

Frascati, January 22, 2007

Note: **ME-19**

Simulazione della Capacità Termica di Accumulo per Sistemi di Raffreddamento nei CED ad Alta Densità di Potenza

L. Pellegrino, U. Rotundo

1. Introduzione

Il sistema di raffreddamento delle sale CED (Centro Elaborazione Dati) sta diventando un elemento sempre più delicato e di importanza strategica in termini di affidabilità, visto il continuo aumento delle prestazioni e della densità di potenza termica.

Nell'ambito dei criteri di progettazione di tali impianti, trova posto l'implementazione di sistemi per superare le punte di carico e le interruzioni di funzionamento dovute a mancanza di energia elettrica.

Dovendo spesso limitare i costi e le dimensioni dei gruppi elettrici di continuità, una soluzione risulta essere quella di inserire nel circuito idraulico della centrale frigorifera un serbatoio di accumulo, che garantisca una capacità termica sfruttabile al solo costo energetico del pompaggio.

Scopo del presente lavoro è quello di determinare le dimensioni di un serbatoio di accumulo, in relazione alla potenza da dissipare ed al tempo necessario ad eseguire una procedura di spegnimento automatico delle apparecchiature del CED.

Inoltre, grazie a questa attività, è stato possibile mettere a punto una metodologia per le simulazioni di transitori in circuiti idraulici di complessità tipica, ottenendo uno strumento flessibile ed estremamente utile per la progettazione e la verifica.

La simulazione è stata applicata al caso di un CED di medio-piccole dimensioni, come quelli in corso di realizzazione per i TIER-2.

2. Schematizzazione dell'impianto

Ai fini della presente indagine, il circuito idraulico che alimenta i racks raffreddati ad acqua e le unità di condizionamento è stato schematizzato come in Figura 1.

Il circuito è diviso in un primario, comprendente il gruppo frigorifero “GF” e il serbatoio “TANK”, ed un secondario comprendente l’utente “CED”. Quest’ultimo rappresenta complessivamente il carico termico in acqua, mentre non è compreso nel modello il trasferimento energetico tra acqua ed aria nell’ambiente e nell’interno dei rack raffreddati.

Un sistema di regolazione con valvola a tre vie miscelatrice ed un ramo di “iniezione” separa il primario ed il secondario. Lo schema di regolazione adottato consente la costanza della portata in entrambe le parti del circuito.

Nel modello si è assunta la perfetta e costante efficienza dello scambio termico acqua/aria a livello degli utilizzatori, e si è portato il sistema di regolazione a funzionare senza oscillazioni.

La simulazione ha avuto per oggetto un caso di interruzione di funzionamento del gruppo frigo, mantenendo la continuità del pompaggio sia nel primario che nel secondario.

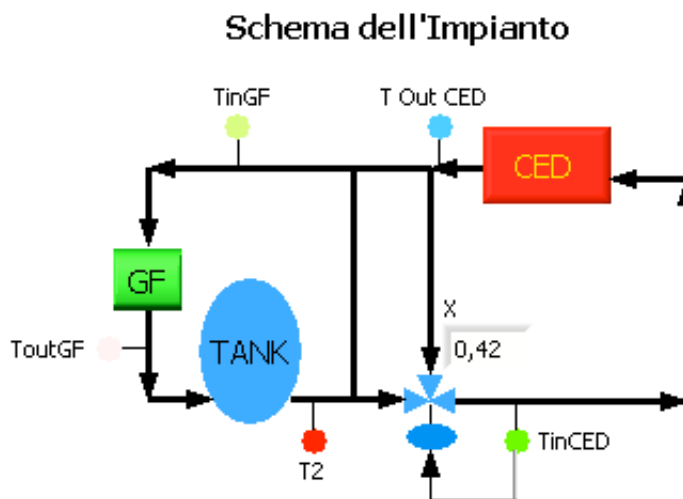


Figura 1: Schema dell'impianto idraulico

3. Impostazione della simulazione

La simulazione è stata realizzata per mezzo del software LabVIEW. Il modello dei singoli componenti dell’impianto è descritto di seguito.

