

Una veduta della centrale Trojan in costruzione sul fiume Columbia (USA).

CRISTIANA SERRAZANETTI

L'inquinamento termico delle centrali nucleari

La scelta di un sito per la costruzione di un impianto nucleare deve prevedere uno studio preliminare dell'ambiente dal punto di vista biologico, chimico e naturalistico. Tale studio è necessario per una valutazione degli effetti sanitari ed ambientali dovuti al normale esercizio dell'impianto nucleare e alle conseguenze del massimo incidente che può, eventualmente, verificarsi. I problemi sanitari

e sociali dovuti al funzionamento ad es. di una centrale nucleare interessano sia i lavoratori che operano nell'impianto stesso sia la popolazione vivente nelle vicinanze per effetto degli scarichi radioattivi liquidi ed aeriformi, sia il territorio circostante che può essere influenzato dagli scarichi radioattivi e da quelli termici.

Dal punto di vista naturalistico il proble-

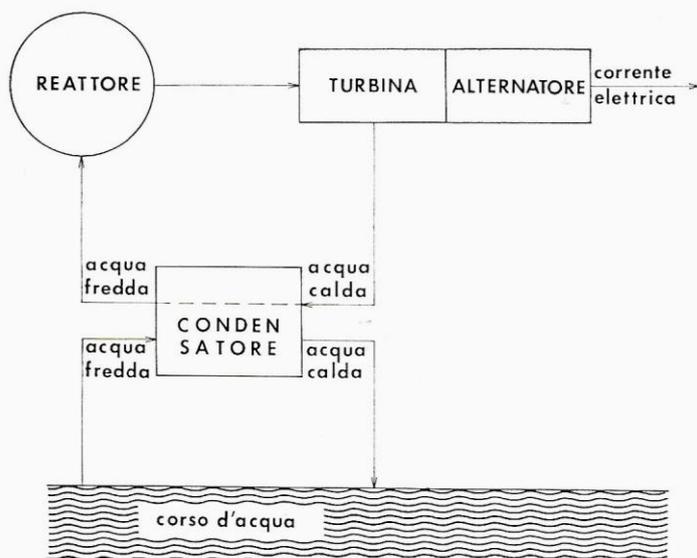


Fig. 1 - Schema di funzionamento di una centrale elettronucleare.

ma degli scarichi termici è forse il più importante perché la radioattività degli affluenti è tanto bassa da non indurre quasi mai alterazioni negli ecosistemi interessati.

Nella figura 1 è riportato lo schema di funzionamento di una centrale elettronucleare: un reattore nucleare produce calore il quale trasforma acqua in vapore. Il vapore viene convogliato in una turbina dove l'energia termica è trasformata in energia meccanica ed infine una dinamo converte l'energia meccanica in energia elettrica.

Perché il ciclo possa continuare è necessario che il vapore che esce dalla turbina ritorni in fase liquida e come tale alimenti nuovamente il reattore. Questa conversione è assicurata da un condensatore nel quale si verifica uno scambio di energia termica fra il vapore proveniente dalla turbina e l'acqua di raffreddamento, che può venire prelevata o da un fiume di sufficiente portata o dal mare.

Per una centrale nucleare da 1.000 MW abbisognano circa 50 m³/sec. di acqua di raffreddamento che subisce un incremento di temperatura al condensatore di circa 10°C. (Tabella 1).

In una centrale nucleare il rendimento termicodinamico, che è il rapporto tra elettricità ottenuta e calore totale prodotto è pari circa al 33% (per una centrale a combustibile convenzionale si aggira intorno al 38-40%).

In altre parole del calore totale prodotto dal reattore soltanto 1/3 viene trasformato in elettricità mentre i restanti 2/3 vengono trasferiti all'acqua di raffreddamento circolante nel condensatore e scaricati all'esterno influenzando direttamente le caratteristiche fisico-chimiche e indirettamente le caratteristiche biologiche dell'ambiente.

Effetti fisico-chimici di effluenti termici in acque superficiali

Solubilità dell'ossigeno. La quantità di ossigeno disciolto è considerato uno tra i più importanti parametri, essendo l'ossigeno un elemento essenziale per il mantenimento delle forme di vita acquatica.

Alte temperature nei corpi d'acqua ricevuti, specialmente se combinati con la presenza di materia organica, possono ridurre la capacità di saturazione per l'ossigeno al di sotto del limite di sopravvivenza delle forme di vita acquatica (fig. 2).

