano strumenti indispensabili per minimizzare gli inconvenienti derivati da questo particolare tipo di acque.

termali

Le acque minerali e termali hanno da sempre esercitato sull'uomo una particolare attrattiva legata agli effetti salutarì e curativi ad esse attribuiti. Attraverso i secoli le cure d'acqua si sono evolute passando da un facile empirismo ad una disciplina riconosciuta dalla scienza medica, in cui l'utilizzazione delle acque termo-minerali viene effettuata con finalità terapeutiche specifiche e dipendenti dalle particolari proprietà delle singole acque. Oggi il "termalismo" costituisce un complesso fenomeno industriale, scientifico, economico e sociale legato alle sorgenti idrotermali, al loro impiego ed uso. Le stazioni termali costituiscono un complesso organizzato attorno alle sorgenti d'acqua per fornire alla clientela idonei impianti curativi e ricettivi e un servizio di assistenza medica. In Italia, nota per il numero e la varietà delle sue acque minerali, le stazioni termali sono circa 200 di cui soltanto una quarantina sono ufficialmente riconosciute come "stazioni di cura d'acqua" secon-

do la legislazione vigente. Il dinamismo che caratterizza le stazioni termali è dovuto principalmente alle attività industriali, commerciali, turistiche e culturali derivanti dalla presenza delle acque minerali e dagli effetti benefici che da esse derivano. Le caratteristiche chimico-fisiche delle acque minerali e termali possono tuttavia porre seri problemi sia per il loro trasporto sia per il loro trattamento, e in caso di scarico diretto possono inoltre provocare danni all'ambiente.

Le acque minerali

Sono considerate "acque minerali", secondo la legislazione italiana (L. 24/10/2000, n. 323 e RD 28/09/1919 n.1924) quelle che vengono adoperate "per le loro proprietà terapeutiche ed igieniche speciali, sia per bibita che per altri usi curativi". Esse sono dunque essenzialmente delle soluzioni medicinali di qualità differenti, la cui azione curativa è dovuta alle sostanze chimiche che vi sono contenute e alle proprietà fisiche ad esse inerenti. La

Intervallo Parametrico	Classificazione
T > 50°C	Ipertermale
30° < T < 50°C	Termale
20° < T < 30°C	Ipotermale
T < 20°C	Fredda

Tabella 1 - Classificazione secondo la temperatura.

Intervallo Parametrico	Classificazione
Rf _{180°} > 500 mg/l	Minerale
50 mg/l < Rf _{180°} < 500 mg/l	Oligominerale
Rf _{180°} < 50 mg/l	Minimamente mineralizzata

Tabella 2 - Classificazione secondo il residuo fisso.

classificazione è basata sulla definizione di tre parametri: la temperatura, il residuo fisso a 180° e la composizione chimica. Nelle Tabelle 1-3 sono indicati, secondo questa logica, i criteri di classificazione delle acque minerali, mentre in Figura 1 viene rappresentato, a titolo di esempio, il chimismo di alcune acque minerali.

Citando alcuni esempi, le acque di Abano Terme sono classificate come minerali, salso-bromo-iodiche, ipertermali, radioattive (Rf_{180°} = 6 g/l, T = 80°C, radioattività = 2,3mµC, acqua salsa con tracce di Bromo e Iodio), le acque di Salsomaggiore Terme sono classificate come minerali, salso-bromo-iodiche, fredde (Rf_{180°} = 150 g/l, T = 16°C, acqua salsa con tracce di Bromo e Iodio), le acque di Tabiano Bagni sono classificate come minerali, solfuree-solfato-caliche, fredde (Rf_{180°} = 3 g/l, T = 18°C, ricchissima di H₂S e di sol-

zioni, i fanghi, le grotte e le stufe. I consumi di acqua termale sono molto variabili a seconda delle stazioni cui si riferiscono, si va comunque da meno di 50.000 m³/anno per piccoli centri a più di 10.000.000 m³/anno come nel caso di Abano Terme dove l'acqua ipertermale viene utilizzata oltre che per le cure anche per il riscaldamento degli alberghi. La distribuzione mensile dei consumi risente inoltre di una fortissima variabilità stagionale.

Le acque di scarico degli stabilimenti

Le acque utilizzate a fini terapeutici nelle strutture di cura vengono scaricate, con o senza trattamento, in corpi idrici superficiali oppure in fognatura, dove entrano nel ciclo di depurazione assieme ai reflui civili.

I problemi legati a questo tipo di effluente dipendono principalmente dalla natura dell'acqua, dai sali e gas in essa disciolti, dal contenuto di solidi sospesi derivanti dai fanghi terapeutici, dalla temperatura ecc. Si riscontrano infatti elevate concentrazioni di cloruri, come nel caso di Salsomaggiore in cui le concentrazioni in uscita superano spesso i 60-70 g Cl/l; solfati e solfuri, come nel caso di Tabiano con circa 2 g SO₄⁼/l e 30 mg H₂S/l; metalli ed elementi tossici come nel caso di Levico e Vetriolo con circa 1,5 gFe/l e 5 mg As/l; solidi sospesi, come nella maggior parte delle stazioni che praticano la fangoterapia in cui si superano i 600-700 mg/l; nonché elevate temperature, come nel caso di Abano in cui si raggiungono i 50-60°C.

