

Un mare di energia

Il mare costituisce un grande serbatoio energetico, che accumula e mantiene il calore irradiato dal sole e che può, e deve, essere sfruttato attraverso l'uso di pompe di calore oceanotermiche

Piergiulio Avanzini

Il mare è una fonte energetica che abbiamo disponibile e a portata di mano. L'Italia è immersa nel mare, con 7.000 km di coste. Una riserva energetica enorme, a temperatura più favorevole rispetto a quella dell'aria ed oltre il 20% dell'urbanizzazione localizzata a meno di 500 metri dalla linea di battigia. Malgrado ciò, spendiamo circa il 30% dei consumi complessivi di combustibile fossile, gas naturale ed olio combustibile, per riscaldare le nostre case in inverno, anche quelle vicine a questo serbatoio di ricchezza. Dissipiamo così una grande quantità di risorse chimiche pregiatissime, e purtroppo limitate, che la natura ha pazientemente accumulato attraverso migliaia di millenni, capaci di produrre energia ad alta temperatura, con una potenzialità intrinseca molto elevata di trasformarsi in lavoro utilizzabile (exergia). Per riscaldare gli ambienti basta raggiungere i 20 °C e l'uso, a questo fine, di una sorgente a combustione

che ne può produrre 1.500 o 2.000, cioè quelli che sono necessari per la propulsione di un aereo, di un'automobile, o per compiere processi complessi di produzione industriale, fornisce un'idea di quanto enorme sia lo spreco.

E non solo la sorgente è abbondante e disponibile, ma anche la tecnologia richiesta per il suo utilizzo è sviluppata e consolidata e oltretutto è anche a basso costo, sia energetico che economico.

Tuttavia la sua applicazione non decolla e ciò, assurdamente, per una serie di motivi che non sono neppure economici, ma spesso legati ad una consuetudine progettuale o, ancora peggio, a scarsa cultura tecnica dei progettisti o al timore, infondato, degli utenti di mettersi in casa un sistema ritenuto innovativo e, quindi, poco affidabile.

Ma veniamo alla nostra sorgente energetica.

Il mare è, da sempre, conosciuto come un elemento di mitigazione climatica.



L'abbazia dei benedettini, sede della fondazione Mediterraneo ove è localizzato l'impianto dimostrativo oceanotermico CLIMARE

L'ambiente costiero è caratterizzato da stagioni temperate e ciò è dovuto al fatto che esso accumula energia solare e la rilascia lentamente, in virtù della sua enorme capacità termica, cosicché quando i rigori dell'inverno farebbero precipitare la temperatura dell'aria a livelli bassissimi, il mare restituisce gradatamente il calore accumulato, addolcendo il clima locale, a beneficio di chi vive, o frequenta, la prossimità delle coste. L'inverso avviene d'estate, quando la temperatura dell'aria viene attemperata per effetto dell'assorbimento termico che la superficie dell'acqua esercita. Naturalmente le condizioni e l'intensità dell'effetto sono diverse a seconda della posizione geografica: a certe latitudini l'irraggiamento solare è minimo ed il mare addirittura ghiaccia, ma alle nostre latitudini la situazione è molto gratificante.

Per avere un'idea della nostra fortuna immergiamoci, ora, nel Mediterraneo, che è il nostro mare domestico, per vedere con quali meccanismi energetici questo macrosistema funziona. Ci posizioneremo, come riferimento, in un punto della costa di fronte al Tirreno centrale. Le condizioni meteo-marine di questa zona di mare sono rappresentative di tutte le coste italiane.

Il Mediterraneo è un mare caldo rispetto agli altri mari del mondo che si situano alle stesse latitudini. È un mare mediamente profondo ed è percorso da grandi correnti quasi costanti che ne omogeneizzano la temperatura mantenendo gran parte della massa attorno ai 13 °C. Soltanto uno strato di circa trenta metri di profondità è interessato da variazioni stagionali di temperatura; in estate questo strato si riscalda e in inverno si raffredda senza scendere mai molto al di



