



**Simone Rasia**  
 Responsabile del settore tecnico di  
 Professione Acqua  
 rasia@professioneacqua.it

# L'evaporazione dell'acqua in piscina

Il fenomeno dell'evaporazione rappresenta la aliquota più consistente del fabbisogno termico di una piscina, che sia coperta o scoperta



ph Clem Onofjehuo da Unsplash

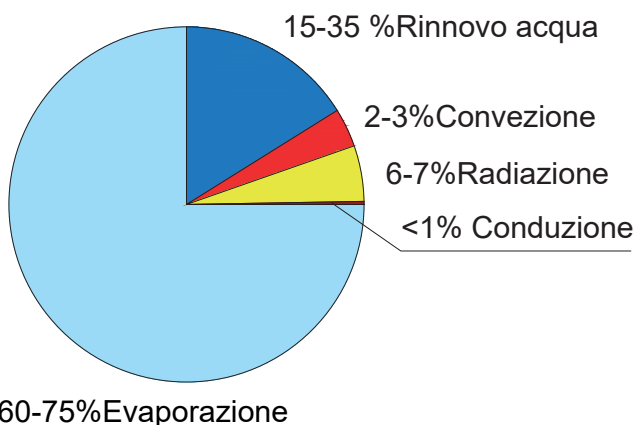
Numerosi autori stimano l'incidenza delle dispersioni per via evaporativa pari a una quota compresa tra il 60 e il 75% del totale complessivo di energia termica riferito alla vasca natatoria. La variabilità di questa stima risente chiaramente della eterogenea serie di condizioni di installazione possibili ma mette inequivocabilmente in risalto la preponderanza di questo fenomeno e il suo indubbio peso sui costi di gestione.

I criteri di stima quantitativa della portata di evaporazione di una massa d'acqua costituiscono un argomento tuttora dibattuto in ambito accademico e rappresentano un problema di non semplice soluzione teorica. Il fenomeno dell'evaporazione in uno specchio d'acqua come quello di una piscina dipende da numerosi fattori tra i quali, stando alle principali formule proposte in letteratura, possiamo citare:

- temperatura dell'acqua
- temperatura dell'aria
- umidità relativa dell'aria
- velocità dell'aria
- condizioni di moto dell'acqua (legata al più o meno intenso utilizzo della piscina)
- dimensioni della superficie del pelo libero del bacino

Molti di questi fattori non sono stabili nel tempo e possono essere influenzati da altre condizioni esterne: si pensi ad esempio alla temperatura dell'acqua che può variare non solo per effetto dello stesso fenomeno di evaporazione ma anche in seguito ad apporti di calore esterni, da un generatore o dalla radiazione solare, o a dispersioni termiche per conduzione attraverso il fondo e le pareti della piscina, per convezione naturale o forzata o come trasmissione di calore radiante verso il cielo, così come non possono essere trascurate le perturbazioni di temperatura provocate dall'immissione di acqua di reintegro/rinnovo.

Per fare chiarezza tenderemo qui, in estrema sintesi, di considerare il fenomeno dell'evaporazione come isolato, in condizioni stazionarie, assumendo come stabili e costanti le variabili in gioco e proveremo in seguito a descrivere, facendo ricorso alla letteratura tecnica, le applicazioni al caso reale.