Problematiche legate allo scarico degli stabilimenti

I principali problemi riguardano: - corrosione e incrostazione dei

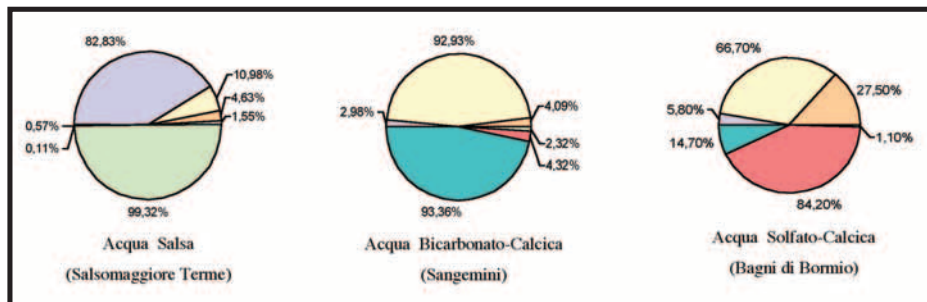


Figura 1
Composizione chimica di alcune acque minerali espressa in milliequivalenti percentuali.

fati di calcio e magnesio), le acque di Levico e Vetriolo sono classificate come minerali, arsenicali-ferruginose, fredde (Rf_{180°} = 6,9 g/l, T = 10°C, ferro disciolto = 1.400 mg/l, arsenico = 4,9 mg/l).

Le acque termo-minerali vengono utilizzate nelle stazioni termali a fini terapeutici all'interno di strutture attrezzate di diverse dimensioni ed importanza. Le tipologie di cure effettuate comprendono: la bevanda, i bagni, le inalazioni, le irriga-

Tabella 3
Classificazione secondo la composizione chimica.

Classificazione	Composizione caratteristica
Clorurata o Salsa	NaCl da meno di 10 a più di 50mg/l; I ⁻ e Br ⁻ in tracce; altri sali di Ca e Mg.
Solfurea	H ₂ S in quantità ≥ 1 mg/l; solfuro di calcio e sodio; altri sali.
Solfata	Solfati (SO ₄ ⁼) di Ca, Mg, Na, Fe; altri sali.
Bicarbonata o Alcalina	Bicarbonati (HCO ₃ ⁻) di Ca ed Na; altri sali.
Arsenicale - Ferruginosa	Fe (II o III) nelle forme di bicarbonato o solfato e As (III o V).
Carbonica o Acidula	In prevalenza sono acque bicarbonato con contenuto di CO ₂ libera >300 mg/l.
Radioattiva	Presenza di Rn in traccia; radioattività da meno di 1 a più di 100 mµC.

sistemi di convogliamento e delle strutture d'impianto;

- effetti sulle fasi di depurazione, in particolare quella biologica e quelle chimico-fisiche, degli impianti di trattamento cui fanno capo le reti fognarie della stazione termale;
- effetti sui corpi idrici superficiali in cui vengono scaricati tali effluenti sia per la vita acquatica, sia per l'uso della risorsa.

Problemi di corrosione

Per i problemi di corrosione e incrostazione, le acque solfuree sono quelle con azione più forte in quanto liberano idrogeno solforato (a pH 6-7 o minore) che in presenza di ossigeno e batteri viene trasformato in acido solforico, che ha un forte potere corrosivo nei confronti della maggior parte dei metalli e dei cementi (è il caso della stazione di Tabiano in cui il fenomeno è molto marca-

to). Anche i solfati in condizioni riducenti, in ambiente anossico e in presenza di batteri possono formare e liberare idrogeno solforato con gli effetti appena citati (tipico caso delle fognature). Le acque carboniche (presenza di CO₂ libera) sono aggressive nei confronti dei metalli e dei cementi e le acque salse ricche in cloruri hanno una elevata azione corrosiva (basti pensare alle acque di mare). Le acque ipertermali che possiedono caratteri corrosivi possono avere un'azione molto più rapida rispetto alle stesse acque fredde, in quanto la temperatura accelera i processi

Effetti sugli impianti di depurazione

Le problematiche relative agli scarichi provenienti da stabilimenti termali immessi in pubblica fognatura per la depurazione riguardano in particolare:

- Elevata temperatura, che influenza la velocità di crescita degli organismi e provoca al contempo una diminuzione della solubilità dell'ossigeno. In alcuni casi può venire modificata la struttura stessa dei batteri che da mesofili possono passare a termofili (Figura 2 [I]) e dei fiocchi che possono passare da com-

patti a filamentosi a causa di una minore permeabilità delle colonie batteriche (Figura 2 [II]), con riflessi negativi in fase di sedimentazione. Per i sistemi di flottazione ad aria disciolta occorre considerare la variazione di solubilità dell'aria nel liquido e nei sistemi di chiariflocculazione, bisogna tenere conto di una maggiore velocità di reazione e un minore consumo di reagenti in fase di coagulazione.