Densità e viscosità dell'acqua. Sia la densità che la viscosità dell'acqua diminuiscono all'aumentare della temperatura (tabella II); differenze di pochi gradi centigradi sono sufficienti a provocare in laghi o bacini una stratificazione termica tale da impedire il rimescolamento dell'acqua in senso verticale ed il passaggio dello O₂ agli strati più profondi

TAB. I - LIMITI DI TEMPERATURA IMPOSTI O SUGGERITI IN ALCUNI STATI

Stato	Temperatura massima ammissibile		Incremento massimo ammissibile di temperatura			
	Allo scarico	Dopo miscelam.	Fiumi	Laghi (epilimnion)	Estuari e coste marine Estate	Inverno
U.S.A.	(Dipendente dagli organismi presenti negli ecosistemi)		2,8 °C	1,7 °C	0,8 °C	2,2 °C
Germania Federale	30 °C	28 °C	3 °C			
Svizzera	30 °C	25 °C	3 °C			
Italia (.)	30 °C (acque correnti, laghi)	35 °C (mare)	3 °C (a 100 m dallo scarico)	3 °C (a 50 m)	3 °C (in superficie, a 1.000 m dallo scarico)	

(.) Ministero della Sanità, Circolare n.105 del 2 luglio 1973 (Standards consigliati di accettabilità per effluenti). Viene raccomandato di evitare la formazione di barriere termiche.

TAB. II - PROPRIETA' DELL'ACQUA IN FUNZIONE DELLA TEMPERATURA

Temperatura °C	Pressione di vapore mm/Hg	Viscosità Centipoise	Densità gm/ml	Tensione superficiale Dynes/cm	Solubilità dell'Ossigeno mg/l	Diffusività dell'Ossigeno cm ² /sec
0	4.579	1.787	0.99984	75.6	14.6	
5	6.543	1.519	0.99997	74.9	12.8	
10	9.209	1.307	0.99970	74.2	11.3	15.7
15	12.788	1.139	0.99910	73.5	10.2	18.3
20	17.535	1.002	0.99820	72.8	9.2	20.9
25	23.756	0.890	0.99704	72.0	8.4	23.7
30	31.824	0.798	0.99565	71.2	7.6	27.4
35	42.175	0.719	0.99406		7.1	
40	55.324	0.653	0.99224	69.6	6.6	

(fig. 3). Una diminuzione della viscosità fa aumentare la velocità di sedimentazione; quando lo scarico termico avviene in acque torbide può perciò variare considerevolmente la quantità dei materiali sedimentati.

Tensione di vapore. Influenza il tasso di evaporazione: un aumento di tasso superficiale

provoca una perdita di acqua dovuta ad una più rapida evaporazione.

Reazioni chimiche. Un aumento della temperatura dell'acqua ha un effetto significativo sulle reazioni chimiche poiché la velocità di reazione raddoppia per un aumento della temperatura di 3,5°C. Si hanno inoltre sposta-

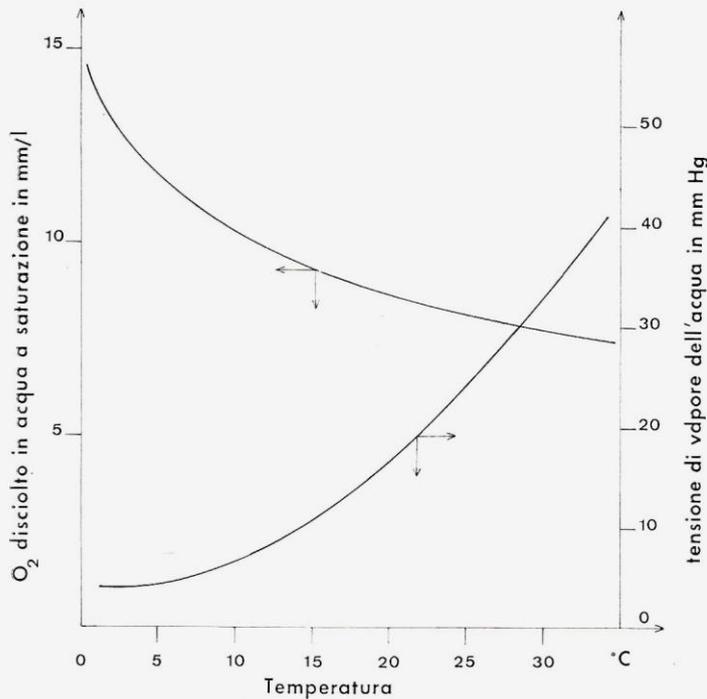


Fig. 2 - Tensione di vapore ed ossigeno disciolto in acqua.

menti degli equilibri di dissociazione dei composti ionizzabili, variazione della solubilità dei sali, della conducibilità delle soluzioni ecc. ecc....