La forza del mare, Tenerife, Canary Islands (Spagna). [cortesia ISES - © WWF-Canon/Anton Vorauer]

sotto della temperatura di massa. Infatti, quando la superficie perde calore l'acqua fredda più densa scivola in profondità facendo affiorare dal profondo acqua più tiepida alla temperatura di massa. Nel punto in cui ci troviamo in questo momento la temperatura dello strato sensibile, nella prima decade di febbraio, si avvicina alla temperatura delle acque profonde attestandosi poco sopra ai 14 °C. In questo periodo, da ogni metro quadrato di superficie sfugge un flusso di calore di circa 100 watt e l'energia media che vi entra, per effetto dell'irraggiamento solare, è circa la stessa. Da ora in avanti, fino circa alla fine di agosto, l'energia che viene irraggiata dal sole supera, come valore medio, quella dissipata. I trenta metri d'acqua sotto di noi cominciano a scaldarsi, in maniera non uniforme, l'energia assorbita è maggiore in prossimità della superficie, ma il rimescolamento prodotto dal moto ondoso superficiale ed il gioco delle correnti portano ad omogeneizzare il tutto. A metà agosto la superficie raggiungerà la temperatura di 26 °C ed il valore medio dello strato di trenta metri sotto di noi sarà passato da 13 a circa 19-20 °C. Il volume d'acqua avente la superficie di un metro quadrato e una profondità di trenta metri avrà accumulato circa 750.000.000 di joule o, in unità che forse sono più comprensibili, 210 kilowattora. Sembrano pochi ma non lo sono affatto.

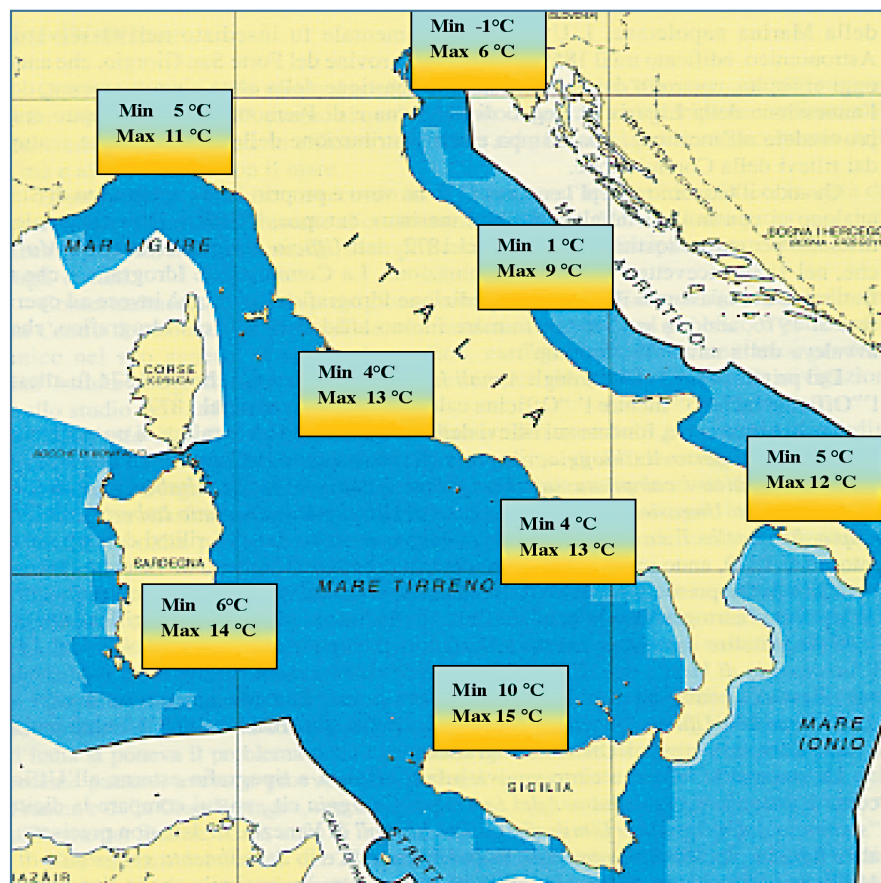
In questo momento stiamo galleggiando al centro di un chilometro quadrato di mare, la cui temperatura dello strato superficiale è omogenea. Si affaccia davanti a noi un chilometro di costa lungo il quale è adagiata una cittadina di medie dimensioni. Nei duecento metri di fascia compresi tra la linea di costa e l'entroterra più interno sono insediate abitazioni e strutture edilizie per circa 1.000.000 di m³ in quanto la zona è abbastanza intensamente edificata. Durante la stagione invernale, per riscaldare queste strutture occorreranno 18.000.000 di kWh termici e si consumeranno, tenuto conto dei rendimenti non eccelsi delle piccole caldaie da riscaldamento che ciascun edificio utilizza, 2.250.000 m³ di metano, rilasciando nell'atmosfera circa 6.200 tonnellate di anidride carbonica (oltre un bel po' di metano incombusto che per

