

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



Facoltà di Ingegneria
Corso di Laurea in Ingegneria per l' Ambiente e il Territorio
Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Geotecnica ed Ambientale

Abstract

Tesi di Laurea in

**“ TRATTAMENTO DELL' ACQUA TERMO-MINERALE
AL PARCO TERMALE CASTIGLIONE ”**

Relatore:
Ch.mo Prof.
Gianpaolo Rotondo

Candidata:
Antonella D' Acunto
Matr. 518/536

Correlatore:
Pasquale Boccia

ANNO ACCADEMICO 2010/2011

ABSTRACT

Le risorse termali in Italia costituiscono, per antica tradizione, un sistema di cura valido per diverse patologie, favorisco il turismo terapeutico a livello internazionale e sono molto importanti per l'attività di sorveglianza vulcanica e sismica del territorio. L'acqua è una sostanza fondamentale per l'esistenza della vita e si muove continuamente nel *ciclo naturale evaporazione-condensazione*: il calore del sole provoca l'evaporazione delle acque superficiali (fiumi, laghi, mari, ecc.) e l'acqua evaporata forma i corpi nuvolosi dai quali hanno origine le precipitazioni atmosferiche che riportano l'acqua sulla superficie terrestre. Parte di quest'acqua scorre superficialmente formando i fiumi, parte s'infiltra nel sottosuolo e, attraverso percorsi più o meno complessi, ne fuoriesce spontaneamente dalle sorgenti o forzatamente dai pozzi costruiti dall'uomo. Chimicamente l'acqua è formata da due atomi di idrogeno (H₂) e un atomo di ossigeno (O), ma in realtà contiene numerose sostanze disciolte di qualità e in quantità variabili, a seconda del percorso sotterraneo effettuato e delle sostanze che costituiscono le falde attraversate. Le acque in natura si possono suddividere in acque meteoriche e acque telluriche. Le prime provengono dalla condensazione del vapore acqueo dell'atmosfera e contengono solidi disciolti, gas atmosferici e le impurità che l'uomo produce, come gas tossici e particelle solide che sono disperse nell'aria. Le acque telluriche, invece, a seconda la loro origine, si dividono in *acque vadose (o profonde)*, quando la loro provenienza è relazionata ai fenomeni atmosferici, ed *acque juvenili*, quando sono d'origine magmatica. Quando le acque piovane giungono al suolo, possono evaporare, restare in superficie in corsi d'acqua, laghi, mare, o penetrare nel sottosuolo. Queste ultime raggiungono, ad un certo punto uno strato roccioso impermeabile e formano le falde; poi, in corrispondenza di fratture della roccia, possono scendere ulteriormente fino a trovare altri strati impermeabili. Tali acque, protette dall'inquinamento delle varie stratificazioni rocciose, sono dette *acque profonde*: nella loro discesa avviene un arricchimento salino ed una diminuzione della carica microbica instauratasi al contatto col terreno. L'acqua tenderebbe a scendere ancora, ma, per il progressivo aumento di temperatura all'interno della crosta terrestre (il gradiente geotermico è di 0,03° C/m), ad un certo punto, risale e va ad alimentare le sorgenti, da cui fuoriesce per infiltrazione. L'*acqua juvenili*, invece, sono le acque che si formano direttamente dalla condensazione di magmi profondi. Il magma è una miscela pastosa di vari ossidi (silicio, ferro, alluminio, calcio, magnesio, potassio, sodio, ecc.) assieme ad altri componenti che, per l'elevata tensione di vapore, diventano volatili (cloro, fluoro, zolfo, acqua, ecc.). Inizialmente, quando il magma si trova all'interno della crosta terrestre, la pressione estremamente elevata permette all'acqua di persistere in soluzione, a dispetto della temperatura elevatissima. Quando il magma viene eruttato, oppure intruso in rocce superficiali, la diminuzione della pressione provoca un degassamento rapido, e la trasformazione del magma in lava. Questo processo coinvolge anche l'acqua che, liberandosi dal magma, come acqua juvenile entra nel bilancio globale del ciclo idrologico dell'acqua: infatti quando l'acqua giunge in superficie, deposita alcuni minerali in filoni e fuoriesce con una costanza di portata, a prescindere dalle variazioni stagionali. Le acque termo-minerali dell'isola d'Ischia emergono dal sottosuolo e danno vita a numerose sorgenti. I principali componenti di queste sorgenti termali sono acque meteoriche, gas juvenili e acqua marina nelle sorgenti vicine al mare.

Quando l'uomo, per i propri bisogni, attinge dell'acqua in un determinato punto del suo ciclo naturale, deve valutare l'idoneità di quest'acqua per i propri scopi. Oggetto di studio sono i trattamenti cui è sottoposta l'acqua termo-minerale e in particolare si è scelto come riferimento il *Parco Termale Castiglione*, luogo di benessere dell'isola d'Ischia, dove viene utilizzata per la balneoterapia e per le cure termali (fangobalneoterapia, massoterapia e cure inalatorie). Scopo della tesi è individuare e proporre un metodo di disinfezione alternativo all'*ipoclorito di sodio liquido (15% volume)*, che sia efficiente ed efficace allo stesso tempo e che migliori l'efficienza e l'affidabilità dell'impianto di trattamento.