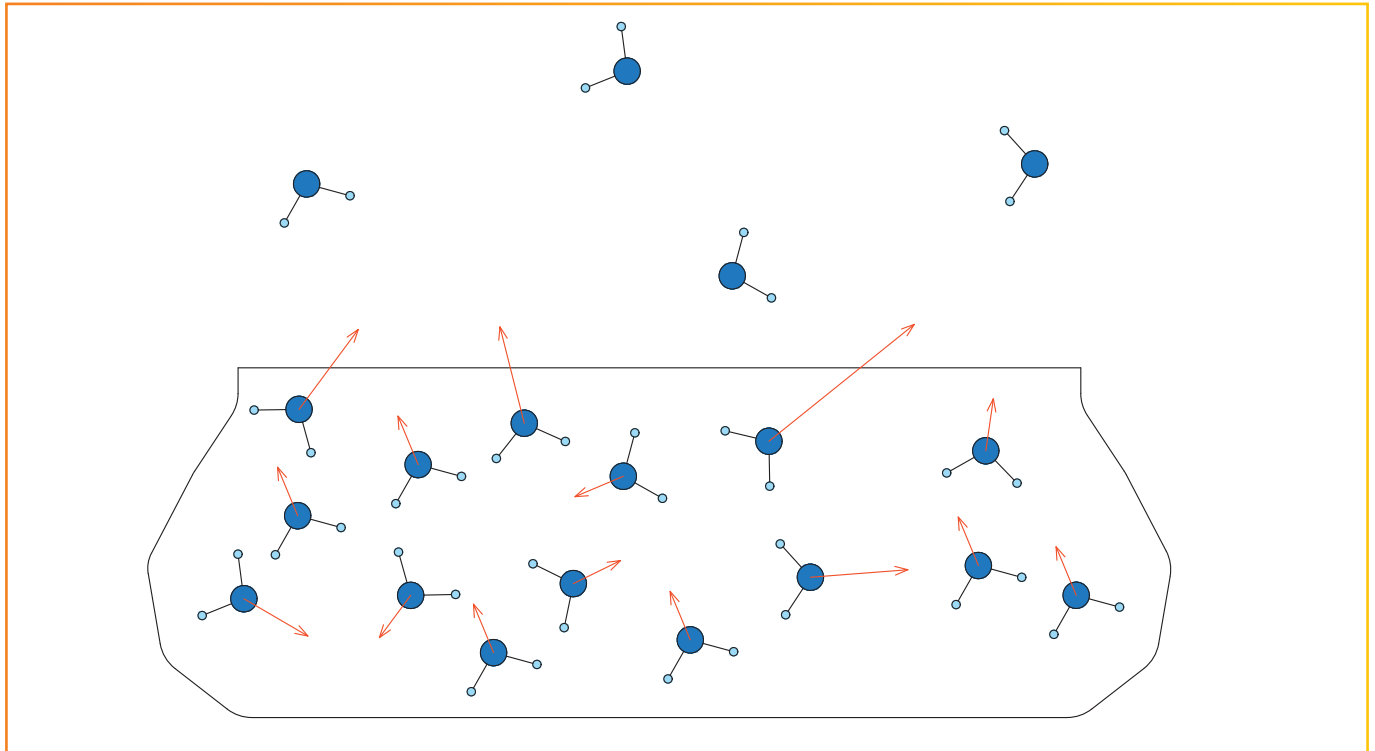


# Trusted Performance

Raccordi e valvole in PVC-U prodotti in modo  
sostenibile per applicazioni per piscine



[www.gfps.com/swimming-pool](http://www.gfps.com/swimming-pool)