quanto riguarda l'effetto serra è terribilmente più pericoloso). Con la stessa quantità di combustibile, utilizzato al miglior livello di exergia, potremmo fare correre per un'ora 450.000 automobili di media taglia oppure attraversare l'Atlantico, sulla rotta Roma-New York, con un jumbo jet per più di 300 volte.

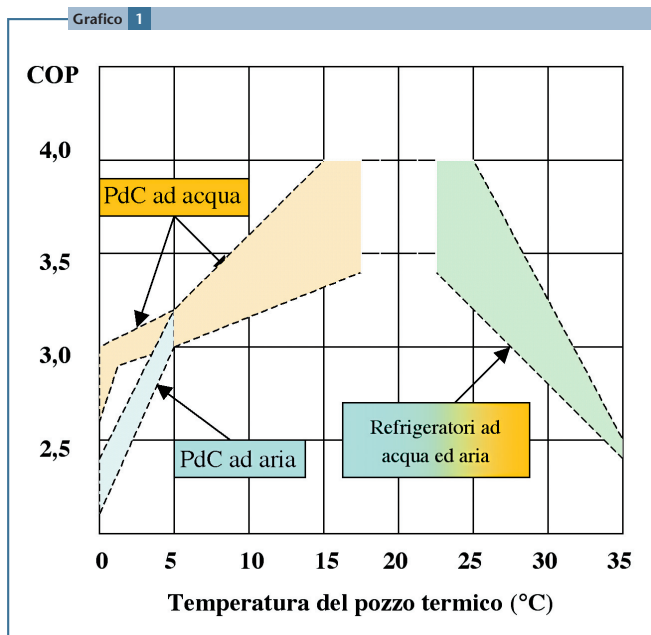
Il nostro chilometro quadrato di mare ha, durante l'estate, accumulato 210.000.000 di kWh termici, cioè più di 10 volte di quanto servirà a mantenere a 20 °C, quest'inverno, gli ambienti della cittadina. Il togliere 18.000.000 di kWh da questo volume non avrà alcun effetto sul clima locale perché correnti costanti mettono questo spazio di mare in cortocircuito termico con tutto il resto del Mediterraneo rendendo praticamente infinita, se riferita alla tipologia d'impiego, la disponibilità termica.

Sfortunatamente (ma non troppo, come vedremo) il nostro chilometro quadrato di mare, a partire da agosto e con l'approssimarsi della stagione fredda, comincerà a diminuire la propria tempera-

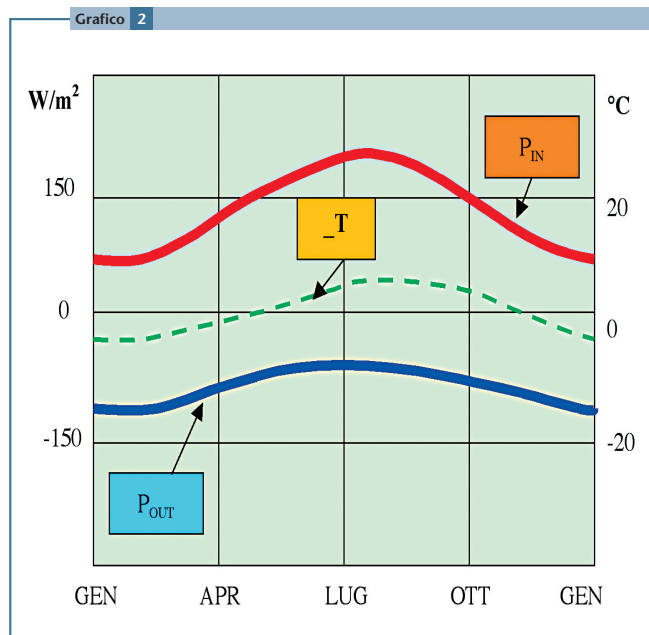
tura. A metà ottobre, periodo nel quale cominciano ad accendersi i riscaldamenti nelle case, la temperatura dell'acqua sarà 19 °C, a metà novembre 17, a metà dicembre 16, a metà gennaio 15, a metà febbraio 14 e poi comincerà a risalire: 15 a metà marzo, 17 a metà aprile. La temperatura dell'aria, nella cittadina di fronte a noi, nello stesso periodo invernale oscillerà nell'arco della giornata passando da minime notturne medie di 10 °C a massime di 15 °C, ad inizio e fine stagione, ed oscillerà tra una minima media di 4 °C ed una massima di 12 °C nel periodo centrale dell'inverno. Nei sei mesi più freddi dell'anno la temperatura del mare si manterrà sempre superiore di diversi gradi (5-10) rispetto alla temperatura dell'aria. La cittadina, però, avrà bisogno di temperature, interne agli edifici, intorno a 20 °C cioè di poco superiori alla temperatura media di 16 °C dell'acqua di mare. Si pone, perciò, il problema di innalzare di qualche grado, con una spesa energetica limitata, le grandi quantità di calore disponibili.