ORIGINE E CARATTERISTICHE DELL'ACQUA TERMO-MINERALE

L'isola d'Ischia appartiene al gruppo delle isole flegree ed è parte di un campo vulcanico la cui estensione originaria era superiore a quella attualmente emersa. E' costituita da prodotti delle eruzioni vulcaniche che si sono succedute nel tempo, da accumuli detritici e da depositi sedimentari di origine marina, che hanno determinato nel sottosuolo formazioni con diverso grado di permeabilità. La complessità morfologica, geologica e vulcano-tettonica dell'isola d'Ischia si riflette sulla circolazione idrica sotterranea: le acque termo-minerali traggono origine da sorgenti, le cui falde sono mescolate a correnti marine, e filtrano attraverso gli strati geologici a diversa permeabilità. Tali acque vengono termalizzate e modificate chimicamente dai vapori che incontrano durante il loro cammino sotterraneo: il riscaldamento delle acque ha luogo per conduzione (trasferimento di calore per contatto tra le acque e le rocce calde dell'acquifero), ma soprattutto per convezione a seguito dei moti circolatori attraverso il reticolo fessurale (faglie e fratture beanti) innescati da squilibri termici. L'isola è caratterizzata da un flusso di calore molto elevato, compreso tra 200 e 400 MW/m² e presenta due tipi di manifestazioni idrotermali:

- I) il primo tipo è caratterizzato da campi fumarolici e da emissioni fumaroliche puntuali aventi temperature elevate (100-115 °C), ci sono circa 69 gruppi fumarolici;
- II) il secondo tipo, invece, comprende sorgenti termali ed ipertermali naturali, circa 29 gruppi.

Studi recenti sulle acque sotterranee dell'isola ne hanno determinato i principali parametri chimico-fisici (temperatura, pH, conducibilità elettrica) ed è emerso che tali acque sono molto varie e caratterizzate, in genere, da:

- temperatura compresa tra 18 e 90°C;
- conducibilità elettrica compresa tra 841 e 56000 mS/cm;
- elevati tenori in alcali e silice (fino a circa 600mg/l), tipici questi ultimi di circuiti idrici sotterranei in rocce vulcaniche potassiche.

In particolare, si riconoscono quattro gruppi di acqua:

1. *GRUPPO A (bicarbonato – calciche)*: bassi valori di temperatura (da 18 a 25°C) e di conducibilità (da 831 a 1789 mS/cm), testimoniano la presenza di circuiti relativamente superficiali e veloci, con tempi minimi di interazione acqua- roccia.

2. *GRUPPO B (bicarbonato – alcaline)*: elevati valori di temperatura (da 40 a 90°C) e valori di conducibilità relativamente contenuti (da 1800 a 6700 mS/cm);
3. *GRUPPO C (facies di transizione)*: le acque riconducibili a questa facies, sulla base della relazione tra i cloruri e gli ioni alcalini, possono essere considerate a chimismo intermedio tra quello dei gruppi B e D. Per quanto riguarda l'andamento delle temperature e della conducibilità di questo gruppo, si osserva un decremento delle temperature a mano a mano che ci si avvicina alla linea di costa, nella zona del Graben di Ischia e nel settore nord-occidentale dell'isola; la conducibilità (variabile da 10000 a 20000 mS/cm) assume valori generalmente superiori a quelli delle acque bicarbonato-alcaline e sempre più bassi rispetto a quelli tipici delle acque solfato-clorurato alcaline.
4. *GRUPPO D (solfato - clorurato – alcalino)*: I campioni d'acqua esaminati hanno composizione prossima a quella delle acque di mare, ma non provengono dalla miscelazione delle acque marine con quelle freatiche. Dette acque si distinguono per gli alti valori di conducibilità che, in casi non sporadici, superano i 40000 mS/cm. Per quanto concerne le temperature, risultano variazioni, a seconda della porzione di acquifero considerata. Queste acque caratterizzano generalmente i pozzi prossimi alla linea di costa, sia quelli superficiali, sia quelli profondi che superano l'interfaccia acqua di falda-acqua di ingressione marina. Ovviamente questi ultimi denotano i valori di salinità ed i tenori in cloruri più elevati.

TRATTAMENTO DELL'ACQUA TERMO-MINERALE AL PARCO TERMALE CASTIGLIONE

A partire dagli anni '60 le attività connesse allo sfruttamento delle risorse idrotermali sono divenute il fattore decisivo nella trasformazione economica, sociale e insediativa dell'isola. Il complesso termale scelto come riferimento per lo studio del trattamento dell'acqua termominerale è il *Parco Termale Castiglione*. Il *Parco* è ubicato sulla costa nord dell'isola d'Ischia, nel comune di Casamicciola Terme. E' costituito da 9 piscine (delle quali una coperta) per balneazione in acque termominerali e da una per balneazione in acqua di mare, in particolare 8 piscine sono termali (alimentate dalla vicina sorgente) con una gradazione dell'acqua, continuamente filtrata dai moderni impianti automatici, che va dai 30° ai 40°C, una piscina è olimpica (mt. 25 x mt. 14) ed è alimentata da acqua di mare, poi vi è una sauna naturale ed un proprio accesso al mare. Inoltre vi sono 35 camere per il soggiorno degli ospiti ricavate in piccoli edifici dislocati sull'intera superficie del parco, con un'affluenza media di circa 40.000 persone nel periodo di apertura del complesso che è di circa 180 giorni l'anno (15 Aprile–15 Ottobre). Sono poi presenti anche un ristorante-bar-self-service riservato agli ospiti del parco e due ristoranti aperti anche ai clienti provenienti dall'esterno (*Figura 1*).



Figura 1: mappa del Parco Termale Castiglione

1. Uffici;	10. Piscina a 40 °C;
2. Cassa;	11. Piscina olimpica;
3. Funicolare;	12. Sauna;
4. Terme;	13. Piscina Kneipp;
5. Piscina coperta da 32 a 36 °C;	14. Cubicole;
6. Guardaroba	15. Piscina a 38 °C;
7. Piscina a 34 °C;	16. Piscina a 30 °C;
8. Piscina a 32 °C;	17. Tavola calda;
9. Reparto sanitario	18. Ristorante mare

Le acque utilizzate al *Parco Termale Castiglione* sono di tre tipi:

- acqua dolce fornita dall'EVI;
- acqua termo-minerale emunta dai pozzi in planimetria individuati come POZZO B₁, POZZO B₂, e POZZO B₃;
- acqua di mare prelevata attraverso un aspiratore.

