

## CONCLUSIONI

---

Con la ratifica da parte dell'UNI dello standard europeo EN 12975-1,2, sostanziali novità sono state introdotte in relazione alla conduzione dei test finalizzati alla determinazione sperimentale della curva caratteristica dei collettori solari piani a liquido.

La nuova norma comprende due metodi alternativi per la determinazione della resa termica dei collettori solari: un test in condizioni stazionarie conforme agli standard ISO 9806-1 e ASHRAE 93-2003, ed un test in condizioni “quasi dinamiche”, denominato QDT (Quasi Dynamic Test), che permette di operare con condizioni climatiche variabili.

In questo lavoro di tesi, dopo una vasta ricerca bibliografica, sono stati riportati gli approfondimenti teorici relativi ad otto metodi di prova transitori dei collettori solari: *il metodo di Rogers, il metodo di Saunier, il metodo di Exell, il metodo di Perers, il metodo di Wijesundera, il metodo DSC (Dynamic Solar Collector), il metodo QDT (Quick Dynamic Testing) ed il metodo NDM (New Dynamic Method).*

Tutti i modelli, eccetto il metodo di Rogers, il filter method ed il metodo di Wijesundera, sono metodi ad un nodo, nei quali la capacità termica del collettore viene riferita alla temperatura media del fluido di lavoro. Il metodo DSC è basato su un modello di collettore segmentato; ciò significa che il collettore è diviso in un numero di segmenti lungo la direzione del flusso (tipicamente 30 segmenti) e la capacità termica del collettore è equamente distribuita sopra il segmento.

Il metodo di Wijesundera non considera la capacità termica del collettore, mentre il filter method ed il metodo di Rogers sono basati sulla funzione risposta del collettore. Nel metodo di Rogers si assume che l'output termico di un collettore durante alcuni intervalli di tempo è la somma di una frazione utile di calore dello stato stazionario data in un intervallo, e di una frazione utile di calore dello stato stazionario data durante il precedente intervallo e così via. Solo un numero finito N di intervalli di tempo è assunto per dare un contributo significativo all'output. Il metodo è capace di ottenere le caratteristiche del collettore dello stato stazionario dall'analisi dei dati sperimentali fatta sotto condizioni dinamiche.

Il filter method è basato su un modello del secondo ordine; usa filtri digitali ricorsivi per processare i dati. Diversamente, il metodo Wijesundera è basato sulla variazione della temperatura del serbatoio di accumulo del sistema completo. La variazione dinamica della

temperatura del collettore è trascurabile se comparata alla temperatura del serbatoio di accumulo e, conseguentemente, l'equazione di bilancio energetico che include la capacità termica del serbatoio di accumulo è valida se si considera un periodo di tempo di circa un giorno. Tra i metodi considerati nella corrente trattazione, solo il metodo di Perers definisce il modificatore dell'angolo di incidenza.

I metodi di Saunier, Perers, Exell e DSC considerano termini del secondo ordine per il calcolo delle perdite di calore. Dal punto di vista della completezza teorica, il metodo di Perers considera perlopiù tutti gli effetti e l'equazione che descrive il collettore è molto prossima a quella adottata nello standard EN 12975-2.