Temperature medie mensili del mese di gennaio dell'aria e della superficie del mare in varie localizzazioni della costa italiana (Valori mediati nel quarantennio 1960-2000)



COP lordi dei moderni sistemi commerciali a pompa di calore a compressione in funzione della temperatura del pozzo termico



Potenze medie mensili in ingresso ed in uscita dalla superficie marina e variazioni di temperatura di superficie rispetto alla media (Tirreno centrale)

Le pompe di calore oceanotermiche

Qui viene in soccorso la tecnologia. Da oltre un secolo utilizziamo sistematicamente le macchine frigorifere. Queste macchine sono pompe di calore che trasferiscono energia termica da un ambiente a bassa temperatura ad un altro ambiente a più alta temperatura. Per fare ciò utilizzano energia meccanica o elettrica, quando si tratti di macchine a compressione, o direttamente energia termica, quando si tratti di macchine ad assorbimento. La particolarità di queste macchine, specialmente quelle più moderne, è che l'energia termica che viene trasportata risulta molto superiore all'energia spesa per il trasporto. I frigoriferi o i condizionatori d'aria, che utilizziamo normalmente, espletano questa funzione con prestazioni interessanti, in termini energetici. Reminiscenze scolastiche riportano alla mente che il rendimento termodinamico di queste macchine può essere maggiore di uno. Una macchina frigorifera può essere resa reversibile e divenire un riscaldatore in quanto la sua funzione tipica è quella di sottrarre calore da una sorgente (pozzo termico) più fredda dell'ambiente ed innalzarne la temperatura per riversarlo, infine, in un ambiente più caldo di de-

stinazione; la stessa macchina può, in stagioni diverse, essere utilizzata per raffreddare o riscaldare lo stesso ambiente, semplicemente invertendo il funzionamento. È quanto fanno i moderni climatizzatori che utilizzano, generalmente, l'aria esterna come pozzo termico dal quale estrarre o nel quale riversare energia, a seconda della configurazione impiantistica stagionale.

Una grandezza caratteristica delle pompe di calore è il Coefficiente di Prestazione (COP). Il COP è il rapporto tra l'energia termica trasportata e l'energia meccanica o elettrica spesa per il trasporto. Il COP dipende sensibilmente dalla temperatura del pozzo termico. Più essa è bassa e minore è il Coefficiente di Prestazione. Quando la temperatura del pozzo termico è troppo bassa la spesa di energia diviene importante mentre se questa è vicina a quella dell'ambiente da condizionare basta poca energia per trasportare grandi quantità di calore. Per farsi un'idea più precisa, i valori pratici di COP di una pompa di calore commerciale moderna di media taglia, a compressione, per temperature di pozzo attorno a 15 °C possono posizionarsi attorno a 4 mentre, se la temperatura è 5 °C, essi possono scendere fino a 2,5. Questa è la ragione per la quale, specialmente nei climi più freddi, non è

conveniente riscaldare gli ambienti con pompe di calore ad aria. In questi climi più rigidi, può risultare conveniente l'utilizzo di pompe di calore se si può attingere da pozzi termici che siano a temperature più alte di quelle dell'aria, per esempio, grandi bacini idrici o lo stesso terreno ad una certa profondità. Le pompe di calore che operano in questo modo sono dette geotermiche.