Per determinare le caratteristiche dell'acqua termo-minerale oggetto di studio sono state eseguite alcune indagini chimico-fisiche da parte del *Dipartimento di Chimica "Paolo Corradini" dell'Università di Napoli Federico II.*

L'emungimento è stato effettuato con una pompa sommersa e il campionamento è stato eseguito dal rubinetto posto sulla montante dei pozzi. E' stato prelevato un campione dai pozzi n. 1 e n. 2 utilizzando delle bottiglie di polietilene e vetro, e poi sono stati posti in una borsa termica refrigerata per poterli trasportare in laboratorio e sottoporli alle analisi. I parametri individuati sono:

INDAGINI CHIMICO-FISICHE	
CAMPIONE "POZZO N.1" <i>(24 aprile 2010)</i>	CAMPIONE "POZZO N.2" <i>(24 aprile 2010)</i>
<i>Parametri determinati alla sorgente</i>	
1) temperatura dell'aria:	
19,0 °C	19,0 °C
2) temperatura dell'acqua:	
75,0 °C	65,0 °C
3) pH	
7,10	6,98
<i>Dati fisici-organolettici</i>	
aspetto: limpido	aspetto: limpido
colore: incolore	colore: incolore
odore: inodore	odore: inodore
sedimento: non rilevabile	sedimento: non rilevabile
<i>Dati meteorologici e pluviometrici</i>	
condizioni mete: cielo coperto	condizioni mete: cielo coperto
vento: assente	vento: assente
pioggia: assente	pioggia: assente

Le righe evidenziate rappresentano le differenze tra i due campioni.

Dai risultati dell'indagine, riportati nella tesi, si evince che l'acqua è in entrambi i casi ***un'acqua ipertermale cloruro-sodico-solfata***, ossia la composizione chimica è simile a quella dell'acqua di mare, la temperatura è variabile e la conducibilità elettrica è molto elevata. Gli unici parametri che differenziano l'acqua del pozzo n. 1 e quella del pozzo n. 2 sono la temperatura e il pH. Ulteriori analisi riguardano la microbiologia di tali acque. Il campionamento è stato eseguito come per le indagini chimico-fisiche e i parametri individuati sono:

CAMPIONE "POZZO N.1" <i>(6 ottobre 2011)</i>	CAMPIONE "POZZO N.2" <i>(6 ottobre 2011)</i>
<i>Parametri determinati alla sorgente</i>	
1) temperatura ambiente:	
20,0 °C	20,0 °C
2) temperatura dell'acqua:	
75,0 °C	65,0 °C
<i>Dati fisici-organolettici</i>	
aspetto: limpido	aspetto: limpido
colore: incolore	colore: incolore
odore: inodore	odore: inodore
sedimento: non rilevabile	sedimento: non rilevabile
sapore: salato	
<i>Dati meteorologici e pluviometrici</i>	
condizioni meteo: cielo coperto	condizioni meteo: cielo coperto
vento: assente	vento: assente
pioggia: assente	pioggia: assente
<i>Profondità del pozzo:</i>	
26 mt	26 mt
<i>Data di ricezione del campione:</i>	
6/10/2011	6/10/2011
<i>Inizio prove:</i>	
6/10/2011	12/10/2011
<i>Fine prove:</i>	
12/10/2011	12/10/2011

Le riga evidenziata rappresenta la differenza tra i due campioni.

Le analisi sono state eseguite nei *laboratori di Igiene del Dipartimento delle Scienze Biologiche (NA)* e dai risultati, riportati nella tesi, si evince che l'acqua è **BATTERIOLOGICAMENTE PURA**. Questo è un ottimo risultato poiché l'acqua viene utilizzata nel complesso termale a scopi terapeutici. In particolare, l'acqua contenuta nelle piscine deve possedere determinati requisiti; deve essere:

- perfettamente limpida;
- priva di odori e gusti;
- avere disciolta una normale quantità di ossigeno disciolto;
- risultare sterile, cioè presentare le stesse caratteristiche organolettiche e batteriologiche di un'acqua potabile e mantenerle costantemente anche durante il periodo di immersione dei bagnanti.

Per questi motivi l'acqua deve essere trattata in appositi impianti depurativi. Questi sono contenuti in un locale situato nelle adiacenze della piscina e operano sull'acqua tenuta in circolazione da un gruppo di pompe (*Figura 1*):