- Elevata salinità delle acque, che può provocare malfunzionamenti soprattutto nella fase biologica. Essa provoca infatti una diminuzione della solubilità dell'ossigeno (Figura 3 [a]) con conseguenze sui sistemi di fornitura di quest'ultimo; un rallentamento delle reazioni biochimiche di rimozione del substrato (Figura 3 [b]) e il rischio di lisi per le cellule batteriche (Figura 3 [c]). I microrganismi hanno infatti una grande

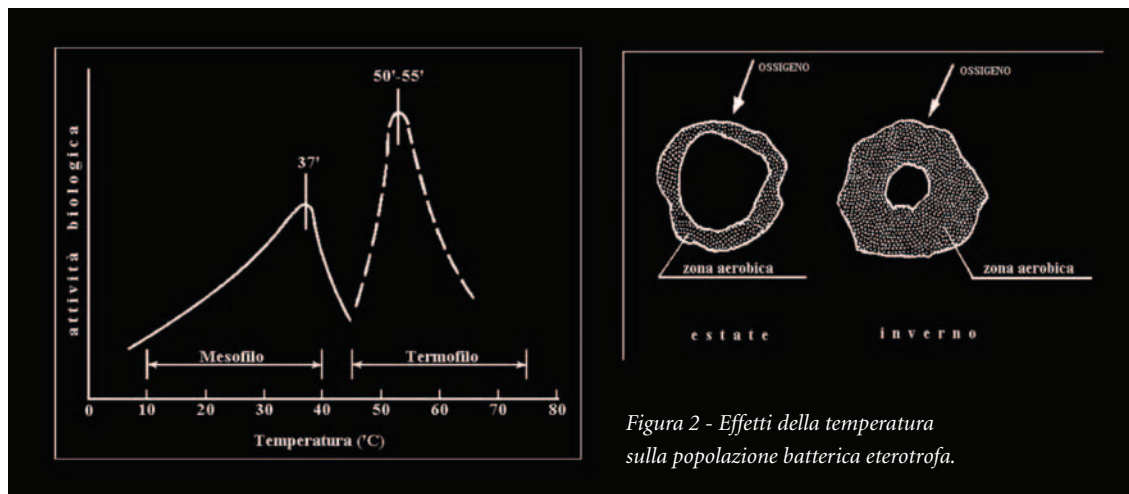
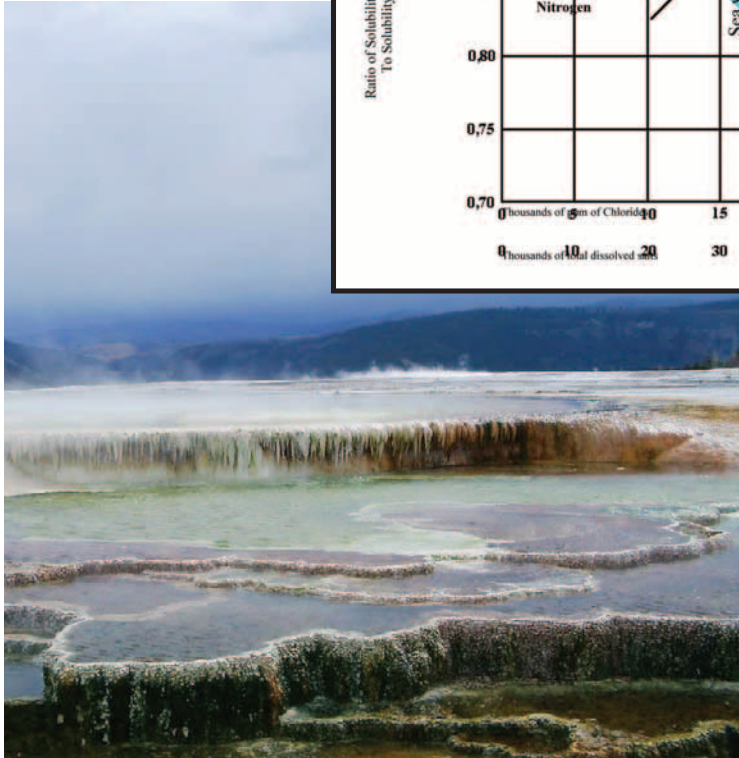
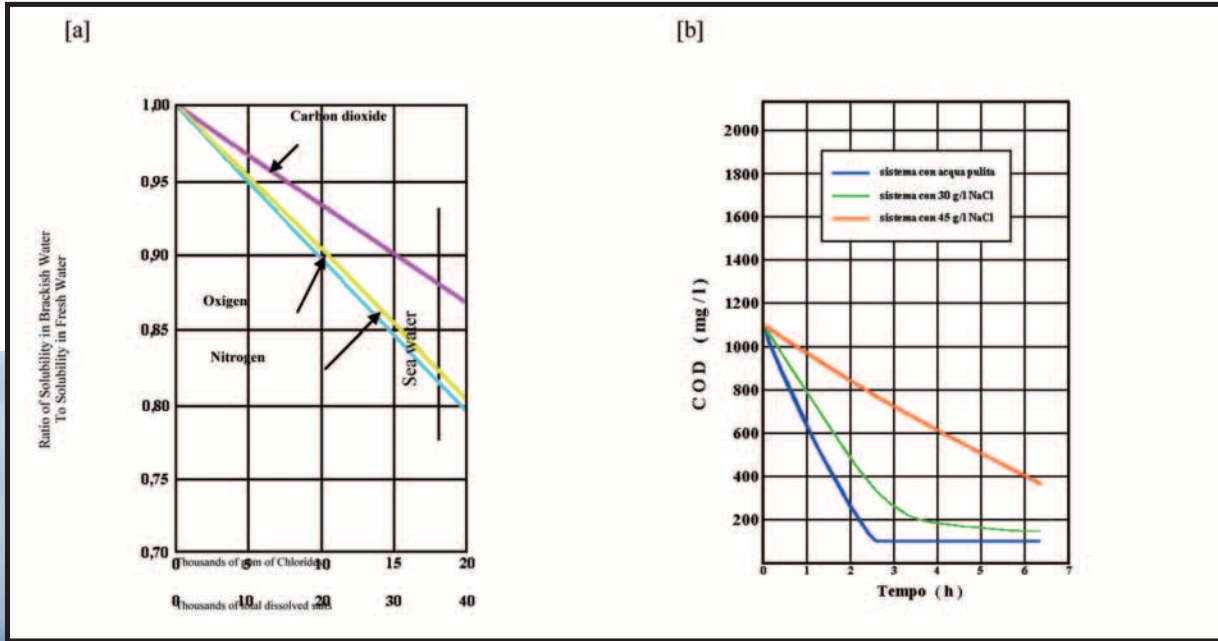