Bisogna anche tenere conto del fatto che per azionare la macchina, se questa è a compressione, si deve spendere energia elettrica il cui costo è da due a tre volte superiore a quello dell'energia termica da combustione (un kWh elettrico costa, ad una utenza domestica, 0,12-0,15 € mentre un kWh prodotto da gas naturale costa 0,04-0,05 €) per cui se il COP è inferiore a 3 la convenienza economica comincia ad andare in crisi. Se si guardasse solo alla convenienza ambientale essa sarebbe verificata anche con valori più bassi del Coefficiente di Prestazione.

Ma tornando ad interessarci della cittadina di fronte a noi, essa potrà beneficiare di un pozzo termico la cui temperatura media nella stagione invernale sarà di 16 °C. L'uso di pompe di calore a compressione, alimentate ad acqua di mare, che definiremo oceanotermiche, potrà garantire un COP medio superiore

o uguale a 4. Il risparmio economico, rispetto ad un sistema di riscaldamento convenzionale, sarà superiore al 40%. Molti abitanti faranno osservare che in queste considerazioni economiche non si tiene conto del costo di investimento, ma è da notare che la spesa per realizzare l'impianto può risultare addirittura inferiore a quella di un sistema convenzionale quando l'edificio debba essere dotato di un sistema di climatizzazione che preveda anche il raffrescamento estivo. In questo caso il refrigeratore, reso reversibile con una minima differenza di costo, fa fronte anche alla domanda di riscaldamento rendendo eliminabile la caldaia a combustione, i suoi accessori e le servitù legate alla sua sicurezza. Oltre a ciò è da mettere in evidenza che il sistema a pompa di calore oceanotermica comporterà anche un risparmio economico sul raffrescamento estivo perché si potrà beneficiare di un pozzo termico a temperatura inferiore rispetto a quella dell'aria e, quindi, di un COP migliore.

L'aspetto ambientale

Durante la stagione invernale la cittadina di fronte a noi, con pompe oceanotermiche aventi un Coefficiente di Prestazione uguale a 4, avrà consumato 4.500.000 kWh elettrici per produrre 18.000.000 kWh termici di riscaldamento ed avrà speso 585.000 €. Se avesse usato la combustione di gas naturale, tenendo conto di un rendimento medio di caldaia dell'80%, avrebbe bruciato 2.250.000 m³ di gas ed avrebbe speso 1.000.000 di €.

È interessante osservare che il clima particolarmente mite di questa cittadina rivierasca avrebbe reso conveniente, rispetto al sistema a combustione, anche l'uso di pompe di calore ad aria che, con una temperatura media invernale di 10 °C, avrebbero assicurato un COP attorno a 3 ed una spesa complessiva di circa 800.000 €, ancora inferiore del 20% circa rispetto a quella del gas naturale.

A conti fatti, l'energia che avremo im-



Impianto oceanotermico CLIMARE; un particolare della sala macchine

piegato per il riscaldamento degli ambienti della cittadina sarà costituita per il 75% da energia rinnovabile solare, immagazzinata in mare durante l'estate, e per il 25% da energia elettrica fornita dagli impianti di produzione della rete nazionale di distribuzione.

L'elettricità impiegata, tuttavia, sarà stata, in parte, prodotta da combustione di combustibili fossili, per cui, per valutarne l'economicità ambientale, occorre considerare un bilancio energetico più complessivo. La rete nazionale italiana è alimentata da elettricità da combustione per circa il 75% mentre il restante 25% è prodotto da fonti rinnovabili (idraulica, geotermica ed altre da importazione non originate da combustione). Tenuto conto del rendimento termodinamico di trasformazione e del rendimento di distribuzione della rete, per fornire 1 kWh elettrico il sistema italiano consuma 2,5 kWh termici di combustibile pari a 0,25 m³ di gas naturale (o equivalente).

Tornando al nostro esercizio precedente, per produrre e distribuire i 4.500.000 kWh elettrici necessari a riscaldare la cittadina la rete nazionale avrà bruciato 1.125.000 m³ di gas naturale, o di combustibile fossile equivalente, contro i 2.250.000 che ci sarebbero voluti per scaldarsi facendo funzionare le proprie caldaie locali. L'anidride carbonica rilasciata all'atmosfera sarà pari a 3.100 tonnellate, cioè la metà di quelle che sarebbero state riversate con il sistema tradizionale.