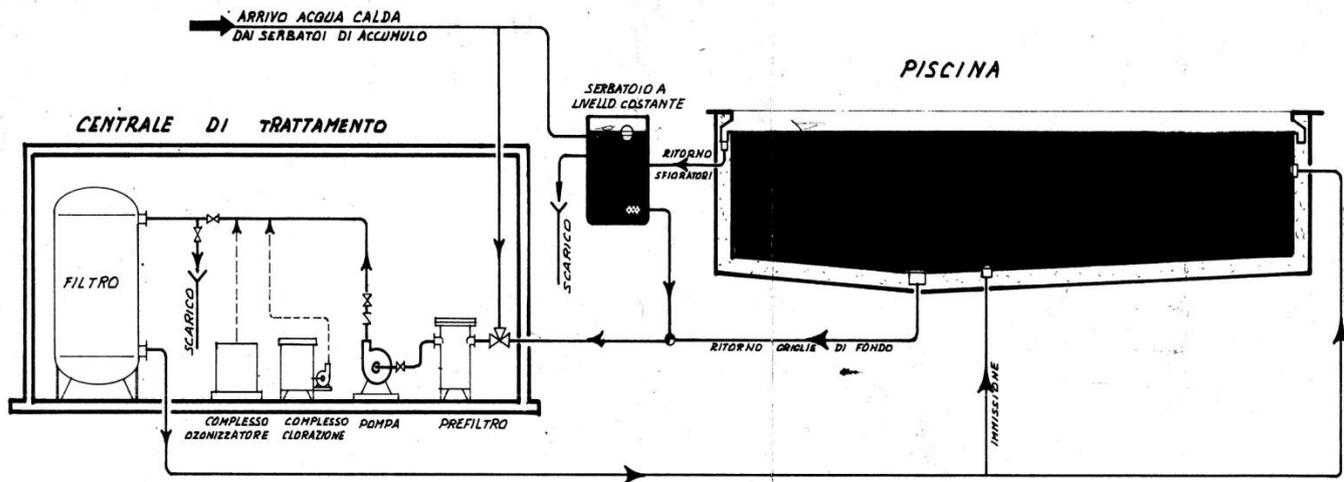


Figura 1: schema dell'impianto di depurazione dell'acqua termo-minerale

L'acqua inviata all'impianto di depurazione viene prelevata in parte dal fondo delle piscine, in particolare nella zona di maggiore profondità, utilizzando delle bocche di diametro e numero tale da non creare correnti fastidiose ai bagnanti e dopo essere stata sottoposta ai processi depurativi, l'acqua torna alla o alle piscine attraverso delle bocche (ubicato e calcolate con gli stessi criteri di quelle di prelievo) situate nel senso della maggiore lunghezza e sul fondo della piscina stessa. Un'altra parte, invece, viene prelevata superficialmente attraverso sfiori laterali, o *skimmers*, e viene inviata agli impianti depurativi direttamente o tramite un apposito serbatoio che potrà anche essere utilizzato per il reintegro del livello del sistema di piscine. Il reintegro è necessario poiché bisogna compensare le variazioni di livello dell'acqua in vasca causate dall'ingresso, dall'uscita e dal moto dei bagnanti. All'interno di tale impianto l'acqua attraversa un filtro che rimuove dall'acqua inquinanti grezzi, quali capelli, pezzi di intonaco e foglie. Dopo ciò viene aggiunto un flocculante (mediante apposite pompe) per legare insieme particelle colloidali più piccole. Tali colloidali sono particelle galleggianti visibili di materiale organico, come tessuti di pelle e fibre tessili, saliva, resti di sapone, prodotti cosmetici ed grassi della pelle e quando queste sostanze inquinanti sono molto abbondanti, causano torbidità. Lo sterilizzante aggiunto è il cloro sottoforma di ipoclorito di sodio liquido, e il dosaggio viene stabilito automaticamente e per ogni piscina da appositi cloratori (**Figura 2**). Infine si ha la filtrazione mediante i filtri a sabbia quarzifera (**Figura 3**): l'acqua li attraversa dall'alto verso il basso e in questo modo si depura delle sostanze inquinanti. E' necessario controllare che la perdita di carico dei filtri (dovuta all'accumulo delle sostanze trattenute) sia non superiore a 2 mt di colonna d'acqua: un suo aumento significherebbe intasamento dei filtri e quindi necessità di procedere ad un contro lavaggio. In particolare mediante appositi manometri (**Figura 4**) si controlla la pressione: al di sotto di 1 atm il filtro non è da pulire, mentre al di sopra di 1,2 atm il filtro è probabilmente intasato e quindi necessita di un controlavaggio.



Figura 2: cloratore



Figura 3: filtri a sabbia quarzifera

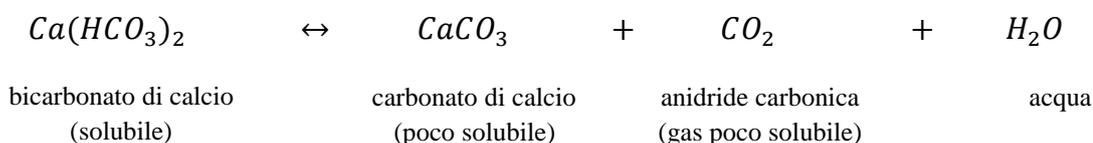


Figura 4: manometri

Attenti controlli vengono effettuati anche sull'acqua termo-minerale distribuita nei vari settori del complesso termale, quali docce, vasche e aerosol, e le relative analisi eseguite dalla SEA sono state riportate nella tesi. L'impianto funziona automaticamente e deve essere tenuto sempre in piena efficienza, dunque gli addetti provvedono a rinnovare l'acqua delle piscine, pulire le vasche, e a effettuare una manutenzione giornaliera e ordinaria dell'impianto. Gli scarichi provenienti dai servizi igienici del Parco Termale Castiglione sono considerati come scarichi civili, perché comprendono solo le acque di rifiuto domestiche, e quindi gli elementi inquinanti considerati per il trattamento sono quelli propri degli scarichi civili, ossia:

- COD
- BOD₅
- solidi grossolani
- solidi sedimentabili
- materiali in sospensione
- torbidità