A differenza degli altri metodi, il metodo NDM fornisce un'espressione analitica per la temperatura esterna come insieme della funzione risposta del collettore e dell'input delle condizioni ambientali. Ad ogni modo, non considera il modificatore dell'angolo di incidenza e gli effetti delle perdite di calore del secondo ordine. Ciò limita l'applicabilità generale del metodo. Eccetto i metodi di Saunier ed Exell, i parametri caratteristici, definiti in tutti i modelli, possono essere usati anche per calcolare o ottenere direttamente  $F'(\tau\alpha)$  e  $F'U_c$ . Quindi, è possibile ottenere una diretta comparazione dei valori di questi parametri. Nel caso dei metodi di Saunier ed Exell sono necessari ulteriori calcoli, in quanto si tratta di metodi multi-testing. I parametri caratteristici ottenuti sulla base di questi due metodi sono simili nella natura e perciò possono essere direttamente comparati con gli altri. E' indispensabile sottolineare che il metodo di Rogers, il filter method e Wijesundera forniscono procedure per i test dinamici per stimare i parametri dello stato stazionario del collettore. In altre parole, si può testare il collettore sotto condizioni variabili e, adottando queste tre procedure, può essere stimato lo stato stazionario del collettore. Nei metodi di Roger, Saunier, Exell e del filtro, per la stima dei parametri, viene utilizzata l'analisi di regressione. In altri casi, come i metodi di Perers, DSC, Wijesundera, QDT e NDM viene adottata la tecnica di minimizzazione dell'errore residuale tra la predizione teorica del modello e i valori misurati sperimentalmente durante i test. Mentre Wijesundera e il metodo NDM minimizzano l'errore residuale per la temperatura del serbatoio e per la temperatura esterna, Perers, DSC e QDT minimizzano l'errore residuale della temperatura media del fluido nel collettore, utile per valutare il guadagno di calore. I metodi di Saunier ed Exell prescrivono procedure di calcolo molto complesse. I metodi come DSC, NDM e Wijesundera, usano metodi di calcolo standard. Nel metodo di Perers, in analogia al metodo QDT, può essere usata la tecnica della regressione lineare multipla (MLR). Nel caso

del filter method, in questo lavoro, come estimatore digitale ottimo è stato utilizzato il filtro di Kalman.

Nel lavoro sono state inoltre riportati i risultati delle prove sperimentali in condizioni transitorie condotte nel triennio presso il Laboratorio di Energetica dell'Edificio dell'Università della Calabria. Le prove sperimentali sono state finalizzate alla caratterizzazione di un collettore solare con piastra piana selettiva in acciaio inox e canali integrati di tipo a scacchiera. Sono state eseguite prove in condizioni quasi dinamiche mediante il metodo QDT introdotto dalla norma EN 12975-2, e prove in condizioni dinamiche secondo sei degli otto metodi sopra citati (Rogers, Saunier, Perers, Wijesundera, Amer e Wang).

Non è stato possibile sperimentare il metodo di Exell ed il metodo NDM in quanto il circuito di prova mancava di alcuni elementi indispensabili per l'applicabilità di tali metodi. A titolo di confronto è stata determinata la caratteristica del collettore anche in condizioni stazionarie in accordo con lo standard ISO 9806-1 e, mediante selezione di opportuni dati sperimentali, con lo standard EN 12975-2. Il metodo stazionario richiede condizioni meteo molto stabili tali che, per alcune località e per determinati periodi dell'anno, risulta impossibile soddisfare. I metodi transitori presentano indubbi vantaggi per la possibilità di poter operare con condizioni meteo variabili, con conseguente riduzione dei tempi e dei costi della prova.

I risultati sperimentali mostrano un sostanziale accordo tra i diversi metodi, soprattutto per quanto riguarda l'efficienza ottica. Prendendo come riferimento la caratteristica stazionaria ottenuta secondo lo standard ISO 9806-1, lo scostamento massimo, sulla stima del rendimento ottico, si ottiene con il metodo di Wijesundera ed è pari al -6,37%; tale scostamento è in ogni caso in linea con quanto già trovato dagli stessi autori del metodo. Per quanto riguarda invece la stima del coefficiente di perdita termica del collettore, i metodi di Rogers, di Wijesundera e del filtro, sono quelli che si avvicinano di più al dato stazionario; il metodo QDT previsto dalla nuova norma è, invece, paradossalmente, quello che presenta lo scostamento massimo (circa il 10%).

L'ultima parte della tesi è stata dedicata alla descrizione dei materiali selettivi utilizzati per la concentrazione della radiazione solare, argomento oggetto di uno stage svolto presso la società Innova Technology Solutions di Chieti.