Figura 2 - Effetti della temperatura sulla popolazione batterica eterotrofa.

to). Anche i solfati in condizioni riducenti, in ambiente anossico e in presenza di batteri possono formare e liberare idrogeno solforato con gli effetti appena citati (tipico caso delle fognature). Le acque carboniche (presenza di CO₂ libera) sono aggressive nei confronti dei metalli e dei cementi e le acque salse ricche in cloruri hanno una elevata azione corrosiva (basti pensare alle acque di mare). Le acque ipertermali che possiedono caratteri corrosivi possono avere un'azione molto più rapida rispetto alle stesse acque fredde, in quanto la temperatura accelera i processi



Figura 3 - Effetti della salinità sulla solubilità dei gas e sulla rimozione del substrato.



capacità di adattamento alle più diverse condizioni di pressione osmotica e pervengono quindi agevolmente ad un soddisfacente equilibrio; tuttavia se la variazione di pressione è improvvisa e consistente, la membrana può rompersi e la cella essere distrutta).

- Presenza di sostanze tossiche e inibenti per la fase biologica e corrosive nei confronti delle strutture di impianto, caso tipico delle acque arsenicali-ferruginose.
- Variabilità del pH, che dipende dalle caratteristiche dell'acqua utilizzata e può influire sull'andamento delle reazioni biochimiche nei trattamenti biologici, e sull'andamento delle reazioni chimiche nei trattamenti chimico-fisici (ad esempio, in chiariflocculazione è importante sia per la for-

mazione sia per la stabilità degli idrossidi).

- Presenza di solidi sospesi sia di natura sedimentabile sia colloidale (argilla dei fanghi terapeutici), che possono provocare variazioni delle caratteristiche qualitative dei fanghi e possono sovraccaricare inutilmente la fase biologica.
- Variabilità del carico organico (andamento e coefficiente di punta), che può provocare sovraccarichi in tutte le strutture dell'impianto (problema tipico dei centri turistici).
- Dimensioni dell'insediamento, che influisce sull'entità degli impianti di depurazione: i piccoli impianti possono risentire moltissimo sia della variazione di popolazione, sia della variazione di consumi di acqua termale; i grossi impianti consortili invece difficilmente risentono della variazione di popolazione e possono anche trascurare del tutto la presenza di acqua termale.

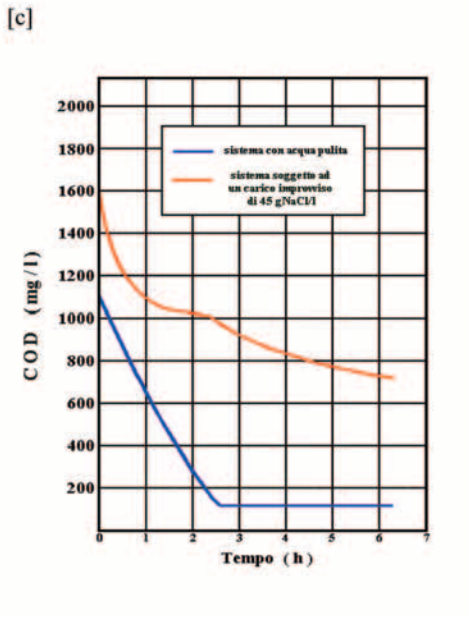
Effetti sui corpi idrici superficiali

Gli effetti dell'immissione dei reflui termali in corpi idrici superficiali riguardano soprattutto la vita acquatica. L'argomento è tuttora dibattuto, in quanto l'origine delle acque termali è del tutto naturale e le particolari proprietà che le caratterizzano derivano dalle condizioni geologiche, litologiche, morfologiche, geotermi-