Il processo depurativo adottato è un *processo a fanghi attivi ad aerazione prolungata*: il liquame attraversa una griglia e poi viene condotto all'impianto di depurazione. Nel bacino unico, costituito da una vasca di aerazione e una di sedimentazione, viene sottoposto al processo di ossidazione biologica e sedimentazione secondaria, e infine viene aggiunto il cloro per completare l'azione battericida svolta già in parte dai fanghi attivi durante l'ossidazione biologica. L'impianto di depurazione delle acque reflue di natura domestica è ubicato sul versante occidentale del parco. Scopo del trattamento depurativo è quello di ottenere un effluente che presenti le stesse caratteristiche imposte dall'Autorità Sanitarie (e dal *D. Lvo 152/2006*) per lo scarico in mare. Infatti non è possibile immettere gli scarichi in fognatura poiché la distanza tra l'edificio in cui si produce il refluo e la fognatura pubblica è superiore a 200 mt lineari. Dopo i rispettivi trattamenti le acque di scarico delle piscine e quelle nere confluiscono in un'unica condotta che attraversa la parte più bassa del Parco Termale Castiglione e recapita tali acque in mare, a circa 40 mt dalla costa. L'utilizzo dell'acqua termo-minerale comporta non solo benefici a livello terapeutico, ma anche serie problematiche alle condotte in ferro del complesso termale. Data la composizione chimica e la temperatura dell'acqua, le condotte sono soggette a corrosione galvanica e incrostazioni. La corrosione galvanica attacca le condotte perché le leghe ferrose, non essendo omogenee né dal punto di vista chimico né fisico, dopo la lavorazione favoriscono la formazione di zone sulla superficie del metallo con potenziale elettrochimico differente. Tali zone, a contatto con l'acqua che funge da elettrolita, generano una cella galvanica e così si ha la dissoluzione parziale o totale del metallo stesso. Le incrostazioni, invece, dipendono dalla durezza dell'acqua: i sali di calcio e magnesio si trovano disciolti sotto forma di bicarbonati (solubili) e sono in equilibrio con i rispettivi carbonati e con l'anidride carbonica:



A seguito di un improvviso sbalzo di temperatura, però, parte di anidride carbonica si libera e tale equilibrio si sbilancia. Per ripristinare un nuovo equilibrio è necessario produrre altra anidride carbonica, ma questo comporta la trasformazione dei bicarbonati in carbonati. Quest'ultimi sono insolubili, precipitano sul fondo della condotta e formano le incrostazioni. Per limitare il fenomeno della corrosione galvanica si rivestono le condotte con un metallo, nel caso specifico le condotte sono in ferro zincato. Lo zinco deve essere distribuito uniformemente sulla superficie ferrosa perché, essendo meno nobile del ferro, combatte la corrosione per resistenza propria, quindi con quest' accorgimento si ottiene un buon risultato. Il metallo per il rivestimento viene scelto considerando una classifica dei metalli: quando il comportamento elettrochimico è poco differente, allora è minore la probabilità che la coppia formi una cella galvanica e quindi corrosione. Per ridurre la formazione di incrostazioni si effettua un addolcimento, ossia si riduce la durezza dell'acqua. Nel caso specifico si utilizzano resine a scambio ionico caricate con lo ione sodio: al passaggio dell'acqua le resine catturano gli ioni di calcio e magnesio e cedono all'acqua lo ione sodio. In questo modo restano all'acqua solo i bicarbonati di sodio che hanno solubilità maggiore dell'acqua e per questo non precipitano e non formano incrostazioni. Con il passare del tempo, però, si arriverà a un punto tale che le resine non saranno più in grado di fermare calcio e magnesio perché saranno rimasti pochi ioni sodio disponibili per lo scambio: diminuisce la capacità di scambio della resina e il potenziale di scambio assume valori particolarmente bassi. A questo punto la resina deve essere rigenerata. Per fare ciò si fa passare attraverso le resine un'elevata concentrazione di ioni sodio tale da rovesciare l'equilibrio verso la ricostituzione della resina in forma sodio, con rilascio del calcio e magnesio precedentemente trattenuti. L'acqua di rigenerazione è una soluzione di cloruro di sodio: dopo aver attraversato la resina, si arricchisce del calcio e del magnesio asportati dalla resina e poi viene scaricata. Le acque di scarico, quindi, saranno ricche di cloruro di calcio e cloruro di magnesio. Oltre la manutenzione giornaliera ed ordinaria, il Parco Termale Castiglione deve essere gestito correttamente anche dal punto di vista igienico-sanitario poiché le piscine sono esposte a pericolo igienico-sanitario. I potenziali pericoli igienico-sanitari sono di tipo:

- biologico, ossia contatto con agenti infettivi patogeni;
- chimico, ossia esposizione a prodotti chimici;
- fisico, ossia traumi e annegamento.

E' molto importante, dunque, anche la sanificazione delle superfici. La sanificazione viene applicata alle superfici della sezione vasche, sezione docce e dei servizi igienici e viene adottata come misura preventiva contro il rischio di infezione da contatto. La vigilanza igienico-sanitaria viene svolta considerando le indicazioni di massima fornite dalla *circolare n. 89 del 1971 e n. 45 del 1972* (che precisa alcuni punti riportati nella circolare n. 89) e dal *Decreto Giunta Regionale n. 2088 del 2004*. Le indicazioni della circolare n. 89 riguardano l'acqua di alimentazione, il numero dei bagnanti, la ricircolazione dell'acqua, la disinfezione, i controlli batteriologici e gli esami chimici. Il Decreto, invece, impone che l'acqua di approvvigionamento (è quella utilizzata in vasca e per gli usi igienico-sanitari) deve possedere tutti i requisiti di potabilità previsti dalle vigenti normative, l'acqua di immissione in vasca e quella contenuta in vasca, invece, devono possedere i requisiti riportati nella tabella A dello stesso decreto e tali requisiti devono essere raggiunti in ogni punto della vasca. Ulteriori indicazioni riguardano le vasche, i trampolini e le piattaforme e sono contenute in alcuni articoli della circolare n. 16 del 1951.