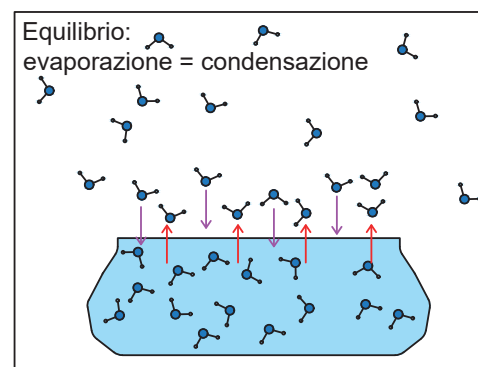
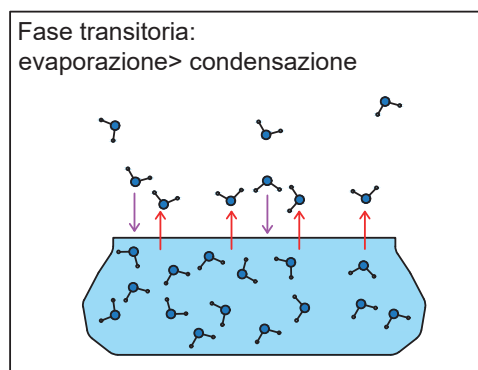
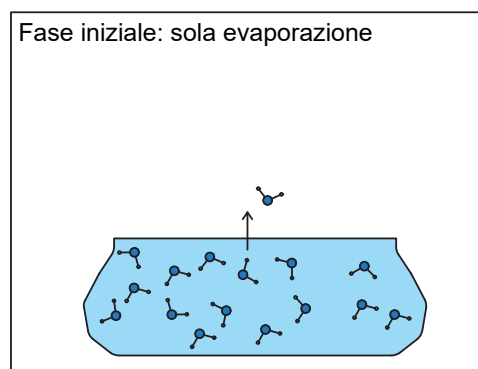


Per comprendere i meccanismi dell'evaporazione occorre pensare che a livello microscopico le molecole all'interno di un liquido si muovono con una gamma di velocità casualmente distribuita e mediamente correlata alla temperatura: più il liquido è caldo più le molecole si muovono velocemente.

L'evaporazione avviene quando le molecole dotate di maggiore velocità che si muovono casualmente vicino alla superficie del liquido hanno abbastanza energia cinetica per migrare verso l'atmosfera. In seguito a questa fuga, detta passaggio di stato, l'energia media del liquido è ridotta (quelle che restano in fase liquida sono infatti le molecole con minore velocità) e questo ci aiuta a comprendere come l'acqua venga raffreddata dal passaggio di stato. Il processo è quindi endotermico. L'entità del "raffreddamento evaporativo" è assai elevata: nel passaggio di stato da liquido a vapore infatti ogni kg di acqua evaporata a 30°C sottrae dalla massa d'acqua una energia pari a circa 2430 kJ (581 kcal) ossia 580 volte l'energia richiesta per aumentare di 1°C la stessa quantità d'acqua. Ricordiamo che 1 kcal corrisponde a 4,186 kJ.

D'altro canto il movimento dell'aria al di sopra della superficie del liquido "porta via" il vapore acqueo costituito dalle molecole appena "scappate" dalla fase liquida: questo movimento "asciuga l'aria" al di sopra della superficie e consente la fuoriuscita di altre molecole d'acqua. Pertanto l'aumento della velocità dell'aria sopra al bacino aumenta il tasso di evaporazione del liquido.

Anche il grado di occupazione dell'aria da parte di molecole di acqua già evaporate (umidità relativa) influisce sulla evaporazione di altre molecole: in poche parole l'aria circostante non si può riempire di vapore oltre un certo limite al di là del quale (pressione di vapore saturo) le molecole di vapore collidono con la superficie e tornano allo stato liquido in numero uguale a quelle che lasciano lo stato liquido per trasformarsi in vapore (equilibrio dinamico).



1

1

P di vapore saturo

# www.professionistiacqua.it

il sito per i professionisti della piscina



Leggi nazionali e regionali



Approfondimenti tecnici



Software e Web App



Disegni tecnici



Moduli e documenti

## Tutti i servizi di cui hai bisogno, in un clic

Dimensiona in un attimo filtri, tubazioni, vasca di compenso. Scarica i disegni degli impianti in pdf e in dwg. Utilizza i moduli preparati per le dichiarazioni di fine lavori.

Tutto quanto ti serve per dimensionare, verificare e certificare il tuo lavoro lo trovi qui! In più, articoli utili ed approfondimenti tecnici.

Il sito dei Professionisti della piscina è al tuo fianco, per fare la differenza. Un Professionista si distingue sempre.