che, nelle quali si sono venute a formare. La nascita del termalismo e di quei processi che hanno portato l'attività termale a diventare un'attività industriale, con importanti implicazioni di carattere economico e sociale oltre che terapeutico, ha comportato tuttavia la modificazione di taluni equilibri che si erano costituiti nel tempo. In questo quadro si inserisce l'esigenza di valutare gli effetti dell'immissione in corpi ricettori superficiali delle acque provenienti dagli stabilimenti termali. Dal punto di vista legislativo, alcune Regioni consentono lo scarico termale diretto in corpi idrici superficiali, senza alcuna valutazione sul corpo ricettore (ad esempio, in Emilia Romagna, l'articolo 26 LR 29 gennaio 1983, n.7) . In base al DLgs 11 maggio 1999 n.152 sono attualmente in vigore i Piani di Tutela, che prevedono modifiche alla situazione attuale.

I parametri di maggiore interesse nello studio degli effetti degli scarichi termali sui corpi idrici superficiali sono:

- Temperatura, che influenza la dinamica dell'ossigeno disciolto e ha dunque importanti ripercussioni sui processi di autodepurazione dei corsi d'acqua (Figura 4 e 5). Agisce inoltre sulla composizione e sulla quantità dei numerosi livelli della catena alimentare, modificando il numero e le



specie degli organismi presenti.

- pH, che in seguito a variazioni consistenti dai valori ottimali (6-9), può provocare sugli organismi effetti diretti, quali alterazione dell'osmoregolazione, distruzione dell'epitelio branchiale e cecità nei pesci, ed effetti indiretti causati dall'aumento della tossicità di acidi e basi deboli e dall'aumento della solubilità dei metalli pesanti (pH acidi).
- Salinità, che influisce sulla determinazione e il mantenimento dell'osmopolarità plasmatica e può determinare ad alte concentrazioni (5-10 g Cl/l) effetti di tossicità diretta per i pesci d'acqua dolce.
- Solidi sospesi, che provocano effetti negativi sulla fauna ittica quali: mortalità, riduzione della velocità di crescita e resistenza alle malattie, riduzione dello sviluppo delle uova, riduzione del cibo disponibile, scomparsa della fauna

bentonica.

- Solfuri, metalli e sostanze tossiche, che provocano effetti letali anche in basse concentrazioni e possono avere caratteristiche di biocumulabilità.
- Durezza, che non comporta problemi particolari per la vita acquatica, ma può ostacolare alcuni usi, quale quello industriale.
- Studi specifici effettuati in diversi corsi d'acqua riceventi scarichi termali, quali il torrente Ghiara per la stazione di Salsomaggiore (Figura 6), il rio Caldo, lo scolo Piovego e lo scolo Rialto per la stazione di Abano, hanno portato alla conclusione che effetti combinati di parametri caratteristici di tali reflui, che non abbiano consistenza tale da provocare shock improvvisi e acuti nei corpi ricettori, provocano un generale calo della biodiversità intesa come ricchezza in specie. La ragione di questa riduzione rispetto ad ambienti naturali non inquinati è da ricercare nel fatto che soltanto alcune specie si adattano a sopravvivere nelle nuove mutate condizioni ambientali, mentre le altre scompaiono.

Criteria progettuali

Alla luce di quanto esposto risulta evidente che per operare in maniera ottimale la scelta della soluzione più idonea per minimizzare gli inconvenienti derivanti dagli scarichi di acque minerali e termali, ciascun caso debba essere trattato in maniera autonoma. È possibile tuttavia fornire alcune indicazioni di carattere generale in merito alle possibili soluzioni tecniche esistenti, individuando i vantaggi e gli inconvenienti che cia-

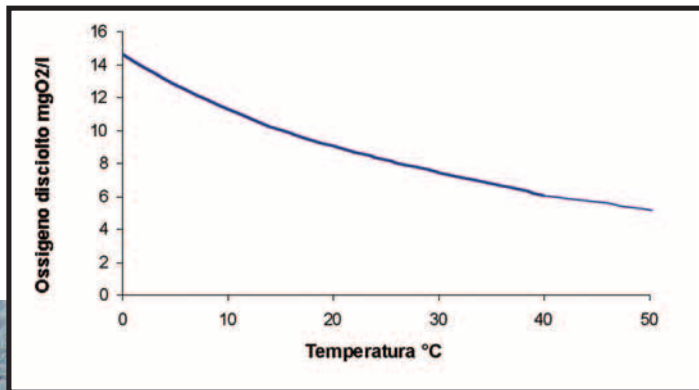


Figura 4 - Ossigeno disciolto in funzione della T.