Effetti biologici

È noto che dalla temperatura dipendono i cicli riproduttivi, il ritmo respiratorio, la velocità di digestione. Lo stesso ciclo delle migrazioni può venire stimolato da un cambiamento rapido della temperatura e se le condizioni ambientali, come ad esempio la disponibilità di cibo, cambiano, può risultarne condizionata la conservazione stessa della specie. Un aumento della temperatura può aumentare la virulenza di batteri patogeni, può diminuire l'abilità degli organismi nel procurarsi il cibo o la capacità di competere con altri organismi.

Effetti diretti delle variazioni di temperatura si hanno sul metabolismo e sull'attività enzimatica.

Il *metabolismo* viene attivato da un aumento di temperatura. In seguito ad un aumento della temperatura delle acque di 10°C. raddoppia la richiesta biologica di O₂, mentre

contemporaneamente diminuisce la capacità dell'acqua riscaldata di trattenere O₂ disciolto.

Attività enzimatica. Le reazioni enzimatiche nell'intervallo di temperatura da 0 a 35°C. aumentano di velocità in modo esponenziale.

Con l'aumentare della temperatura la viscosità del protoplasma aumenta da prima reversibilmente poi irreversibilmente fino alla coagulazione. Inoltre gli enzimi sono di natura proteica per cui a temperatura elevata subiscono un processo di denaturazione che colpisce anche le lipoproteine costituenti la membrana cellulare.

Effetti sugli ecosistemi acquatici

Si hanno pochi studi sull'impatto dello scarico termico negli ecosistemi acquatici. La maggior parte dei lavori riguarda o alcune specie o pochi elementi di uno stesso livello trofico.

Eutrofizzazione. L'eutrofizzazione è un processo naturale, conseguenza dell'arricchimento del corpo dell'acqua in sostanze nutritive, quali fosfati e nitrati ed altre sostanze organiche o minerali dovute a scarichi urbani

o industriali ed a fertilizzanti usati in eccesso in agricoltura. Si ha un aumento della produzione primaria rappresentata da alghe, generalmente cianofeece, che hanno un optimum di temperatura intorno ai 37°C. (fig. 4).

In un sistema acquatico esse rappresentano l'alimento meno pregiato per i consumatori primari e causano inoltre sensibili alterazioni alle caratteristiche organolettiche dell'ambiente acquo nel periodo estivo.

La richiesta di O₂ aumenta mentre la concentrazione dello stesso diminuisce considerevolmente negli strati più profondi; ciò favorisce la presenza di batteri decompositori anaerobi che producono acido solfidrico, metano, composti ammoniacali dando luogo a fenomeni di putrefazione.

Le caratteristiche chimiche e organolettiche dell'acqua e dei sedimenti cambiano in modo radicale, il numero delle specie presenti diminuisce e, come conseguenza, si può verificare la morte biologica dell'ambiente interessato allo scarico.

Un aumento di temperatura non è sempre direttamente responsabile dei danni apportati all'ambiente: una sua azione sinergica con altri tipi di inquinamento chimico o biologico può potenziarne gli effetti al punto da compromettere la potenzialità di autoregolazione di un ambiente.

Densità delle specie

La maggior parte degli organismi acquatici sopporta variazioni di temperatura solo entro limiti molto ristretti. Lo scarico dell'acqua calda può creare una barriera termica in grado di bloccare la migrazione di molte specie di pesci; inoltre l'aumento di temperatura può uccidere batteri ed altri microorganismi portando ad una graduale trasformazione dell'ambiente con l'esclusione delle specie meno tolleranti.

Come risultato si ha una diminuzione del numero delle specie presenti ed un aumento della densità degli individui sopravvissuti.

Può così venire a perdersi una delle caratteristiche essenziali un ecosistema naturale, riconoscibile in una complessa rete di rapporti di coesistenza, competizione, predazione, parassitismo ecc. fra le specie vegetali ed animali e che costituisce il presupposto che garantisce la conservazione del suo equilibrio dinamico.