1. **GF** (Gruppo Frigo): il gruppo frigo fornisce il valore della temperatura di mandata (T_{outGF}), impostabile da pannello (Figura 2), nel caso in cui sia funzionante; nel caso di guasto, invece, il valore di mandata sarà uguale al valore di ritorno ($T_{outGF} = T_{inGF}$), che è determinato dal ciclo di funzionamento. Per T_{outGF} si è scelto un valore tipico per impianti impiegati in questo campo, cioè $7^{\circ}C$.

2. **TANK**: la presenza del serbatoio è stata simulata considerando che la temperatura dell'acqua in uscita dal serbatoio stesso risulti da un'operazione di media pesata tra la temperatura dell'acqua che occupa il volume V del serbatoio e la temperatura del volumetto di acqua entrante ($q \Delta t$, con q portata volumetrica e Δt intervallo di tempo pari ad 1 secondo), con pesi i rispettivi volumi; in formula:

$$T_2 = \frac{q\Delta t T_{outGF} + VT_{Tank}}{q\Delta t + V} \quad (1)$$

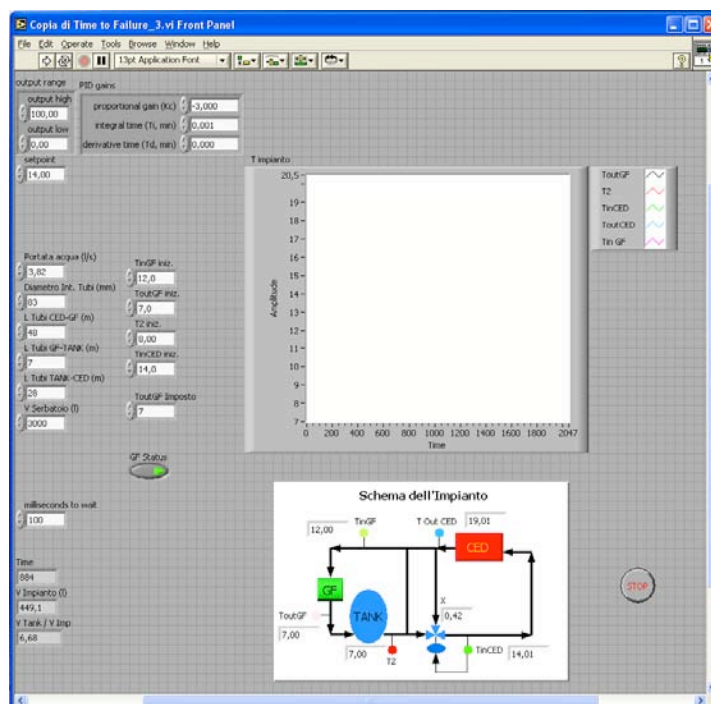


Figura 2: Pannello di controllo del VI

3. **V3V**: il comportamento della valvola miscelatrice a tre vie, considerata lineare su entrambi i rami, sotto l'ipotesi di portate uguali per le pompe delle due maglie che costituiscono il circuito idraulico (non rappresentate nello schema di Figura 1), si può esprimere con la seguente relazione, ricavabile da un bilancio di potenza:

$$T_{inCED} = xT_2 + (1-x)T_{outCED} \quad (2)$$

Nell'espressione precedente il valore di x rappresenta il grado di apertura della valvola in una scala da 0 (chiusa) ad 1 (aperta). Tale valore risulta determinato da un regolatore PI (di tipo proporzionale-integrale), in cui la variabile di processo è la T_{inCED} (come rappresentato in Figura 1). Per tale regolatore, la cui simulazione di funzionamento è disponibile direttamente come tool del software LabVIEW, è stato impostato un valore di setpoint di 14°C , valore determinato dalle condizioni di funzionamento dei rack raffreddati installati nel CED.