METODI DI DISINFEZIONE A CONFRONTO ED ANALISI COSTI-BENEFICI

La disinfezione dell'acqua ha un ruolo fondamentale nella gestione della piscina. Una corretta gestione dell'acqua consente, infatti, di evitare l'insorgenza di alghe, la proliferazione batterica e la sensazione di acqua viscida. I prodotti usati per la disinfezione dell'acqua delle piscine devono rispondere a determinati requisiti: devono essere inoffensivi e non-irritanti per bagnanti e custodi, devono essere attivi in piccole concentrazioni e persistenti. Il disinfettante deve essere facilmente individuabile, misurabile e sicuro da usare. La disinfezione è molto importante soprattutto negli ambienti frequentati da un elevato numero di persone a stretto contatto per diverse ore, in quanto tale situazione potrebbe favorire una proliferazione di malattie. Al contrario dei disinfettanti per acqua potabile, i disinfettanti per piscine devono essere attivi nella vasca stessa poiché ogni bagnante aggiunge da 1.000.000 a 1.000.000.000 di microorganismi, quindi nell'acqua si deve mantenere una concentrazione disinfettante residua. I sistemi di disinfezione possono essere di tipo:

- *fisico*, ossia l'uso di acqua bollente, dell'aria calda, dei raggi ultravioletti;
- *chimico*, ossia l'uso di vari tipi di disinfettante.

La particolare composizione chimico-fisica dell'acqua termo-minerale dell'isola d'Ischia rende difficile la definizione di un metodo di disinfezione specifico in quanto ogni bacino ha proprietà specifiche ed intrinseche a se stesso. Per quanto riguarda a disinfezione mediante *raggi UV*, a lungo andare, in alcuni stabilimenti balneari dell'isola d'Ischia dove si utilizzano tali lampade, si è verificata un'opacizzazione del quarzo: a causa della particolare composizione chimica dell'acqua termo-minerale il quarzo si opacizza, funge da schermo e quindi i raggi UV non riescono a colpire i microrganismi e svolgere l'azione disinfettante.

Altre limitazioni si hanno anche dal punto di vista tecnologico:

- i microrganismi che devono essere abbattuti devono essere necessariamente viventi;
- l'acqua che passa sotto le lampade deve essere limpida perché in caso di acqua torbida le particelle potrebbero fare da schermo all'azione dei raggi UV sui microrganismi.

Per quanto riguarda le lampade a raggi UV, esse hanno un costo molto elevato; dal catalogo di una nota azienda, ad esempio, si può notare che il prezzo varia in base ai m³ di acqua:

- < 50 m³ : € 1200
- < 70 m³ : € 1240
- < 120 m³ : € 1770
- < 150 m³ : € 2000
- < 200 m³ : € 2150

Inoltre è anche possibile combinare l'azione dei raggi UV all'aggiunta quotidiana di ossigeno attivo tramite una pompa dosatrice: l'ossigeno permette una lenta dissoluzione dei raggi e quindi un effetto prolungato e assenza di residui tossici. I costi, però, sono superiori.

Date le particolari caratteristiche dell'acqua termo-minerale, oltre ai costi d'acquisto bisogna considerare anche il costo per il ricambio delle lampade e delle camicie in quarzo. Inoltre, essendo necessaria una frequente manutenzione ordinaria e straordinaria a causa dell'opacizzazione della camicia di quarzo, i costi di gestione aumentano e quindi il rapporto qualità/prezzo non risulta conveniente. L'ozonizzazione, invece, si realizza mediante l'aggiunta di ozono (O_3), un gas instabile che tende a trasformarsi in ossigeno ed esercita contemporaneamente un'energica azione sterilizzante, bruciando le cellule dei microrganismi. L'ozono si produce direttamente sul luogo di utilizzo poiché non può essere stoccato; si utilizzano generatori alimentati elettricamente e raffreddati ad acqua e il processo di realizzazione sfrutta l'effetto corona: la macchina genera una tensione elettrica che produce ioni negativi e ozono. Disciolto in acqua produce ossigeno biatomico ed un atomo di ossigeno radicale estremamente reattivo, in grado di distruggere molecole organiche resistenti e difficilmente biodegradabili. L'ozono è in grado di migliorare tangibilmente la qualità dell'acqua rendendola pura sotto ogni aspetto poiché estrae le clorammine che si formano dalla reazione tra composti organici ed il cloro, ed agisce contro la moltiplicazione di batteri e virus, senza alterare le caratteristiche organolettiche dell'acqua. Inoltre:

- ha un forte potere ossidante;
- non produce fanghi o concentrati;
- degrada gli inquinanti senza trasferire l'inquinamento ad altre fasi;
- non lascia residui nocivi perché a reazione avvenuta si degrada ad ossigeno molecolare;
- non apporta ulteriore salinità all'acqua da trattare.

Tale metodo, però, presenta alcuni svantaggi:

- 1) il costo di produzione dell'ozono è molto elevato;
- 2) per completare la disinfezione è necessario aggiungere alle piscine 3 g/lit di cloro.

Sfogliando alcuni cataloghi di note aziende, in base ai m^3 di acqua contenuti nella piscina, il costo dell'ozonizzatore è pari a:

- fino a 200 m^3 , produzione di 2 gr/lit di ozono: € 4200
- fino a 400 m^3 , produzione di 4 gr/lit di ozono: € 7400

Anche questo sistema è adottato in alcuni stabilimenti termali dell'isola d'Ischia, ma a causa della particolare composizione chimica dell'acqua termo-minerale è necessario sostenere frequentemente costi di manutenzione ordinaria e straordinaria, oltre che l'elevato costo iniziale per l'acquisto dell'apparecchiatura. Dunque il rapporto qualità/prezzo non risulta conveniente.