Per info [info@professioneacqua.it](mailto:info@professioneacqua.it) oppure 0376854931

Dalle considerazioni fatte precedentemente possiamo comprendere come il fenomeno della evaporazione potrà essere descritto matematicamente nella forma:

$$W = \epsilon \cdot A \cdot (p_v - p_a)$$

Ove:

- $\epsilon$  è il coefficiente di evaporazione, dipendente dalla velocità dell'aria, dal moto dell'acqua nella vasca, e dai complessi fenomeni di scambio di materia tra il liquido, lo strato di aria in condizioni di vapore saturo sul pelo libero e l'aria ambiente.
- $A$  è la superficie della vasca
- $(p_v - p_a)$  è la differenza tra la pressione di vapore saturo alla temperatura dell'acqua  $p_v$  e la pressione parziale di vapore nell'ambiente, equivalente alla pressione di saturazione del vapore alla temperatura di rugiada dell'aria ambiente. In alcune formule questa differenza è sostituita dalla differenza tra le umidità specifiche dell'aria saturo a  $T$  vasca ( $X''$ ) e l'umidità specifica dell'aria ambiente ( $X'$ ) data la relazione diretta che lega la pressione di saturazione e l'umidità specifica.

Nel tempo numerosi autori hanno cercato di esprimere metodi di calcolo per il coefficiente  $\epsilon$  che potesse fornire risultati in linea con le osservazioni empiriche (Carrier; Smith; Shah; VDI 2089) (4) (5) (6). In particolare le formule proposte nello standard VDI 2089 risultano molto accurate e di raccomandabile applicazione nell'ambito delle piscine coperte.

Nei calcoli esemplificativi seguenti, che fanno riferimento al caso di una vasca scoperta, si è adottata la relazione:

$$W = (25 + 19v) \cdot A \cdot (X'' - X')$$

derivata dalla equazione attribuita a Sprenger. Ove:

$W$  = quantità di acqua evaporata [kg/h]

$v$  = velocità dell'aria (m/s)

$X''$  = Umidità specifica dell'aria saturo alla temperatura della superficie dell'acqua [kg/kg aria secca]