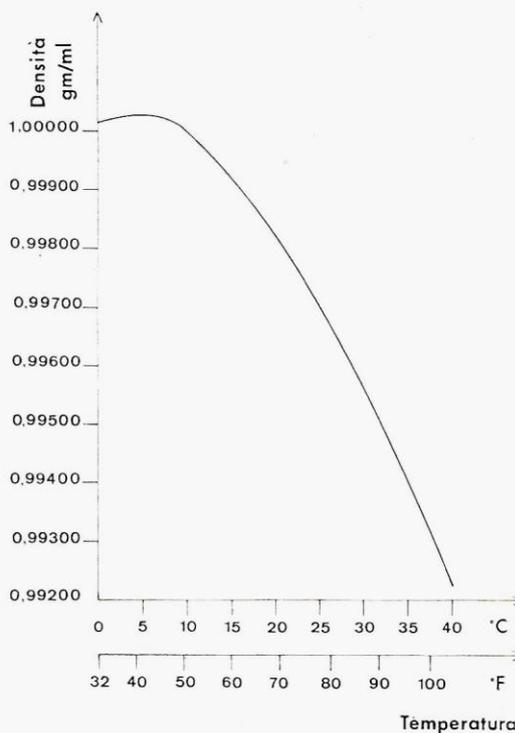
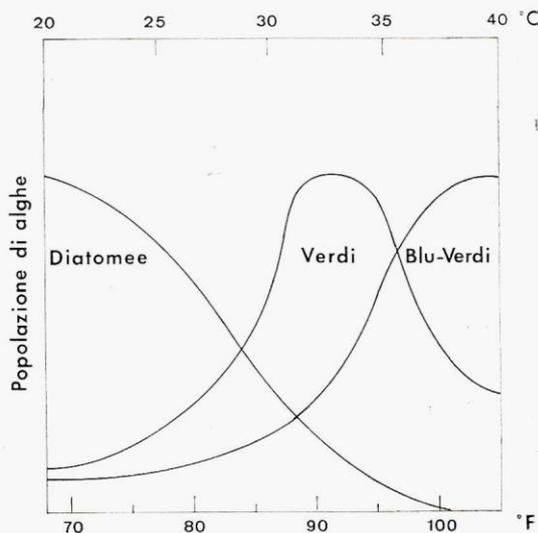


Fig. 3 - Variazione della densità dell'acqua con la temperatura.

Fig. 4 - Effetto della temperatura su alcuni tipi di fitoplancton.



Utilizzo del calore residuo

Il residuo termico scaricato da centrali nei corpi d'acqua può trovare utili applicazioni quali: riscaldamento e condizionamento di ambienti, irrigazione di terreni agricoli, vivai ittici, riscaldamento di serre, impianti di dissalazione.

Anche se il residuo termico scaricato da una centrale elettrica in genere e nucleare in particolare è piuttosto cospicuo, la temperatura dell'acqua di raffreddamento all'uscita dal condensatore non supera in genere i 32°C. circa.

Un interessante impiego del residuo termico interessa la sua utilizzazione in centri residenziali di nuova realizzazione per riscaldare l'aria d'inverno e raffreddarla nei mesi più caldi (in Islanda da 40 anni si utilizzano acque calde geotermiche per il riscaldamento. In Scozia un reattore fornisce ad un tempo energia elettrica ad energia termica utilizzata per il riscaldamento).

L'impiego del residuo termico in agricoltura estenderebbe la durata utile dei mesi destinati alla coltivazione. L'applicazione di questi metodi presuppone una analisi della capacità di assuefazione dei terreni, della resistenza al calore della flora nonché dei parassiti (nell'Oregon 70 ettari di terreno vengono irrigati con acqua a 40°C usando l'accorgimento di fare cadere l'acqua da 8-10 metri di altezza. Così, quando raggiunge il terreno l'acqua è ormai a temperatura ambientale ed è possibile combattere il gelo nei mesi più freddi mentre il raccolto non viene danneggiato in quelli più caldi).

L'acqua calda scaricata in vasche potrebbe servire alla produzione ittica (esistono esperienze di allevamenti di carpe in URSS; di pesci gatto nel Texas, di ostriche a Northport e di gamberetti a Biscagne, di aragoste nel Maine) o alla coltivazione di alghe (che centrifugate e seccate vengono usate come alimento dei pesci, pollame ed altri animali) o al riscaldamento delle serre.

Potrebbe essere inoltre conveniente associare una centrale elettrica ad un impianto di dissalazione utilizzando il vapore ad alta temperatura proveniente dalla turbina. Sono allo studio esperienze di applicazione in questo senso, ma mancano a tutt'oggi esempi di applicazione su scala industriale.

In conclusione possiamo constatare come si sia recentemente acquisita la consapevolezza che l'energia scaricata dalle centrali nucleari (e da quelle convenzionali) e dispersa nell'ambiente sotto forma di calore possa prevedere un utilizzo a fini produttivi.

Possiamo auspicare che la recente crisi nella disponibilità di energia stimoli i produttori di energia elettrica a superare una visione parziale e limitativa per quanto concerne l'utilizzo del calore prodotto dalle centrali. In questo modo si potrà arrivare a forme di utilizzo integrate, ottimizzando l'impiego delle risorse e riducendo sensibilmente l'alterazione dell'ambiente naturale.

Conversazione tenuta il 10 aprile 1975 nell'ambito del Corso di Ecologia della Facoltà di Scienze dell'Università di Bologna - Incaricato del Corso: dott. Carlo Ferrari - L'autrice è ricercatrice presso il C.N.E.N. della Casaccia (Roma).