L'impianto dimostrativo CLIMARE di Sestri Levante

Con quanto appena detto, risulta difficile capire il motivo per cui questi sistemi non siano ampiamente diffusi lungo le coste italiane, specialmente quelle centro-settentrionali che, per le condizioni climatiche invernali, trarrebbero il maggior beneficio dall'applicazione di questa tecnologia. Le resistenze sono molteplici e tra queste bisogna ascrivere l'impreparazione dei progettisti, la mancata sensibilizzazione degli utenti potenziali e, in qual-

che caso, la presenza di normative che complicano il processo autorizzativo per il prelievo ed il rilascio dell'acqua. La tecnologia, come già detto, è disponibile e ben consolidata, anche se suscettibile, come ogni applicazione tecnica, di ulteriori miglioramenti ed innovazioni. Allo scopo di promuovere l'adozione di questi impianti si è costituito un consorzio di imprese, con capofila Enel, denominato CLIMARE che ha come obiettivo la dimostrazione dei vantaggi offerti dalla sorgente oceanotermica. Il consorzio si avvale della collaborazione/consulenza del CNR (Istituto per l'Energetica e le Interfasi) e del Dipartimento di Termotecnica e Condizionamento dell'Università di Genova. È stato realizzato a Sestri Levante un impianto da 250 kW di potenza che fornisce energia per riscaldamento e raffrescamento ad un edificio sede della Fondazione Mediterraneo, situato in riva al mare nella Baia del Silenzio. La realizzazione dell'impianto è avvenuta ad opera della società HTR Ricerche Industriali, partner del consorzio, ed è stata completata con un co-finanziamento della Regione Liguria. Esistono diverse realizzazioni oceanotermiche precedenti, in Italia, ma la specificità di questo impianto è che esso è adeguatamente strumentato per poterne monitorare in continuo le prestazioni ed il funzionamento. Il sistema viene, così, proposto agli utenti potenziali come dimostratore dell'affidabilità della tecnologia e, contemporaneamente, viene utilizzato dalle aziende del consorzio come

banco di prova per la messa a punto di accorgimenti destinati a migliorarne il funzionamento e le prestazioni. Una particolarità di carattere gestionale del dimostratore oceanotermico CLIMARE di Sestri Levante è che, allo scopo di garantire l'utente (in questo caso la Fondazione Mediterraneo) la società HTR, che lo ha realizzato, ne ha mantenuto la proprietà, ne assicura la gestione e manutenzione e fornisce un «servizio energia» alla Fondazione. La vendita di acqua calda e acqua refrigerata per la climatizzazione avviene

ad un prezzo inferiore di circa un terzo rispetto al prezzo di mercato corrispondente a forniture attuate con altre tecnologie. Malgrado un prezzo così basso il fornitore del servizio dichiara di conseguire un adeguato margine industriale.

Completato nel 2001, l'impianto oceanotermico dimostrativo CLIMARE è stato oggetto, nei periodi successivi, di numerosi miglioramenti basati sull'esperienza d'esercizio accumulata e su un'attenta revisione della progettazione originale. Da circa un anno esso è stabilizzato nella configurazione definitiva e consegue le prestazioni previste.

Le precedenti esperienze di sistemi ad acqua di mare realizzate in Italia, in quanto non monitorate, hanno fornito pochi riscontri sia delle difficoltà operative incontrate sia di eventuali errori di progettazione. Al contrario l'impianto CLIMARE rende disponibile ai potenziali utenti una grande quantità di risultati operativi ed ai propri progettisti una grande massa di informazioni che permettono di rendere affidabile la tecnologia, di migliorarla ove possibile e di aumentarne la competitività.

Alcune difficoltà legate a questo tipo di impianti, quali le metodologie di regolazione e controllo, la scelta di materiali, il problema del *biofouling* sui circuiti e componenti ad acqua di mare, l'ottimizzazione dei sistemi di presa a mare e l'ottimizzazione dei recuperi energetici, sono state affrontate sul campo ed accettabilmente risolte e sono tutt'ora oggetto

di ricerca e sviluppo. Allo stato attuale delle conoscenze, sulla base dell'esperienza fatta, affidabilità e prestazioni possono essere garantite, dalle società del Consorzio, a chi voglia dotarsi di questa tecnologia.