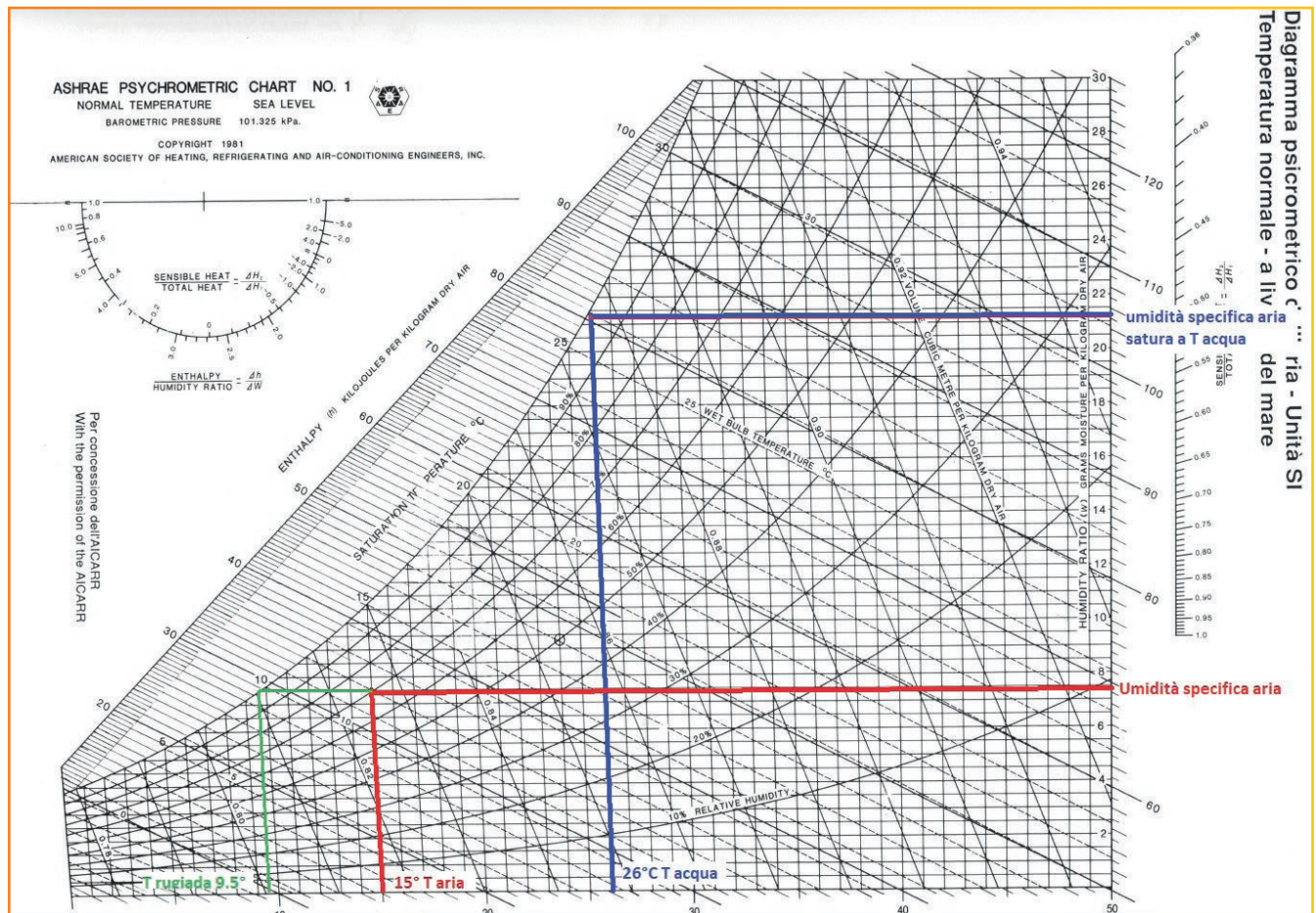
$X'$  = umidità specifica aria ambiente [kg/kg aria secca]

$A$  = superficie del bacino in [m<sup>2</sup>]

Questa equazione è valida per condizioni di medio utilizzo, può essere ridotta o incrementata con opportuni coefficienti per le situazioni di vasca non occupata o per periodi di attività intensa.

I dati  $X''$  e  $X'$  possono essere desunti con equazioni o con l'uso del diagramma psicrometrico nel modo riportato nella figura. Es. Condizioni:  $T$  aria 15°C, Umidità relativa 70%,  $T$  acqua 26°C

Altri dati: Superficie della vasca 50 m<sup>2</sup>; velocità media del vento 1 m/s



Condizioni ARIA		
T acqua	[°C]	<b>26</b>
Tar Temperatura	[°C]	<b>15</b>
UR Umidità relativa	[%]	<b>70</b>
Altitudine	[m]	<b>0</b>
Velocità	[m/s]	<b>1</b>
Temperatura	[K]	288,2
Pressione atmosferica	[Pa]	101325,0
Pressione di saturazione del vapore a T aria	[Pa]	1703,1
Rapporto di miscelazione	[g/kg]	10,63
Umidità specifica dell'aria a condizioni ambientali	[g /Kg] vap.-aria secca	7,44
$\alpha(T,UR)$ (Rel Magnus Tetens)	Operatore Magnus Tetens	0,6685
Temperatura di rugiada	[°C]	9,57
Pressione parziale del vapore nelle condizioni ambientali	[Pa]	1192,2
Pressione di saturazione del vapore alla temperatura dell'acqua	[Pa]	3353,7
Umidità specifica dell'aria satura alla superficie dell'acqua	[g/kg]	21,29