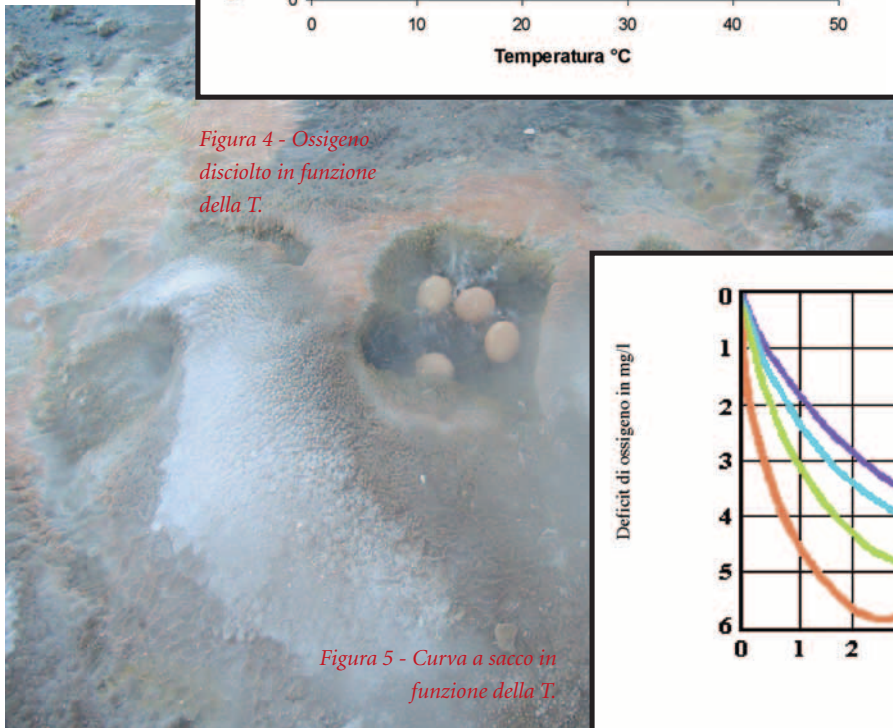
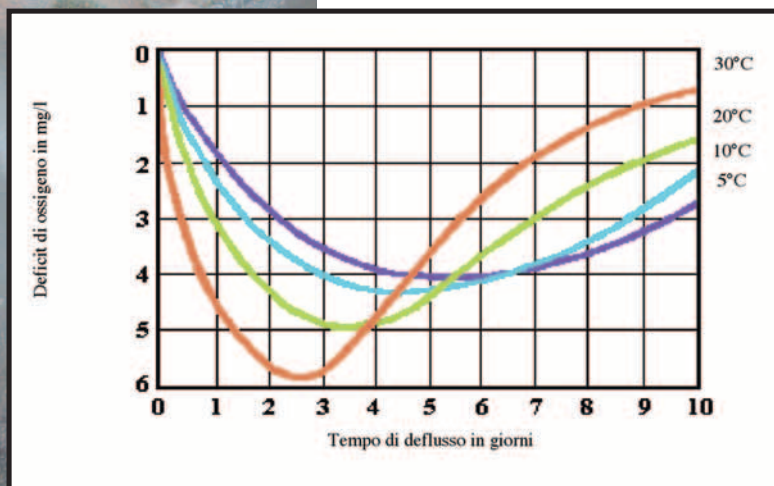


Figura 5 - Curva a sacco in funzione della T.