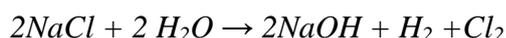
I *disinfettanti a base di cloro* sono fra quelli più comunemente applicati per il trattamento dell'acqua contenuta nelle piscine. Tali disinfettanti, però, devono possedere determinati requisiti:

- devono essere inoffensivi e non-irritanti per bagnanti e custodi;
- devono essere attivi in piccole concentrazioni e rimanere in attività per lungo tempo.

Il cloro esercita un'azione battericida: blocca il metabolismo degli zuccheri e porta così gli organismi alla morte, perché agisce sia sulla forma embrionale (germe), sia sulle forme sviluppate della flora batterica. Esso si comporta come un energico ossidante, cioè riesce a distruggere tutta la sostanza organica, ma se questa è in eccesso, allora il cloro può formare, a contatto con essa, dei composti organoclorurati che sono tossici. Il cloro, infatti, reagisce con la materia organica formando i sottoprodotti di disinfezione, come i trialometani (THM) e gli acidi acetici alogenati (HAA). Si può aggiungere cloro per la disinfezione in vari modi e al Parco Termale Castiglione il disinfettante utilizzato è l'*ipoclorito di sodio liquido*. Questo disinfettante tende ad innalzare il pH dell'acqua e contiene circa il 45% di sodio, quindi non crea problemi per quanto riguarda la tossicità. Si è scelto l'ipoclorito di sodio in forma liquida poiché in passato è stato utilizzando il cloro in polvere, ma durante la prova del prodotto si è verificato un inconveniente: a contatto con l'acqua termo-minerale, il cloro in polvere ha favorito la precipitazione del ferro e si è ottenuta un'acqua scura e nociva.

Il cloro, però, è la causa scatenante di numerosi problemi. Questo disinfettante è potentissimo, ma è anche il peggior nemico della pelle, dei capelli, ed è il responsabile principale delle irritazioni agli occhi e alle mucose in alcuni soggetti particolarmente predisposti: l'esposizione nel tempo è causa determinante della insorgenza di problemi respiratori, come ad esempio l'asma. La possibilità di sostituire il cloro con qualcosa di altrettanto efficace ma meno dannoso è costituita da un'apparecchiatura di disinfezione per l'acqua di piscina funzionante ad *elettrolisi del sale*, un sistema elettro-chimico che si è rapidamente diffuso negli ultimi anni. L'elettrolisi è un processo attraverso il quale l'energia elettrica si trasforma in energia chimica. Nel processo di elettrolisi gli elettrodi (anodo e catodo) sono collegati ad una corrente continua e vengono inseriti all'interno di un contenitore con una soluzione acquosa che consente agli ioni di trasferirsi agli elettrodi (elettrolita). In questo modo si viene a creare un campo magnetico. Il sale da cucina è formato da molecole di cloruro di sodio (*NaCl*). L'acqua non si limita a sciogliere le molecole del sale, separandole l'una dall'altra, ma divide anche ogni molecola nei due atomi che le costituiscono.

Il processo di reazioni elettro-chimiche prodotte nella vasca dal sistema di elettrolisi del sale è il seguente:



(sale+acqua = soda+idrogeno+cloro)

In presenza di sodio disciolto in acqua è presente anche la formazione di ipoclorito di sodio secondo la reazione:



(sale+acqua = ipoclorito di sodio + idrogeno)

I sistemi elettrolitici maggiormente utilizzati attualmente in Italia, visto il costo delle apparecchiature ed il costo molto basso dell'ipoclorito di sodio, sono i sistemi più piccoli, in grado di produrre fino ad un massimo di 30-40 gr/ora di cloro. Il sale va introdotto in acqua con una concentrazione di 3-6 grammi di sale per litro di acqua, circa il triplo di quella dell'acqua dolce e molto inferiore a quella dell'acqua di mare che si aggira tra i 20 e i 30 gr/lit.

Un'alternativa ad introdurre sale direttamente nell'acqua di piscina è costituita da apparecchiature più complesse, che funzionano più o meno come un addolcitore, prelevando il sale direttamente da un serbatoio posto in prossimità dell'apparecchiatura. Sono sistemi utilizzati, di solito, per piscine di maggiore volume, anche perché sono ancora piuttosto costose. Questi impianti sono dotati di una speciale membrana in grado di mantenere separati gli ioni Na^+ e Cl^- : nel catodo viene a formarsi soda caustica esente da cloruri e idrogeno, nell'anodo, separato da membrana invece, gas di cloro e salamoia residua impoverita. In base all'apparecchiatura scelta si può utilizzare solo l'ipoclorito di sodio prodotto oppure l'acido ipocloroso prodotto ed eventualmente l'ipoclorito. Considerando un modello di apparecchiatura, il gas di cloro prodotto viene ulteriormente elaborato secondo due modalità. Nella prima il cloro gas viene aspirato da un eiettore incluso nella fornitura e liberato nell'acqua da trattare come soluzione di acido ipocloroso. Nel momento in cui la produzione eccede la richiesta, il cloro gas viene miscelato con la soda prodotta per formare una soluzione pura di ipoclorito di sodio che viene stoccata. Pertanto l'impianto non deve essere scelto al massimo della domanda di gas di cloro, ma si può regolare secondo la richiesta media giornaliera. I picchi di richiesta sono coperti dalla dose supplementare di soluzione di ipoclorito formata, che viene iniettata nell'acqua da trattare tramite lo stesso eiettore del cloro gas. La soda caustica prodotta, esente da cloruri, viene momentaneamente stoccata e può essere iniettata tramite lo stesso eiettore nell'acqua da trattare per correggere il pH. E' possibile collegare direttamente al pannello di controllo del sistema una sonda o uno strumento del pH esterno; con un unico sistema si ottiene sia la disinfezione dell'acqua che la correzione del pH e la tecnologia è sicura poiché lavora in sottovuoto. L'idrogeno prodotto viene diluito con aria fresca convogliata da uno speciale ventilatore e poi viene rimosso senza pericolo, mentre l'acqua salata rimanente (ridotta) viene scartata. Inoltre l'acqua destinata alla creazione di soluzione salina satura proviene da un sistema di addolcimento, grazie al quale si evita la precipitazione di calcare nelle celle elettrolitiche prolungando la vita utile di queste ultime. Infine l'efficienza dell'elettrolisi è monitorata attraverso la misura del valore pH durante la produzione di soda caustica. Grazie al sistema automatico si ottiene:

- un tasso di cloro sempre costante e regolare, per garantire una disinfezione ottimale ed eliminare le conseguenze dei sovradosaggi;
- una tecnologia sicura, che elimina qualunque manipolazione, trasporto, stoccaggio o rischio dovuto ai prodotti chimici;
- una notevole riduzione dei vincoli di manutenzione: controlli, manipolazioni e aggiunte manuali;
- grazie al suo potere residuo e alla ricostituzione delle molecole di sale, il trattamento al sale non richiede alcuna aggiunta di prodotti chimici (contrariamente alle tecnologie UV o Cu/Ag, ad esempio) e non lascia né depositi, né agenti inquinanti (contrariamente a tutti i prodotti chimici);
- una tecnologia economicamente interessante;
- sulla manutenzione della piscina sono realizzati importanti risparmi: nessun disinfettante chimico da acquistare, meno consumi d'acqua, meno interventi umani, eliminazione dei sovradosaggi frequenti, basso consumo energetico;
- il ritorno sull'investimento in una cella elettrolitica è rapido: da 2 a 3 anni, secondo le dimensioni della piscina.

SCelta DEL SISTEMA DI DISINFEZIONE ALTERNATIVO ALL'IPoclorito DI sodio

Tra i vari sistemi di disinfezione analizzati proporrei, come sistema alternativo all'utilizzo dell'ipoclorito di sodio liquido, l'*elettrolisi del sale* poiché la sterilizzazione per elettrolisi permette la distruzione totale delle clorammine, molecole responsabili di allergie e di un gran numero di disturbi; infatti l'acqua ottenuta con tale disinfezione è sana, gradevole, e sempre cristallina, inoltre il processo rispetta l'ambiente. Rispetto ai metodi tradizionali si ha una produzione di cloro in sito, ossia non è necessario né il trasporto né l'immagazzinamento dell'ipoclorito di sodio. Un altro vantaggio del processo in sito è che il cloro riduce il pH e non è richiesto nessun altro acido per abbassare il pH: non s'inseriscono più nell'acqua composti a base di cloro, ma si hanno solo cloro gas e ipoclorito puri, che formeranno semplicemente acido ipocloroso. La piscina verrà disinfettata con acido ipocloroso e/o ipoclorito di sodio, e quest'ultimo è diverso dalla soluzione a base di ipoclorito che si trova in commercio, poiché molto più puro. Affinché sia possibile tale soluzione al *Parco Termale Castiglione* è necessario che il bacino si trovi in condizione di quiete, ossia la portata d'acqua da depurare deve essere costante nel tempo poiché il dimensionamento iniziale dell'elettrolizzatore dipende dalla portata dell'impianto, poiché rappresenta la capacità di produzione di grammi di cloro per litro di acqua utilizzata. Attualmente, però, la portata è variabile poiché si ha un continuo emungimento di acqua termale e dolce per mantenere invariate le temperature delle piscine. Sarebbe necessario, dunque, introdurre uno scambiatore di calore in ogni impianto di trattamento delle piscine, in modo da avere una regolazione automatica della temperatura dell'acqua, e inserire poi un elettrolizzatore con cella a membrana per realizzare l'elettrolisi e disinfettare l'acqua mediante acido ipocloroso. Oltre ai costi d'acquisto delle apparecchiature, bisogna considerare anche i costi di gestione: oggi l'elettrolisi del sale è molto efficiente ed efficace sull'acqua potabile, ma non è ancora stato dimostrato lo stesso sull'acqua termo-minerale. Date le particolari caratteristiche chimico-fisiche e le elevate temperature dell'acqua oggetto di studio, sarebbe necessario:

- modificare gli impianti di trattamento di ogni piscina per inserire gli scambiatori di calore;
- provvedere ad una frequente manutenzione ordinaria e straordinaria degli scambiatori di calore e degli elettrolizzatori;
- valutare l'eventuale quantità di sale da aggiungere o ridurre il contenuto salino dell'acqua termo-minerale;
- addolcire l'acqua inviata alla cella a membrana.

L'addolcimento è necessario per evitare le incrostazioni all'interno della cella a membrana e nelle condotte: infatti, nel tempo, le incrostazioni, che si depositano sulle pareti e sul fondo delle tubazioni, creano perdite di carico che comportano una riduzione dell'efficienza e dell'affidabilità dell'impianto, e nel caso della cella a membrana ne sarebbe compromesso il funzionamento. Nel caso specifico si utilizzano le resine a scambio ionico per l'addolcimento poiché a differenza dei trattamenti con calce spenta e con calce spenta e soda, dove le moli di reagenti che si aggiungono sono equivalenti a quelle di calcio e di magnesio che si vogliono abbattere ottiene un'efficienza del processo quasi pari al 100%. Infine, per valutare la convenienza del processo di elettrolisi del sale, è necessario effettuare un'accurata analisi costi/benefici e in base a questa decidere se adottare o meno tale sistema di disinfezione.