Calcolo della portata di vapore e potenza termica per compensazione			
Umidità specifica dell'aria satura alla superficie dell'acqua	$x''$	0,021	<i>kg/kg</i>
Umidità specifica dell'aria esterna	$x'$	0,01	<i>kg/kg</i>
Calore latente di vaporizzazione	$r$ (a T acqua)	678,23	<i>Wh</i>
Superficie	$A$	50	<i>m<sup>2</sup></i>
$W_u$ portata di evaporazione unitaria	$(25+19v)(x''-x')$	0,61	<i>kg m<sup>2</sup>/h</i>
$W_t$ Portata di evaporazione complessiva	$W_t=W_u*A$	30,47	<i>kg/h</i>
$Q_{ev}$ UNIT dispersioni evaporative unitarie	$Q_{ev} \text{ UNIT}=W_u*r$	0,41	<i>kW</i>
$Q_{ev}$ TOT dispersioni evaporative totali	$Q_{ev}=W_t*r$	20,66	<i>kW</i>

Nelle condizioni dell'ipotesi, con parametri ambientali di temperatura, vento, umidità costanti, temperatura d'acqua costante e assenza di fenomeni interferenti (ad esempio apporti per irraggiamento solare, dispersioni per conduzione, apporti di acqua di reintegro) possiamo aspettarci che ogni ora la piscina subisca una evaporazione di circa 610 g di acqua per m<sup>2</sup>, per un totale di circa 0,7 mc nelle 24 h (per una superficie considerata di 50 m<sup>2</sup>). Per bilanciare il raffreddamento evaporativo e quindi per mantenere la T costante dovremmo somministrare una potenza pari a circa 21 kW; in caso non sia presente un apporto termico da parte dell'impianto si può stimare la perdita di temperatura attesa nelle 24 h come:

$$\Delta T = Pe \cdot t / m \cdot c$$

con Pe [kW] potenza di dispersione evaporativa, t intervallo di tempo [s], m massa d'acqua contenuta nel bacino [kg] e c calore specifico dell'acqua [kJ/kg °C]

che nel caso in esame diventa, ipotizzando un volume di 70 mc per la vasca:

$$21 \cdot 24 \cdot 3600 / 70000 \cdot 4,186 \approx 6,0 \text{ °C}$$

Naturalmente condizioni così stabili delle variabili non sono riscontrabili nella realtà dei casi e l'esempio può quindi fornire solamente una stima della grandezza delle quantità realmente evaporate. Un calcolo più accurato richiederebbe la applicazione della relazione ad intervalli di tempo brevi, considerando il variare dei parametri ambientali nel corso della giornata e la dinamica e reciproca influenza tra le variabili.

Alcuni studi (1), (6) hanno elaborato algoritmi verificati sperimentalmente su vasche esistenti per la quantificazione del fenomeno evaporativo nelle mutevoli condizioni ambientali con risultati che hanno dimostrato la grande dipendenza dalle variabili esterne, particolarmente mutevoli per le piscine scoperte.

Lo specchio seguente riporta il calcolo dell'evaporazione Wu [kg/h] e il relativo carico termico Peu [kW] riferiti al metro quadrato di superficie, per una piscina scoperta con utilizzo medio, vento ipotizzato costante a 1 m/s e a 2m/s, temperatura dell'acqua di 26°C a varie condizioni termo igrometriche dell'aria circostante.