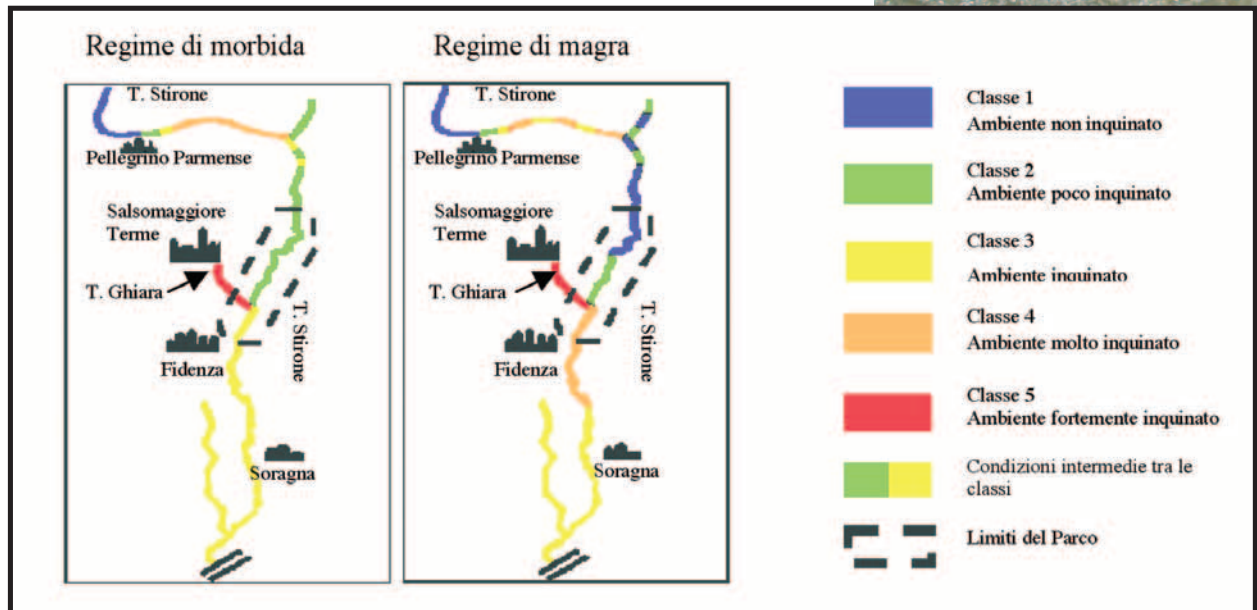


Figura 6 - Stazione di Salsomaggiore: Monitoraggio biologico del torrente Stirone

scuna di esse comporta. Per quanto riguarda i sistemi di convogliamento e le strutture d'impianto, emerge la necessità di utilizzare opportuni accorgimenti nella scelta dei materiali. Per combattere la corrosione e per aumentare la durata delle apparecchiature e dei materiali a contatto con le acque minerali esistono molti metodi; tra i principali si ricordano:

- impiego di pitturazioni e rivestimenti anticorrosivi;
- impiego di materiali (tubazioni ed accessori) che possano resistere per un periodo più lungo all'azione aggressiva delle acque minerali;
- protezione anodica e catodica.

Attualmente l'industria produce vernici e rivestimenti anticorrosivi, che possono essere utilizzati per la protezione contro la corrosione delle apparecchiature termali, tubazioni ecc. I materiali più idonei al contatto diretto con questo tipo di acque risultano essere gli acciai speciali, la ghisa, i materiali ceramici e i materiali plastici (Pvc, Polistirolo, Teflon, Politene). Buoni risultati sono raggiunti con il politene, entrato ormai di prepotenza nel settore termale per i vantaggi legati alla sua buona resistenza alla corrosione e ai bassi costi. L'uso dei rivestimenti anticorrosivi è invece limitato dall'intrinseca fragilità dimostrata durante le operazioni di pulizia, in particola-

re quella meccanica. In alcuni casi la protezione viene effettuata con processi elettrochimici anodici e catodici.

Per quanto riguarda gli impianti di trattamento, si è già detto come le dimensioni influiscano sull'entità e la qualità dei reflui al punto tale che i grossi impianti praticamente non risentono della presenza delle acque termali.

Sono i piccoli impianti invece quelli maggiormente influenzati dalla variabilità sia della popolazione sia della natura dei reflui.

Questi pertanto devono prevedere strutture modulari con potenzialità estremamente variabili, per far fronte a punte di carico e portata nei diversi periodi dell'anno, e sistemi di trattamento che tengano conto della componente dei reflui termali accanto alla normale composizione delle acque di scarico di origine civile. A questo scopo risulta opportuno l'inserimento di pretrattamenti a protezione della fase biologica, che è quella che maggiormente risente delle caratteristiche chimico-fisiche delle acque



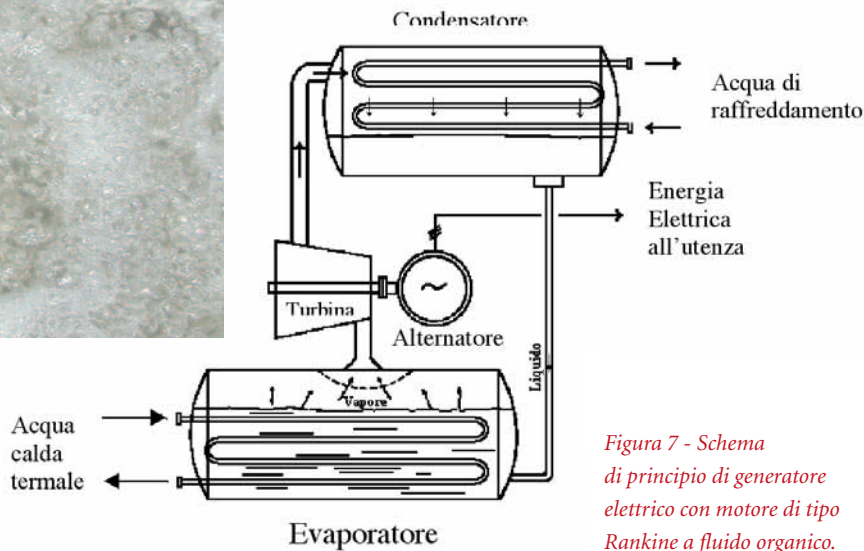


Figura 7 - Schema di principio di generatore elettrico con motore di tipo Rankine a fluido organico.

termali. I principali sistemi da utilizzare in questi casi sono:

- Trattamenti di chiariflocculazione: operano la rimozione delle particelle sospese, specie di natura colloidale, come le particelle fini dei fanghi terapeutici, e hanno effetti positivi sulla rimozione di alcuni inquinanti, come l'As e i metalli pesanti presenti in molte acque termali. I principali inconvenienti di questo sistema consistono nella grande produzione di fanghi (contenenti talora significative quantità di metalli) e negli elevati costi di gestione per il consumo di reattivi.