Le prospettive

Si può immaginare che a certe tipologie di utenza, quali edifici pubblici, edifici commerciali, industriali e strutture alberghiere, se situate in prossimità della costa, possa convenire dotarsi di impianti oceanotermici per la loro climatizzazione. L'adozione di questi sistemi risulta particolarmente conveniente quando si debbano realizzare strutture *ex-novo* o si debbano affrontare ristrutturazioni importanti. Si calcola che in prossimità dei 7.000 km di coste italiane siano insediati circa 3.000.000.000 m³ di edifici economicamente raggiungibili dall'acqua di mare. Se soltanto l'1% di questi volumi adottasse il sistema proposto si potrebbero risparmiare ogni anno oltre 330 milioni di kWh termici corrispondenti ad un minore rilascio di 93.000 tonnellate/anno di CO₂ che è un contributo piccolo ma importante a fare fronte degli impegni assunti con il Protocollo di Kyoto.

Per una migliore penetrazione di questa tecnologia, oltre alla semplificazione delle procedure amministrative, si può pensare di facilitare al massimo l'accesso dell'utenza privata alla sorgente ter-

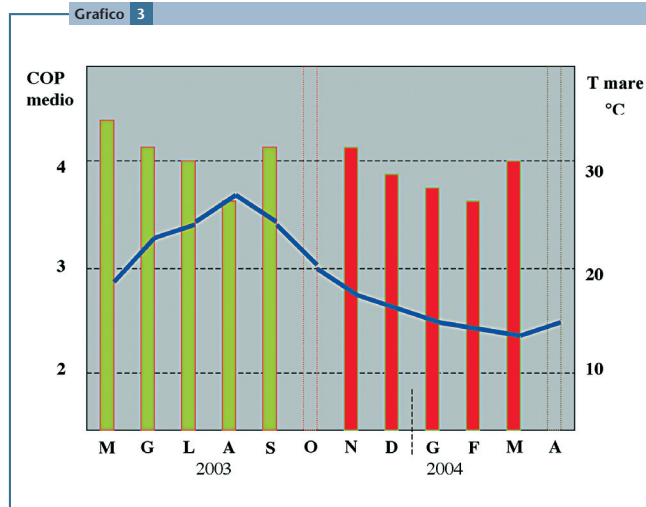
mica marina realizzando, in un futuro prossimo, infrastrutture (ad esempio acquedotti ad acqua di mare) che permettano il collegamento del pozzo termico con localizzazioni anche non vicinissime alla riva, specialmente nei siti densamente popolati come le città costiere.

Elemento chiave per il successo di una politica di promozione dell'utilizzo indiretto dell'energia solare attraverso il recupero termico del calore del mare (o di bacini idrici o del terreno) per la climatizzazione degli edifici, attraverso l'uso di pompe di calore geotermiche, è l'informazione diffusa dell'utenza potenziale e la forma-

zione dei progettisti. Questo è uno degli obiettivi principali che si pone il consorzio CLIMARE anche attraverso la dimostrazione sul campo dei risultati conseguiti dall'impianto di Sestri Levante.

Per concludere si deve osservare che, anche dove non sia disponibile la sorgente oceanotermica, la tecnologia delle pompe di calore geotermiche, alimentate ad acqua, che utilizzino come pozzo termico bacini idrici in generale o la falda acquifera, può risultare di grande beneficio. La pianura Padana, per esempio, dispone di una falda uniformemente estesa, a temperatura costante attorno a circa 15 °C e situata a bassa profondità. Nella zona attorno a Milano, in particolare modo, questa profondità, a causa del diminuito «spillamento» conseguente alla progressiva dismissione dell'industria pesante, comincia a creare problemi all'edilizia, per il suo livello eccessivamente prossimo alla superficie del terreno. Attualmente, difficoltà burocratiche, di tipo normativo ed autorizzativo, rendono difficile l'impiego massiccio di questa tecnologia che, per contro, promette di fornire gli stessi vantaggi quantitativi ecologici, economici ed energetici che si sono messi in evidenza ragionando sul mare e può contribuire, in aggiunta, a tenere sotto controllo il livello di falda con auspicati vantaggi geologici.

Piergiulio Avanzini
Istituto per l'Energetica e
le Interfasi (IENI) - CNR, Genova



Prestazioni fornite (COP netto - temperatura del mare) dall'impianto oceanotermico CLIMARE di Sestri Levante nel periodo: maggio 2003 - marzo 2004