Portata di evaporazione e potenza dispersa a varie condizioni ambientali per m <sup>2</sup> di superficie					
Temperatura aria °C	Umidità relativa %	Temperatura acqua °C	Velocità del vento m/s	Acqua evaporata Wu kg/h·m <sup>2</sup>	Potenza dispersa Peu kW/m <sup>2</sup>
15	70	26	1	0,61	0,41
15	70	26	2	0,87	0,50
20	70	26	1	0,48	0,33
20	70	26	2	0,69	0,47
26	40	26	1	0,56	0,38
26	40	26	2	0,80	0,55
26	60	26	1	0,37	0,25
26	60	26	2	0,54	0,36
26	80	26	1	0,19	0,13
26	80	26	2	0,27	0,18
28	60	26	1	0,30	0,20
28	60	26	2	0,43	0,29
30	60	26	1	0,22	0,15
30	60	26	2	0,32	0,21



ph Benni Asal da Unsplash

Come è possibile notare, a parità di umidità relativa e temperatura dell'acqua, all'aumentare della temperatura ambiente la portata evaporativa si riduce. All'aumentare del vento, a parità di altre condizioni, la evaporazione aumenta, mentre diminuisce al crescere dell'umidità relativa.

Da queste osservazioni si possono trarre alcune conclusioni.

Laddove sia possibile, come nelle piscine coperte dotate di impianto di climatizzazione, una strategia per ridurre i consumi è quella di mantenere l'aria dell'ambiente piscina ad una temperatura non inferiore alla temperatura dell'acqua (+2°C consigliato). E' ipotizzabile inoltre di prevedere un set point nei momenti di non occupazione della piscina che, oltre a ridurre le portate di ricircolo, consenta un incremento dell'umidità relativa, al fine di mitigare le dispersioni evaporative. Il tasso di umidità deve in ogni caso essere attentamente stabilito con la verifica di Glaser per scongiurare fenomeni di condensa sulle vetrate e sulle pareti fredde sia a livello superficiale che interno. Va naturalmente ricordato che l'impiego di unità di trattamento aria ad alta efficienza, capaci di recuperare efficacemente il calore latente legato alla presenza del vapore nell'aria espulsa all'esterno, è fondamentale per una gestione sostenibile della struttura.

E' importante considerare, sia per le piscine coperte che per quelle scoperte, che l'impiego di coperture consente di ridurre quasi totalmente le dispersioni evaporative nelle fasi di non utilizzo della piscina, con benefici legati anche alla riduzione di consumi di prodotti chimici e alle necessità di pulizia, e in caso di coperture "isotermiche" consente anche la riduzione della componente convettiva delle dispersioni. Secondo alcuni autori (2) il fabbisogno termico stagionale per il riscaldamento di una piscina scoperta privata con impiego della copertura per 23 ore al giorno risulta prossimo al 20-25% del fabbisogno che si avrebbe in assenza di copertura, con ovvi

benefici per i costi di riscaldamento e con il vantaggioso prolungamento del periodo di fruizione della vasca.

Le considerazioni qui fatte meriterebbero una più ampia discussione collegata anche al tema delle scelte architettoniche di costruzione dell'involucro o del contorno dell'area di insediamento della piscina e dovrebbero indurre una seria riflessione sulle priorità da seguire nelle fasi di progettazione in un momento storico nel quale risulta fondamentale il contenimento della spesa energetica. ■

#### Bibliografia

- (1) A. Muraca, F. Laini : "Il bilancio termico di una piscina: criticità e possibili rimedi" La Termotecnica Ottobre 2013
- (2) C. Saunus : "Swimming pools planning construction operation" K. Verlag 2008
- (3) F. Zuccari, A. Santangeli, F. Orecchini : "Energy analysis of swimming pools for sports activities: cost effective solutions for efficiency improvement" 72nd Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association 2017
- (4) M.M. Shah: "Methods for Calculation of Evaporation from Swimming Pools and Other Water Surfaces" in ASHRAE Transactions, Volume 120, Part 2.
- (5) AA.VV.: "Building services in swimming baths" Verein Deutscher Ingenieure (VDI) 2089
- (6) J. Woolley , C. Harrington, M. Modera: "Swimming pools as heat sinks for air conditioners: Model design and experimental validation for natural thermal behavior of the pool" Building and Environment, 2010
- (7) A. Cavallin - La climatizzazione delle piscine coperte - Incontri AERMEC -1991