- Trattamenti di aerazione, per promuovere processi di ossidazione chimica (ad esempio, per la deferrizzazione) oppure per esercitare un'azione di tipo fisico (ad esempio, per lo stripping di CO_2 , NH_3 , H_2S).

- Trattamenti per la precipitazione e l'adsorbimento di metalli e tossici, la cui pratica è tuttavia raramente utilizzata in questo ambito. In fase di gestione è opportuno il controllo dei parametri di ossigeno disciolto e carico del fango in modo da ottimizzare l'attività biologica nelle varie condizioni operative. Risulta comunque la soluzione più idonea, ed è oggi questa la tendenza maggiormente seguita per i piccoli impianti, evitare l'ingresso dei reflui termali nel normale ciclo di trattamento dei reflui civili.

Operando una separazione dei flussi fin dall'origine, ovvero negli stabilimenti di cura, si possono

infatti eliminare tutti gli inconvenienti sugli impianti di trattamento ed è inoltre possibile sottoporre ad idonee fasi di depurazione la sola portata di acqua minerale. Sono dunque gli stabilimenti termali, al pari delle industrie, le strutture dove risulta essere più idoneo il trattamento dei reflui al fine di renderli compatibili per lo scarico. I sistemi attuabili sono di diverso tipo a seconda dei particolari elementi da rimuovere:

- Chimico-fisico, per una più efficace rimozione dei solidi sospesi, compresa la frazione colloidale, per una contemporanea precipitazione di sostanze indesiderate, per l'eliminazione di sostanze specifiche, come ad esempio i metalli.

- Fisico se l'obiettivo è una rimozione più o meno spinta della sola componente sedimentabile dei solidi sospesi. I sistemi possono agire sia per sedimentazione, sia per flottazione, e consentono il recupero e la rigenerazione del fango terapeutico, cosa non possibile se si effettua un trattamento di chiariflocculazione a causa della presenza di metalli o agenti estranei alla natura del fango.

Le tipologie di sedimentatori più adatti alle esigenze di spazio e alle attività degli stabilimenti sono quelli a pacchi lamellari o tubolari, mentre per i flottatori sono adatti quelli ad aria disciolta (Daf). I rendimenti conseguibili, in termini di solidi sospesi sedimentabili sono dell'ordine dell'80-90%. Altri sistemi di trattamento per inquinanti specifici sono quelli ri-

cordati in precedenza per gli impianti di depurazione, ovvero l'aerazione, la precipitazione, l'adsorbimento su carboni attivi, il cui utilizzo è invece indicato per le stazioni termali di dimensioni medio-grandi che utilizzano acque solfuree, carboniche, ricche di arsenico, metalli o altri tossici. Ove possibile è opportuno l'inserimento di vasche di equalizzazione o di omogeneizzazione delle portate, data la natura fortemente discontinua degli scarichi.

Queste possono essere adottate come pretrattamenti se si considera un loro utilizzo su base giornaliera, specie nei periodi in cui i consumi di acqua sono massimi e concentrati nelle ore diurne.

Diverso è il discorso se si considera un orizzonte temporale più ampio, di carattere stagionale, dove occorre una gestione di tutti gli scarichi termali in uno o più bacini di grosse dimensioni.

Infine, un argomento di grande interesse è legato all'opportunità di recuperare risorse dagli scarichi termali. Particolare attenzione è rivolta al recupero termico, per gli indubbi vantaggi energetici che ne derivano, specie in quelle stazioni dove le temperature allo scarico sono ancora molto elevate (ad esempio, ad Abano le temperature allo scarico difficilmente scendono al di sotto dei 45-50°C). Lo sfruttamento può essere effettuato tramite l'inserimento di scambiatori di calore o, per grossi impianti, addirittura di macchine termiche in grado di produrre energia elettrica (Figura 7) o frigorifera.

Al recupero di materia, sono invece rivolti studi e sperimentazioni, il cui obiettivo è di estrarre dalle acque di scarico termali elementi e sostanze riutilizzabili in diversi campi di applicazione (ad esempio, quello farmaceutico).

Il recupero del boro a Salsomaggiore o dell'arsenico a Levico e Vetriolo potrebbe, ad esempio, portare molti vantaggi economici ed ambientali, in quanto questi elementi costituiscono materia prima per molti processi industriali, mentre la loro presenza nelle acque di scarico può risultare molto dannosa per la vita acquatica e può impedire diversi usi, fra cui quello irriguo.