4. **CED:** ai fini della simulazione il CED è rappresentato da una sorgente di calore che provoca un aumento fisso della temperatura dell'acqua di raffreddamento (ΔT_{CED}) pari a 5° C, corrispondente ad una potenza termica costante. Sono state effettuate prove considerando due valori possibili di potenza, rappresentativi delle condizioni di progetto (80 kW) e di un successivo ampliamento (200 kW); i due casi sono stati simulati tenendo conto di una variazione di portata d'acqua per soddisfare le esigenze di raffreddamento (3.82 l/s e 9.55 l/s rispettivamente). Riassumendo:

$$T_{outCED} = T_{inCED} + \Delta T_{CED} \quad (3)$$

5. **Ramo di iniezione:** l'andamento della temperatura dell'acqua in questo punto dipende da ciò che succede in corrispondenza della V3V, ed è dato dal complemento a uno della relazione (2). Pertanto:

$$T_{inGF} = xT_{outCED} + (1-x)T_2 \quad (4)$$

6. **Tubazione:** l'effetto della tubazione è stato simulato con l'ausilio degli "shift register" di LabVIEW, in modo da rappresentare un ritardo nella trasmissione delle variazioni di temperatura. Per uniformare la rappresentazione dei vari tratti, i quali presentano diametri diversi, è stata calcolata una lunghezza equivalente per ogni tratto, riferita ad un diametro di tubazione DN 80, perché tale risulta il valore più diffuso in questo impianto. Il ritardo tra due elementi contigui è dato dal prodotto tra la lunghezza equivalente e la sezione, diviso per la portata volumetrica; di tale valore si considera la parte intera:

$$\tau = \left\lfloor \frac{L_{eq} S}{q} \right\rfloor \quad (5)$$

4. Risultati delle simulazioni

I risultati delle simulazioni sono riportati sinteticamente in Tabella 1 e rappresentati graficamente nelle successive Figure.

In queste, dopo un periodo di funzionamento stabile con temperature di lavoro (ingresso-uscita) per GF e CED rispettivamente di 7-12° e 14-19° C, si può osservare la fermata del GF in corrispondenza all'inizio della rampa della T_{outGF} , e la conseguente risalita della temperatura T_2 a valle del serbatoio.

L'intervallo di tempo utile, in cui si mantengono ancora le condizioni di temperatura di progetto nel CED, è quello che va dallo spegnimento del GF fino a quando la T_{inCED} diventa uguale alla T_2 . Questo intervallo corrisponde al tempo di apertura della valvola di regolazione fino al 100%.

Tabella 1: Tempo di autonomia dal cedimento del gruppo frigo (min)

Volume Tank (l)	3000	2000	1000
Potenza Frigo (kW)			
80	20.8	14.7	8.5
200	8.3	5.8	3.2

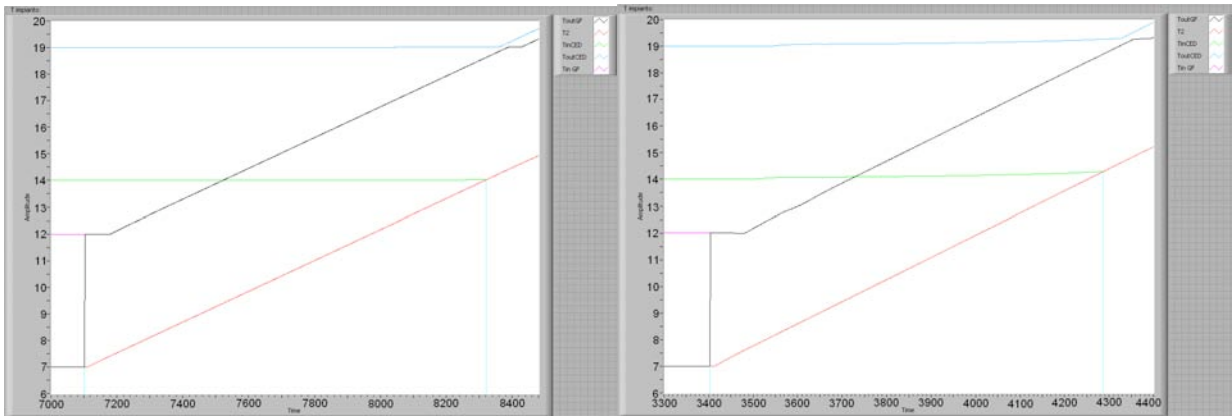


Figura 3: 80 kW - 3000 Lt

Figura 4: 80 kW - 2000 Lt

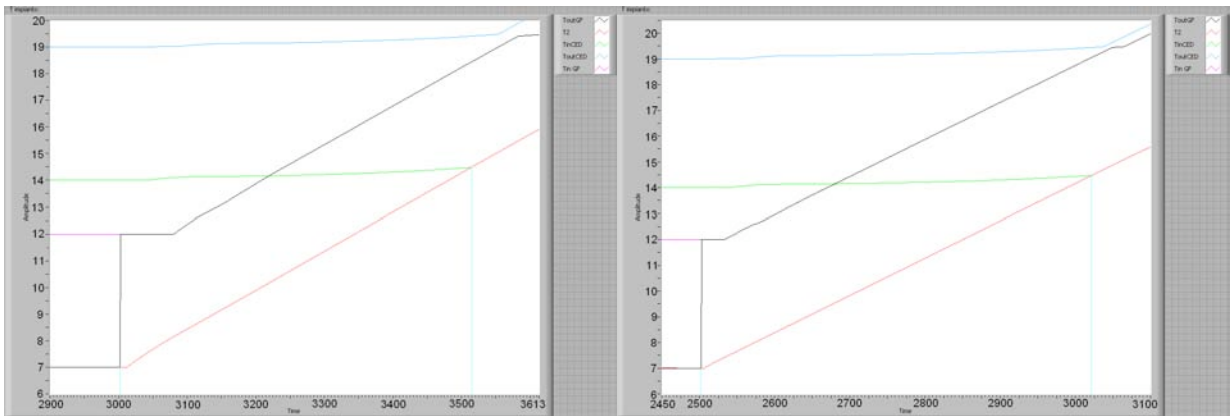


Figura 5: 80 kW - 1000 Lt

Figura 6: 200 kW - 3000 Lt

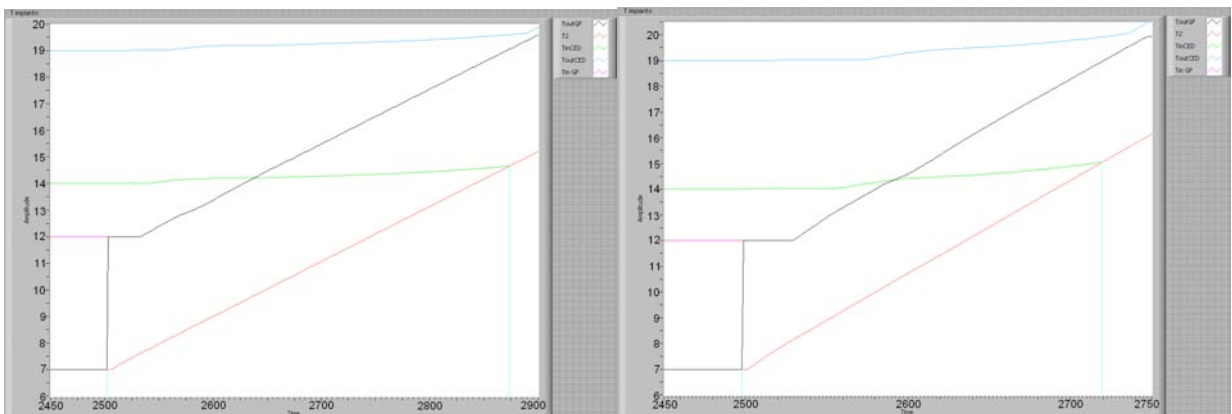


Figura 7: 200 kW - 2000 Lt

Figura 8: 200 kW - 1000 Lt

5. Conclusioni

Il tempo consentito per la procedura automatica di spegnimento della sala CED in modo da non recare danno alle apparecchiature deve essere di almeno 5 minuti. Si osserva come per la fase 1 (80 kW) tale valore sia rispettato con serbatoi di taglia 1000, 2000 e 3000 litri senza difficoltà. Nel caso della fase 2 (200 kW), invece, solo il serbatoio da 3000 litri è sufficiente. Serbatoi di dimensioni maggiori non sono stati considerati per motivi di ingombro, data la limitazione dello spazio a disposizione nella sede dell'installazione.

Il modello presentato è in corso di aggiornamento, per implementare una maggiore aderenza alla realtà ed una flessibilità maggiore. Tra i miglioramenti possibili, sarà introdotta la non linearità del serbatoio, tenendo conto della miscelazione non perfetta, l'efficienza dello scambio termico nelle batterie acqua-aria in dipendenza della temperatura media dell'acqua e della temperatura di ingresso dell'aria, e la variabilità della temperatura media dell'ambiente CED.